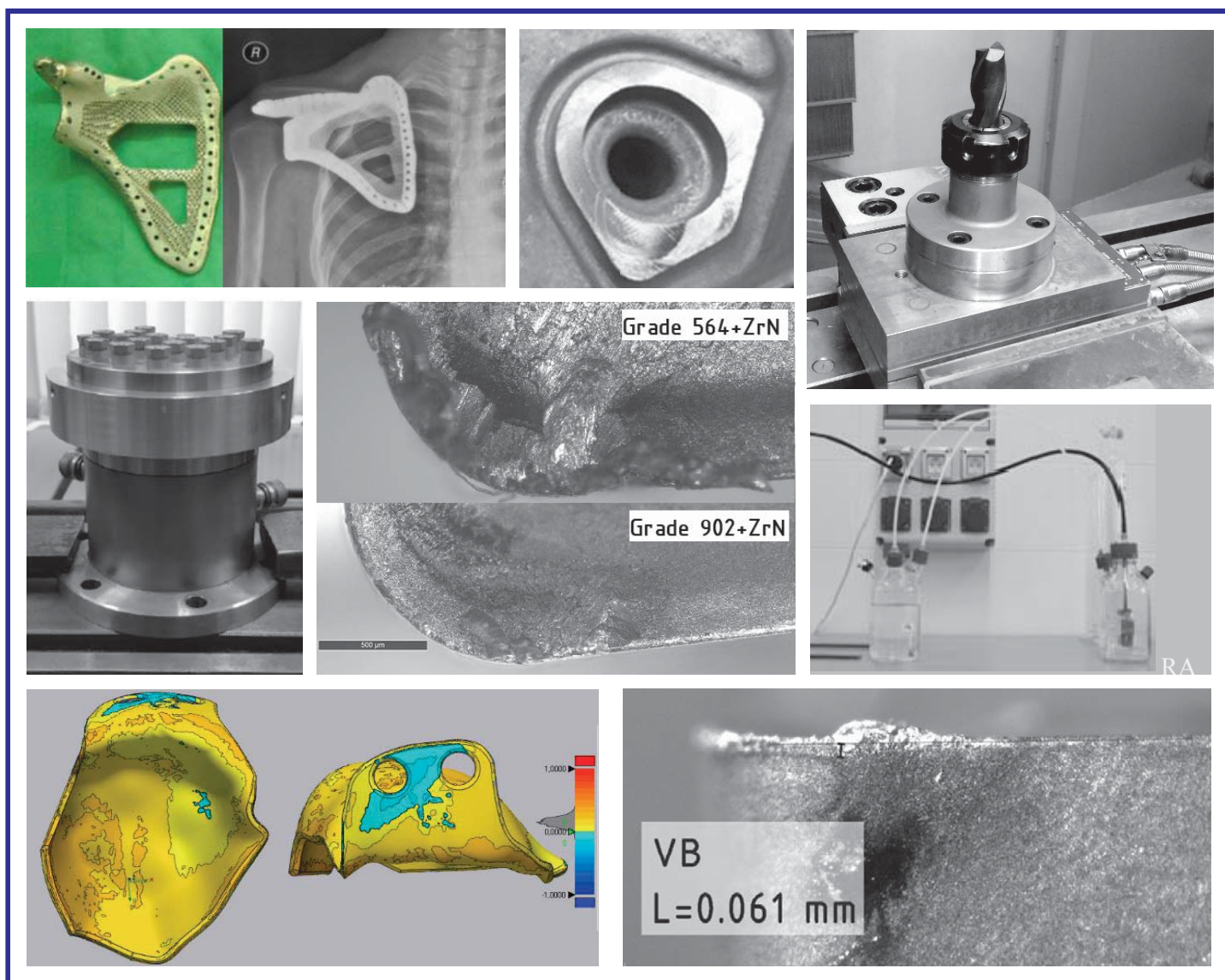


GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



V. GÉPÉSZETI SZAKMAKULTÚRA KONFERENCIA

2020. január 30.

Helyszín: Budapesti Műszaki Egyetem R Épület I. em.

Konferencia program

9:00-9:30 Regisztráció

Plenáris ülés

9:30	<i>Dr. Takács János elnök; GTE</i>	A megjelentek üdvözlése, a konferencia nyitó-indító gondolatai
9:40	<i>Dr. Orbulov Imre dékán; BME GÉK</i>	A konferencia üdvözlése
9:45	<i>Dr. Bárdos Krisztina stratégiai igazgató; GTE</i>	A GTE új irányai, megújítási javaslatai
10:10	<i>Dr. Dietz Ferenc; BGE</i>	Az oktatás perdöntő szerepe – MI versenytárs vagy a lehetőségeink kiterjesztése
10:35	<i>Rózsás Zoltán; ZalaZone</i>	Autóipari tesztpálya projekt Zalaegerszeg
11:00	<i>Kovács Attila; Knorr-Bremse Vasúti Jármű Kft.</i>	Az innovációs kultúra fejlesztése

11:25-11:40 Kávészünet

Szekció ülések

	1A. szekció: Mérés, kísérlet, vizsgálat		2A. szekció: 3D nyomtatás,	
	<i>Szekció elnök: Kovács Attila</i>		<i>Szekció elnök: Dr. Váradi Károly</i>	
11:40	<i>Vajda Márk - Dr. Rádics János; BME</i>	Pin-on-plate tribométer fejlesztése talajművelő szerszámok összehasonlító vizsgálatához	<i>Dr. Haidegger Géza; MTA SZTAKI</i>	Az előttünk álló gyártástudományi kutatási témák kiragadott szakmai és etikai oldalai
12:00	<i>Godó Mónika; Knorr-Bremse Vasúti Jármű Kft.</i>	Régi és új generációs termékek eco-design alapú összehasonlító elemzése	<i>Dr. Borbás Lajos; EDUTUS - Dr. Ficzer Péter; BME</i>	Intelligens paraméter megválasztás lehetősége additív gyártórendszerek esetén
12:20	<i>Jónás Szabolcs; Knorr-Bremse Vasúti Jármű Kft.</i>	Klincs kötések kísérleti és szimulációs vizsgálata	<i>Kékedi Barnabás - Halász Béla; Knorr-Bremse Vasúti Jármű Kft.</i>	3D fémnyomtatás a Knorr-Bremse-nél
12:40	<i>Kanász Dorina - Nagy Dávid; Knorr-Bremse Vasúti Jármű Kft.</i>	Vészfékhúzó benchmark és koncepció	<i>Acél Artúr Benjámin; BME - Falk György; Varinex Zrt. - Dr. Takács János; BME</i>	Geometriailag szabad felületű fém protézisek tervezése és minőségbiztosított gyártása lézersugaras additív technológiával
13:00	<i>Sánta Péter; Knorr-Bremse Fékrendszerek Kft.</i>	Knorr-Bremse Fékrendszerek Kft. és vibrációs tesztek Magyarországon	<i>Varga Ferenc László - Dr. Markovits Tamás; BME</i>	Lézersugaras, fémporágyas additív gyártásnál a támasz struktúra fogazat hatásának vizsgálata a minőségre

11:25-11:40 Kávészünet

GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

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

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Dr. Döbröczöni Ádám

elnök

Vesza József

főszerkesztő

Dr. Jármái Károly

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

Kármán Antal

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálincás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Timár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Dr. Zobory István

TISZTELT OLVASÓ!

Idén január 30.-án tartotta a GTE Konstruktív Szakosztálya az **V. Gépészeti Szakmakultúra Konferenciát**. Konferenciánk V. alkalommal történő megszervezése mutatja, hogy szükség van a Gépészeti Szakmakultúra művelőinek összefogására.

A plenáris ülésen először Dr. Bárdos Krisztina, a GTE stratégiai igazgatója vázolta a GTE új irányait. Utána 3 előadás hangzott el. A szekció üléseken 2 párhuzamos szekcióban 24 előadás hangzott el. A 55 regisztrált résztvevő mellett 4 kiállító cég támogatta részvételével a konferencia színvonalát.

A gépészeti szakmakultúra magában foglalja mindazokat a módszereket, eljárásokat, technikákat, amelyeket a gépészeti innovációs folyamat résztvevői alkalmaznak.

A plenáris ülésen elhangzó előadások közül az első a Mesterséges Intelligencia oktatásbeli szerepével foglalkozott. A második előadás a Zalaegerszeg határában épülő, az autógyártást, elsősorban az önvezető járművek vizsgálatát kiszolgáló nemzetközi jelentőségű próbapályát mutatta be. A harmadik előadás az innovációs kultúra fejlesztését mutatta be a vasúti főkrendszerek tekintetében.

A szekció előadásokat 2 szekcióban tartottuk, 4 témakörben:

- **1A. szekció: Mérés, kísérlet, vizsgálat.** Néhány méréssel, vizsgálattal, teszttel foglalkozó előadás hangzott el talajművelő szerszámok, vasúti és közúti járművek területén.
- **1B. szekció: Oktatás, Ipar4.0, gyártás** A szekcióba több témából hangzott el 2-3 érdekes előadás.
- **2A. szekció: 3D nyomtatás, additív gyártás.** Először egy gyártástudományi előadást tettünk be. Utána 4 előadás hangzott el a témában, többségében a fém-nyomtatás alkalmazási területein.
- **2B. szekció: Konstruktív.** Ebben a szekcióban a konstruktív munka területén alkalmazott szimuláció mellett az előadók néhány munkája került bemutatásra. Egy előadás az elektromos autóbuszok helyét, jövőjét és hazai gyártását ismertette.

Konferenciánk sikerére alapozva tervezzük, hogy 2021-ben a VI. Gépészeti Szakmakultúra Konferenciát is megszervezzük.

Köszönetet mondunk konferenciánk támogatóinak:

- MTA Műszaki Tudományok Osztálya, Gépszerkezettani Tudományos Bizottság
- BME Gépészmérnöki Kar Gép- és Terméktervezés Tanszék
- Knorr-Bremse Vasúti Járműrendszerek Kft.
- eConEngineering Kft.
- SZTAKI Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet

Weszelý István

a Konferencia szervező titkára

A szerkesztésért felelős: Vesza József. A szerkesztőség címe: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.

Telefon/fax: 06-46/379-530, 06-30/9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

Kiadja a Gépipari Tudományos Egyesület, 1147 Budapest, Czobor u. 68., Levélcím: 1371 Bp. Pf.: 433.

Telefon: 06-1/202-0656, fax: 06-1/202-0252, e-mail: a.gaby@gteportal.eu, internet: www.gteportal.eu

A GÉP folyóirat internetcíme: <http://www.gepujsag.hu>

Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Felelős kiadó: Dr. Igaz Jenő ügyvezető igazgató.

Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67. Telefon: 06-46/379-530 • e-mail: gazdasz@chello.hu

Előfizetésben terjeszti a Magyar Posta Zrt. • Postacím: 1900 Budapest

Előfizetésben megrendelhető az ország bármely postáján, a hírlapot kézbesítőknél, www.posta.hu WEBSHOP-ban (<https://eshop.posta.hu/storefront/>), e-mailen a hirlapelofizetes@posta.hu címen, telefonon 06-1-767-8262 számon, levélben a MP Zrt. 1900 Budapest címen. Külföldre és külföldön előfizethető a Magyar Posta Zrt.-nél: www.posta.hu WEBSHOP-ban (<https://eshop.posta.hu/storefront/>), 1900 Budapest, 06-1-767-8262, hirlapelofizetes@posta.hu

Egy szám ára: 1260 Ft. Dupla szám ára: 2520 Ft.

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

A megjelent cikkek lektoráltak.

A kiadvány a Nemzeti Kulturális Alap támogatásával jelenik meg.

TARTALOM

1. *Acél Artúr Benjámín, Falk György,*
Dr. Takács János:
GEOMETRIAILAG SZABAD FELÜLETŰ
FÉM PROTÉZISEK TERVEZÉSE ÉS
MINŐSÉGBIZTOSÍTOTT GYÁRTÁSA
LÉZERSUGARAS ADDITÍV
TECHNOLÓGIÁVAL 5
2. *Bakosné Diószegi Mónika,*
Pelle György Tamás:
LABORATÓRIUMI BIOGÁZ REAKTOR
FEJLESZTÉSE 12
3. *Dr. Czifra György, Hervay Péter,*
Varró Csaba, Mészáros Béla:
A PROJEKT ALAPÚ OKTATÁS
TAPASZTALATAI 17
4. *Dr. Ficzer Péter, Dr. Borbás Lajos:*
INTELLIGENS GYÁRTÁSI PARAMÉTEREK
MEGVÁLASZTÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI
ADDITÍV GYÁRTÓRENDSZEREK
ESETÉN 25
5. *Horváth Richárd, Fábrián Enikő Réka,*
Nagy András István, Terek Pál:
ÖNTÉSZETI KORROZIÓÁLLÓ SZUPER
DUPLEX ACÉL FORGÁCSOLÁSA PVD
BEVONATOS KEMÉNYFÉMLAPKÁVAL 29
6. *Jónás Szabolcs, Kovács Péter Zoltán:*
KLINCS KÖTÉSEK KÍSÉRLETI ÉS
SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATAI –
A BÉLYEG GEOMETRIÁJÁNAK
HATÁSA A KÖTÉSEKRE 35
7. *Dr. Pesti László, Németh Péter:*
NAGYTISZTASÁGÚ ALUMÍNÍUM
ÖNTVÉNYEK ELŐÁLLÍTÁSA 40
8. *Sztankovics István, Kundrák János:*
A FORGÁCSOLÓ ERŐ VÁLTOZÁSA
AZ ELŐTOLÁS FÜGGVÉNYÉBEN
ROTÁCIÓS ESZTERGÁLÁSNÁL 43
9. *Vajda Márk Zsolt, Dr. Rádics János Péter:*
PIN-ON-PLATE TRIBOMÉTER
FEJLESZTÉSE TALAJMŰVELŐ
SZERSZÁMOK ÖSSZEHASONLÍTÓ
VIZSGÁLATÁHOZ 47
10. *Varga Ferenc László, Dr. Markovits Tamás:*
A TÁMASZ STRUKTÚRA FOGAZAT
HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA
LÉZERSUGARAS, FÉMPORÁGYAS
ADDITÍV GYÁRTÁSNÁL 51

GEOMETRIAILAG SZABAD FELÜLETŰ FÉM PROTÉZISEK TERVEZÉSE ÉS MINŐSÉGBIZTOSÍTOTT GYÁRTÁSA LÉZERSUGARAS ADDITÍV TECHNOLÓGIÁVAL

DESIGN AND QUALITY ASSURED PRODUCTION OF FREE FORM METAL PROSTHESES BY SELECTIVE LASER MELTING

*Acél Artúr Benjámin, Falk György Varinex Informatikai Zrt., Dr. Takács János BME KJK
Gépjárműtechnológia Tanszék*

acelartur2@gmail.com; falk@varinex.hu; janos.takacs@gjt.bme.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk a CT felvételek alapján egyénre szabott vápakosár tervezésének, gyártásának és minősítésének fő lépéseit mutatja be. A CT felvételek összeállításától, a felületmodell pontfelhőjéből generált felület kialakításáig, amiből a folyamat végén a legyártható testmodellt kapjuk meg. A fémporágyas SLM (Szelektív Lézersugaras Olvasztás) technológiának sajátosságait ismertetjük, a munkadarabok építési térben való elhelyezését, az alátámasztás kialakításának sajátosságait. A gyártandó implantátum az EOS M100-as berendezésben való legyártásához szükséges technológiai előkészületeket bemutatjuk. Az implantátumok 316L és Ti6Al4V fémorból is elkészültek. Az elkészült teszt darabokon roncsolásmentes és roncsolásos mechanikai és anyagszerkezeti vizsgálatokat végeztünk, hogy a megfelelő minőségbiztosítási rendszert alkalmazva az implantátumokat minősíteni lehessen.

ABSTRACT

This article describes the key steps in designing, manufacturing, and certifying a customized acetabular cup, based on CT scans. Steps goes from compiling CT scans to creating a surface which is generated from the point cloud of the surface model, from which we get the body model what we can produce at the end of the process. Then we will describe the features of SLM (Selective Laser Beam Melting) technology, placement of workpieces in the construction space, and peculiarities of the support design. Important technological preparations of the EOS M100 for the manufacturing of implants will be described. Implants were made of 316L and Ti6Al4V metal powders. Finished test pieces were subjected to

non-destructive and destructive mechanical and material structural investigations in order to qualify implants by using the appropriate quality assurance system.

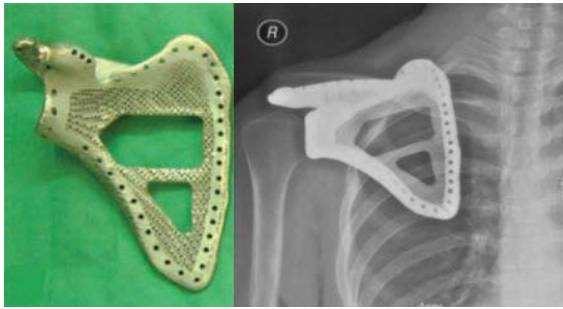
1. BEVEZETÉS

Az additív technológia napjainkban éri el azt a fejlődési szakaszát, ahol a technológiai alapokat kidolgozták, és átbillen abba a szakaszba, ahol a technológia alkalmazási területei rohamosan kibővülnek és egyre hatékonyabbá válnak, korlátait a fejlesztésekkel erőteljesen csökkentették. A klinikai orvostudományban sok cég próbálkozik kiváltani a hagyományos implantátumokat, additív technológiával előállított termékekre. A mérnökök képzeletének a technológia sajátosságain kívül, az orvosok által meghatározott korlátok szabnak határt. Napjainkban már bizonyítottan alkalmazhatóak az egyénre szabott implantátumok különleges esetekben, bármilyen komplikáció nélkül.

2. EGYEDI TESTRE SZABOTT IMPLANTÁTUM

Sajnálatos módon, egy hölgynek a lapockáját csonttrák támadta meg. A lapockacsonton fontos izom tapadási helyek helyezkednek el, emiatt a lapocka eltávolítás után mindenképpen pótolni kell ezt a csontot. CT és MRI felvételek alapján a mérnökök és az orvosok képesek voltak rekonstruálni az eltávolítandó csontot. Az 1. ábrán lehet látni az implantátumot a beültetés előtt és után. [1]

Látható az 1. ábra baloldali képén, hogy az implantátumot ki lehet könnyíteni vagy a tömör anyagot rácsos szerkezettel pótolni. Az izomzat megfelelő rögzülése miatt pedig az implantátum szélén rögzítési pontokat lehet kialakítani. Ebben az esetben is megfelelően illeszkedett az implantátum és biztosan 21 hónapig a műtét után tünet mentes volt a páciens.

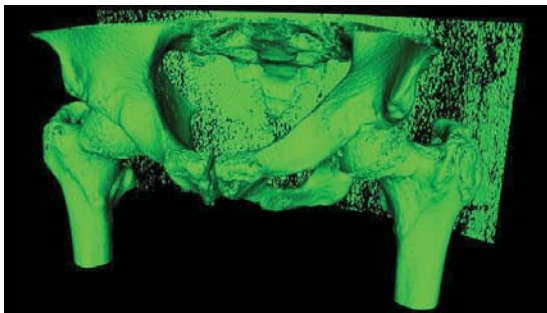


1. ábra: Egyénre szabott lapocka implantátum [1]

Ez az eset is alapjául szolgálhat az egyénre szabott implantátum használhatóságának és fontosságának. [1]

3. DICOM-STL KONVERZIÓ

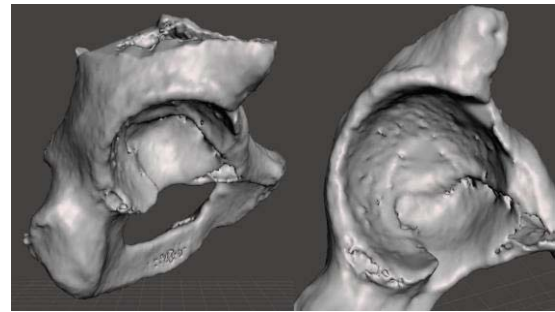
A testre szabott igényeket az orvos-mérnök konzultáción fogalmazzák meg, ehhez első lépésként, az orvosnak a megfelelő CT felvételeket át kell adnia a mérnöknek. Általában CD vagy DVD lemezeken tárolják a felvételeket. Ezeket bármilyen CD vagy DVD olvasóval meg lehet tekinteni. Az InVesalius program segítségével lehet a konverziót megvalósítani. A program rendkívül felhasználóbarát. Az elkészítendő vápához tartozó felület modelljét, amit az InVesalius program jelenít meg, a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra: A CT felvételekből összeállított felületmodell

Az InVesalius által generált felület modellt ki lehet importálni, az implantátum tervezéséhez nem szükséges felületeket el kell távolítani a felület modelltől. Így egyszerűsödik a felület modell és nem lesz szükség a nagy méretű fileok tárolására. Ezt a „tisztítást” az Autodesk Meshmixer programjával meg lehet oldani. A 3. ábra szemlélteti az importált felület azon részét amire az implantátumot illeszteni kell. Ezt a felület modellt „megtisztítottuk”, a CT berendezés háttérétől, a combcsonttól és a fél

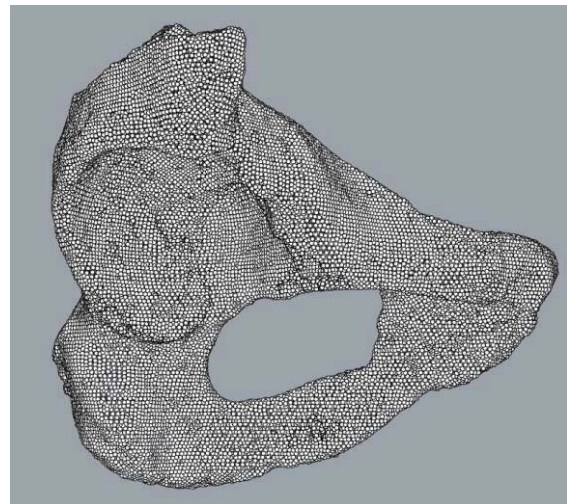
csípőtől. A következő lépéshez a modellt „.stl” file típusként kell elmenteni, mivel az a típus a felületet háromszögekből állítja össze, amik segítségével lehet tovább haladni a tervezésben.



3. ábra: A „megtisztított” felület modell és a felület, amihez igazítani kell a vápát

4. VÁPA MODELLALKOTÁS

Ha a háromszögek csúcspontjait meg tudjuk határozni, és pontokkal tudjuk helyettesíteni, akkor kapunk egy pontfelhőt. Ezt a pontfelhőt tovább kell „tisztítani” és a maradék pontokra lehet illeszteni egy felületet. A pontfelhőre illesztett felület „kihúzásából” egy megválasztott vastagsággal kapjuk meg a vápa alakját és térfogat modelljét. Ezt a feladatot a Rhino6 nevű programmal lehet megoldani. A 4. ábra szemlélteti az előzőekben lementett felület modelltől generált pontfelhőt.



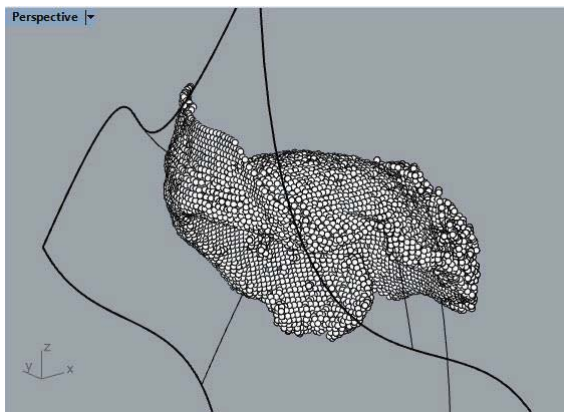
4. ábra: Az „.stl” file-ból generált pontfelhő

Lehetőségünk van a nem szükséges pontokat egyszerűen kitörölni. Ennél a lépésnél figyelembe kell venni azt, hogy az implantátumot, hol és hogyan kell rögzíteni, és mi lesz a funkciója. Fontos megemlíteni, hogy a rögzítési pontokat a CT felvételekből nem lehet

meghatározni. A csontoknak a csavarozási helyét az orvoskollégák eddigi tapasztalataira tudjuk alapozni.

A vápák általános funkciója, hogy a medencében a femur kapcsolódási felületén az idő során kialakult csonthiányt kiküszöbölje. Fontos, hogy a rögzítést többféle képpen lehet megoldani. Az egyik megoldás, hogy az implantátum térfogatát üreges szerkezetűvé alakítják ki, így a csont képes benőni az üregekbe. A hagyományos implantátumokat csavarozzák. Ezt az implantátumot is úgy terveztük, hogy hozzá csavarozzák a jó szilárdságú csípőcsont részekhez. Minimum három rögzítési pontot kell kialakítani, hogy biztonságosan rögzüljön a vápa. Figyelni kell még arra, hogy megfelelő hely maradjon a rögzítő csavaroknak a csontban.

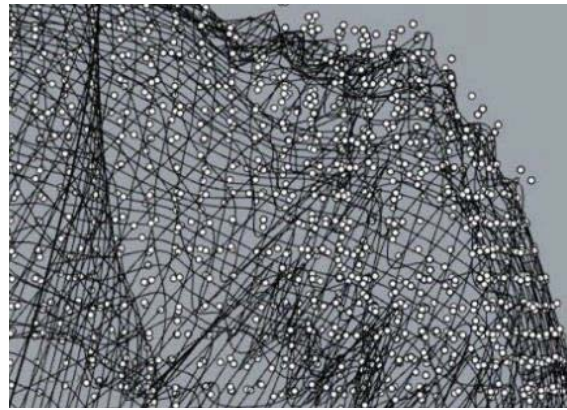
Ezeket figyelembe véve lehet a pontfelhőt közelíteni egy felülettel. Meg kell adni a programnak, hogy a pontfelhőt közelítő felületet hány kontrollpontból generálja a program. Jelen esetben a 20x20-as pont sűrűséget határoztuk meg megfelelőnek. Kisebb számú kontrollpont mellett nem tudja a generált felület megfelelően lekövetni a pontfelhőt. Ezt az esetet az 5. ábra szemlélteti.



5. ábra: Nem elegendő számú kontrollpont alapján generált felület

Nagy számú kontrollpont esetén szükségtelenül kirészletezi a generált felület a pontfelhő nem kívánatos hibáit. Erre egy példát a 6. ábra mutat.

Ha kész a felület, akkor a pontfelhőt el lehet már távolítani. A felületnek a határai nincsenek meghatározva. Nem tudjuk megadni úgy a kontrollpontokat, hogy a pontfelhő határáig tartson.



6. ábra: A pontfelhő megmaradt felesleges pontjait kirészletezi a generált felület

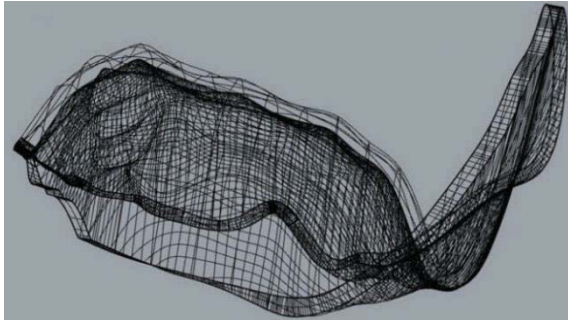
Meg kell határozni, hogy meddig terjedjen az implantátum határa. A programban lehetőségünk van az elkészült felületet alakítani. Általunk meghatározott szakaszokat tudunk a felületre vetíteni.

Ezekkel a vetített szakaszokkal tudunk a felület részeket leválasztani. A kialakított felületet a 7. ábra szemlélteti.



7. ábra: A vápa határait meghatároztuk, a felület normálisának irányjai a piros körökkel vannak jelölve.

Ha kialakítottuk a megfelelő formát, akkor van lehetőségünk az adott felületet, normálisa irányban kihúzni tetszőleges (a lemeztvastagságot megtestésítő) távolságba. Gondolni kell arra, hogy ez az elkészült felület fog a csonttal találkozni, így ellentétes irányban kell kihúzni. A kihúzott felületet a 8. ábra szemlélteti. Fontos, hogy a felület modellnek zárt felületet kell alkotnia, hogy testmodellé lehessen alakítani. Ezt a kész zárt felületmodellt a Rhino6 programban testmodellé lehet alakítani. Az elkészült testmodellt „.stp” formátumban ki lehet menteni. Ezt a formátumot minden hagyományos CAD program képes kezelni.



8. ábra: Az elkészült zárt, a felület normálisának irányba kihúzott felület modell

A következő lépésben ezen a testmodellen, egy CAD rendszerben a szükséges rögzítő furatokat ki kell alakítani. Ha ezek is elkészültek a testmodellünk kész a gyártás előkészítéshez, majd a gyártás ellenőrzéshez.

5. A FÉMPORÁGYAS LÉZERSUGARAS ADDITÍV TECHNOLÓGIA BEMUTATÁSA

Az SLM (Selective Laser Melting) technológia, a Szelektív Lézersugaras Olvasztás, a többi additív technológiákhoz hasonlóan, rétegről-rétegre építi fel az adott munkadarabokat. A BME Gépjárműtechnológia Tanszéken egy EOS M100-as berendezésre terveztük a gyártást, ami az alábbi folyamat szerint működik.

- Az első lépésben a platformra (fém fűtött alaplappra) építjük a darabot, amely a porréteg vastagságának megfelelően lépésenként lesüllyed.

- Második lépésben a portartályból az automatizált adagoló meghatározott dózisu port adagol ki.

- Harmadik lépésben a terítő kés a kiadagolt por mennyiséget szétteríti a munkaterületen, a felesleges port a munkaterület túloldalán található portartályba tolja.

- Negyedik lépésként a lézersugár a fókuszolt alatt, megadott pásztázási útvonalon és stratégiával végighalad a munkaterületen, a bevilágított részen összeolvasztja a porszemcséket (az olvadás, az elterített por réteg magassági méretét lecsökkenti) és kötést alakít ki az alatta lévő réteggel is.

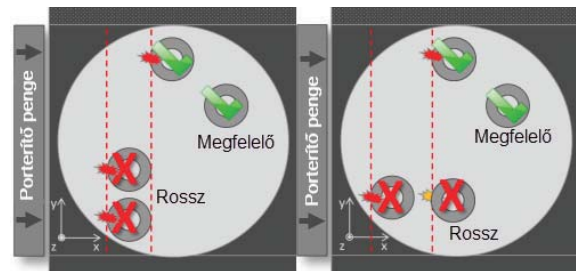
- Ötödik lépésként a terítő kés visszatér az eredeti pozíciójába (baloldali véghelyzet) és újra előkészül a poradagolásra.

A modell elkészítéséhez a port egy tartályból adagolhatjuk ki, négy féle „dózissal” (1-2-3-4 adagolási lépcsőben) állítható be az adagolt mennyiség, melyet egy (a gyártások előtt pontosan pozícionált) penge terít el a

munkaterületen az építési síkban. Ennek az elterített rétegnek a vastagsága: 20 μ m.

5.1 A legyártandó munkadarab elhelyezése az építési térben

Több munkadarab elhelyezésnél fontos szempont a darabok orientációja. Fontos, hogy a porterítő penge a terítés folyamata során lehetőleg egyenletesebben megosztva terítse a port, ne hassanak rá a por belső súrlódásából adódó erőingadozások. Az erőingadozások vibrációkat okozhatnak, így a penge felemelkedve nem tudja a port egyenletesen elteríteni. Egymás mögé se célszerű elhelyezni a testeket, hogy az esetlegesen leváló kisebb részek, a mellette lévő darabban megakadhatnak, ami a terítőpenge megállítását válthatja ki. A darabok kedvező orientációjának elrendezését a 9. ábra szemlélteti. A tapasztalatok alapján, a kis térfogatú alkatrészeket nem célszerű az építési térfogat szélén elhelyezni, akár nagyobb alkatrészekkel körülvenni, mert a hőmérséklet eloszlás nem a legmegfelelőbb az ilyen alkatrészek elkészítéséhez.

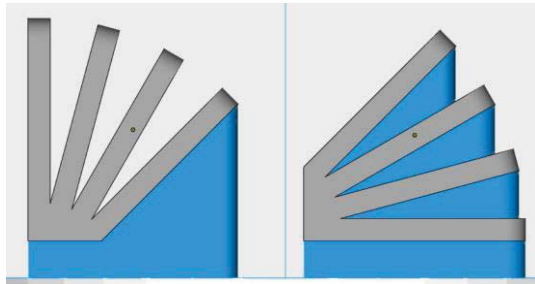


9. ábra: A munkatérben elhelyezett darabok orientációjának célszerű kialakítása [2]

5.2 A munkadarab alátámasztásának tervezése a fűtött alapon

Az alkatrész kezdő rétegének a megfelelő kötése az alaphoz fontos, mert a keletkező hőmérséklet különbségekből adódó termikus feszültséget a támasz fogja felvenni. Ha nem jól rögzül az alaplaphoz a támasz, akkor felszakadhat a darab és ezzel megakadhat a gyártás. Fontos szempont a hőelvezetés, mivel, ha folyton nagy hőmérsékleten tartjuk a kialakított rétegeket, „megéghet” az anyag, így a felületi minőség, és a szerkezeti tulajdonságok romlanak. A darabok alátámasztását a Materialise Magics programban lehet megtervezni. Az alátámasztásoknál vannak „ökölszabályok”, amelyeket érdemes betartani, viszont el lehet térni tőlük különböző megoldásokkal.

Nem lehet olyan felületet alátámasztás nélkül hagyni, amely az alaphoz képest negyvenöt foknál nagyobb szögben helyezkedik el.

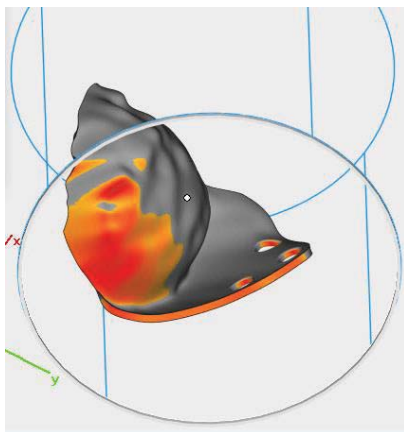


10. ábra: Támaszték generálása (kék szín) az alaplappal bezárt szögtől függően [3]

Kiugró anyagrészeket is el kell látni alátámasztással. Ezek lehetnek felesleges alátámasztások is, mivel az additív technológiának egyik előnye, hogy a munkatérbe a munkadarabot különböző orientációkban is el lehet elhelyezni.

5.3. Testre szabott vápa kosár gyártásának előkészítése

A munkatér tervezésénél első lépésként a munkadarabot importálni kell a Materialise programba. Majd a megfelelő helyre és pozícióba kell helyezni. Pozicionálás alatt lehet még arra törekedni, hogy minél kevesebb támaszték felületet kelljen generálni. Ha a darab modelljét elhelyeztük az építési területen, be tudjuk forgatni előzetesen kedvezőnek ítélt helyre és irányba. Erre jó segédeszköz a „Supported area preview” modul, ami megadja színekkel, hogy adott felületeknek a meredeksége mekkora. A vápa elhelyezését a 11. ábra szemlélteti.



11. ábra: Alulnézetből az alaplappal legfeljebb 45°-os szögben bezáró felületek

Következő lépésként, a „fragmentation” paranccsal adott méretű szigetekre lehet bontani az egybefüggő támaszokat. Ezzel lehet csökkenteni a gyártás teljes építési idejét, mert a plusz támaszokat nem kell elkészíteni. Ezzel alapanyagot lehet megtakarítani, mert nem kell annyi port beolvasztani a támaszokba. Perforáció a támaszfalakon „gyémánt” vagy téglalap alakú kikönnnyítéseket jelent. Ezek használata megkönnyítheti a nem beolvasztott por kiürítését a támaszfalak közül. Levágás során a könnyítések révén gyorsabban választhatjuk le a darabokat. Csökkenti az építési időt is mivel a perforációknál a lézernek nem kell végig pásztáznia azt a vektor szakaszt. A „fragmentation” és a „gyémánt” alakú kikönnnyítéseket a 12. ábra szemlélteti.



12. ábra: A „fragmentation” és piros körrel jelölt „gyémánt” kikönnnyítések

A munkadarab és a támaszok kapcsolódási felülete általában „fogakkal” történik. A program a munkadarabot és a támaszokat elkülöníti. Így a tömör munkadarabban felesleges a támasztó fogakat ismét át pásztázni. Emiatt a „Z Offset” paranccsal a fogazásnak a benövesztését meg lehet szüntetni. A 13. ábra szemlélteti a „Z Offset” parancsot.



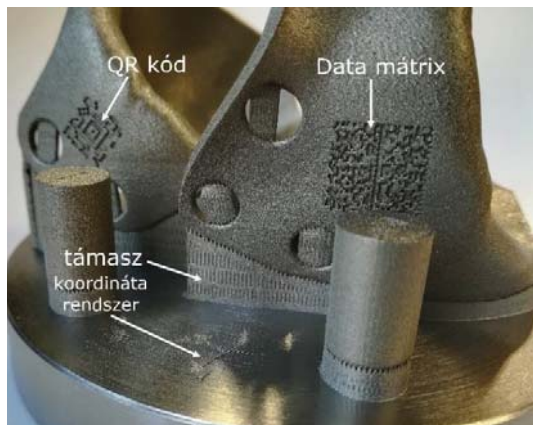
13. ábra: A támasz fogainak benövesztésének megszüntetése a munkadarabba

6. ELKÉSZÍTETT VÁPA MODELL GYÁRTÁSÁNAK ELLENŐRZÉSE

A gyártás közbeni hődeformációk miatt előfordulhat az az eset, hogy a port terítő kés beleakad a már kész munkadarabba. Vagy a támasz a munkadarabban keletkező feszültség miatt megreped és hagyja deformálni a munkadarabot. Ezekben az esetekben minden alkalommal megáll a gyártás. A portterítő kés többletterhelést kap és a biztonsági védelem leállítja a gyártást. Ennek elkerülése érdekében fontos leellenőrizni egy közelítő megoldással a gyártási tervet. Mivel a szimulációs programnak az eredményeit feltételekkel kell kezelni, és mind valamilyen típusú közelítés, így rajtunk áll, hogy elfogadjuk-e az eredményeket és változtatunk a gyártáson, vagy figyelmen kívül hagyjuk a jelzéseket.

7. MEGFELELŐ TÁMASZTÉKKAL ÉS SZIMULÁCIÓS PROGRAMMAL ELLENŐRZÖTT GYÁRTÁS

Az építési platformot a helyén vákuumos rendszerrel rögzítik. Fel kell venni magassági irányban a nulla pozíciókat, majd az építési felületet be kell szintezni, hogy az előírt síklapúságot elérje. A porttartályt meg kell tölteni porral, majd a vezető síneken a helyére csúsztatni. Minden darab készítése előtt, a lézer optikát védő ablakot nagytisztaságú alkoholos papírtörülkövel meg kell tisztítani. A következő lépésben be kell zárni a munkatér ajtaját. Az építési folyamat argon védőgáz alatt történik.



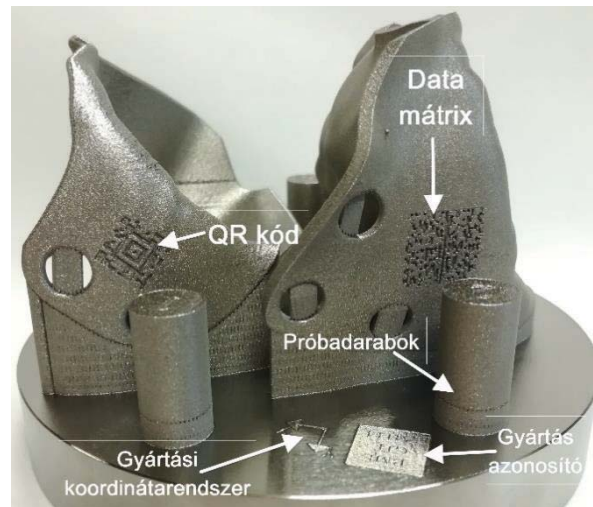
14. ábra: 316L alapanyagból elkészült vápák

Két vápa modellt terveztünk. Ehhez az építési térbe argon gázt (99,99%) vezetünk be, ami nagyobb sűrűségű a levegőnél és így alulról felfelé töltődve kiszorítja a levegőt. Ha a gép munkatérében elhelyezett szenzor kisebb mint

0,1%-os oxigén tartalmat érzékel akkor lehet elindítani a gyártást.

Első gyártás alkalmával a megtervezett vápák test modelljét 316L alapanyagból készítettük el. Az egyik vápát a Simufact programban elődeformáltuk a geometriai mérésekhez. A gyártási térben további próbatesteket helyeztünk el. Sikeresen megépültek a vápák, eredményét a 14. ábra szemlélteti.

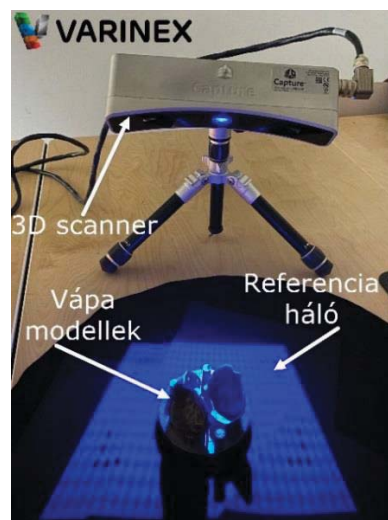
Második gyártás alkalmával az EOS által forgalmazott Ti6Al4V alapanyagból ismételtük meg a gyártást. Sikeres lett a gyártás és az eredményét a 15. ábrán lehet látni.



15. ábra: Ti6Al4V alapanyagból elkészült vápák

8. GEOMETRIAI MÉRÉS

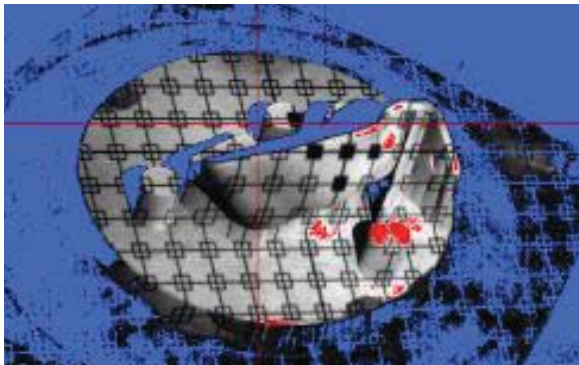
A geometria mérést a Varinex Informatikai Zrt.-nél végeztük a beállítást a 16. ábra szemlélteti.



16. ábra: MÉRŐHELY KIALAKÍTÁSA A 3D SYSTEM CAPTURE SCANNERREL

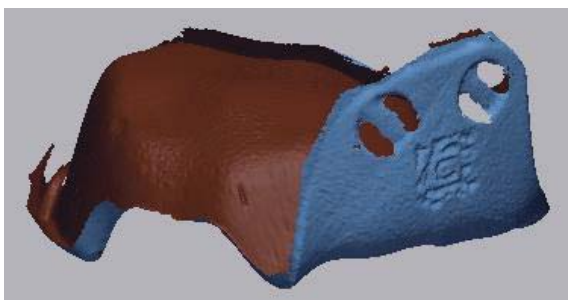
A mérés elvégzése előtt a darabokat penetráló folyadék „előhívó porral” lefújtuk, hogy a felület ne csillogjon. A referencia háló közepére elhelyeztük a mérendő darabokat. Az expozíciós időt a mérés kezdése előtt a fényviszonyoknak megfelelően kell beállítani.

A scannelés során két kamera készít képet a munkadarabról, majd a felületről a program egy pontfelhőt generál. A mérő kamera képét a 17. ábrán lehet látni.



17. ábra: 3D scanner kamera által rögzítendő felület a referencia hálóval

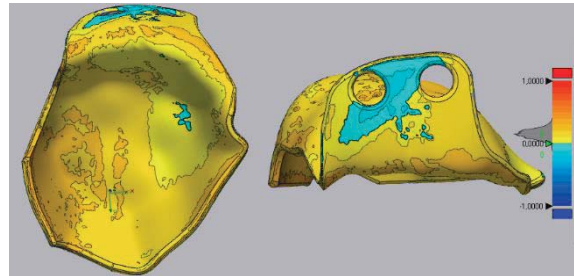
Több irányból scannelt felületeket manuálisan kell összeállítani mivel nem szabályos formákról van szó és a program algoritmusai nem képesek összesimítani a felületeket. Az elkészült összesimított scannelt felület modellt a 18. ábrán lehet látni. A felület hiányossága abból adódik, hogy az alátámasztás miatt a kamerával nem tudtuk bescannelni azt a felületet.



18. ábra: Az összesimított felület modell

A felület modellt már össze lehet hasonlítani az eredeti CAD modellel a Geomagic Design X programban. A vápa modelleket nyers állapotban, hőkezelt, majd levágott állapotban scanneltük be. Ezeket a felületeket hasonlítottuk össze az eredeti CAD geometriával. Az összehasonlítás eredményére egy példát a 19.

ábra mutat. Az összehasonlításnál a mérési határ 1 mm-től (-1) mm-ig tartott. A különböző méret eltéréseket a program a jobb oldalon található színskálán jelzi. Ezekből az értékekből meg lehet határozni a legnagyobb eltéréseket és az eloszlását ezeknek az értékeknek.



19. ábra: A scannelt felület modell és az eredeti CAD testmodell összehasonlításának eredménye

Az összehasonlítások eredményéből meg lehet állapítani, hogy a Simufact végeleemes programot sikerült megfelelően kalibrálni. Az elődeformált modell geometriája a hőkezelés és az alapról való levágás után jobban közelítette az eredeti CAD modellt, mint a nem elődeformált társa. A mért értékek minden esetben +/-0,5mm-es tartományban voltak, amely pontosság megfelelő.

9 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A projekt a Nemzeti Kutatási és Innovációs Hivatal támogatásával az NKFIH Alapból valósul meg, a projekt címe:

„Egyénre szabott orvos-biológiai implantátumok és segédeszközök új generációs gyártási folyamatának kidolgozása additív technológiákra”; a pályázat azonosító száma: NVKP_16-1-2016-0022.

A kidolgozók köszönik a támogatást.

10 IRODALOMJEGYZÉK

[1] K. Willemsen, R. Nizak, H. J. Noordmans, R. M. Castelein, H. Weinans, M. C. Kruijt, Challenges in the design and regulatory approval of 3D-printed surgical implants: a two-case series, The Lancet Digital Health Volume 1, Issue 4, August 2019, Pages e163-e171

[2] Summary for the M290 System Advanced User Training – Level 1

[3] Magyar Dániel: Lézeres additív gyártással készült modellek jellemzőinek vizsgálata, TDK dolgozat, 2018 BME Közlekedés és Járműmérnöki Kar

LABORATÓRIUMI BIOGÁZ REAKTOR FEJLESZTÉSE

DEVELOPMENT OF A LABORATORY BIOGAS REACTOR

Bakosné Diószegi Mónika, PhD/ Pelle György Tamás

ÖSSZEFOGLALÁS

Az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Biogáz kutató laboratóriumában az előállított biogáz mennyiségének, minőségének és a lebomlási időnek a vizsgálata, a fermentáció optimalizálása jelenti az elsődleges vizsgálati szempontot. Az üzemi környezetet modellező berendezések azok a laboratóriumi eszközök, műtárgyak, melyek segítségével történik a bomlási folyamat biztosítása és annak analízisa. Az egyik laboratóriumi vízfürdős bioreaktor blokk, továbbfejlesztését tűztük ki célul az üzembiztoság, a pontosság és a kezelő igényei alapján. A tanulmány, ennek a gépészeti és mechatronikai megvalósításait foglaljuk össze.

ABSTRACT

In the Biogas Research Laboratory of the Bánki Donát Faculty of Mechanical and Security Engineering of Óbuda University, the primary aspect is the examination of the amount, quality and decomposition time of the produced biogas, as well as the optimization of fermentation. Equipment for modeling the operating environment are the laboratory tools and works of art that are used to ensure and analyze the process. One of the laboratory waterbioreactor bioreactor units, we aim to develop based on operational reliability, accuracy and operator requirements. In this article, we summarize the mechanical and mechatronic implementations of this.

1. BEVEZETÉS

A fejlett államok energiapolitikája kulcskérdés gazdasági, szociális és külpolitikai szempontból is. Az energiaigények fedezetének forrását az adott ország földrajzi adottsága határozza meg. A helyi lehetőségek kihasználása biztosítja az energiafüggetlenséget, túltermelés esetén pedig jelentős bevételi forrást jelenthet. Hazánk nem bővelkedik fosszilis energiaforrásban. Ugyanakkor a jelentős biomassza készletének feldolgozása számottevő mennyiségű megújuló energiahordozó előállítását biztosíthatja.

Szerves anyag anaerob fermentációja során biogázt állíthatunk elő. A mikrobiológiai folyamat során értékes energiahordozó gázt,

biometánt nyerhetünk. Az eljárással környezetvédelmi hulladékkezelést végzünk, hiszen a máshol nem hasznosított, vagy ártalmatlanításra váró szerves hulladék az alapanyag. Az anaerob fermentációs folyamat legvégén pedig értékes biotrágyát nyerünk.

A biogázüzemek mikrobiológiai folyamatának megismerését, hatékonyságát vagy annak növelését laboratóriumi vizsgálatokkal kontrollálják. A laboratóriumi reaktorok segítségével végzett kísérletek eredményei alapján meghatározott előrejelzések annál pontosabbak, minél inkább hasonlítanak a műtárgyak a nagyüzemi technológiát biztosító berendezéshez. Az egyetem biogáz kutató laboratóriumában található vízfürdős reaktorblokk egy több éve tartó fejlesztés eredménye. Jelenlegi állapotában további átalakításra szorul mind a kísérletek validitásának biztosítása, a prognózisok pontosítása, mind a használatának egyszerűsítése miatt.

2. A FEJLESZTENI KÍVÁNT VÍZFÜRDŐS REAKTORBLOKK

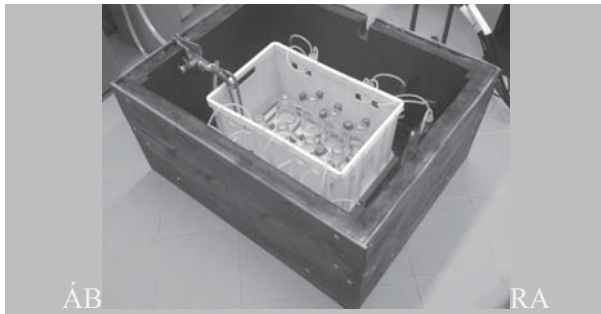
Szerves anyagok anaerob rothasztási folyamatának biztosítása és optimalizálása a biogázüzemek technológiájának elsődleges feladata. Ez alapján a biogázüzemi reaktorral szemben támasztott követelmények [1]:

- adott hőmérsékleten történő temperálás ($37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$),
- oxigéntől elzárt reaktortér,
- fénytől elzárt reaktortér,
- a reaktortér keverése.

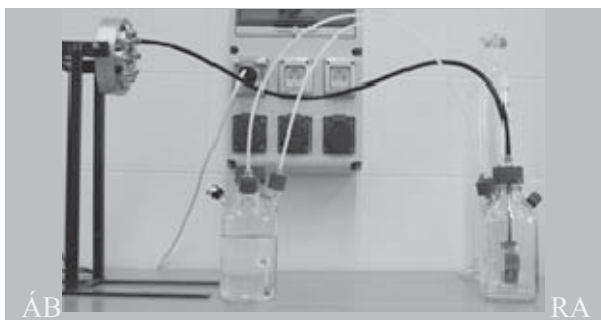
Az egyetemen tervezett és kialakított reaktorblokkban termosztáttal temperáló vízfürdős környezet biztosítja a benne elhelyezett 8 reaktor üvegnek a hőmérséklet állandóságát. A vízfürdős egység a szigetelés céljából egy duplafalu ládában helyezkedik el. (1. ábra). A fénytől elzárt reaktorteret szintén e láda tetejével történő lezárás biztosítja.

A keveréshez szükséges nyomatékot egy villanymotor generálja a tervezett fogaskerék áttételen keresztül. Ehhez csatlakozik 8 db bowden szál, ami a reaktorüvegek keverőszárának felső keverődugó részéhez menetes végződésével csatlakozik. A keverődugó

természetesen az üveg szájához légmentesen elzárt kivitelben csatlakozik. (2. ábra)



1. ábra A rendszer elhelyezése a duplafalu ládában (Forrás: saját kép)



2. ábra A motor állványa, a hajtásegység, a bowdenszál és a reaktor a keverőszárral (Forrás: saját kép)

A reaktortérben levő szerves anyag (szubsztrátum) homogenizálására a keverőszár végére rögzített keverőlapát szolgál, ami vezérlése időzítő segítségével automatizált. [2]

A reaktorblokkon végzett több éves gépészeti és egyéb átalakítások helyességét a fermentációs kísérletek igazolták. A laboratóriumi anaerob rothasztása és analitikája a VDI 4630 Szerves anyagok fermentálása irányelv alapján történt. [3]

3. A REAKTORBLOKK FEJLESZTÉSEI

A berendezés többéves használata során felmerült problémák megoldására célul tűztük ki a rendszer továbbfejlesztését, átalakítását. Az alábbi területeken történtek a fejlesztések:

1. Temperáló egység
2. Mennyiségi mérés
3. Kezelhetőség
4. Keverés és vezérlés.

3.1. A temperáló egység fejlesztése

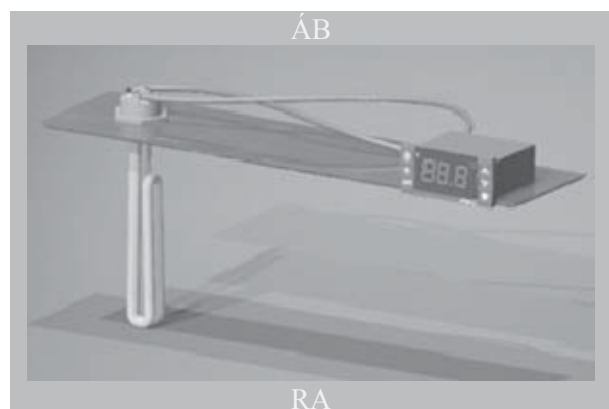
A berendezés temperáló egysége elavult technológiájú, higanyos hőmérő által kapott

jelek alapján működik. A kívánt hőmérséklet beállításához a hőmérséklet tetején található tekerőgombot kell használni, ami egy menetes orsót mozgat a hőmérő belsejében. A hozzá csatlakozó anya segítségével egy skáláról olvasható le a beállított hőmérséklet.

Mivel az egység teljes átépítését tűztük ki célul, ezért a régi termosztát kiváltására egy KO33 jelzésű rozsdamentes acélból készült új tartályt terveztünk. Ez magába foglalja a hőközlő folyadékot, a szivattyút, a fűtőbetétet és a hőmérő egységet. A tartály oldalán elhelyezésre kerül 2 csatlakozó pont is, amihez a rozsdamentes anyagból fűtőcső csatlakoztatható.

A tartály fedelén kap helyet a digitális ipari termosztát, amellyel 0,1°C pontossággal lehet szabályozni a fűtött víz hőmérsékletét. A digitális termosztát DIXELL XR01-02CX típusú relés kimenete a fűtés vezérlésére szolgál. A készülék 1 db NTC szonda bemenettel és egy digitális bemenettel rendelkezik. A készülék teljes mértékig és könnyen konfigurálható a billentyűzet vagy a HOT KEY programozókulcs segítségével beállítható paramétereken keresztül. [4]

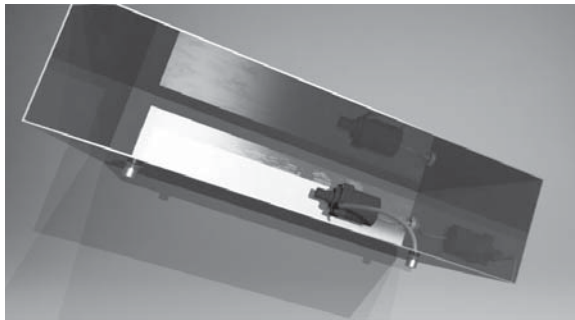
A fedélre kerül rögzítésre a fűtőbetét is. [5] Olcsó és egyszerű megoldásként egy olaj és vízmelegítőben használt 2 x 750W-os a fűtőszálat választottunk, amit a digitális termosztáttal egyszerűen lehet vezérelni. (3. ábra)



3. ábra Fűtőbetét és termosztát beépítése (Forrás: saját kép)

A folyadék áramoltatásához egy 12V-os egyenárammal működő 14W teljesítményű 500 l/óra szállítási teljesítményű szivattyú került beépítésre, amit a tartály aljára helyezünk (4. ábra). Műanyag csővel történik a nyomóoldali

csatlakozó csomagtű és a tartály elmenő oldali ágának összekötése.

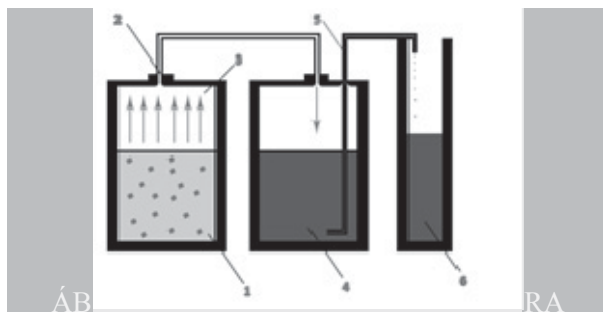


4. ábra Szivattyú elhelyezése a puffertartályban (Forrás: saját kép)

Az új temperáló egység pontosabban szabályozható, nagyobb teljesítményű fűtést kapott, amivel hamarabb képes elérni az üzemi hőmérsékletet. A szivattyú, mivel a tartályban kap helyet csendesebb, mint elődje.

3.2. A termelt biogáz mennyiség mérése

Jelenleg a blokkban a gáz mennyiségi mérése a szakirodalomban bevált térfogat kiszorítás elve alapján valósult meg. [6] A módszer alkalmas párhuzamos, összehasonlító mérések kivitelezésére. A fermentlevet tartalmazó edényt (1) egy furatos kupakkal és egy szilikonlappal zárjuk le és tömítjük. A szilikonlapba egy injekciós tűvel ellátott szilikoncsővet (2) szúrunk, amely cső egy szilikondugóval ellátott edénybe vezet át a termelt gázelegyet (3). A második üvegedény (4) aljára levezetünk egy másik csövet (5), amely a korábban említett szilikon záródugón keresztül egy harmadik edénybe (6) továbbítja a termelt gáz által kiszorított vizet. (5. ábra)

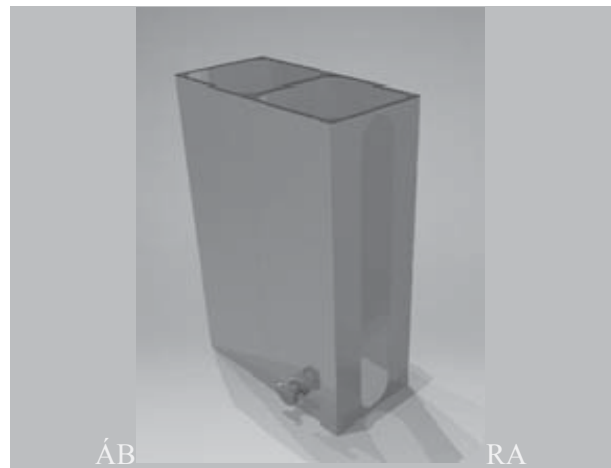


5. ábra A batch mérés jelképes működési ábrája és fényképe (Forrás: saját kép)

A térfogat kiszorítás elve alapján működő gázhozammérés a középső „vizes” üveg

mindennapos megbontásával majd újra zárásával hibát vihetett a rendszerbe. Továbbá a számtalan elvégzett mérés alapján kiszámítottuk, hogy a teljes kísérlet alatt egy 400ml-es reaktorban fejlődött biogáz legfeljebb 2l vizet nyom át.

A fenti észrevételek alapján a két mérőüveg egy közös tartályban lett kialakítva, amik megnövelt összterfogatára 6 liter lett. A mérés továbbra is térfogatkiszorításos elven valósul meg, viszont a kiszorított víz mennyiségét nem mérleggel, hanem a víz szintjének mérésével valósítottuk meg. (6. ábra)



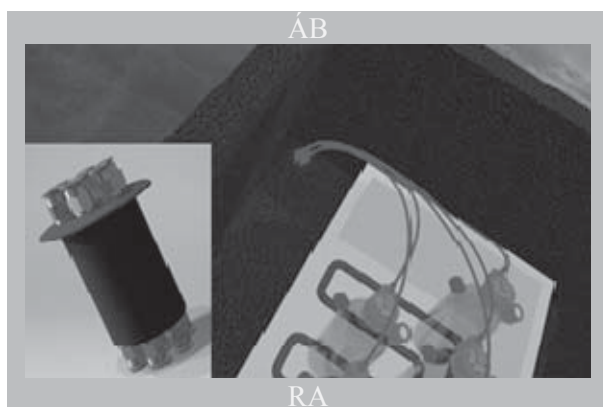
6. ábra Ikertartályok (Forrás: saját tervezés)

Az optikai távolságmérő műszerek olcsók, kicsik, és pontosak, valamint igen széles távolsági tartományban használhatók. A kiválasztott optikai szenzor Sharp GP2Y0A41SK0F típusú háromszögletes elven működő optikai távolságmérő egység. Egy LED megvilágítja a szenzor elé helyezett testet, a test által visszavert fényt a szenzorba épített vevőegység érzékeli, ennek hatására analóg feszültség jelet ad ki a távolság függvényében. [7] Az ikertartály mérőcellájában egy fehér bevonatú poliuretánhab úszóként szolgál, ezt a felületet fogja a szenzor látni. Ezen a tartályon kapott helyet egy referencia csavar is, a mérőcella vízszintjének beállítása végett. A tartály oldalához hegesztett rozsdamentes karimával csatlakozik.

A közvetett mérési eljárás miatt a beérkezett jeleket át kell alakítani. Ezeket egy Velleman K8047 típusú négycsatornás rögzítő dolgozza fel, ami USB kábellel egy számítógéphez csatlakoztatható. Az így mért feszültség értékek már digitális formában

jeljenek meg egy text fájlban. Ehhez szükség van a PCLab2000Se nevű software-re, ami a négycsatornás rögzítőhöz tartozik.

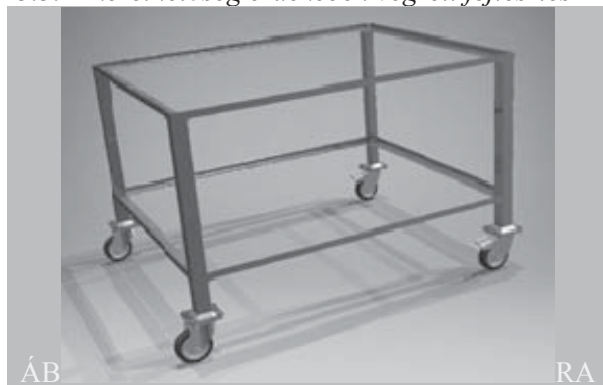
Az átlagosan 2 hetes kísérleti időtartamból kiindulva a feldolgozni kívánt mérési adatok száma a legnagyobb mintavételezési idővel számolva is meghaladja a 86000-et reaktoronként. A kiértékelés során indokolatlanul sok mintát kéne bevinni, valamint a grafikus ábrázolás is problémába ütközne. Emiatt Python programozási nyelv használatával készítettünk egy fájlt, ami képes minden 360. időpillanatban mért adatot kiemelni a listából és továbbítani egy külön text fájlba. Ezzel a módszerrel már csak 240 adat marad, amit lényegesen könnyebben kezelhető.



7. Gázátvezető dugó és beépítése (Forrás: saját tervezés)

A keletkező gáz, pneumatika csöveken áramlik a tartályokba. Ennek szivárgásmentes biztosítását a ládán belülről egy pneumatika csatlakozókkal ellátott esztergált műanyag-dugó (7. ábra)

3.3. A kezelhetőség érdekében végzett fejlesztés



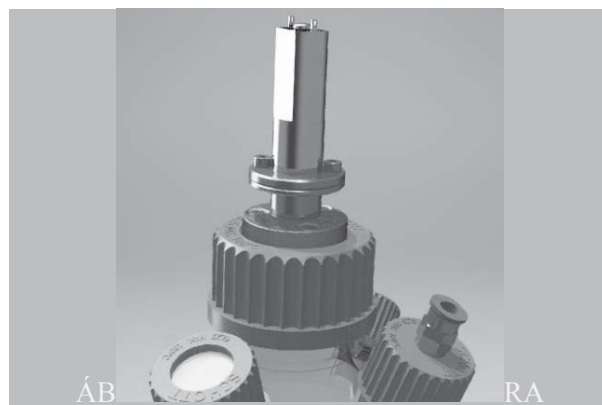
8. ábra Rögzíthető guruló állvány (Forrás: saját kép)

A berendezés méretéből és súlyából adódóan a mozgatása több embert igényelt. Gyártottunk a reaktorblokkhoz egy keretet, amely kerekeken gurul, de igény esetén rögzíteni is lehet a fékek segítségével. A keret alsó részén is található egy polcnak kialakított rész, ide kerül egy beszabott bútorlap, amire helytakarékoság szempontjából az ikerartályok kerültek. (8. ábra)

3.4. A reaktortér keverése és a vezérlés

A fejlesztett reaktornál individuális keverési módot választottunk. Minden reaktorra, egy adapterrel felszerelt 6V tápfeszültségű 30 1/min fordulatszámú bolygóműves modellezésnél alkalmazott mikromotort terveztünk.[8] Ezzel a megoldással akár minden reaktorban külön-külön beállítható a keverés és annak fordulatszámja is. (9. ábra)

A párhuzamosan indított, összehasonlító mérések bővítési lehetősége miatt cél a reaktorok számának 8-ról 12 üvegre növelése. Ebből számolva a tápegységnek 12 motor teljes terhelésénél hozzávetőlegesen 8A-t kell tudnia, így biztonsági szempontból minimálisan 15A névleges áramú tápegységre van szükség. Ezen paraméterek alapján az RSP 5V/75W/15A típusú tokozott tápegységet választottuk.



9. ábra Keverőmotor beépítése (Forrás: saját kép)

A kiértékelés megkönnyítése érdekében további cél egy központi egységgel feldolgozni az összes beérkező adatot, valamint egységes kezelőfelületet létrehozni. Ezzel a reaktorok pillanatnyi töltöttségi szintjét tudjuk megtekinteni, illetve a kísérlet kifizásával, a végső állapotot akár egy adathordozó eszköz segítségével egy másik számítógépre, akár hálózaton keresztül letölthetjük. Továbbá távolról vezérelhetővé tehető a keverés és a hőfokszabályozás is.

Ehhez alkalmas egy Raspberry Pi 4 Model B 4Gb típusú mikroszámítógép, valamint egy ARDUINO MEGA 2560 REV3 típusú mikrokontroller. [9] [10] Ezen eszközök segítségével, vezérelhető és ellenőrizhető a keverés és a töltöttségi szint, akár minden egyes reaktornál is. Továbbá a digitális termosztáton beállított hőmérsékletet is szabályozható.

A választott Arduino 16 analóg bemenettel és 54 digitális ki és bemenettel rendelkezik, ami alkalmas a 12 távolságérzékelő szenzor jeleinek feldolgozására, illetve a reaktorokon található keverő motorok vezérlésére. A szenzorok jeleit egyszerűen digitalizálás után továbbítja a számítógépnek.

A keveréshez viszont szükséges a dedikált tápellátás, ugyanis a motorok összesen, hozzávetőlegesen 8A áramot igényelnek, így a mikrokontroller mellé szükség van egy külön elektronikai egységre, amely 12db MOSFET segítségével, digitális jel hatására, képes a motor tápfeszültségének kapcsolására.

8. ÖSSZEGZÉS ÉS TOVÁBBI TERVEK

A kész berendezés alkalmas akár 12 kísérlet párhuzamos lefuttatására, melyhez az összes szükséges funkció egyetlen számítógépről vezérelhető akár távolról is, illetve a paraméterek leolvashatók.



10. ábra Teljes berendezés összeállítva
(Forrás: saját tervezés)

Nem szükséges kísérlet közben megbontani az egységet, ugyanis a növelt térfogat lehetővé teszi, hogy nagyobb mennyiségű folyadékot tároljunk a víztartályban, mint a keletkező gáz mennyisége, amivel csökkenthetjük a hibalehetőségeket. A vízfürdő hőmérséklete a digitális termosztáttal pontosan szabályozható,

ami fontos a reprezentatív mérések kivitelezéséhez. Az új szivattyú pedig csendesebb. A berendezést egy egységként lehet kezelni, mozgatni, ha szükséges akár egy ember számára is. (10. ábra)

9. IRODALOM

- [1] Bai A.: A biogáz, 2007 Száz magyar falu könyvesháza, ISBN 978-963-7024-30-6
- [2] Mónika Bakosné Diószegi, Miklós Horváth: Experiments with a Newly Developed Biogas Reactor Block, ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA 12: (1) pp. 175-188.
- [3] VDI 4630 – Szerves anyagok fermentálása - A szubsztrátum jellemzése, mintavételezés, lényeges adatok gyűjtése, fermentációs tesztek, p. 58., Verein Deutcher Ingenieure, Düsseldorf, (2006)VDI 4630
- [4] „Inter Thermo KFT,” 15. Október 2019.. [Online]. Available: <https://inter-thermo.hu/digitalis termosztat dixell xr 06cx5 szondaval 88DI.XR006CX230>.
- [5] „Szinimpex,” [Online]. Available: <https://webshop.futoszalak.hu/Futobetetek-ipari-viz-es-olaj-melegitokbe-2x750-W>. [Hozzáférés dátuma: 20. Október 2019.].
- [6] OjikutuAbimbola, Osokoya Olumide Evaluation of Biogas Production from Food Waste The International Journal Of Engineering And Science (IJES) ISSN (e): 2319 <http://www.theijes.com/papers/v3-i1/Version-2/A030102001007.pdf>
- [7] Sharp GP2Y0A41SK0F optikai szenzor https://hu.farnell.com/sharp/gp2y0a41sk0f/sensor-distance-analogue-output/dp/1618431?gclid=CjwKCAiA0svwBRBhEiwAHqKjFtNijLyC1XC0Sc94-Jg-JJuu8q9GQ1syPAPMX7mI4qVKVEMrM-r4phoC8UQQAvD_BwE&mckv=slkcnuu7a_dc|perid|301811266682|keyword|+gp2y0a41sk0f%20+sharp|match|b|plid||slid||product||pgrid|60719818955|ptaid|kwd-438843183104|&CMP=KNC-GHU-GEN-SKU-MDC
- [8] 25. Október 2019.. [Online]. Available http://www.elektrobot.hu/termek.php?filename=nyomatek_motor_B_30rpm.html&i=298
- [9] 20. Október 2019. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/>
- [10] „2019 Arduino,” 20. Október 2019.. [Online]. Available: <https://store.arduino.cc>

A PROJEKT ALAPÚ OKTATÁS TAPASZTALATAI

EXPERIENCES WITH THE PROJECT BASED LEARNING

Dr. Czifra György, mestertanár
Hervay Péter, egyetemi docens
Varró Csaba mérnökstanár
Mészáros Béla mérnökstanár

ÖSSZEFOGLALÁS

A kedvező tapasztalatokból kiindulva és a pozitív hallgatói visszajelzésekre alapozva a Gyártóberendezések és rendszerek tantárgyban mindkét félévben bevezettük a projekt alapú feladatmegoldást. Az első félévi feladatok témája egy adott munkadarab pozicionálása volt a megadott feltételekkel és korlátozó paraméterek figyelembevételével. A második félév egy célgép tervezési feladat volt, az egy évvel ezelőtti tanulságok és tapasztalatok hasznosításával.

ABSTRACT

Based on positive experiences and based on positive feedback from our students we introduced a project-based learning method in both semesters of our subject - Manufacturing Equipment and Systems. The first semester assignments were focused on positioning a workpiece with the given conditions and constraints. During the second semester project teams formed by the students were working on a project of a single purpose machine tool.

1. BEVEZETÉS

A szakmai követelményrendszer megfogalmazását - Varró Csaba és Hervay Péter kollégák vállalták, a projekt alapú kialakítást, az ezzel összefüggő oktatást és munkaszervezést Dr. Czifra György valósította meg. Elvégeztünk egy összehasonlítást, hiszen alkalmunk volt vizsgálni ugyanazon tantárgy keretében ugyanazon hallgatók körében két különböző feladat megoldásának módját, ugyanazon projekt alapú módszer segítségével. Közleményünk ennek a feladatnak a megoldását, értékelését mutatja be. Megfogalmazunk néhány alapvető kérdést is, bár válaszokat nem ígérünk... Tapasztalataink megegyeznek a legelső kísérletben észleltekkkel, csak sokkal árnyaltabb formában és több adattal alátámasztva jelennek meg:

minden, a tantárgyat felvett hallgató aktívan dolgozik, bekapcsolódik a munkába és felelősséget érezve a társai tevékenységéért dolgozik a projekt sikeres befejezéséért. Megjelent néhány probléma, melynek elemzését és megoldását is bemutatjuk a minél teljesebb kép kialakítása érdekében.

A modern értelemben vett projektpedagógia alapjait a pragmatista filozófia és pedagógia megteremtője, John Dewey rakta le, aki chicagói kísérleti iskolájában a XIX. század végén fejlesztette ki a módszer egyes elemeit. A módszer elméleti alapjait és a gyakorlat módszertanát követője, Kilpatrick fektette le 1919-ben megjelent „The project method” (A projektmódszer) című könyvében. A módszer magyar vonatkozása Tessedik Sámuel nevéhez fűződik – ő a diákok önálló munkájára alapozta iskolájának rendszerét. Mi az előbbi hagyományokra alapozva egy hagyományosan a magas szakmai és tudásbeli követelményeket támaztó tantárgyat kiszemelve, átalakítottuk annak oktatási módszertanát. Először a Gyártóberendezések és rendszerek II. tantárgyat alakítottuk át a projektmódszer elvárásainak megfelelően. Ez a tárgy mindig is a nehezen teljesíthető tárgyak közé tartozott, hiszen a hallgatók előző tanulmányaira épít, mintegy összesíti, rendszerbe foglalja az addig elsajátított elméleti és gyakorlati ismereteket.

Az elért eredményeken fellelkesülve, időt és fáradságot nem kímélve a Gyártóberendezések és rendszerek I. tantárgyat is átalakítottuk, és belefogtunk a következő kísérletbe. A módszertant a már eredményesnek bizonyult és pozitív tapasztalatokat szolgáltatató első kísérlet alapján alakítottuk ki. Cikkünk meghatározó része a hallgatói kérdőívre adott válaszok feldolgozása.

Jelen pillanatban ugyanannak a tantárgynak négy féléves projektmódszerrel

folyó oktatásáról rendelkezünk gyakorlati tapasztalatokkal, hallgatói visszajelzésekkel, amelyek feldolgozása nagyban segíti az oktatás módszertanának továbbfejlesztését.

Érdemes megjegyezni, hogy először van a kezünkben olyan anyag, amely ugyanazon hallgatók két féléves munkáját értékeli, egy tantárgy keretei között. Az eredményekből érdekes következtetéseket lehet levonni. Eddigi tapasztalataink kedvezők, a legnagyobb eredmény - hasonlóan előző évhez - az, hogy a tantárgyat felvett hallgatók aktívan dolgoznak, bekapcsolódnak a munkába és felelősséget érezve a közös projektért dolgoznak a cél elérése érdekében. Sajnos ebben a félévben egy hallgató feladta – egyéni akadályoztatásra hivatkozva megszakította a munkát, nem kis gondot okozva ezzel projektben együttműködő társainak.

Programunknak az elmúlt évhez hasonlóan az együtt gondolkodás és kölcsönös felelősségvállalás lett a hozadéka. Ez a tény továbbra is arra motivál minket, hogy folytassuk, fejlesszük a módszert a megszerzett tapasztalatokra építkezve, annál is inkább, hiszen elérkezett az a félév, amelyikben a hallgatók a mi tantárgyunkon kívül a Projektfeladat tantárgy keretében egy másik, hasonlóan nagyfokú önállóságot, kreativitást és szakmaiságot megkövetelő feladatot oldanak meg.

2. A PROJEKT ÉS A KERET

Az őszi félévben a feladat egy adott, véletlenszerűen választott alkatrész pozicionálása a félig rendezett állapotból egy meghatározott helyzetbe a lehető legegyszerűbb megoldással, megfelelő mechanizmusok felhasználásával. Ebben az esetben egy tervezőiroda működését modelleztük, ahol mi – tanárok – alkottuk a főtervezők csapatát, az egyes csapatok pedig a feladatot megoldó kis műhelyek voltak. A csapatok szervezését a hallgatók teljesen önállóan oldották meg. Az első gyakorlaton kiválasztották és megnevezték maguk közül a projektvezető személyét. A továbbiakban a főtervezők a projektvezetőkön keresztül kommunikáltak a csapatokkal, a változásmenedzsmet munkáját a projektvezetőkkel végeztük el. A tantárgy első előadásán ismertettem a projektmunka alapjait, hogyan épül fel egy projekt, hogyan kell időtervet készíteni, milyen szoftvert lehet alkalmazni a projekt munkafázisainak

követésére. Mindezt csak ajánlásként fogalmaztuk meg, egyetlen kötelező elemmel – időtervet kötelezően kellett készíteni. A játék szabályai szerint a kötelező projektmegbeszéléseken mindenki részt vett, viszont az egyes projektek vezetői öt diából álló bemutatóval számoltak be a csapat munkájáról. Az első alkalommal be kellett mutatni az időtervet, a munkabeosztást, kinek mi a feladata a csapaton belül, milyen koncepciót készített elő a feladat megoldásához. A munka során fokozatosan születtek az egyes megoldások, lassan tisztult a kép.

3. GYAKORLATI TAPASZTALATOK- ŐSZI FÉLÉV

Az első kísérlethez hasonlóan a gyakorlatok során rengeteg olyan kérdés merült fel, amelyek egyéni konzultációkon vagy el sem hangzottak volna, vagy csak azokkal a hallgatókkal konzultáltak volna, akiket éppen érintettek. A nyitott, mindenki által követhető, diasorozattal alátámasztott problémafelvetések olyan kérdésdömpinget és vitát generáltak, amire most már volt példa, hiszen a megelőző félév komplexebb feladatát már megoldottuk ugyanilyen módon. A csapatok meglepően aktívak voltak, láthatóan kialakult az egymás munkája iránti felelősség, az egymás munkájának megbecsülése, a kölcsönös együttműködés és az egymásrautaltság érzése. A feladat megoldása jó ütemben haladt, a kötelező – mérföldkőként meghatározott – projektellenőrző értekezletek egyre precízebbeké váltak, a beszámolók és a kérdések tárgyszerűek voltak, a résztvevők pedig aktívak és merészek. A tárgyalások hangulata meglepően jó volt, a modell működőképességnek bizonyult.

Az utolsó előtti projektértekezleten a feladat lezárásra került, következett a leadás. A kidolgozott dokumentáció meglepően jó színvonalon került kidolgozásra, jó eredmények születtek.

Az utolsó projektértekezleten a projektek vezetői bemutatták a csapatok munkáját, értékelték az egyes csapattagok hozzájárulását a közös munkához. Az összefoglalás után egy rövid szóbeli értékelést tartottunk, majd felhívtuk a csapatokat, hogy töltsék ki a részükre elkészített internetes kérdőíveket.

4. GYAKORLATI TAPASZTALATOK-TAVASZI FÉLÉV

A tavaszi félévet az egy évvel ezelőttihez hasonlóan szerveztük, a projekt keretét egy képzeletbeli vállalat adta, melynek üzleti képviselőjét – a megrendelő szerepét – kollégáim és jómagam vállaltuk magunkra. Csatlakozott hozzánk Mészáros Béla kolléga, aki Hervay Péter kollégánk akadályoztatása miatt vállalta az egyik megrendelőt képviselő szakember szerepét. Egy gépalkatrészek tömeggyártásával foglalkozó cég képviselőiként megfogalmaztuk igényünket egy célgépre, amely a katalógusból választott alkatrész gépi megmunkálását végzi teljesen automatikusan. Több különböző alkatrészt kívántunk gyártani, így többféle célgépre való megrendelést készítettünk elő. A hallgatók vállalták a célgépeket tervező kisvállalkozások szerepét, 3-4 főből álló tervezői csapattal kellett megoldani a feladatot. A csapatokat az őszi félévben kialakított kollektívák alkották, tehát a hallgatók két féléven keresztül dolgoztak egy csapatban. Volt olyan csapat, amely feloszlott és más csapatok embereiből verbuváltak új tímet. Ennek szervezését a hallgatók teljesen önállóan oldották meg. Az első gyakorlaton kiválasztották és megnevezték maguk közül a projektvezető személyét. A továbbiakban a megrendelők a projektvezetőkön keresztül kommunikáltak a csapatokkal, a változásmenedzsment munkáját a projektvezetőkkel végeztük el a jól bevált módszer szerint.

A tantárgy első előadásán ismét bemutattam a projektmunka alapjait, ebben az esetben már kötelező volt az első alkalommal még csak ajánlott szoftvert alkalmazni a projekt munkafázisainak követésére. A csapatok megkapták az előre definiált gyártandó alkatrészek méreteit, anyagát, összes jellemzőjét, amely a gyártáshoz szükséges. A megrendelők kívánsága alapján a célgép négy fő egységből épül fel, mégpedig egy főegységből – ez maga a megmunkálást végző gépek komplexuma, egy a munkadarabot a megmunkálás során rögzítő befogókészületről, egy az előgyártmányt és a kész gyártmányt cserélő manipulátorból, valamint a forgácskezelő egységből. Az egyes részegységek megtervezését a csapattagok önként vállalták el.

A játék szabályai szerint a kötelező projektmegbeszéléseken mindenki részt vett, viszont az egyes projektek vezetői tíz diából

álló bemutatóval számoltak be a csapat munkájáról. Az első alkalommal be kellett mutatni az időtervet, a munkabeosztást, kinek mi a feladata a csapaton belül, milyen koncepciót készített elő a feladat megoldásához. A megrendelő szerepében mindhárman kérdeztünk, javasoltunk, kértünk, a teljesítő szerepében a projekt vezetője válaszolt, vitázott, védekezett, indokolt. A hangulatra jellemző volt, hogy a többiek is bekapcsolódtak a vitába, érveltek, vitatkoztak. Igazi „agyvihar” hangulat uralkodott, én magamra vállalva az időmérő szerepét, minden időkorlátot – kis kivétellel – sikerült betartani. Minden csapat sorra került, gyakorlatilag szoros munkarenddel sikerült elkerülni az egy évvel ezelőtti problémát, amikor néhány csapat időhiány miatt nem tudott beszámolni megfelelő részletességgel a munkájáról. Minden csapattag saját tervezői naplót vezetett, melynek ellenőrzését a kéthetente zajló kötelező értékelő projektértekezlet alkalmával végeztük el és aláírással hitelesítettük. A folyamatos ellenőrzés megfelelő motivációnak bizonyult, a feladat megoldásának rendszere jól működött. Összesen hat értékelő értekezletet tartottunk, az utolsón a projekt bemutatása és a kész munka leadása zajlott. A módszerek megegyeztek a legelső, illetve a második (őszi) félévben kialakítottakkal.

5. A KÉRDŐÍV

A projekt értékelését egy kérdőív segítségével terveztük megoldani. Kíváncsiak voltunk, hogyan értékelik a hallgatók az új helyzetet, az új kihívásokkal hogyan tudtak szembenézni.

A kérdések – az összehasonlíthatóság érdekében megegyeztek az első kísérletnél feltett kérdésekkel. A kérdéseket külön nem tüntetjük fel, a kiértékelésbe integráltuk őket.

6. KIÉRTÉKELÉS

1. Volt - e már alkalma projektfeladat formájában csapatban megoldani feladatot a BGK-n belül?

Erre a kérdésre 24% nem és 76% igen válasz érkezett, ez azt jelenti, hogy voltak olyan hallgatók a csoportban, akiknek már volt alkalma ilyen jellegű feladat megoldásában részt venni.

2. Milyen véleménye alakult ki a projektfeladat típusú munkaszervezésről?

Az értékelést egytől ötig terjedő skálán kellett bejelölni, az ötös a maximális elégedettséget

jelenti. Erre a kérdésre 38% négyes, 58% ötös osztályzatot adott, ami azt jelenti, hogy a hallgatók véleménye 96% nagyon pozitív. Ez biztató a jövőre nézve.

3. Kérem, POZITÍV értelmű véleményét röviden itt ismertesse!

Mivel minden kérdésre kötelezően kellett válaszolni, a véleményt is közölni kellett. A legjellemzőbb válaszokból idézek:

„Nagyon hasznos volt, hogy nem csak az adott tantárgy ismerete kellett a feladat megoldáshoz, és a feladat igényelte az átfogó mérnöki gondolkodást, és ha nagyon minimálisan, de ízelőt kaptunk abból, hogy miként zajlik egy ilyen feladat a való életben. Nem tudom a tantárgy szempontjából mennyire hasznos információ, de személy szerint nekem óriási löketet adott lelkiileg ez a feladat, mert végre úgy éreztem, hogy "mérnök" vagyok, és tényleg alkotok valamit. Ebben plusz segítség volt, hogy most éreztem először az egyetemi tanulmányaim során, hogy az oktatók, ha nem is egyenlő félként, de nem úgy kezeltek minket, hogy "maguk ehhez nem értenek, és ne is akarjanak, legyen meg a kettes és többé ne lássam magukat", hanem "maguk ehhez nem értenek, de tessék itt van ez és ez a segítség, próbálják meg így megoldani" és sikerült, meg tudtuk végül oldani.”

„Remek kezdeményezés! Sokkal közelebb áll a valós munkahelyi kihívásokhoz, és segít felkészülni a szakdolgozatra is.”

„Jó, hogy van lehetőség a folyamatos konzultációkra a gyakorlatokon. Nagyon hasznos és érdekes órának tartom.”

„Gyakorlatiasabb ismeretszerzés lehetőségét kínálja, életszerűbb helyzetet felvázolva, mint egy hajtóműtervezés. Sokkal inkább mutatja a tárgy hasznosságát, mint a korábbi gybr.”

A válaszokból egyértelműen kirajzolódik a projektben gondolkodás pozitív hatása.

4. Kérem, NEGATÍV értelmű véleményét röviden itt ismertesse!

Természetesen vannak negatív vélemények is, ezek rendkívül hasznosak, hiszen a további fejlődést ezekre alapozva lehet megtervezni.

Ismét idézek:

„Határozottabb visszajelzést kérünk az oktatóktól abban az esetben, ha x db opció közül lehet már választani és ezzel megoldódna a feladat túl sokáig való őrlése és a határidőből való kicsúszás. Továbbá szükség lenne egy mintára, mert pl. a számolások

részeknél jól jönne a részletességet látni, hogy mit követelnek, mert tapasztalat szerint a szöveg formázások Word és Excel több időt tudnak elvinni, mint a probléma megoldása.”

„Egyetlen negatívumot tudnék csak említeni, de ezt részben megértem, mert először volt ilyen, ebből a tantárgyból. A követelmény rendszer nem teljesen megértett, változott a hetek alatt. Esetünkben 4 hét alatt 4 különböző koncepciót mutattunk be mert a kiinduló állapot nem volt tisztázott. És a végső állapot is csak a 8. héten tisztázódott, így eléggé megcsúsztunk, nehéz volt az időtervet tartani.”

„ha rossz csapatot fog ki az ember, akkor nyűg az egész”

A válaszokból látszik, hogy erősen megosztottak a nézetek, viszont tanulsággént leszűrhető, hogy mit kell nekünk – megrendelőknek figyelembe venni, amikor megszervezünk egy ilyen feladatmegoldási eljárást.

5. Milyen pozitívumokat emelne ki a csapatmunka során tapasztaltakból?

A pozitív vélemények sokat elmondanak:

„Nem az első team munkám volt már, viszont az első olyan, hogy 2 főnél több ember alkotta a team-et. Egész jól működött a munkamegosztás, még így több ember között is. Fontos, hogy megbízható, értelmes emberek alkossák a csapatot, ez idén nálunk rendben volt. Kreativitás és a logika jellemezte a kis csapatunkat. Volt, hogy sörözés közben, vagy valamelyik random órán unalmas perceinkben is egymást motiválva ötletet-ötletre halmozva szórtuk a gondolatokat. Nyilván nem volt mindegyik jó, de azt hiszem ez elengedhetetlen része volt a feladat teljesítésének. Még egy fontos dolog, hogy felismerjük és tisztában legyünk azzal, hogy mi mégis mit vállalunk el a feladatból, azaz, hogy mihez értünk kicsit jobban. Modellezés, mechanikai számítások, munkahengerek, egyedi készülékek tervezése stb.”

„Összességében jó csapatot alkottunk, ha valaki előre szólt, hogy nem fogja tudni elkészíteni a rá kiszabott részt a felállított határidőig, a csapat többi tagja lelkiismeretesen felosztotta a megmaradt részt egymás közt. Emellett több alkalommal is volt, hogy a közös megbeszélések után más tárgyakból is átbeszéltük a dolgokat, ezzel segítve egymást a félév során.”

A válaszokból egyértelműen kiszűrhetők azok az előnyök, amelyek miatt érdemes foglalkozni a projekt alapú munkaszervezéssel.

6. *Milyen negatívumokat emelne ki a csapatmunka során tapasztaltakból?*

Nagyon fontos információ: „A Gantt diagramban egy elég hasznos kis időbeosztást lehet összeállítani, viszont nem mindig sikerült tartani magunkat a kitűzött időpontokhoz. Nyilván közrejátzott a többi tantárgy is.”

„Időpont egyeztetések a kollégákkal”

„Nem egyenlő feladat megosztás.”

„nem mindig egyezett a tanárok véleménye a projekt megoldással kapcsolatba egyik héten még jó valami következően nem, jobb lenne, ha egy tanár tartana egy órát nem 2-3”

„Úgy láttam, ha valaki linkebb csapattagokat kapott akkor az nagy hátrány és hiába van bent az egy szorgalmas, a másik kettő vagy akár egy magával ránthatja a többit.”

„Elég nehéz volt az időnket összeegyeztetni, főleg úgy, hogy a mi csapatunkban a 4 emberből 3 dolgozik is a tanulmányai mellett. Plusz mivel mi ezelőtt nem ismertük egymást, össze kellett csiszolódni, ami nem a legegyszerűbb feladat volt ennyi idő alatt.”

„A csapattagok közti kommunikáción még dolgozhatunk következő félévben :-/”

„Néha keveset aludtam. :-)”

A válaszokból kitűnik, hogy a koordináció problematikus lehet, viszont sokan kiválóan és operatívan oldották meg a feladatot, skype vagy más, internetes kommunikációs csatornával.

7. *Mely tantárgyakból kívánt több ismeretet a feladat megoldása?*

Ismét idézünk: „Valamilyen alapozó tárgy jó lenne. FTSZ/FOTA/Géprajz számomra nem szolgált sok segítséggel a házfeladat megoldásához.

Leginkább mechanikai ismereteket igényelt, például a munkadarab mozgásának leírásához.

A szilárdsági méretezés nem volt túl nagy kihívás, lévén, hogy igen kicsi tömegű darabbal dolgoztunk.

3D modellezés, Anyagtudományi ismeretek, Géprajz és gépelemek, Gyártóberendezések ismerete, Mechanika, anyagtudomány, Irányítástechnika, CAD-CAM modellezés, FTSZ, FOTA, GYBR”

A válaszok önmagukért beszélnek, ez nem változott.

8. *Milyen témakörökből tapasztalt hiányosságokat (előadás-gyakorlat hiánya) a feladat megoldása során?*

Nagyon sok elgondolkodtató választ kaptunk, át kell tekinteni a tárgyak előadásanyagát és a gyakorlatok tematikáját is.

„Igazából mindenről volt szó előtanulmányainkban, csak épp nem elég alapos. Mechanikát és gépelemeket nagyon kell tudni.”

Összhangba kell hozni a projektfeladattal, a szorosabb időkontroll is meghozta az eredményt. Oly mértékű csúszás, amely veszélyeztette volna a feladatok megoldását, nem következett be.

9. *Milyen CAD rendszert alkalmazott a megoldás során?*

A válaszadók legnagyobb része CATIA-t használt, többen Inventort illetve SolidEdge programot használt.

10. *Milyen pozitív tapasztalata volt a használt CAD rendszerrel kapcsolatban?*

Érdekes vélemények: „A Catia és a SolidEdge nagyon jól kezelhető volt együtt az .stp formátumnak köszönhetően, az AutoCaddel pedig gyorsan tudtunk egyszerű ábrákat készíteni a dokumentációhoz.

Rengeteget fejlődtem a feladat teljesítése során Egész jól ismerem a programot, így újabb pozitív tapasztalatot nem szereztem vele a feladat megoldása során.

Műhelyrajz és összeállítási rajz gyors megvalósítása, a kész modell összeállítása és az animáció befejezése után a munka gyümölcsét látni kész öröm volt.”

A pozitív tapasztalatok közül kiemelnénk, hogy az egyféle szoftvert alkalmazó csapatok könnyen tudtak adatokat cserélni egymással, a különböző rendszereket alkalmazók viszont megoldották a kommunikációs problémákat, a műszaki feladat mellett.

11. *Milyen negatív tapasztalata volt a használt CAD rendszerrel kapcsolatban?*

Külön elemzés helyett idézünk:

„Néha lefagy, (ezért mentettem mindig) Összeállításban merültek fel problémák.

néha összeakadnak benne a dolgok és nem engedte, amit akartam máskor ugyan azt igen (lehet saját hibából), sokkal összetettebb, mint az általam használt rendszerek, sok gyakorlatot igényel

Összességében nem tartom jó szoftvernek a Catia-t. Sok felhasználói felület nem ott vagy nem is található meg, mint más korszerű programokban.

Rengeteg parancsra magunktól kellett rájönnünk, hogyan használjuk, ami rengeteg időt emésztett fel. A rendszer sokszor furcsa hibákat észlelt, amiket nehezen tudtunk megoldani.

A CATIA és az Inventor között történő fájl cserék során a kényszerek eltűntek a modellről.”

A feladat meghatározásánál tekintettel kell lenni a hallgatók műszaki háttérére, nem lehet erőforrásaikat meghaladó feladatok elé állítani őket, viszont nagyon találékonyak, kreatívak, ha a helyzet úgy kívánja. Többen presztízskérdésnek tekintették egy-egy probléma megoldását.

12. Milyen további ismeretekre lenne szüksége a használt CAD rendszerrel kapcsolatban?

Fontos információkhoz jutottunk a válaszokból:

„A program minél több funkcióját szívesen megismerném. (Pl. animáció készítése)

Én el tudnék képzelni még egy Catiás tárgyat a CAD-CAM modellezés alapjai és a CAD technikán kívül.

Szabad formájú felületek modellezésének elmélyítése.

Alapbeállítások elsajátítása: beállítani, hogy a használt anyagra egyből rákérdezzen, aktuális dátumot és egyéb makrókat beírni a rajzra, rajzkeret szerkesztése).”

Azt gondoljuk, a válasz rendkívül figyelemre méltó, módosítanunk kell a CAD-CAM portfóliónkat. Jelen pillanatban a SolidEDGE és EdgeCAM szoftverek oktatását is bevezettük, egyelőre szabadon választható tárgyként – az érdeklődés nem csökken, már a negyedik félévet hirdetjük meg 20 fős létszámmal.

13. Mennyire volt megterhelő a feladat megoldása a projekt - módszer segítségével?

Szerencsére a válaszok alapján a vélemény sokkal pozitívabb, mint vártuk:

„A feladat közepesen megterhelő volt.”

14. Mi a véleménye projektmunka elején felállított ütemterv hasznosságáról?

Az ütemterv kialakításakor nagyobb segítséget kell adni a csapatoknak, viszont most már rendelkezésünkre állnak azok az információk,

amelyek alapján korrigálni tudjuk a projekt felépítését. Ebben a feladatban a műszaki kérdések megoldásán volt a hangsúly, a jövőben nyitni kell a projekt értelmezése és jó felépítése irányába.

15. Jelentett-e nagyobb terhet az ütemterv karbantartása és kiértékelése?

Az ütemterv – ha megfelelően elő van készítve – nem okoz problémát.

16. Mennyire volt megelégedve a csapat többi tagjának munkájával?

A túlnyomó többség elégedett volt, 5-ös illetve 4-es értékkel. Az elégedettség záloga a jó csapatkonfiguráció. Ezért fontos a következő kérdés:

17. Milyen csapatösszeállítási módszert választana legközelebb?

A válaszadók mintegy 90%-a azt szeretné, hogy önállóan, maguk állítsák össze a csapatot. Ennek a módszernek nyilván az a hátránya, hogy szerveződhetnek olyan csapatok is, amelyekben a senki által nem kívánt karakterek gyűlnek össze, akik valószínűleg kudarcra lesznek ítélve. Ebben az esetben a gyakorlatvezetőknek kell megoldást találni, egyelőre keressük a lehetőségeket – egy esetben sajnos nem sikerült megoldást találni – viszont segíteni csak annak lehet, aki maga is igényli.

18. Hogyan értékeli a gyakorlatvezetők útmutatásainak hatását a munka folyamatára?

Egyértelműen látszik a pozitív motiváló hatás, ezt a gyakorlatot tovább kell erősíteni.

19. Mi a véleménye a nyitott, mindenki által követhető csapatkonzultációról?

Azt gondoljuk, ezt a típusú megoldást szélesebb körben is alkalmazni kellene. A vélemények megoszlása kísértetiesen hasonlít az első kísérletben tapasztaltakhoz.

20. Elhangzottak-e egymásnak ellentmondó tanácsok, vélemények a vezető oktatók részéről?

Ebben a kérdésben érdekes és elgondolkodtató válaszok érkeztek, a megoldás egyértelmű – meg kell húzni a határt a változások esetében, illetve az is kitűnik, hogy egy tervezői feladatot soha nem lehet véglegesnek tekinteni, és lehetetlen egyetlen jeggyel értékelni. A kérdés kiértékelése is ellentmondásos, ezen

még sok javítanivaló van. A műszaki jellegű problémák megoldására jellemző a nézetek megoldások különbözősége, adott esetben akár ellentmondásossága is. Ezt valószínűleg nem tudjuk orvosolni, ha meg szeretnénk tartani a megrendelők részéről kialakított csapatmunkát.

21. Helyesnek tartaná-e, ha valahol a kidolgozás folyamatának harmada körül a gyakorlatvezetők véglegesítenék a megoldásvariációk közül azokat, amelyeket Ön kiválasztott?

Egyértelműen ki kell tűzni olyan mérföldköveket, amelyek után már nem lehet változtatni és ötletelni – ezt a következő félévben meg is határoztuk, az eredményt értékeljük.

22. A feladat kiértékelését milyen módon oldaná meg? (Válassza ki a javasolt módot, lehet kombinálni is!)

A válaszok arra mutatnak, hogy meg kell tartani a vezető tanár általi egyénekenkénti értékelést, bevonva a csapat vezetőjét is – ez a kombinált módszer magas %-ban kapott támogatást, viszont egy tervezői feladatot nem lehet érdemjeggyel osztályozni a megoldások és a szakmai szempontok rendkívüli különbözősége miatt. A feladat az értékelés során három státuszt kaphatott: megfelelt, javításra visszaadva, nem felelt meg. A javításra visszaadott feladat elvi hibáktól mentes, kisebb eltéréseket tartalmazó lehetett. A nem felelt meg elvi hibákat tartalmazó, megvalósíthatatlan projekt volt. Az értékelés – összegzés még folyamatban van, az őszi félévben nem volt olyan projekt, ami nem felelt volna meg az elvárásoknak.

23. Milyen egyéb ötlettel javítaná a projekt alapú feladatmegoldást?

A lényegbevágó válaszokat kommentár nélkül közöljük, mert megszívlelendők.

„Ötletem sincs, bocsánat :-(. Úgy gondolom, hogy teljesen jól átgondolt követelményrendszer alakított ki a tanár úr. Eredményes volt, hogy nem csak a feladat leadásakor kellett bemutatni a teljes folyamatot, így rá voltunk kényszerítve, hogy foglalkozzunk a feladattal, emiatt nem is torlódott fel. A heti konzultáció is hasznos volt. Nem tudom kritikával illetni.

Szerintem mivel ez volt az első alkalom még sokszor az oktatók se voltak tisztában vele mit is kéne pontosan csinálnunk, így nekünk még

nehezebb volt kitalálni. Ha pontosan ismertetnék, hogy mi a feladat és azt, hogyan, milyen formában várják el tőlünk, az megkönnyítené a helyzetünket.

Konkrét ötletet nem tudnék javasolni, azonban azt mindenképp, hogy lehetne egy kicsit összeszedettebb a feladatkiírás. Értem itt ez alatt azt, hogy még a beadás előtti héten is történt változás a követelményekben. Illetve lényegében a második héttől kezdve mindig volt kisebb-nagyobb módosítás. Valamint a későbbiekben mindenképp úgy intézném, hogy egy csapat munkáját egy tanár felügyelje. Az mindenképpen hasznos, hogy több oktató is segít az ötletelésben, ezt a részét meg is tartanám. Azonban a kiszabott irányt mindig ugyanannak az oktátónak kéne meghatározni. A félév során többször is előfordult, hogy amit vittünk ötletet, az egyik oktató leszavazta és javasolt valami mást, majd a következő héten egy másik oktató meg azt szavazta le, és egy harmadik megoldást mondott. Annyiban jó volt ez, hogy ezáltal komplexebb képet kaptunk a feladról, azonban a határidők tartása szempontjából ez a módszer nagyon nehezen fenntartható.

Gyakorlatokon a konzultáció során az előadásokra legyen meghatározva keretidő, amiből nem csúszhat ki a csapat.”

A válaszokat a három félévre összesítve értékeltük ki.

24. Javasolná-e a projekt alapú feladatmegoldást egyéb tantárgyak esetében is, ha igen, melyikben?

A válaszokból kiderül, hogy a projekt alapú oktatásnak van elfogadottsága, ha megfelelően elő van készítve, illetve a hallgatók meglátása szerint is vannak olyan tárgyak, ahol ez nem alkalmazható – ismét az első felméréshez közelítenek az eredmények.

25. Amennyiben szeretne bármilyen megjegyzést vagy véleményt közölni, itt megteheti!

És végül az utolsó kérdés válaszai:

„Köszönöm, ezt a pozitív lökést, nagy szükség volt rá :)

Szerettem ezt a tantárgyat.

Köszönjük a tanár úr munkáját a félév során :) Remélem több tantárgyból is lehetőség nyílik projekt alapú feladatmegoldás készítésére.

Nem kívánok további megjegyzést tenni Összességében nekem a GBR I tantárgy nagyon pozitív volt tényleg megtapasztaltam

milyen csapatban dolgozni, mivel jó volt a csapatom mindenki tudta azt csinálni, ami az erőssége.

Másodszor vettem fel a GYBR tárgyat, előző alkalommal elsősorban a házi feladatba "buktam bele". Jó látni, hogy fejlesztik/fejlődik az oktatás(t).

Az elképzelést jó ötletnek találtam, a kivitelezésben még vannak hibák, amiket orvosolni kellene minél előbb.”

Azt gondoljuk, nem kell különösebb kommentár, több szakdolgozat összefoglalójában szerepelt a köszönetnyilvánításban, hogy a projekt-módszer nagyon sokat segített a szakdolgozat színvonalas elkészítésében.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Az összefoglalásként az eddigi tapasztalatokra alapozva kijelenthetjük: a projekt alapú oktatás szükségszerűsége egyértelműen kitűnik az elemzésből, az is látszik, hogy a hallgatók körében sokkal erősebb motivációt vált ki, ösztönzőleg hat a feladat megoldására. Önálló munkát kíván, közben megtanít együttműködésre, egymás munkájának elismerésére, megtanítja a résztvevőknek a csapatmunka lényegét. Mi, akik ebben a kísérletben részt vettünk, bizton kijelenthetjük, hogy működőképes és fejlesztésre érdemes modellt sikerült kialakítani, így a 2020-ban bevezetendő projekt alapú oktatás nem fog meglepetésként érni bennünket, felkészülten és gyakorlottan tudunk majd megfelelni a követelményeknek. Tapasztalatainkat szívesen megosztjuk másokkal is, kérjük, forduljanak hozzánk bizalommal.

A leírtakból nyilvánvaló, hogy ez az út helyes, folytatni kell a megkezdett munkát, folyamatosan fejleszteni kell a módszereket – természetesen a visszajelzések alapján.

Ezúton szeretnénk megköszönni kollégáinknak és a résztvevő hallgatóknak is az aktív részvételt és támogatásukat.

Végezetül az egyik projektből készült ábrát illesztjük ide, az alkotók engedélyével.



IRODALOMJEGYZÉK

Hegedűs Gábor: *A projekt módszer elmélete. In Hegedűs Gábor (szerk.): Projekt módszer I–III. Budapest, 1998.*

Hegedűs Gábor – Szécsi Gábor – Mayer Ágnes – Zombori Béla: *Projektpedagógia. Tanítóképző Főiskolai Kar, Kecskemét, 2002.*

Hortobágyi Katalin: *Projekt kézikönyv. IFA-OKI IFK, Budapest, 1991.*

Knausz Imre: *A tanítás mestersége. Iskolafejlesztési Alapítvány, Budapest, 2001.*

Mendl Lajos: *A projekt. In Knausz Imre (szerk.): Történelem az évszámokon innen és túl. Műszaki Kiadó, Budapest, 2002.*

M. Nádas Mária: *Projektoktatás. Gondolat Kiadói Kör, Budapest, 2003.*

Kompetenciafejlesztés projekt módszerrel. (Szerk: Falus Katalin – Vajnai Viktória) *Oktatáskutató és Fejlesztő Intézet. Budapest, 2008.*

Dewey, J. (1976): *A nevelés jellege és folyamata. Budapest, 1976, Tankönyvkiadó*

Görög, M. (1996): *Bevezetés a projektmenedzsmentbe. Aula Kiadó Kft. Budapest, 1996.*

Görög, M. (1999): *Általános projektmenedzsment, Aula Kiadó, Budapest*

Görög, M. – Ternyik, L. (2001): *Informatikai projektek vezetése, Kossuth Kiadó, Budapest*

Görög, M. (2003): *A projektvezetés mestersége a projektsiker tükrében, Vezetés-tudomány 2003/2, Budapest*

Internetes források:

Hunya, M. (2009): *Projekt módszer a 21. században, tanulmány, <https://goo.gl/qJW2IG>, meglepetésként érni bennünket, felkészülten és gyakorlottan tudunk majd megfelelni a követelményeknek. Tapasztalatainkat szívesen megosztjuk másokkal is, kérjük, forduljanak hozzánk bizalommal.*

<http://tanmester.tanarkepzo.hu/projektpedagogia>, meglepetésként érni bennünket, felkészülten és gyakorlottan tudunk majd megfelelni a követelményeknek. Tapasztalatainkat szívesen megosztjuk másokkal is, kérjük, forduljanak hozzánk bizalommal.

<http://epednet.ektf.hu/dbdown.php?file=%2Fdatabse%2FKompetenciafejlesztes+a+szakkepzo+intezmenyekben+-+3%2FTan%2E1ri+mappa%2FTud%2E1st%2E1r%2F7Projektpedag%2F3gia+m%2F3dszertani+aj%2E1nl%2E1sok.doc>, meglepetésként érni bennünket, felkészülten és gyakorlottan tudunk majd megfelelni a követelményeknek. Tapasztalatainkat szívesen megosztjuk másokkal is, kérjük, forduljanak hozzánk bizalommal.

INTELLIGENS GYÁRTÁSI PARAMÉTEREK MEGVÁLASZTÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI ADDITÍV GYÁRTÓRENDSZEREK ESETÉN

POSSIBILITY OF CHOOSING INTELLIGENT PRODUCTION PARAMETERS IN ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGIES

*Dr. Ficzer Péter PhD egyetemi adjunktus
Dr. Borbás Lajos PhD Professor Emeritus*

ÖSSZEFOGLALÁS.

Az additív gyártástechnológiák használatával az egyedi tervezésű, igen bonyolult geometriájú termékek megvalósítása az ipar és a gyógyászat (implantáció) szinte minden területén lehetségessé vált. A mérés technika folyamatos fejlődésével lehetőség adódik a termék gyártás közbeni jellemzőinek folyamatos nyomon követésére, szükség szerinti módosítására, a meghibásodás kockázatának minimalizálása érdekében. A gyártás közben rögzített nagyszámú adat (big data) egyben a termék minőségbiztosításában is közvetlenül felhasználható.

ABSTRACT

Additive production technologies made the realization of individually designed, highly complicated geometric structures in practically all fields of industry and human therapy (implantation) possible. In order to minimize the risk of failure originating from production technology the continuous development of measurements technologies provides the possibility to track the parameters of production and if necessary to ensure their modification. The great number of recorded production data (big data) at the same time can be used in the quality control of the product.

1. BEVEZETÉS

Napjainkban gyakran halljuk, hogy az Ipar 4.0 éveit éljük. A korábbi ipari forradalmak közül az első a gépek forradalma, a második a tömeggyártással, gyártósorokkal jellemezhető, míg a harmadik az automatizáció következtében hozott forradalmi változásokat [1]. Az utóbbi időben – folyamatosan évek óta – pedig a negyedik ipari forradalom korát éljük. Itt viszont nem igazán lehet egy-egy konkrétumot mondani, amivel önmagában jellemezhetnénk.

Az egyedi termékek nyomon követése, a gyártás körülményeinek monitorozása,

analizálása, az autonóm hibafelismerés csak a berendezések működésének naplózásával, megfelelő minőségű szenzorok (pl. RFID eszközök vagy különböző mérőszenzorok) használatával, ezek intelligens hálózatba kötésével lehetséges, aminek alapján az automatizált gyártósorok és az információ technológia közötti együttműködés megteremthető. Ez rendkívül széleskörű és nagy mennyiségű adat gyűjtését, tárolását, szétosztását jelenti, amelyet csak intelligens gyűjtő, elemző algoritmusok alkalmazásával lehet hatékonyan az ipar szolgálatába állítani.

A nagy mennyiségben előálló adatok sokrétű kiértékelést és elemzést tesznek lehetővé a termelés különböző aspektusai szerint [2].

Az ipari mérő- és adatgyűjtő rendszerek alkalmazásának számtalan előnye van. Ezek segítségével előre lehet jelezni a hibahelyeket, valamint jelentős szerepet tölt be a minőségbiztosítás területén is. A termékek életútjának a nyomon követhetősége az összetett gyártási- és logisztikai folyamatok mentén kiemelten fontos feladat. A transzparens anyagáramlás, a gyártás teljes életútjának rögzítése folyamatos átláthatóságot biztosít. A termékadatok és a gyártási körülmények rögzítésével, bizonyíték erejű tárolásával a kiszállítást követően is megmarad az egyedi terméket azonosító- és jellemzőit is tartalmazó elektronikus bizonylat. A minőségbiztosítási- és hatósági vizsgálatok gyorsabban, gazdaságosabban és megbízhatóbban hajthatók végre [2].

Az adatok elemzése nagymértékben támogatja a megfelelő karbantartást, a megfelelő időben történő beavatkozást is. A gyártás közbeni online adatgyűjtés és az autonóm hibafelismerés- és beavatkozás lehetősége biztosíthatja a túrérek határain belül maradást, csökkentve ezzel a selejtszámot.

Ugyanígy a folyamatos adatgyűjtés a megfelelés-tanúsítást is lehetővé teszi.

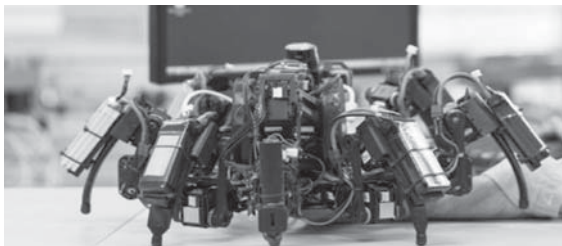
Az utóbbi években a jövőkutatók, valamint a tervezés oktatásával foglalkozó tudósok feltérképezték, hogy várhatóan mely területek lesznek képesek áttörést eredményezni az iparban és ez által a mindennapi életünk során. Úgy találták, hogy az 5. ipari forradalomhoz a mesterséges intelligencia, valamint az autonóm gyártás és az autonóm járművek kapcsolódhatnak [3]. Ennek, valamint a 6. ipari forradalomnak is tekinthető ún. cyborgok. Ez tulajdonképpen a kibernetikus és organikus elemek együttműködését jelenti. Itt már a bitek-, az atom-, a nano- és a géntechnológia ötvözetéről beszélhetünk.

2. AZ ADDITÍV GYÁRTÁS LEHETŐSÉGEI

Az Ipar 4.0 meghatározó elemei az IoT (Internet of Things), a dolgok internete, azaz a gépek hálózatba vannak kötve és kommunikálnak egymással, a big data, minden adatot gyűjtünk és ennek segítségével jobb képet kapunk a működési paraméterekről, könnyebben tervezhetők a karbantartások, előre láthatóak bizonyos problémák. Az Ipar 4.0 kapcsán előtérbe kerül az ember-gép kapcsolat, az ún. cobotok használata, valamint mindenképpen meg kell említeni az additív gyártástechnológiákat, aminek segítségével korábban „gyárthatatlan”, vagy csak nagyon nehezen és drágán előállítható darabok elkészítése vált elérhetővé, költséghatékony módon [4], [5].

2.1. Additív gyártás mesterséges intelligenciával

Ma már ott tartunk, hogy az additív gyártógépeknek szinte nincs határuk. Ez azt jelenti, hogy nincsenek hozzákötve egy gépállványhoz, így helyváltoztatásra is képesek, ezáltal a méretbeli korlátok megszűnnek.

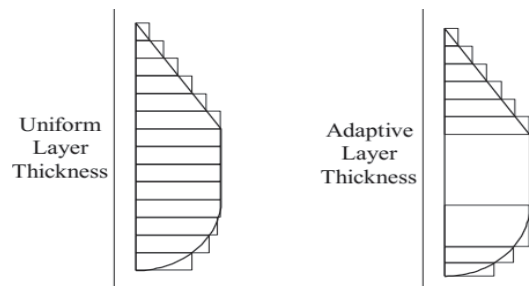


1. ábra. Nyomtató pók [6]

Az 1. ábrán is látható 3D nyomtató tulajdonképpen egy autonóm gyártógép, mely mesterséges intelligenciával rendelkezik.

Minden egyes „pókláb” egy-egy nyomtatófej, melyek egymással kommunikálni képesek. Az egyes „fejek” részfeladatokat oldanak meg, melyet egymás közti kommunikációval optimalizálnak. A lábukba épített érzékelők révén az akadályokat elkerülik, saját munkaterületük elhagyásáról társaikat értesítik, együttműködnek a funkcionálisan azonnal működőképes „termék” gyártásában. Energiafelhasználásukat maguk szabályozzák, határállapot elérése előtt saját feltöltésükről gondoskodnak.

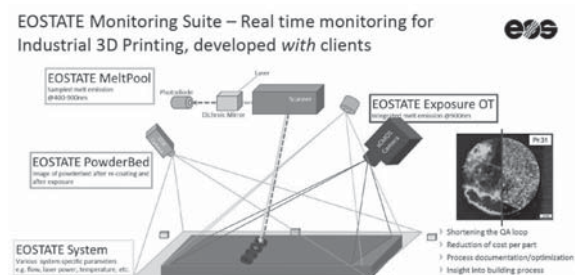
A 3D nyomtatást támogató szoftverek segítségével lehetséges a gyártás szempontjából optimalizálni úgy, hogy közben figyelembe vesszük a mechanikai szilárdsággal-, valamint a pontossággal, esztétikummal szemben támasztott követelményeket [7]. Erre mutat példát a 2. ábra, ahol adaptív rétegvastagságot használunk. Ahol nincsenek nagy görbületek, ferde síkok ott nagyobb lépésekben (nagyobb rétegvastagsággal, tehát rövidebb idő alatt) gyártunk, míg a geometria szempontjából kritikus helyeken kisebb rétegvastagságot használunk.



2. ábra. Adaptív rétegvastagság használata [8]

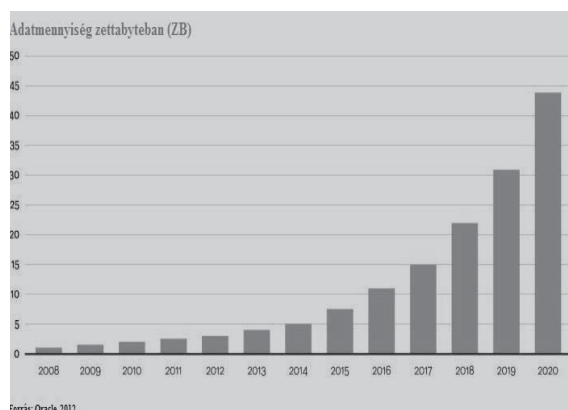
2.2. Gyártás közbeni diagnosztika

Ahogy már korábban is említettük a minőségbiztosítás-, vagy későbbi vizsgálatok szempontjából jelentős szerepe van a gyártásközi bizonylatoknak is. Az EOS cég pl. minden egyes réteget ellenőriz (metallurgia) és dokumentál a gyártás során, így kérdéses esetben ezek visszakereshetők.



3. ábra. Rétegek ellenőrzésének szintjei [9]

Ma már adott a lehetőség, hogy egy-egy sík elkészülte után arról képet készítve a digitális képfeldolgozó technikák segítségével összevevük a legutolsó réteg valós, visszamért geometriáját a szoftver által a szeleteléskor előállított szelvény geometriájával. Bemérhetjük továbbá az aktuális magasságot is, amit összehasonlítva az adott szelvény pozíciójával megkapjuk a z irányú méreteltéréseket is. Ennek a rétegenkénti ellenőrzésnek a segítségével még időben be tudunk avatkozni és automatikusan tudunk módosítani a gyártási paramétereken (pl. a rétegvastagságot csökkentve, vagy növelve) annak érdekében, hogy a végső termékünk az előírt határeltéréseken belül maradjon. Tehát minden réteg legyártása után történik egy bemérés, aminek alapján változtatni lehet a következő rétegen. Ez persze jelentős mértékben növeli a tárolt adatmennyiséget (Big Data), ami szintén az Ipar 4.0 sajátja.



4. ábra. Évenként tárolt adatok mennyisége a világban zettabájtban [10]

További lehetőség, hogy folyamatosan figyeljük az alapanyag mennyiségét, szükség esetén automatikusan cserélünk. Itt lehetőség van arra is, hogy a csere nélkül rendelkezésre álló alapanyag mennyiség szerint válasszuk meg a legyártandó alkatrészek közül azt, amelyikhez még nem szükséges alapanyag csere, utántöltés miatti leállás. Ezzel elkerülhető az, hogy egy darab gyártása azért szakadjon félbe, mert nem volt elegendő alapanyag, valamint, hogy túl sok anyag ne kerüljön végül felhasználásra.

2.3. Gépek koordinálása

Általában az additív gyártástechnológiával foglalkozó cégek egyszerre több géppel dolgoznak. Ilyenkor több egyszerre futó projekt, megrendelés esetén már nem egyszerűen

az egyes nyomtatások sorrendjének meghatározása. Bár a gépek manapság akár 70-80 órán keresztül is képesek önállóan, - emberi felügyelet nélkül - dolgozni, nem tekinthetők teljes mértékben önálló gyártó rendszernek. Az elkészült darabok levétele ugyanis emberi erőforrást igényel. A fejlett CAM szoftverek segítségével jól becsülhető az egyes darabok (akár több különböző darab egyszerre történő) gyártási ideje is. Ezek alapján az egyes munkákat egy adott géphez tudjuk rendelni. Ezt a hozzárendelést egy online felületen is meg lehet tenni, ahol mindenki láthatja az egyes gépek foglaltságát. Ennek alapján vagy egy külső ember, vagy egy alkalmazott távolról is be tud foglalni egy gépet egy adott munkára, ha annak az adott gépnek a foglaltságában talál egy üres időablakot. Mivel a gépek ugyan tudnak önállóan, felügyelet nélkül is dolgozni, a nem emberi munkaidőbe eső leállás (elkészült a darab, le kéne venni) esetén gyakran maradnak holtidők a rendszerben. Ezt kiküszöbölendő érdemes a darab gyártási idejének ismeretében azt úgy indítani, hogy amikor a darab elkészül, akkor az emberi munkaidőbe essen. Ennek érdekében (egy előkészített gépen) az indítást akár távolról is megtehetjük, amennyiben a gép internetre van kötve. Ehhez már kész, ingyenes mobiltelefonos applikációt is találunk.

Napjainkban egy további lehetőség a gépek távfelügyelete. Ilyenkor nem csak egy aktuális modell gyártásának indítását tehetjük meg távolról, interneten keresztül, hanem folyamatosan monitorozhatjuk is tevékenységünket. Ehhez természetesen megfelelő bekamerázásra van szükség, valamint folyamatos internet kapcsolatra (IoT, azaz Internet of Things, ami az Ipar 4.0 egyik alappillére). Ezzel lehetőségünk van a gyártás közben fellépő hibák esetén azonnal, online beavatkozni. Pl. egy stabilitását veszített, felborult darab esetén a hátralévő részeket nem nyomtatjuk ki a levegőbe, rengeteg selejtet produkálva ezzel. Ilyenkor azonnal le tudjuk állítani a gyártást és sok anyagköltséget is meg tudunk spórolni.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

Összefoglalva megállapítható, hogy az egyre rugalmasabban változó igényekhez csak az Ipar 4.0 elemeit felhasználva tudunk alkalmazkodni. Csak így biztosítható a jövőben egy vállalkozás versenyképessége. Ehhez szükséges a legújabb technikai vívmányok

megfelelő szintű alkalmazása. Az egyik ilyen terület az additív gyártástechnológia, ami mindamellett, hogy egyre elterjedtebbé és elvártabbá válik, egyre több lehetőséget is biztosít számunkra. Az additív gyártástechnológiák területén belül is érdemes az Ipar 4.0 adta lehetőségeket minél jobban kihasználni, így a gyártásunk lényegesen rugalmasabbá válhat, mindamellett, hogy jelentős mértékben javíthatunk a rendelkezésünkre álló erőforrások kihasználtságán. Ezek a lehetőségek (IoT, Big Data, stb) természetesen nagyobb adatmennyiséget is generálnak, amit csak megfelelő adatfeldolgozás után tudunk érdemben tárolni és fejlesztésre használni.

Megállapítható tehát, hogy sok esetben az infrastruktúra rendelkezésünkre áll, de az emberi gondolkodásmódot is át kell alakítani. Manapság sokkal rugalmasabb gondolkodásmódra van szükség, ahhoz, hogy gyorsan és gazdaságosan tudjunk reagálni az ipar és a gazdaság által támasztott kihívásokra. Ez egyben azt is jelenti, hogy az elsajátított tudásanyag alkalmazása nem elégséges napjaink piaci környezetében, folyamatos megújulásra, fejlesztésre van szükség nem csak a gépek oldaláról, hanem az emberi erőforrás oldaláról is.

4. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A kutatás megvalósítását az alábbi projektek támogatták: A Nemzeti Kutatási és Innovációs Hivatal támogatásával az NKIH Alapból, a projekt címe: Egyénre szabott orvos-biológiai implantátumok és segédeszközök új generációs gyártási folyamatának kidolgozása additív technológiákra; NVKP_16-1-2016-0022., Valamint: Az EFOP-3.6.1-16-2016-000 projekt: „Lézertechnológiai és energetikai alap kutatás megvalósítása az Edutus Főiskolán, tudástranszfer, továbbá a vállalati kapcsolatok és a társadalmi szerepvállalás erősítését célzó tevékenységekkel kiegészítve”.

5. IRODALOM

[1] Ficzere P.; Borbás L.: AZ IPAR 4.0 HATÁSA AZ EGYÉNRE SZABHATÓ IMPLANTÁCIÓ TERVEZÉSI FOLYAMATÁRA, In: IV. GÉPÉSZETI SZAKMAKULTÚRA KONFERENCIA, Budapest, Magyarország: Gépipari Tudományos Egyesület, (2019) 4p

[2] <http://www.industry4.hu> (letöltve 2019.11.13.)

[3] Szabó I.; Török Á.: Autonóm közforgalmú közösségi közúti gépjárművek társadalmi elfogadtatásának vizsgálata, In: Péter, Tamás (szerk.) IFFK 2018: XII. Innováció és fenntartható felszíni közlekedés, Budapest, Magyarország : Magyar Mérnökakadémia (MMA), (2018) Paper: 20 , 4 p.

[4] Ficzere P.; Borbás L.; Török Á.: ECONOMIC INVESTIGATION OF RAPID PROTOTYPING, INTERNATIONAL JOURNAL FOR TRAFFIC AND TRANSPORT ENGINEERING 3 : 3 pp. 344-350. , 7 p. (2013), DOI: 10.7708/ijtte.2013.3(3).09

[5] Ficzere P.: ALKATRÉSZEK MUNKATÉRBEN TÖRTÉNŐ ELHELYEZÉSÉNEK A GYÁRTÁSI KÖLTSÉGEKRE GYAKORLOLT HATÁSA ADDITÍV GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁK ESETÉN, GÉP, LXX. évf., 2019/3 pp 26-29, (2019.)

[6] Livio Dalloro, (HEAD OF RESEARCH GROUP, SIEMENS CORPORATION, CORPORATE TECHNOLOGY), Milánó, Italy (2014)

[7] Györi M., Ficzere, P.: (2017) “Use of Sections in the Engineering Practice”, Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 45(1), pp. 21-24. doi: <https://doi.org/10.3311/PPtr.9144>.

[8] Johan J. Broek, Imre Horváth, Bram de Smit, Alex F. Lennings, Joris S.M. Vergeest; A Survey of the State of Art in Thick Layered Manufacturing of Large Objects and the Presentation of a Newly Developed System, University of Texas at Austin

[9] Falk Gy.: Az asztali és az ipari fémnyomtatás közötti különbségek (előadás), IPAR NAPJAI – MACH-TECH, BUDAPEST, 2019. május 16.

[10] What is Hadoop? [Online]. Elérhető: https://www.sas.com/en_us/insights/big-data/hadoop.html (Letöltve: 2019.12.17.)

ÖNTÉSZETI KORRÓZIÓÁLLÓ SZUPER DUPLEX ACÉL FORGÁCSOLÁSA PVD BEVONATOS KEMÉNYFÉMLAPKÁVAL

CUTTING OF THE CORROSION-RESISTANT SUPER DUPLEX CAST STEEL WITH PVD LAYERED HARTMETAL CUTTING TOOL INSERT

Horváth Richárd, PhD; Fábrián Enikő Réka, PhD; Nagy András István, Óbudai Egyetem Bánki Donát
Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Terek Pál, PhD, Újvidéki Egyetem, Műszaki Tudományi Kar

ÖSSZEFOGLALÁS

Az ötperces folyamatos forgácsolás során egy öntészeti szuper duplex acélt munkáltunk meg CNC esztergán és detektáltuk a fellépő erőket. A kísérlethez két keményfémlapka minőséget és két különböző PVD bevonatot használtunk fel, szárazon és hűtő-kenő folyadék alkalmazásával.

ABSTRACT

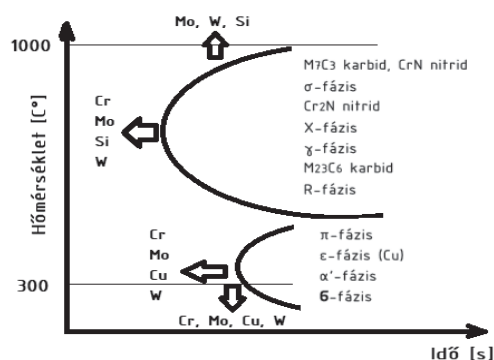
A cast super duplex steel was machined on a CNC lathe with two carbide grades tool and two different PVD coatings. There have been detected the involved forces during five-minute continuous machining, with and without cooling and lubricant liquid.

1. A DUPLEX ACÉLOK ALKALMAZÁSA NAPJAINKBAN ÉS FORGÁCSOL- HATÓSÁGI PROBLÉMÁIK

A duplex acélok a XX. század korszerű acélminőségei közé sorolhatók. Kifejlesztésük az 1920-as évekre, de alkalmazásuk igazán csak az 1970-es évek utánra tehető ugyan is az erőteljes ötvözöttség mellett kicsi karbon tartalomra van szükség. A gazdaságos előállításához szükséges volt az AOD (Argon-Oxygen Decarburization) eljárás [1] megjelenésére. Napjainkban már nagyobb teret nyert alkalmazásuk. Fontos hatást gyakorolt elterjedésükre a nikkellérfolyamának növekedése, ugyanis egy azonos korróziós ellenálló képességgel rendelkező ausztenites acélhoz nagyobb mennyiségű nikkelle van szükség. Korróziós ellenállásukat a PRE_N index (pitting index, 1 összefüggés) [2] írja le, mely alapján osztályozzuk: duplex (DS $PRE_N=25-38$), szuper duplex (SDS, $PRE_N=39-47$) és hiper duplex (HDS, $PRE_N=48-$) csoportokba.

$$PRE_N = Cr(\%) + 3,3Mo(\%) + 16N(\%) \quad (1) \quad [2]$$

A kiváló lyukkorróziós tulajdonságuk és kémiai közegekkel szembeni ellenállásuk miatt gyakorta alkalmazzák petrokémiai rendszerekhez, szivattyú házak és járókerekek alapanyagaként [1]. A kettős ausztenites-ferrites szövetnek köszönhetően nagyobb szilárdsággal bírnak, mint az ausztenites társaik, emiatt a kor követelményeinek megfelelően előszeretettel alkalmazzák súlycsökkentett szerkezetek építésére, erre a legjobb példák a csökkentett falvastagságú kémiai tartályok és teljes hajószervezetek. Belgiumban több hídszerkezetet is készítettek már duplex acélból.

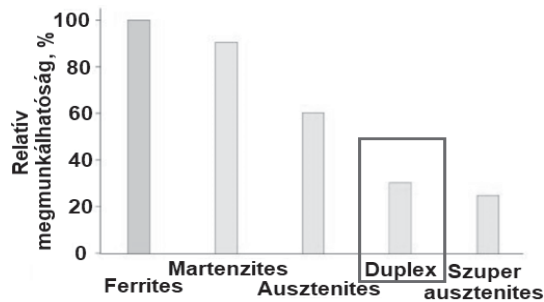


1. ábra. Duplex korrózióálló acélok C-görbéjét befolyásoló ötvözők és különböző hőmérsékleten megjelenő kiválások [1]

Az előnyös tulajdonságaik mellett viszont megmunkálhatóságuknál már problémákba ütközhetünk. Megfelelően jól hegeszthetőek, a kiválásokra nagy figyelmet kell fordítani hűtéskor, de ez alkalmazhatósági hőmérsékletüknek is határt szab [2].

A duplex acélok forgácsolását több jelenség is nehezíti. Az ausztenites jellegből fakadóan élrátétesedés, szívós szélkopás, a ferrit adta szilárdság miatt homlokkopás a kísérőjelenség [3]. Az élrátét képződés egy komoly adhéziós kopást vált ki, ami azt jelenti, hogy a forgácsoló fém hidegheggedéssel feltapad

a lapkára, majd egy bizonyos méretet elérve leszakad és ez után a folyamat ismétlődik. Ettől a kopásfajtától viszonylag hamar lekopik a bevonat, mert amikor leválik a felapadt alapanyag, akkor képes a bevonatot leszakítani és ezzel megszünteti a bevonat izolációs hatását és a keményfémek érik ezek után az igénybevételek [4].



2. ábra. A különböző szövetszerkezetű acélok relatív megmunkálhatósága a ferriteshez viszonyítva [5]

A homlokkopást a forgács folyamatos sűrűsödése váltja ki a homokfelületen, amely ezáltal anyagvesztést szenved, a jelenséget segíti az adhéziós kopás. A szívós szélkopást az alapanyag keményedése [6] okozza, melyet a forgácsolás közben fellépő alakítás okoz. A forgács ezen fajtáját sorjának nevezzük, amely méréseink alapján másfélszer keményebb, mint az alapanyag. Az igénybevételek enyhítésére a sűrűsödési viszonyok megváltoztatása a kulcs, az az hűtő- és kenőfolyadék alkalmazása vagy megfelelően inert bevonat alkalmazása.

2. AZ 1.4517 ACÉL ISMERTETÉSE ÉS VIZSGÁLATI MÓDSZERE

Az általam vizsgált GX2CrNiMoCuN 25-6-3-3 alapanyagokat Ø52x300 mm-re előnagytam, ezzel az ötvénykérgét eltávolítottam és az ütésből adódó forgásszimmetria hibát is megszüntettem, amivel az ütés okozta erőingadozást is kiküszöböltem az első fogásvételnél. Nedvesforgácsoláshoz árasztásos módszert alkalmaztunk 5%-os kenőanyag tartalommal. Minden vizsgálatnál a lapkák 5 perces folyamatos forgácsolást végeztek a következő technológiai paraméterekkel: $v_c=100$ [m/min]; $a_p=1$ [mm]; $f=0,175$ [mm/ford.]. A keményfém lapkák CNMG 120408E geometriával és Grade 564 (76.8 HRC) és Grade 902 (80.6 HRC) alapanyag minőséggel rendelkeznek (gyártói jelölés). A bevonatok egyedileg készültek, mind két típusnál egy

AlTiN 2 µm-es alaprétek kerültek fel és erre az egyik esetben egy ZrN, másik esetben TiSiXN PVD bevonat került rá. Az összesített rétegvastagság a forgácsolófelületeken 4 µm volt, melyet Caloteszttel ellenőrizünk.

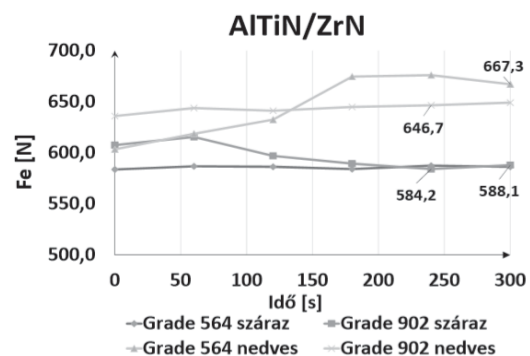
1. táblázat. A vizsgálathoz alkalmazott bevonat típusok és azok ismertető tulajdonságai

Bevonat	AlTiN/ ZrN	AlTiN/ TiSiXN
Rétegv. [µm]	4	4
Keménység [HV _{0,2}]	2200	2800
Coulomb surl. (µ)	0,35	0,6
Szín	Arany	Bronz
Max. hőm. [°C]	1000	1100

A fellépő erőket egy Kistler 9251B erőmérővel detektáltuk 500 Hz adatrögzítő frekvencián, ez a mintavételi gyakoriság elegendő adatot szolgáltat az erők változásának követéséhez. Az állandó forgácsolósebességet a CNC vezérlés biztosította.

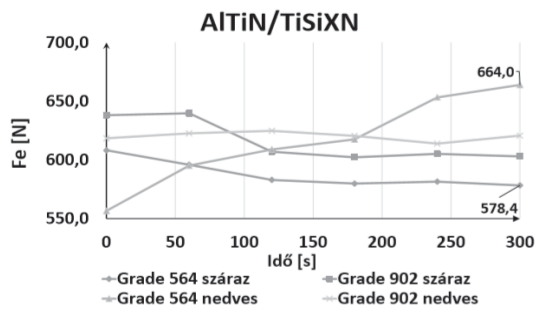
3. FORGÁCSOLÓERŐK

A vizsgálat során fellépett erőket komponensként detektáltunk, mely F_c főforgácsoló erőből, F_r előtolás irányú és F_p passzív erőből állt. A komponensekből eredő erőt számítottunk és ezt vizsgáltuk. Sok esetben azt várnánk, hogy hűtőfolyadék alkalmazásával kisebb erők lépnek fel, ugyanis jobbak a sűrűsödési viszonyok és a forgácsoló lapka is hosszán megőrzi forgácsolóképességét. A mérések alapján több esetben is tapasztaltuk, hogy szárazforgácsolásnál csökkennek az összesített erő értékek, ennek oka feltételezhetően a hőmérséklet okozta anyaglágyulás.



3. ábra. AlTiN/ZrN bevonattal ellátott forgácsoló lapkáknál fellépő erők változása

A diagrammokról (3. és 4. ábra) jól leolvasható, hogy mely bevonat-keményfém kombinációnál lép fel folyamatos, erődiagrammon kimutatható kopás, ez a Grade 564 alapanyag típusra volt jellemző. A Grade 902-nél jellemzően a terhelőerők nem mutattak nagymértékű növekedést, inkább konstans jellegűek, illetve csökkenést tapasztaltunk szárazforgácsolásnál.



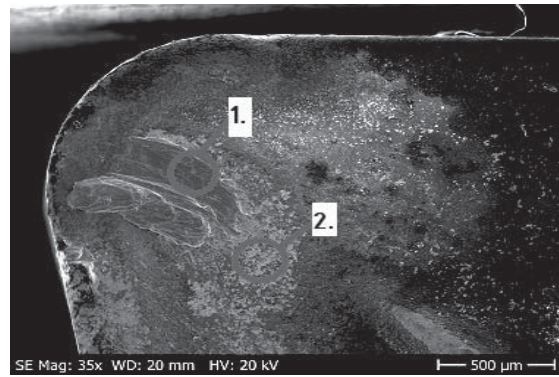
4. ábra. AlTiN/TiSiXN bevonatos lapkával való megmunkálás során mért erőértékek

4. HOMLOKFELÜLETI KOPÁSOK

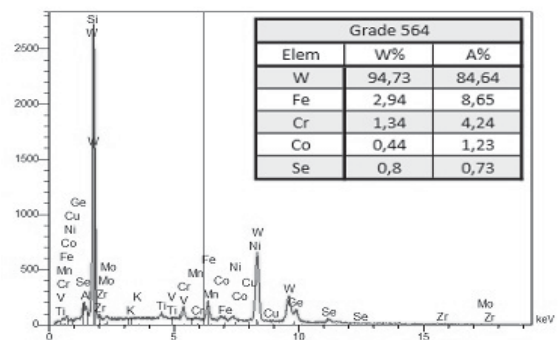
A homlokfelület kopása a forgácsolás velejárója, a forgács ezen a felületen terelődik és a homlokfelület geometriája töri meg a forgácsot. Ez alatt a forgács sűrűlödik, az ausztenites anyagcsoportra jellemző adhéziós kopással [3] veszi igénybe a homlokrészt. A hidegfelhegedéssel nagy igénybevétel éri a bevonatot, mert nem csak dörzsülés okozta hatásnak kell ellen állnia, hanem a felhegedt élrátét leváláskor le akarja tépni a bevonatot a keményfém felületéről. A hűtés és kenés alkalmazása is nagyban fékezi ezt a káros folyamatot. Forgácsolás után pásztázó-elektronmikroszkóppal vizsgáltuk a használt lapkákat.

Az 5. ábrán a mérések alapján a világos szürke területeken lekopott a bevonat, ezt igazolja a 2-es pontot kiértékelő 6-os ábra, mert magas wolfram összetételt mértem, mely alapeleme a forgácsoló lapkáknak a kobalt mellett.

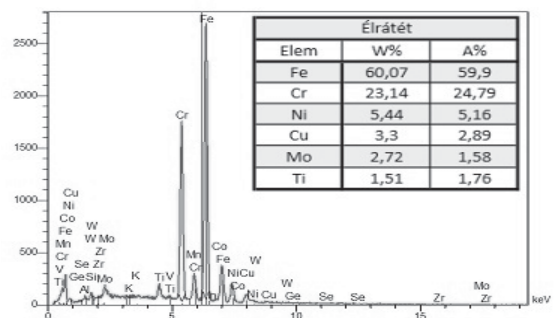
A közepesen szürke területeken jelentős hányadban találtunk vasat és krómot (7. ábra), mely egyértelműen az alapanyagra jellemző és az összetételi arány is közel az acélnek megfelelő arány. A mért eredmények egyértelmű bizonyítékok az adhéziós kopásra és az élrátét képződésre. A fekete árnyalatú területek elemzése a bevonat összetételét tükrözte vissza.



5. ábra. Grade 564+AlTiN/TiSiXN bevonatos forgácsolólapkáról készült SEM felvétel szárazforgácsolás után



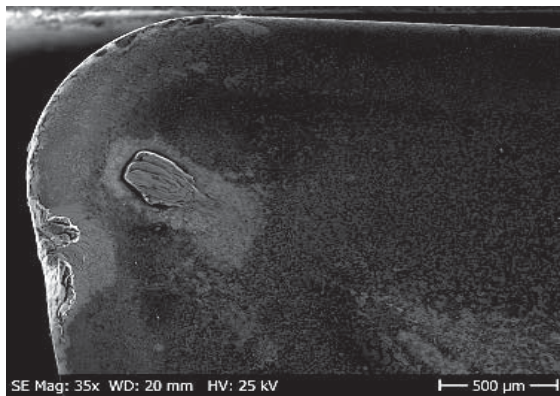
6. ábra. Grade 564+AlTiN/TiSiXN bevonatos forgácsolólapka kopott részén (2. pont) történt mérés spektruma és összetétele tömeg- illetve atomszázalékosan kifejezve



7. ábra. Grade 564+AlTiN/TiSiXN bevonatos forgácsolólapka felületén a közepszürke rész (1 pontban) való mérés spektruma és összetétele tömeg- illetve atomszázalékosan kifejezve

A hűtő-, öblítő- és kenőfolyadékok (HÖK) szerencsére látványos mértékben csökkentik az adhéziós folyamatot. A hűtés segítségével a hőmérséklet emelkedést visszaszoríthatjuk, ezzel gátat szabunk a megemelkedett hőmérsékletből fakadó összehegedésnek. A hűtőhatást főként a

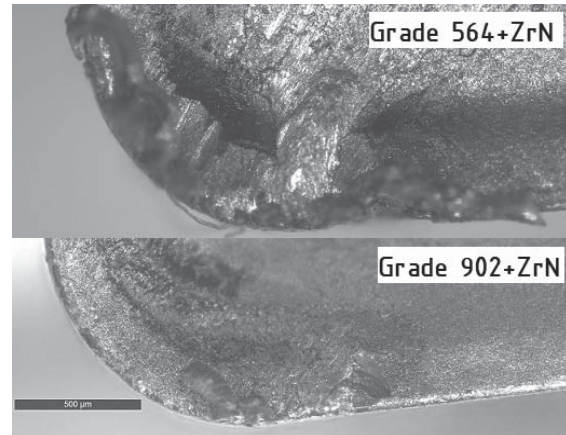
folyadék elpárolgása adja, mert a gőzfázisba alakulás energia igénye nagyobb, mint a hevítési energia. A párolgás energia igénye miatt csak kis mennyiségű hűtőfolyadék fogy a forgácsolás alatt [4]. A kenőhatást az fejtí ki, hogy az olajmolekulák beülnek a felület gödreibe és ezzel csökkentik a forgács és a bevonat érintkezési felületét. A legkedvezőbb lenne, ha tisztán folyadék sűrlődés alakulna ki, de árasztásos technológiával a felszáz sűrlődés érhető el. A mérésben is megmutatkoztak a HÖK jótékony hatásai. A 8. ábrán látható, hogy csökkent az élrátétes terület, ami a várható hosszabb és stabilabb éltartamot is jelzi.



8. ábra. Grade 564+AlTiN/TiSiXN bevonatos forgácsolólapka SEM felvétele nedvesforgácsolás után

Tovább vezetve a HÖK alkalmazásának hatását, modern magasnyomású és koncentráltan a hát- és homloklafelületre irányított folyadék sugárral jobb forgácsolás és közel tiszta folyadéksűrlődés érhető el, melynek egy speciális esetében a forgácsolásban egy hidraulikus ék is kialakul. Ez a modern HÖK alkalmazás előnyös duplex és ausztenites acélok megmunkálásánál [5].

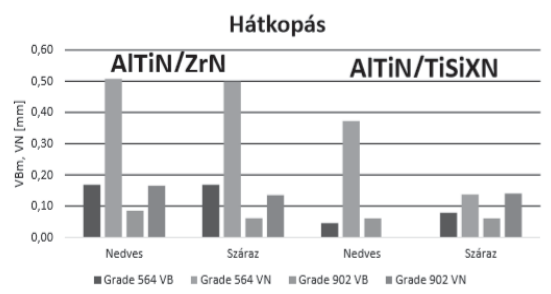
A szerszám alapanyag megfelelő megválasztása is fontos, ami nemcsak a megfelelő szilárdsági tulajdonságokat jelenti, hanem a felvitt bevonattal való összhangot is. A megfigyelés alapján fontos figyelembe venni az adhéziót a szerszám alapanyag és a bevonat között, mert nagy értékű különbségeket eredményez, még akkor is, ha a két alapfém tökéletesen megfelelne paramétereinek alapján. A 9. ábrán a hatás jól kimutatható, a technológia, a bevonat és a hűtési körülmények azonosak voltak, csak a keményfém alapanyag különbözött.



9. ábra. AlTiN/ZrN bevonatos lapkák sztereo mikroszkópos felvétele szárazforgácsolás után 50x-es nagyításban

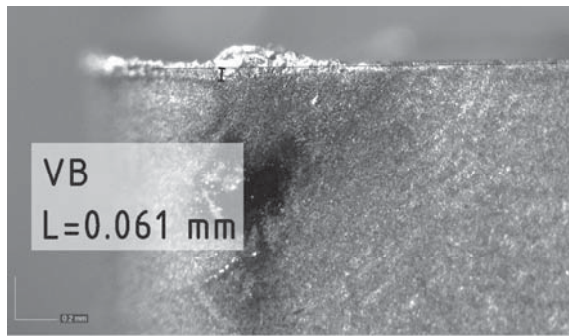
5. HÁTKOPÁS

A forgácsolólapkák alkalmazhatóságának fontos jellemzője a hátkopás (VB). A szakirodalom is mindig erre az értékre támaszkodva határozza meg az éltartamot. A hátkopás megengedett értékét szerszámanyag minőséghez szokták rendelni. Keményfémek esetén 0,2-0,8 mm, kerámiák esetén pedig maximálisan 0,2-0,3 mm az általánosan elfogadott érték [4]. A katalógusokban megadott forgácsolósebesség alapértékeket is úgy adják meg, hogy 15 min forgácsolásban töltött idő alatt ne lépje át a kopási küszöböt. Ha túllépjük a megengedett kopást, akkor az erőszükséglet rohamosan növekedni fog és ez méretpontatlanság mellett, könnyen töréshez is vezethet. A vizsgált szerszámoknál a kopás 5 perc után nem lépte át a 0,2-es küszöböt, de több esetben megközelítette. A forgácsolás közbeni kopásokról nincsenek adataink, csak a végállapotban. A hátkopások mértéke hasonlóan alakultak, mint a homloklafelületi kopások. Ezek az értékek is adhéziós tulajdonságokhoz vezetnek.



10. ábra. A mért maximális hátkopás (VB_{max}) és szélkopás (VN) értékek oszlopdigrammja

Kiemelendő, hogy Grade 902+ AlTiN/TiSiXN nedves körülmények között nem csak a legkisebb értékű hátkopás szenvedte el, hanem szélkopás se található rajta.

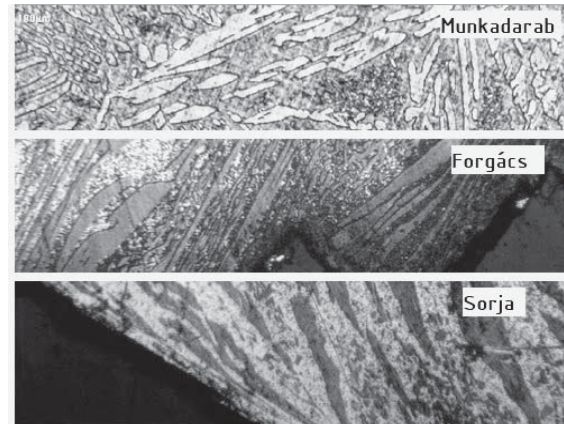


11. ábra. Grade 902+AlTiN/TiSiXN kombináció hátfelületi képe nedves forgácsolás után 50x-es nagyításban

A duplex acélok ausztenites anyagcsoportra jellemző tulajdonsága a szívósság, ami a forgácsolás során bevitt alakítás hatására keményedik és nehezen törik a forgács. Ebből adódóan folyóforgácsot ad általában és sorja képződés is tapasztalható. A sorja nemcsak a szívós szélkopás (VN) okozója, hanem mellette eltávolítása is problémát jelent. Ezek az élesorjás élek veszélyt jelentenek a gépkezelőre és plusz munkafolyamatot is igényel az eltávolításuk. A méréseim során több esetben is mérhető szélkopást tapasztaltunk a hátfelületen. Az érték sokszor kétszeresét is meghaladta a hátkopásnak. A forgácsmintáknál végzett metallográfiai vizsgálatok (12. ábra) és mikrokeménység mérések (2. táblázat) eredményei rámutattak arra, hogy a sorja keménysége nagyobb lett, mint a forgács vagy az alapanyag keménysége. Feltehetőleg ez a jelenség (sorja keményedése) felelős a munkadarab legkülső fogásvételi tartományában tapasztalt nagy szélkopásért.

2. táblázat. A forgácsolás hatása a mikrokeménységre

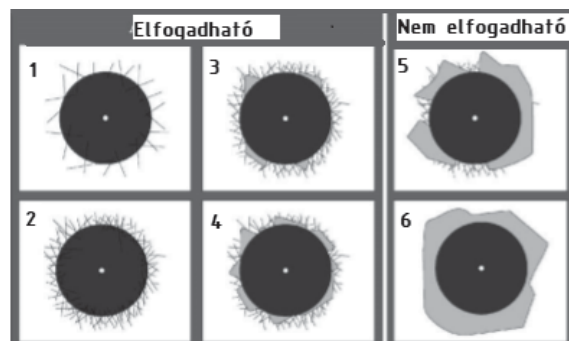
Mért minta	Lenyomat átlók átlaga [μm]	Számolt átlag keménység [$\text{HV}_{0,2}$]
Munkadarab	41,5	211,21
Forgács	34,69	302,32
Sorja	32,47	344,97



12. ábra. Metallográfiai csiszolatok a munkadarabról, forgácsról és sorjáról. Marószér Beraha '1 reagens

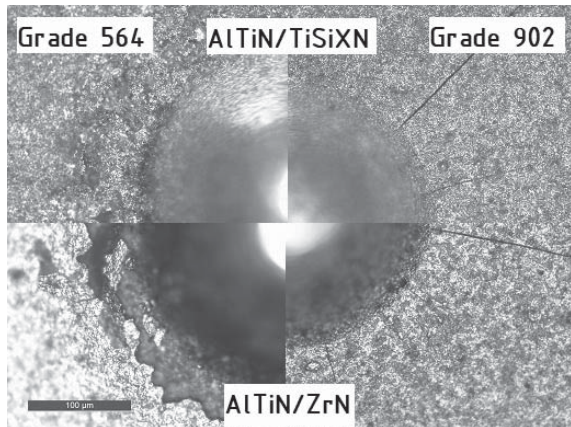
6. ADHÉZIÓS VIZSGÁLAT

A lapkákon alkalmazott bevonatok minősítésére több fajta eljárást találtak ki. Én egy Rockwell alapú vizsgálatot választottam, melyet széleskörben alkalmaznak. Szakirodalomban Daimler-Benz módszernek is nevezik, VDI-3198 számmal is hivatkoznak rá [5]. A 150 kg-os és 10 s terhelés után mikroszkóp alatt vizsgálható a bevonat mikrorepedeztségének mértéke, nem megfelelő esetben a leválása. A módszerhez tartozik egy hatfokozatú skála, mellyel megfelelőnek/nem megfelelőnek lehet minősíteni az alapfém és a bevonat adhézióját. Az adhéziós tulajdonságok megállapításához gyakorta alkalmazzák még a karctesztet is. A forgácsolási viszonyok szimulációjához és a bevonat vizsgálatára a pin/ball on disk vizsgálat nagyon jó közelítést ad. Ebben az esetben nemcsak a hőmérséklet beállítása lehetséges, hanem a pin/ball anyagát azonosra lehet választani, mint a forgácsolandó anyag.



13. ábra. A Daimler-Benz adhéziós teszt besorolási skálája [5]

A Daimler-Benz-féle mérések alapján az adhéziós tulajdonságok részben bizonyítják, hogy azonos bevonat alkalmazásánál, viszont eltérő keményfém alkalmazásánál változtak a kopási értékek.



14. ábra. Daimler-Benz próba lenyomat sztereó mikroszkópos felvételei 200-szoros nagyításban

Érdekes módon nagyobb mértékben befolyásolta a lapka anyaga a hátkopást, mint a hűtő-és kenőfolyadék alkalmazása. A tesztek alapján a Grade 902-re mind a két típusú bevonat kombináció jobban tapadt és megfelelőnek volt minősíthető, csak mikro-repedések keletkeztek a benyomódás körzetében. A Grade 564-nél már a nem megfelelő tapadási tulajdonságokat figyelhetünk meg. AlTiN+ZrN kombinációnál a legrosszabb minősítési fokozattal rendelkezett, TiSiXN-nél pedig még az éppen megfelelő 4-es besorolást kapta. A feltárt adhéziós tulajdonságokat jól visszatükrözi a forgácsolás után megfigyelt élrátét képződést és bevonat leválás.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A mért erőértékeknél több tendenciát, az 5-ös adhéziós osztályú kombinációnál a kopásból eredő erőnövekedést, a jobb osztályzatúaknál kismértékben változott az erő nedves forgácsolásnál, száraz forgácsolásnál viszont csökkenést tapasztaltunk, feltételezhetően a hőmérséklet emelkedésből következő lágyulás miatt. A lapkák elemzése alapján tapasztalható volt a szak- és kortársirodalmakban felmerülő élrátétképződés, homlokkopás és szélkopás. A kopási igénybevételeket csökkenthetjük hűtő-és kenőfolyadék alkalmazásával, illetve a megfelelően ismert és jó tapadóképesű bevonattal. A szélkopásra választ ad a sorja

keményiség, ugyanis keménysége közel másfélszer akkora, mint az alapanyagé és a forgácsolásnál is keményebb, az alakításból származó keményedés adja a sorjának ezt a tulajdonságát. A vizsgálat rámutatott arra, hogy nem elegendő az igénybevételeknek ellenálló bevonatot és keményfém alkalmazni, de e kettő adhéziós kölcsönhatását is figyelembe kell venni. A hátkopás értékek és adhéziós osztály alapján a Grade 902+TiSiXN+hűtés bizonyult a legmegfelelőbbnek az alkalmazott technológia esetén.

8. IRODALOM

- [1] Gunn, R. (Ed.). (1997). Duplex stainless steels: microstructure, properties and applications. Woodhead Publishing.
- [2] Bődök, K. Az ötvözetlen, gyengén és erősen ötvözött szerkezeti acélok korrózióállósága, különös tekintettel azok hegeszthetőségére. Corweld, Budapest, 1997
- [3] Diniz, A. E., Machado, Á. R., & Corrêa, J. G. (2016). Tool wear mechanisms in the machining of steels and stainless steels. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 87(9-12), 3157-3168.
- [4] Dr. Sipos S., Dr. Palásti-Kovács B., Dr. Horváth R.. Forgácsoló technológiák és szerszámai, ÓE-BGK 3057, Budapest 2015.
- [5] <https://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/materials/pages/workpiece-materials.aspx>
- [6] Nomani, J., Pramanik, A., Hilditch, T., & Littlefair, G. (2015). Chip formation mechanism and machinability of wrought duplex stainless steel alloys. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 80(5-8), 1127-1135.
- [7] Vidakis, N.; Antoniadis, A.; Bilalis, N. The VDI 3198 indentation test evaluation of a reliable qualitative control for layered compounds. Journal of materials processing technology, 2003, 143: 481-485.

AZ INFORMÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTERIUM ÚNKP-19-1-I-ÓE-62 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.



KÖSZÖNETTEL TARTOZUNK TOVÁBBÁ A MAGYARMET FINOMÖNTÖDE KFT.-NEK ÉS A TEMA TEHETSÉG MENEDZSMENT ALAPÍTVÁNYNAK A TÁMOGATÁSÉRT.



KLINCS KÖTÉSEK KÍSÉRLETI ÉS SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATAI – A BÉLYEG GEOMETRIÁJÁNAK HATÁSA A KÖTÉSEKRE

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF CLINCH JOINTS – EFFECTS OF THE PUNCHING TOOL'S GEOMETRY ON THE JOINTS

Jónás Szabolcs*, Kovács Péter Zoltán**

ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a cikkünkben a klincseléshez használt bélyeg geometriai hatását elemezzük a nyakvastagságra gyakorolt (t_N) hatásának szempontjából végeselemes módszerekkel. A nyakvastagság az egyik legfontosabb jellemzője a klincselte kötéseknek, különösen, ha a fő terhelés húzás. A cikkben bemutatunk egy összefüggést, amely a bélyeg két fontos geometriai méretével írja le a várható nyakvastagságot. Az alkalmazott 1 mm vastag lemez anyagminősége AA6082 alumínium ötvözet.

ABSTRACT

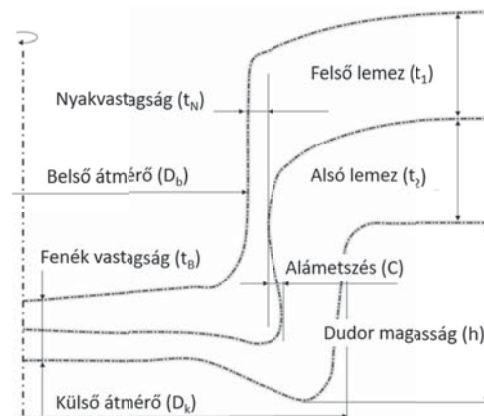
In this study the effect of geometry of the punching tool is analyzed by FEA on the neck thickness (t_N). The neck thickness size is one of the most important parameters of the joints, especially when the main loading condition is a tensile type of load. The study provides an equation which consist the two most affecting parameters of the punching tool. The applied material type was AA6082 type of aluminum alloy with the thickness of 1 mm.

1. BEVEZETÉS

A klincs kötések főként az autóiparban használják, de más vékonylemez kötések alkalmazó iparágakban is gyakori eljárás. Néhány kivételtől eltekintve a néhány mm vastagságú lemezek között létesítenek olyan oldhatatlan kötések, amelyek helyi képlékeny alakváltozás során egy bélyeg és matrica szerszámpárral készítenek el. A klincselés előnyei a rokontechnológiának számító ponthegeztéssel szemben, hogy egyszerűbben használható, nincs károsanyag kibocsátás a gyártás során. További előnyei, hogy olcsó és jól automatizálható, ugyanakkor viszonylag könnyen lehet monitorozni a megfelelő működést a gyártás során. Ezzel együtt fontos kitérni a hátrányos tulajdonságokra is,

amelyek közül leginkább a statikus szilárdsági mérőszámokban jelentkezik, ugyanis a ponthegeztett kötések szilárdságának mindösszesen csak maximum 60%-át képes elviselni [1,2,3]. Esetleges vasúti alkalmazás esetén a kifáradási jellemzők viszont kedvezők lehetnek.

A kialakuló kötésgeometriát alapvetően a szerszámok geometriája befolyásolja, így azok kialakítására nagy hangsúlyt szükséges fektetni. Az 1. ábrán egy tipikusnak mondható körponti alakú kötés látható a főbb, kötésre jellemző geometriai méretek feltüntetésével. A kötés szilárdsága a nyakvastagságon túl az alámetszéstől (C) függ. Minőségbiztosítási szempontból pedig a fenékvastagság (t_B) ismerete fontos.



1. ábra Körponti alakú klincs kötés tipikus méretei

A kötés szilárdságára vonatkozó összefüggés ismert az irodalomból, de a módszer korlátja, hogy ismerni kell a t_N nyakvastagságot ahhoz, hogy becsülni lehessen a maximális terhelő erőt [4].

Ebben a tanulmányban egy olyan módszert ismertetünk, amely adott t_B fenékvastagság mellett

* szimulációs mérnök, Knorr-Bremse Vasúti Járműrendszerek Hungária Kft., doktorjelölt ME-ATI, szabolcs.jonas@knorr-bremse.com

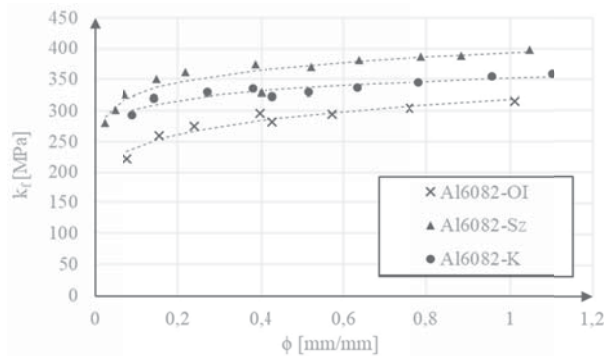
** egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Intézet Tanszék, ME-ATI, metkpz@uni-miskolc.hu

a bélyeg kúposágát és csúcstartóját figyelembe véve jó becslést ad a létrehozásakor várható nyakvastagság értékére, amelyet felhasználva becsülhető a kötés szilárdsága.

2. VÉGESELEM MODELL KALIBRÁLÁS

2.1. Anyagtörvény meghatározása

A kötések létrehozásához AA6082 jelű alumínium ötvözetből készült 1 mm vastag vékonylemezeket használtunk. Az első kísérleteink során a lemezek szállítási állapotban voltak, azonban a kötésekben repedések keletkeztek. Ebből arra következtettünk, hogy ebben az állapotban nem alkalmasak a kötések létrehozására. Annak érdekében, hogy megfelelő módon készülhessenek el a kötések, több hőkezelési eljárásnak vetettük alá az alapanyagot, így elsőként oldó izzítással lágyítottuk (525°C, t=30min), ezáltal feloldottuk az ötvözőket, ezt egy gyors hűtés követi, aminek hatására túltelített szilárd oldat jön létre. Majd kikeményítettük (190°C, t=8h), ekkor a vegyüetfázis diszperz eloszlásává válik, ezzel együtt a szilárdsága is változott. Ez utóbbi folyamat szobahőmérsékleten is képes végbe menni, igaz lassabban [5]. Az egyes hőkezelési állapotokban meghatároztuk Watts-Ford vizsgálat segítségével az alakítási szilárdságot (2. ábra).

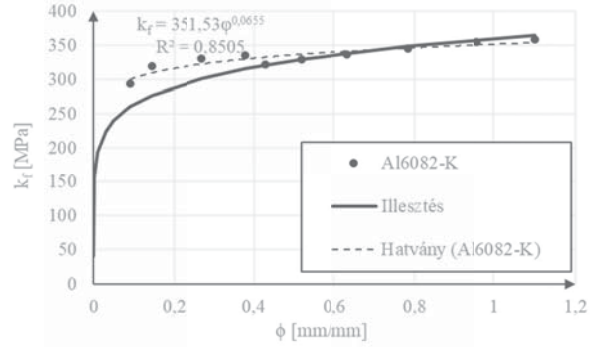


2. ábra AA6082 ötvözet különböző hőkezelési állapotokban meghatározott alakítási szilárdsága

A görbeillesztéshez illetve a várhatóan nagy alakváltozások leírására a Nádai-féle összefüggést használtuk (1):

$$k_f = K \cdot \varphi^n \quad (1)$$

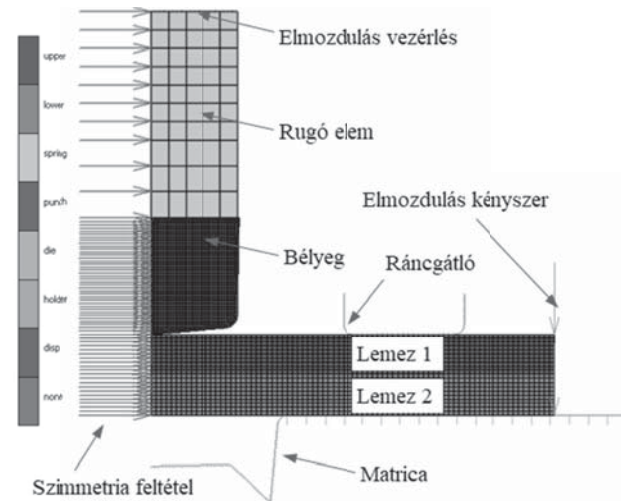
A számításokhoz végül a 3. ábrán bemutatott anyagtörvényt használtuk, mert azt tapasztaltuk a kalibráció során jobb egyezést eredményez, mind geometriailag, mind pedig erő-dugattyú elmozdulás értékekben.



3. ábra Szimulációkban használt anyagtörvény

2.2. Végeselem modell

A végeselem modellhez a BME-ATT biztosította az MSC.Marc&Mentat 2019-es verzióját. A modellezés során a szakirodalmak [2,4] és a saját tapasztalatok [6] alapján 2D-s tengelyszimmetrikus modell mellett döntöttünk. Igyekeztünk a mérésekhez használt TOX szerszám és MTS mérőgép viselkedését legjobban közelíteni modellünkben. A korábbi tapasztalatok alapján [6] a bélyeget egy kis rugalmasságú hasábon keresztül vezéreltük elmozdulással. A hasáb a valós szerkezetben lévő rugósort hivatott egyszerűsíteni. A lemezek a modellben izotrop keményedő rugalmas-képlékeny anyagtörvényt követnek, míg a bélyeg tisztán rugalmas, de két nagyságrenddel nagyobb rugalmassági modulussal rendelkezik, mint a valóságban. A ráncgátló és a matrica merev testként lett modellezve (4. ábra).



4. ábra Végeselem modell és háló

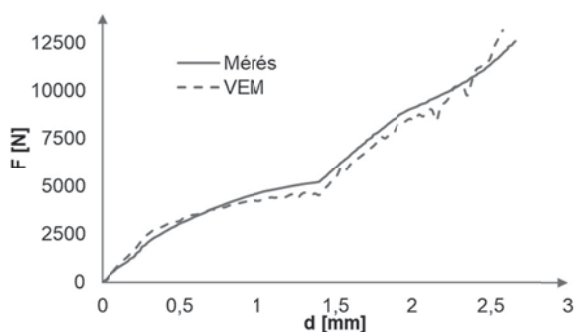
A függőleges élen definiáltuk a tengelyszimmetriát, a lemezek egy-egy pontját pedig függőleges irányban meggátoltuk az elmozdulásban.

A bélyeg és a rugót modellező hasáb között, valamint a hasáb és az elmozdulást biztosító merev elem között ragasztott kötést tételeztünk fel, a többi elem között súrlódásos kontakt feltétel lett definiálva.

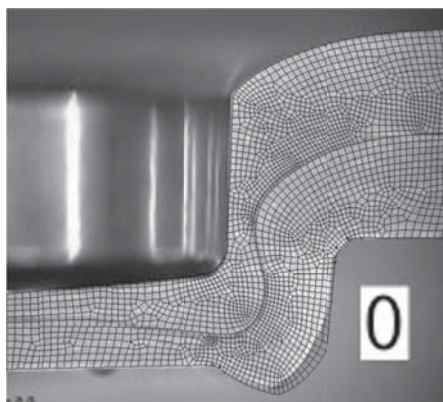
Az alakítás során globálisan újrarahálózunk a két lemezt, annak érdekében, hogy a nagy alakváltozások okozta durva elemtorzulásokat tudjuk kezelni.

2.3. Mérés és szimuláció összehasonlítása

A modellezés során szükséges, hogy valamihez tudjuk viszonyítani a kapott eredményeket, hogy a kapott értékeket használni tudjuk a későbbiekben. Jelen esetben rendelkezésre állt egy mérésorozat, amit referenciaként tudunk használni. A mérések során a $t_B=0,75$ mm maradó fenékvastagságot kívántuk megvalósítani. Az alábbiakban a modell megfelelőségét ezek alapján fogadjuk el (5-6. ábrák).



5. ábra Erő (F) és dugattyú elmozdulás (d) görbék összehasonlítása



6. ábra Próbatest keresztmetszete és az alakítás utáni geometria hálójának összehasonlítása ($t_B=0,75$ mm)

Az ábrákon bemutatott eredmények alapján megfelelőnek tekinthetjük a modellt, és feltételezhetjük, hogy más geometriával is

megfelelően pontosan közelítjük a valóságot, tehát használhatjuk a további számítások bemenő paramétereinek a végeselemes analizisekből származó eredményeket.

3. REGRESSZIÓS MODELL

3.1. Matematikai háttér

Az itt bemutatott módszer egy matematikai és statisztikai alapokon nyugvó eljárás, amit klasszikusan kísérletek tervezésére lehet használni, de fel lehet építeni olyan modelleket, amelyekkel egy adott tartományban nagy biztonsággal meg lehet mondani, hogy a kérdéses paraméter hogyan fog viselkedni. Az eredményül kapott összefüggéseket fel lehet használni különböző folyamatok fejlesztésére, optimalására [7].

Jelen cikkben egy empirikus alapokon nyugvó lineáris modellt fogunk leírni, amely a bélyeg csúcsgugarát és kúposágát veszi figyelembe, mint a leginkább befolyásoló geometriai méretek adott átmérő mellett.

Az egyenletet a (2) egyenlet szerinti alakban keressük

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \varepsilon, \quad (2)$$

ahol az y a kérdéses paramétert jelenti, β_i a regressziós együtthatókat, az x_i a változókat, és ε a statisztikus hibát jelenti.

Az eljárás szerint a legkisebb négyzetek módszerével keressük a regressziós együtthatókat úgy, hogy ismerünk néhány y értéket.

Általános alakban felírva az egyenletet a következőre jutunk (3), ($i=1,2,\dots,n$)

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i \\ = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i. \quad (3)$$

A cél, hogy az ε_i négyzetösszegét, L -t minimalizáljuk. Ezt a (4) egyenlet szerint végezhetjük el

$$L = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij})^2. \quad (4)$$

Az egyszerűbb tárgyalás érdekében térjünk át a mátrixos leírásra. A (2) egyenlet mátrixos alakban az (5) egyenlet szerint írható fel:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}, \quad (5)$$

ahol \mathbf{y} a megfigyelt értékek vektora, az \mathbf{X} egy $n \times p$ méretű mátrix és a független változókat tartalmazza, és az első oszlopa 1-seket tartalmaz, a $\boldsymbol{\beta}$ a regressziós együtthatók vektora míg az $\boldsymbol{\varepsilon}$ a hibák vektora.

Vezessük be a kódolt változókat, amelyeket $[-1;1]$ -n értelmezünk és a két vizsgált paraméterből származtatjuk, ezzel együtt \mathbf{l} vektort a regressziós

tagok becslésére. Ez utóbbinak teljesítenie kell a (6) egyenletet.

$$\frac{\partial L}{\partial \beta} \Big|_b = -2X^T y + 2X^T Xb = 0. \quad (6)$$

Ezeket figyelembe véve az illesztett regressziós összefüggés (7)

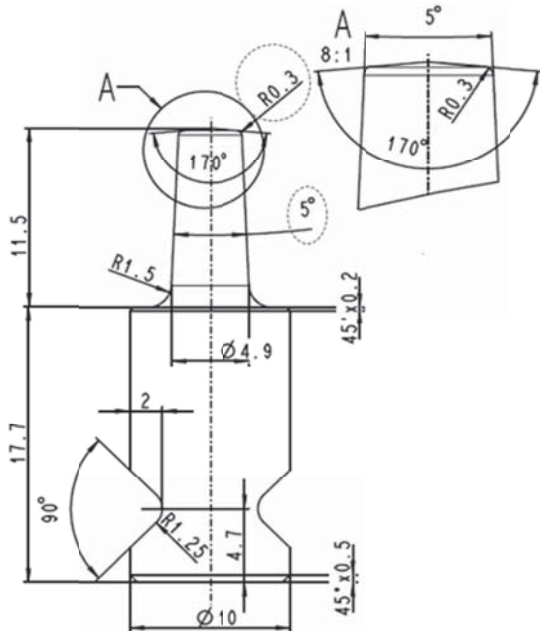
$$\hat{y} = Xb. \quad (7)$$

A modell hibáját a diszkrét pontokban egyszerűen meg lehet állapítani, vegyük az (5) és (7) egyenletek különbségét:

$$e = y - \hat{y}. \quad (8)$$

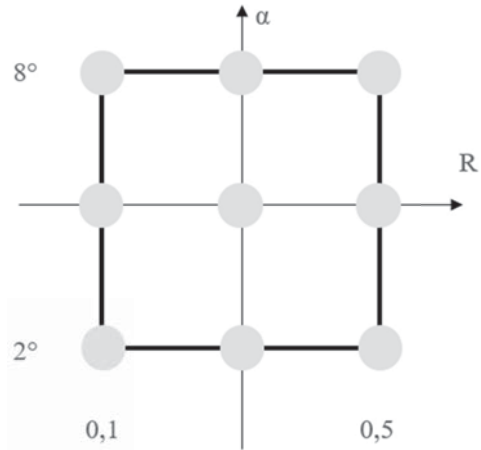
3.2. Regressziós együtthatók meghatározása

A módszert ebben az esetben a nyakvastagság meghatározására alakítjuk át a csúcscsugár (0,1-0,5 mm intervallumon) és a kúpszög (2-8° intervallumon) változásának függvényében. Az eredeti szerszám geometriáját a 6. ábra mutatja. Az intervallumok megválasztásakor figyelembe vettük, hogy 0,1 mm-nél kisebb csúcscsugár esetén már inkább kivágásról beszélhetünk.



7. ábra Bélyeg eredeti geometriája

Ehhez az szükséges, hogy előzetesen létrehozzuk az y vektort, amely az intervallumok szerinti különböző bélyeggeometriák variációi alapján elvégzett 9 db szimulációból származó nyakvastagságokat tartalmazza (8. ábra szerint). Minél több pontban ismerjük a y -t, annál pontosabb lesz az összefüggés. Jelenleg lineáris a modell, de lehetséges, hogy magasabb fokú összefüggéssel vizsgáljuk az intervallumot, és a paraméterek egymásra hatását is lehet elemezni. A továbbiakban ez a vektor legyen t_N .



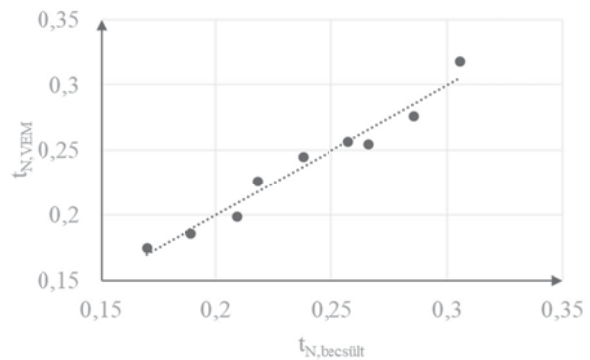
8. ábra Vizsgált pontok

Elvégezve a szimuláció sorozatot és a műveleteket a (9) összefüggésre jutunk.

$$t_{N, \text{becsült}} = 0,127 + 0,016\alpha + 0,098R. \quad (9)$$

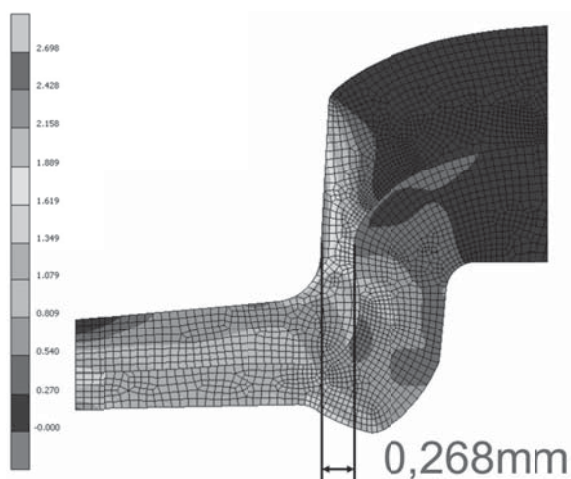
3.3. Modell verifikáció

Az összefüggés használhatóságát szükséges ellenőriznünk, ezért a (9) egyenlettel végig számolva az összes vizsgált esetet kaphatjuk a 9. ábrán látható diagramot, ami jó egyezést mutat a becsült és számított nyakvastagságok között.



9. ábra Számított és becsült nyakvastagság

Hogy meg tudjunk győződni arról, hogy a vizsgálati tartomány más pontjaiban is kellően helyes eredményre vezet a modellünk, a (9) összefüggésbe visszahelyettesítettük az $R=0,4$ mm és $\alpha=6^\circ$ értékeket, amellyel $t_{N, \text{becsült}}=0,262$ mm-re adódik, majd ezekkel a paraméterekkel felépített végeelem modellt kiértékelve arra jutunk, hogy a nyakvastagság $t_{N, \text{VEM}}=0,268$ mm (10. ábra), ami jó egyezést mutat a két számított érték között.



10. ábra Képlékeny alakváltozás eloszlása és a nyakvastagság ($R=0,4\text{mm}$ és $\alpha=6^\circ$ esetre)

A nyakvastagság felhasználható a nyíró-szakító terhelésű kötések maximálisan megengedhető teherbírásának becslésére a (10) összefüggés alapján.

$$F_{N_{\text{nyíró, becslés}}} = R_m \pi (D_b t_N + t_N^2), \quad (10)$$

ahol az R_m a szakítószilárdság és D_b a szerszám átmérője [4].

A (10) összefüggés esetünkben rendkívül konzervatív becslést eredményezett. A nyíró-szakítóvizsgálatok eredménye az eredeti geometriával készült kötések esetén $F_{N_{\text{nyíró, mérés}}}$, $\min \approx 1280$ N, míg a becslésünk a szabványos szakítószilárdságot figyelembe véve ($R_{m, \min} = 310$ MPa, [8]) $F_{N_{\text{nyíró, becslés}}} = 1067$ N-t eredményez. A különbség 16%-os, ezzel együtt a biztonság irányába tévedünk.

4. TOVÁBBI VIZSGÁLATOK

A cikkben röviden összefoglaltuk, hogy miként állítottunk fel olyan összefüggést alumínium ötvözetre $t_b = 0,75$ mm esetén, amelyeket tovább lehet használni a kötések teherviselőképességének előzetes becslésére kísérletek nélkül, vagy csak nagyon kevés számú kísérlet elvégzésével.

A távlati terv, hogy a már megrendelt TOX szerszámokkal elvégezzünk kontrollméréseket, ezzel igazolva a nyakvastagság becslésére meghatározott modellünk helyességét. Mivel a nyíró-szakítóvizsgálatok becsléséhez használható összefüggés eredménye túl konzervatív ebben az esetben, ezért további számítások és mérések szükségesek ahhoz, hogy pontosabb eredményeket kaphassunk a becslés során. Ezáltal reményeink szerint jobban tervezhetővé válnak a kötések, és egy jól használható módszert tudunk a tervezők kezébe adni.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-19-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának szakmai támogatásával készült.

6. IRODALOM

- [1] TISZA M., GÁL G., KISS A., KOVÁCS P. Z., LUKÁCS Zs.: *Alakítható nagyszilárdságú lemezanyagok klincs kötése*, Multidiszciplináris tudományok, 4. kötet, 1.sz. pp. 49-58, 2014
- [2] X. HE, *Clinching for sheet materials*, Science and Technology of Advanced Materials, vol. 18., 2017
- [3] T. BALAWENDER, T. SADOWSKI, M. KNEC, *Technological problems and experimental investigation of hybrid: clinched – adhesively bonded joint*, Archives of Metallurgy and Materials, vol. 56, 2011
- [4] S. COPPIETERS, *Experimental and numerical study of clinched connections*, PhD dissertation, KU Leuven, 2012
- [5] J. T. HEALEY, *Guinier-Preston zone evolution in 7075 aluminum*, PhD dissertation, University of Florida, 1976
- [6] JÓNÁS Sz., TISZA M., *Finite element modelling of clinched joints*, Advanced Technologies and Materials, vol. 43. 2018
- [7] R. H. MYERS, D. C. MONTGOMERY, C. M. ANDERSON-COOK, *Response surface methodology – Process and product optimization using design experiments*, John Wiley & Sons, Inc., 3rd Edition, 2009, ISBN 978-0-470-17446-3
- [8] ISO 6361-2/2014

NAGYTISZTASÁGÚ ALUMÍNÍUM ÖNTVÉNYEK ELŐÁLLÍTÁSA

MANUFACTURE OF HIGH PURITY ALUMINUM CASTINGS

*Dr. Pesti László, Németh Péter
ECSERI Kft. 2700 Cegléd, Ipartelepi út 1629/15*

ÖSSZEFOGLALÁS

Az autóiipari alumínium alkatrészek előállítása során a felületi tisztaság kiemelt figyelmet igényel, a később beépítésre kerülő elektronika védelme érdekében. A szennyeződések a gyártási folyamat alatt kell megelőzni, nem elég a folyamat végén mosással eltávolítani. Cikkünk a technológia alapját képező kutatást mutatja be.

ABSTRACT

In the production of automotive aluminum components, surface cleanliness requires special attention to protect the electronics to be incorporated later. Contamination must be prevented during the manufacturing, it is not enough to remove it by washing at the end of the process. This article describes the research behind this technology.

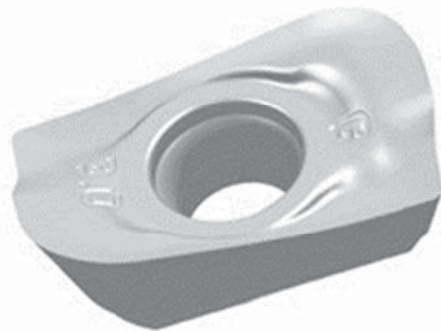
1. BEVEZETÉS

Cégünk piacvezető autóiipari cégek beszállítójaként korán felismerte azt a folyamatosan növekvő vevői igényt, amely a nagy felületi tisztaságú termékek előállítását és a magas minőség folyamatos fenntarthatóságát célozza meg. Az alkatrészek maradó szennyeződések működés közben zavarokat okozhatnak, legsúlyosabb esetben egy rövidzárlat következtében autók állhatnak le. Ezen célok kielégítése komoly műszaki kutatásokat és fejlesztéseket követel meg, mind a magasnyomású öntés terén, mind pedig az öntést követő megmunkálási és felületelőkészítési technológiák terén. [1]

A célként kitűzött maximum 200 mikronos felületi tisztaság csupán a felület mosásával nem érhető el. Termékeink jelentős részébe autóelektronikai nyáklapok épülnek be, melyek miniaturizálása magával hozta a megengedett legnagyobb szennyeződések méretének csökkentésének igényét. A folyamat paramétereinek módosítása, javítása igen bonyolult és költséges eljárás, ami ebben a mérettartományban egyre több autógyárban

előírassá vált. Az autók elektromos felszerelése évről-évre komplexebbé válik, ami a helykihasználás optimalizálását vonja maga után, így a gyártók és az alkatrészbeszállítók érdekei megegyeznek, ami által hatékonyabbá tehetjük már a tervezéstől kezdődően a végtermék működését.

Példaként egy integrált áramkör forrasztott lábai között 275 mikron távolság van. Ha két láb közé kerül egy 200 mikronos fémes szennyeződés, akkor megközelítőleg 0,0375 mm távolság marad a különböző potenciálú lábak és a szennyeződés között. Ez a távolság pont elég egy elektromigrációs kémiai folyamat beindításához, ahol a két láb potenciálkülönbsége és a lecsökkent lábtávolság miatt egy kristályokból álló vezetősáv alakulhat ki, amely végül zárlatot okozva tönkretesz az adott áramkört. [2] Többek között ezen jelenség miatt szigorodnak a tisztasági követelmények.



1. ábra: Forgácsoláshoz használt speciális kialakítású váltólapka

2. A KUTATÁS MENETE

A cégünk felé érkező vevői igények növekedése miatt szükségessé vált a megfelelő fejlesztések projekt szinten történő kidolgozása és bevezetése. A folyamatos próbálkozásokat felváltotta a kijelölt célnak megfelelően, kutatócsoport által végzett feladatok projektterv

szerinti elvégzése. A kutatás célja a vevő által meghatározott tisztasági termékjellemzőnek való megfelelés. A cél eléréséhez a tisztaságot képesnek kell lennünk laborkörülmények között mérni, hogy szükség esetén be is tudjunk avatkozni. A mérési módszer kidolgozását és validálását követték a kísérletek a terméktisztaság növelésére.

Kezdetben a mosóberendezéseink ismert hiányosságainak javítását végeztük el. A felhasznált mosóvíz minőségét javítottuk egy RO berendezés beépítésével. A vegyszereink koncentrációjának állandóságát automata vegyszeradagolással és monitorozással értük el. Megnöveltük a mosóberendezéseink fűvókáinak hatékonyságát fűvókátípus váltással, és a szivattyú teljesítmények növelésével. Megdupláztuk a szűrőberendezéseink számát és növeltük a szűrőbetétek finomságát. Megsokszoroztuk a technológiai folyadékok tisztasági vizsgálatait, és meghatároztuk a szűrőbetéteink cseréjének ütemezését. A 200 mikronos célhoz a szűrő utáni vizeinkben 70-80 mikron a megengedett szennyeződés. A legfinomabb szűrőnk 5 mikronos tehát a névleges szűrőképességnél 15-ször nagyobb szennyeződés is áthalad, akkor az a szűrő már nem látja el a feladatát. A próbálkozások ellenére sem sikerült megfelelő tisztasági értéket elérni, ezért a gyártási folyamat többi részét is megvizsgáltuk. Termékeink jelentős része gépi megmunkáláson megy át, ahol fémgorgáccsal szennyeződnek. Egy hagyományos mosóberendezés maximum 4-6 bar nyomásra van tervezve, a forgácsok eltávolításához a furatokban azonban ez nem elég.



2. ábra: Nem kívánatos forgács beszorulása

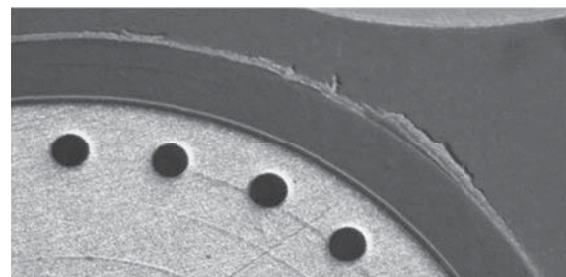
A következő szakasz alappillére az a szakemberekből álló team volt, akik külön-külön specialista egy-egy gyártási lépésnek. Ezen csapat gyártási tapasztalataikat felhasználva saját területükön kísérletterv

alapján javították az adott folyamatlépést, kiszűrve a technológiai zsákutcákat, így elérve az optimális beállításokat. A kísérletek faktorainak meghatározásához több brainstormingot is tartottunk, ahol a legvalószínűtlenebb ötletek is felvetődtek, a keletkezett felvetéseket pedig analizáltuk és arra próbagyártást indítottunk. A kísérletekhez használt termék a vevőink legérzékenyebb, legtöbbet reklamált terméke, egy váltóvezérlő panel háza és hűtőbordája volt. A végterméken maradt szennyeződések eredetének felderítéséhez Ishikawa-diagram készült, amelybe felvettünk minden olyan technológiai lépést, alapanyagot, módszert, eszközt, környezeti hatást, amely hatással lehet a termék tisztaságára. Ezen összekapcsolódó folyamatokat a következő bekezdések foglalják össze.

Az öntőszerszám tervezés, gyártás az első ilyen folyamat, ahol a sorja előfordulási helyeit kell minimalizálni vagy megszüntetni. Fontos szempont a szerszám azon területeit optimalizálni, amelyek az öntést követően forgácsolt felületek lesznek. [3] A hegyes élek sarkok kerülése. Ezen pontos tervezési lépések hatással vannak a gépi forgácsolt végtermékre.

A következő a koptatási és szemcseszórás műveletek, ahol a segédanyagok kiválasztási szempontjai alapján lehet a nemkívánt szennyeződések mechanikai úton eltávolítani.

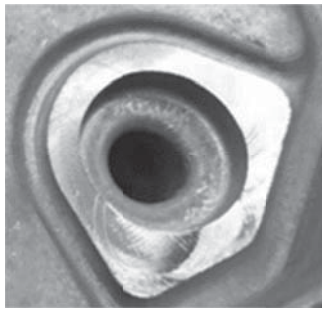
Ezután a CNC megmunkáláson belül a speciális szerszámok és megmunkáló programok fejlesztése került sorra, amelyekkel olyan sorják keletkezését lehet redukálni, ami normál esetben nem okoz problémát, ám az elektronikai iparban a legnagyobb hibaokok egyike. [4]



3. ábra: Éles felfekvő öntvényfelület miatti megsérült nyáklap, ami a rezgés-vibráció következtében kidörzsölődött.

Sikerült nagy hatékonyságú termékspecifikus mosó és öblítő berendezéseket

terveznünk és gyártanunk. Ezen berendezések például a CNC megmunkáló állomásokon magasnyomású víz vagy levegő speciálisan a termékre szabott helyeken távolítja el a megmunkálásból keletkezett szennyeződések. A megmunkálási irányok, szerszámbelepési módusok, előtolási és megmunkálási sebességek változtatásával jelentősen javult a termék megmunkálás utáni tisztasága is.



4. ábra: Design hibás PCB pozicionáló furat és alátámasztó sík

Az alumínium megmunkálásánál a sorjaképződést egy másik jelenség is kísérheti, ez pedig az „alátörés”. Alátörésnél a leváló sorja egy része nem válik le teljesen, hanem mint egy nagyon apró méretű mikrorepedés, a felületen marad. Ezek egy része a mosási folyamat során a terméken képes maradni és a beépített panelek lábai között akár zárlatot is okozhatnak. A nyomásos alumínium öntéshez használt szerszámok tervezésénél kerülni kell minden hegyes szöveget, amely megmunkáláskor alá tud törni. Minden olyan felületet, ami öntés után megmunkált, érdemes rádiusszal vagy tompa 135°-os szöggel előönteni, így a marószerszámok által képzett forgácsok nem képeznek a megmunkált felületből kitörve leváló sorját.



5. ábra: Módosított lekerekített PCB pozicionáló furat és alátámasztó sík

Ide tartozik továbbá a mosási, csomagolási és szállítási folyamatok finomhangolása is, ami a kiszállítás előtti utolsó olyan szakasza a gyártásnak, ahol még növelni lehet a termékek tisztaságát.

3. A KUTATÁS EREDMÉNYEI

Röviden a fejlesztések célja a folyamatok alatt keletkező, illetve a terméket érő külső szennyeződések minimalizálása volt. Ennek legcélravezetőbb módja az, ha már a keletkezés helyén a lehető legnagyobb hatékonysággal el tudjuk távolítani termékeinkről a szennyező anyagokat, illetve a fémes részecskéket.

Minden a projekttel kapcsolatos technológia évről-évre folyamatosan fejlődik, amelyekkel lépést tartva lehetőség nyílik mindenki számára azon tapasztalatokból, kísérletekből, tesztekben származó új eszközök, technológiák saját gyártásukba integrálása, amelyek fejlesztésében cégünk is kivette érdemi részét.

4. PÁLYÁZATI INFORMÁCIÓ

A KFI_16-1-2016-0023 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a VÁLLALATI KFI_16 pályázati program finanszírozásában valósult meg.

5. IRODALOM

- [1] Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA). Quality Management in the Automotive Industry – Part 2: Technical cleanliness in assembly. VDA 19.
- [2] Dúl J.: Nyomásos öntészeti ismeretek. Nemzeti tankönyvkiadó, Budapest 2009.
- [3] Boza P., Burunyi P.: CNC forgácsolás 1. - CNC programszerkesztés. Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest, 2007.
- [4] Varga F.: Öntészeti kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985.

A FORGÁCSOLÓ ERŐ VÁLTOZÁSA AZ ELŐTOLÁS FÜGGVÉNYÉBEN ROTÁCIÓS ESZTERGÁLÁSNÁL

CUTTING FORCE ALTERATION IN FUNCTION OF THE FEED IN ROTATIONAL TURNING

Sztankovics István, Kundrák János

ÖSSZEFOGLALÁS

Olyan eljárás kísérleti vizsgálatát mutatjuk be munkánkban, ahol (a bekezdési és a kifutási szakaszon kívül) állandó forgácskeresztmetszettel és körelőtolással végezzük a forgácsoló megmunkálást. Ezen kinematika hatására a forgácsleválasztás jellemzői megváltoznak a hosszelőtolásos esztergáláshoz képest. Ebben a cikkben az előtolás hatását vizsgáljuk a forgácsoló erő komponenseinek értékére és arányára.

ABSTRACT

The experimental study of a machining procedure is shown in our work, where the cutting is done by circular feed with constant cross-sectional chip thickness (besides of the run-in and run-out phase). Due to the special kinematics of the procedure, the characteristics of the chip removal is changing relative to traditional turning. In this paper we study the effect of the feed on the values and rate of the cutting force components.

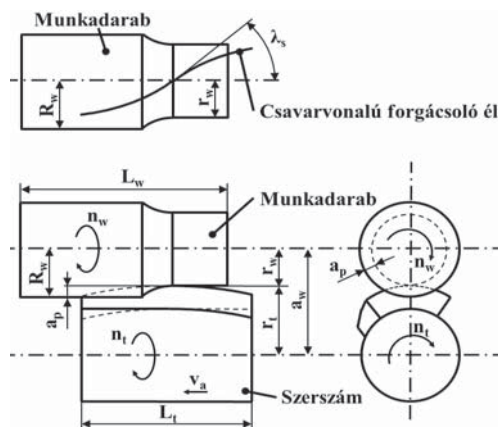
1. BEVEZETÉS

Az alkalmazott mozgásviszonyok és az azoknál dolgozó forgácsoló szerszámok élgeometriája jelentősen megváltoztatják a forgácsoló erő eredőjének és összetevőinek nagyságát és arányát adott munkadarab-szerszám párosításnál. Az általunk vizsgált eljárásnál a munkadarab forgó mozgása mellett a szerszám körelőtolással dolgozik [1]. Elvileg két jellemző eset lehetséges: ha egyélű szerszámmal végezzük, akkor rotációs esztergálásnak [2], ha többélű szerszámmal, akkor körmarásnak nevezhetjük [3]. A rotációs esztergálás geometriai és kinematikai viszonyait az 1. ábra mutatja (v_a : kiegészítő axiális előtolás; ω_t : szerszám szögsebesség; ω_w : munkadarab szögsebesség; r_t : csavarvonalú él sugara; r_w : megmunkált felület sugara; λ_s : terelőszög; R_w : megmunkálandó felület sugara; a_p : fogásmélység; a_w : szimmetria tengelyek távolsága). Az élek számán túl jellemzően a munkadarab-szerszám közötti sebességviszony különbözik,

mert az előbbinél a szerszám forgómozgása az előtoló sebességnek, míg az utóbbinál a forgácsolósebességnek felel meg.

Az utóbbi időben a termelékenységek növelésének leginkább kutatott területe az előtolás növelés [4,5], mivel a forgácsoló sebességben rejlő lehetőségeket a nagysebességű megmunkálásokkal már többé-kevésbé kihasználták. Az előtolás növelésekor egyik vizsgálati terület az állandó forgácskeresztmetszet mellett a forgácsleválasztás jellemzők változásának elemzése. Karpuschewski et al a homlokmarás kutatásában megállapították, hogy az előtolás növelésekor a forgácsarány megváltozása a forgácsolóerőt csökkenti [4]. Kundrák et al kutatásukban a forgácskeresztmetszet alakját vizsgálva megállapította, hogy azonos forgácskeresztmetszet mellett az anyagleválasztási ráta növelhető, mert a szükséges teljesítmény csökken [6]. Utsumi et al megállapították, hogy körmarás esetén a szerszám munkadarabhoz viszonyított szöghelyzete jelentősen befolyásolja a forgácsoló erőket [7].

Kísérleteink célja az eltérő feltételekkel végzett esztergálásnál (rotációs- és hosszesztergálás) ébredő erők nagyságának és arányának vizsgálata. Ezért a hagyományos élkialakítású szerszám mellett kétféle terelőszögű csavarvonalú mentén elhelyezkedő élű szerszámmal végezzük el a kísérleteket.

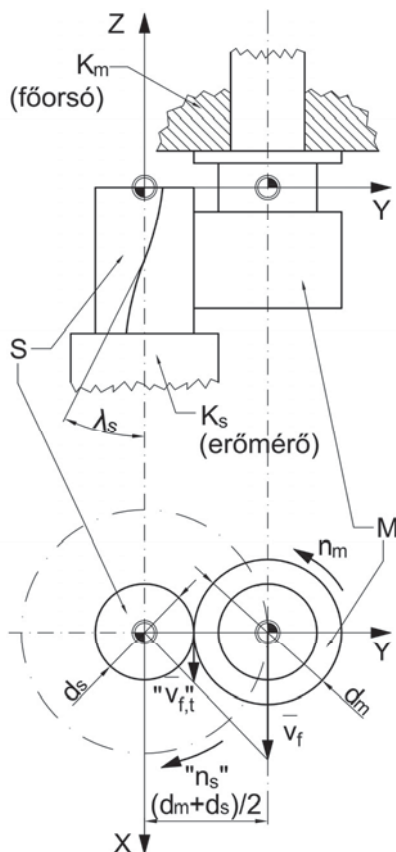


1. ábra. A rotációs esztergálás kinematikai és geometriai viszonyai

2. KÍSÉRLETI FELTÉTELEK

A forgácsolási kísérletek célja rotációs esztergálással végzett forgácsleválasztásnál a forgácsoló erő mérése és vizsgálata volt. A kísérlet kinematikai elrendezését mutatja az 2. ábra, melyen az alkalmazott jelölések:

- M – munkadarab, kísérleti próbadarab
- S – forgácsoló szerszám
- X,Y – a mozgás síkjának irányai
- Z – S szimmetriatengelyének iránya
- K_m – főorsón található befogókészülék
- K_s – szerszám befogó készülék
- λ_s – szerszámterelőszög
- d_s – szerszámátmérő
- d_m – munkadarabátmérő
- n_m – munkadarab fordulatszáma
- „ n_s ” – szerszám látszólagos fordulatszáma
- v_f – munkadarab előtoló sebessége
- $v_{f,t}$ – a szerszám látszólagos tangenciális előtoló sebessége



2. ábra. A szerszám és a munkadarab egymáshoz viszonyított helyzete és mozgásai

Az eljárást jellemző mozgásviszonyokat a kísérletek során egy Perfect-Jet MCV-M8 típusú megmunkáló központon valósítottuk meg. A kísérleti próbadarabot a marógép főorsójába fogva biztosítottuk a munkadarabnak

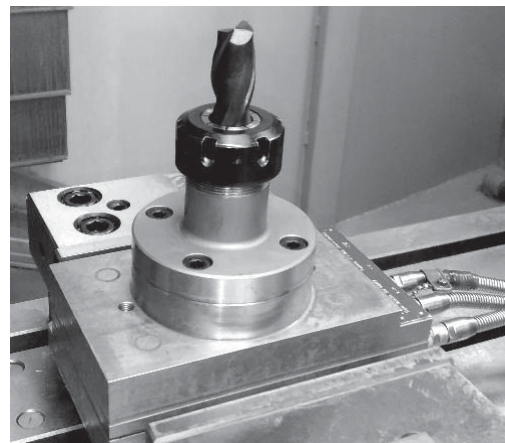
az esztergálás jellemző fordulatszámát (n_m). A forgácsoló szerszámot a gépasztalhoz rögzített erőmérő (Kistler 9257A) egységbe fogtuk be E32 önközpontosító patronos befogó segítségével (3. ábra). A szerszám gépasztallal együtt végzett körinterpolációs mozgása (v_f) biztosította a megmunkáláshoz szükséges körelőtolást („ n_s ”).

Megmunkálandó munkadarabnak 12 mm hosszú hengeres felülettel rendelkező, Ø40 Nemesített C45 acélt választottunk.

Rotációs forgácsoló szerszámként egy 30°-os és egy 45°-os terelőszöggel rendelkező szerszámot választottunk. Az első típusa Fraisa P5300682, továbbiakban jelölése „A” szerszám; a második típusa Sandvik Coromant 1P341-1600-XB 1630, későbbiekben „B”-vel jelölve. A mért értékek összehasonlításához hagyományos esztergakésnek egy CNMG 120412-PM lapkát DCLNL 2525 M 12 szárba szerelve választottunk. A kísérleteket 200m/min forgácsoló sebességen, 0,1 mm fogásmélységgel és szerszámonként hat féle előtolással végeztük el (1. táblázat).

1. táblázat. Kísérleti feltételek

Munkadarab:					
Ø40 Nemesített C45					
Szerszám:					
$\lambda_s = 30^\circ$ (A)	$\lambda_s = 45^\circ$ (B)	CNMG (C)			
Forgácsoló sebesség (v_c):					
200 m/min					
Fogásmélység (a_p):					
0,1 mm					
Előtolás (f) [mm]:					
0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0



3. ábra. A forgácsoló szerszám befogása az erőmérő platformra

3. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

Az erőmérő rendszer az egyes beállításoknál 1000 Hz mintavételezési frekvencián rögzítette az adott időpillanatban ébredő X, Y és Z irányú erőkomponenseket (2. ábra). A mért értékek valamint a munkadarab-szerszám pillanatnyi helyzetének ismeretében kiszámoltuk a szerszámhoz kötött koordináta-rendszerben a tangenciális (főforgácsoló, F_c), radiális (passzív, F_p) és axiális (előtolásirányú, F_f) erőket. A 18 beállításnál az egyes erőkomponensek maximális értékeit meghatároztuk, melyek a 2. táblázatban láthatók.

2. táblázat. A főforgácsoló-, a passzív- és az előtolásirányú erő maximumai

S	f [mm]	F_c [N]	F_p [N]	F_f [N]
A	0,1	51,63	33,17	13,52
	0,2	82,50	49,97	21,28
	0,4	136,49	74,83	38,62
	0,6	180,23	96,29	53,15
	0,8	204,30	102,17	59,51
	1,0	276,17	145,16	83,93
B	0,1	56,06	36,39	21,67
	0,2	78,80	48,84	30,93
	0,4	130,43	72,18	53,53
	0,6	182,38	90,86	74,96
	0,8	228,27	107,26	96,36
	1,0	268,85	127,34	114,84
C	0,1	55,56	73,60	11,61
	0,2	82,13	93,60	8,25
	0,4	130,09	130,82	17,84
	0,6	178,06	171,80	24,29
	0,8	230,90	212,16	25,01
	1,0	280,72	251,97	27,69

4. KIÉRTÉKELÉS

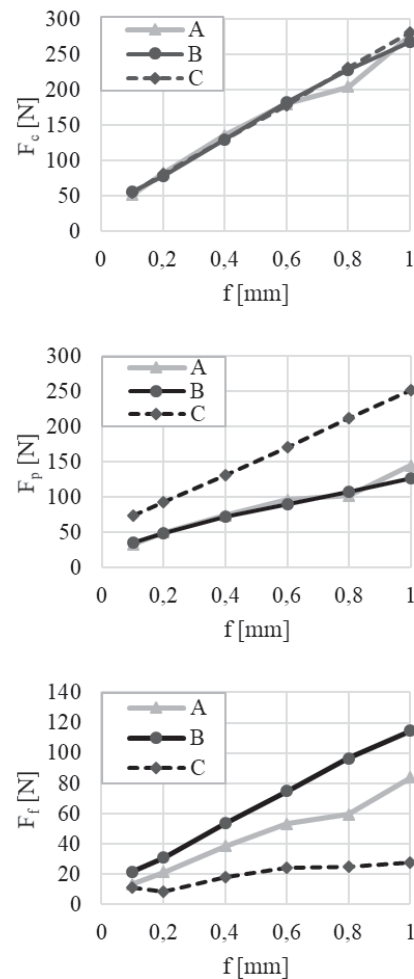
A három erőkomponens változását az előtolás függvényében mutatjuk be a 4. ábrán.

A főforgácsoló erőt (F_c) vizsgálva megállapíthatjuk, hogy mindhárom szerszámnál közel azonos értékeket kaptunk. A különböző előtolásoknál végzett kísérletek azt mutatják, hogy az előtolás növelés mértékétől kisebb arányban nő ez az erőkomponens (az előtolás kétszeresére növelésekor ~1,6-szeresére nő a főforgácsoló erő).

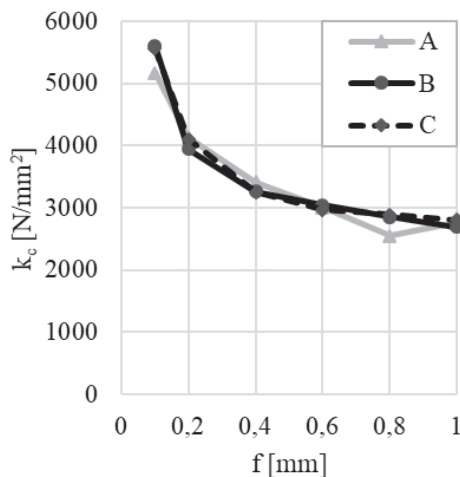
A passzív irányú erő (F_p) esetében rotációs esztergálásnál közel azonos értékeket kaptunk az egyes előtolásokon. Az A és B szerszámoknál az előtolás kétszeresére növelésénél az F_p erő ~1,4-szeresére nő. Továbbá megállapítjuk, hogy a körelőtolású eljárásnál a passzív erő 45-57 %-a lesz a hagyományos hosszsztergálásnál mért értékeknek. További

elemzéseink során megállapíthatjuk, hogy változatlan F_p erő mellett rotációs esztergálás esetén 4-szer akkora előtolás állítható be a hagyományos esztergáláshoz képest, illetve változatlan előtolás mellett fele akkora passzív erővel számolhatunk a rotációs esztergálásra áttéréskor. A passzív erő nagyságának kiemelt jelentősége van, mivel jelentősen befolyásolhatja a gyártott alkatrészek pontosságát.

A 4. ábra utolsó diagramján az előtolásirányú erő (F_f) változása látható. Rotációs esztergálás esetén a terelőszög változása alapján megállapítjuk, hogy a 30°-os szerszámnál mért értékek közel 30 %-al kisebbek lesznek a 45°-ú szerszámnál mértekhez képest. Az előtolás kétszeresére az A és B szerszámok esetében is közel 1,7-szeres növekedést eredményez az F_f erőben. A hagyományos esztergálásnál mértük a legkisebb erőket: a C szerszámhoz képest az A szerszám esetében közel kétszerese, míg a B szerszámánál közel háromszorosa lesz az előtolás irányú erő azonos előtoláson.



4. ábra. Főforgácsoló-, passzív- és előtolásirányú erő az előtolás függvényében



5. ábra. A fajlagos főforgácsolóerő (k_c) az előtolás függvényében

Az egyes erőkomponenseket különböző szerszámokkal és előtolásokkal vizsgálva láthattuk, hogy az előtolás növelése mindhárom esetben kisebb mértékű növekedést okozott. Ennek oka, hogy bár az előtolással a forgácsvastagság és így a forgácskeresztmetszet nőtt, azonban a forgácsvastagság növekedésével a fajlagos forgácsolóerő csökken. Ez látható az 5. ábrán is, ahol a fajlagos főforgácsolóerőt ábrázoltuk az előtolás függvényében.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az elvégzett kísérletekben az előtolás hatását vizsgáltuk a forgácsolóerőre különböző esztergáló eljárások esetén. Két, különböző terelőszögű rotációs esztergaszerszámmal és egy hagyományos esztergakéssel hatféle előtolással hajtottuk végre a kísérleteket. A szerszámra ható erőket kiszámolva a következőket állapítottuk meg. A főforgácsolóerő közel azonos a rotációs és a hagyományos esztergálás esetén. Ugyanakkor a passzív erő jelentősen kisebb rotációs eljárásnál (közel fele), az előtolásirányú erő esetében nagyobb értékeket kaptuk (2-4-szeres növekedés) a hagyományos esztergáláshoz képest. Eszerint ugyanakkora forgácsolási teljesítményszükséglet mellett kisebb lesz a munkadarabot szerszámtól eltolni igyekvő erő, viszont nagyobb lesz a szerszámtartót tengelyirányban terhelő erő. Vagyis rotációs esztergálás alkalmazásakor a munkadarab kihajlásától függő hibák csökkenésére lehet számítani, hiszen a megmunkáló rendszer kihajlása várhatóan kisebb lesz. A szerszámtartó méretezésekor figyelembe kell venni a megváltozott irányú terhelést.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚMKP-19-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának szakmai támogatásával készült.

A publikációban ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

7. IRODALOM

[1] J.G. Weisser Söhne GmbH & Co: Szabadalmi bejelentés, St.Georgen, Németország, 2004

[2] Klocke F, Bergs T, Degen F: Presentation of a novel cutting technology for precision machining of hardened, rotationally symmetric parts. Production Engineering, Vol. 7, Issue 2-3, pp. 177-184, 2013

[3] Schulz H, Kneisel T: Turn-Milling of Hardened Steel - an Alternative to Turning. CIRP Annals, Volume 43, Issue 1, pp. 93-96, 1994

[4] Karpuschewski, B, Kundrák, J, Emmer, T, Borysenko, D: A new strategy in face milling - inverse cutting technology. Solid State Phenomena, 261, pp. 331-338, 2017

[5] Hirose, T: Efficient cutting using coated solid endmill - high speed and high feed cutting using solid endmill of (Ti,Al)N coatings. JSAE Review, Volume 16, Issue 3, p 324, 1995,

[6] Kundrák, J., Gyáni, K., Felho, C., Deszpoth, I.: The effect of the shape of chip cross section on cutting force and roughness when increasing feed in face milling. Manufacturing Technology 17(3), pp. 335-342, 2017

[7] Utsumi K, Shichiri S, Sasahara H: Determining the effect of tool posture on cutting force in a turn milling process using an analytical prediction model. International Journal of Machine Tools and Manufacture, In press, 2019

PIN-ON-PLATE TRIBOMÉTER FEJLESZTÉSE TALAJMŰVELŐ SZERSZÁMOK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATÁHOZ

DEVELOPMENT OF A PIN-ON-PLATE TRIBOMETER FOR COMPARATIVE TESTING OF TILLAGE TOOLS

*Vajda Márk Zsolt, MSc Gépészmérnök hallgató, tanszéki demonstrátor
Dr. Rádics János Péter adjunktus*

ÖSSZEFOGLALÁS

A talajművelő gépek művelőelemei nagymértékű kopásnak vannak kitéve, amelyet a talajrészecskékkel való súrlódás okoz. A kopás hatására megváltozó szerszámgeometria vonóerő növekedést eredményez, amely a vontatási hatások jelentős csökkenésével járhat. Későbbi kutatásainkat az általunk megépített pin-on-plate tribométeren elvégzett koptatási vizsgálatainkkal alapoztuk meg, amelyek végcélja a szerszámélettartam számítása adott művelőelem és adott talajtípusok esetére.

ABSTRACT

The tools of tillage machines are subject to extensive wear and tear caused by friction with the soil particles. Changing tool geometry as a result of wear causes an increase in traction, which can lead to a significant decrease in traction efficiency. The basis of this research were abrasion tests made on a pin-on-disk tribometer. Aim of research is to calculate tool life of cultivator tools for specific soil types.

1. BEVEZETÉS

A talajművelő gépek művelőelemei nagymértékű kopásnak vannak kitéve, amelyet elsősorban az abrazív talajrészecskékkel való súrlódás okoz. A jelenlegi gyakorlatban a szerszám állapotának meghatározása főként tapasztalati úton történik. A precíziós talajművelési technológiákkal azonban igény van a szerszámélettartam monitorozására és kijelzésére. A szerszámterhelés meghatározása, valamint a talajtípus, mint koptató közeggel kapcsolatos információk rendelkezésre állnak az erőgép és a precíziós gazdálkodási rendszer adataiból, azonban hiányosak az ismeretek arról, hogy ezen információkból hogyan vetíthető előre a szerszámkopás mértéke. A rendelkezésre álló, viszonylag kevés kutatás közül speciális körülmények között végzett vizsgálatokról találhatók információk.

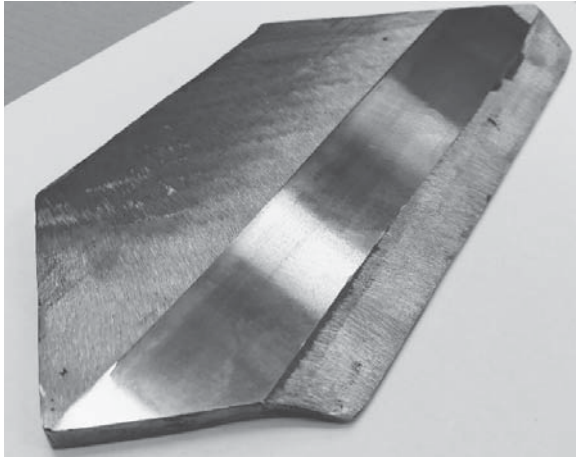
Fielke és tsai. által végzett kutatásban a különböző gyártástechnológiával készülő kultivátorkapák kopását, valamint a megváltozott geometriához tartozó vonóerőt mérték. Megállapították, hogy az élek deformációja jelentősen növeli a vonóerőigényt, ezért kopásállóbb anyagok használata javasolt [2]. Ferguson és tsai. munkájában az Ausztrál viszonyokra jellemző, erősen abrazív, kavicsos talajban végzett kísérletek során vizsgálták a kultivátorkapán fellépő kopások mértékét, azonban ezek a mérések olyan speciális talajokon történtek, amelyek nagyon messze állnak azoktól az európai talajoktól, amelyek az általános talajművelési gyakorlatban előfordulnak. [1] [3] Kutatásom rövidtávú célja volt, hogy a korábbi mérések során pin-on-disk tribométerrel ismert anyagminőségű mintákon elvégzett vizsgálatát összehasonlítsam az általam megépített pin-on-plate tribométerrel. Az új mérési módszerre azért van szükség, mivel nem minden esetben lehetséges, hogy egy alkatrészről előállítsunk egy 150 mm átmérőjű próbadarabot, ugyanakkor rendszerint ki tudunk metszeni belőle egy hosszukás, sík felülettel rendelkező próbadarabot. A vizsgálat eredményeként lehetőség nyílik a különböző, nem ismert anyagminőségű valós művelőszerszámok, ismert anyagminőségű mintadarabokkal történő összehasonlítására. A kutatás hosszú távú célja pedig, hogy a pin-on-disk- és lineáris elmozdulású tribométereinkkel végzett mérési eredményekkel megalapozva, egy olyan vizsgálati módszert fejlesszek ki, amellyel különböző talajtípusok esetén, pontos becslést lehet adni a szerszámok valós kopására.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A gép megtervezését, megépítését és a vizsgálatokat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gép- és Terméktervezés Tanszéken végeztem el. A megépített gépen végzett mérések során rögzítettem a súrlódási erőt és a kopófelület hőmérsékletét.

2.1. Anyagpárok

A vizsgálatokat egy S235 anyagminőségű próbadarabon kezdtem, hogy legyen referenciám az előző vizsgálathoz, majd egy kultivátorkapán előállított próbafelületen folytattam. A koptatás előtt a kultivátorkapából kivágásra került a próbadarab, majd síkköszörű segítségével került kialakításra rajta a vizsgálat elvégzéséhez szükséges síkolt tartomány. A próbadarab az 1. ábrán látható.



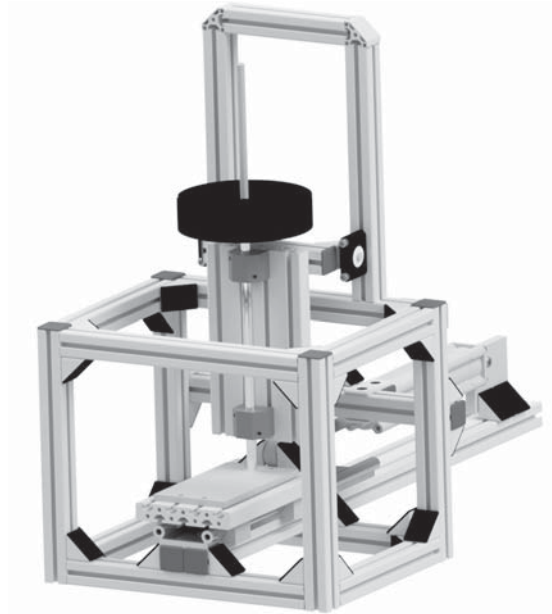
1. ábra. A koptatáshoz használt mintadarab

A vizsgálatok ellendarabja minden esetben a 2. ábrán látható sokszemcsés gyémánt koptatófej volt.



2. ábra A koptatáshoz használt sokszemcsés gyémánt

A koptatáshoz szükséges lineáris mozgathoz tervezett és megépített tribométer a 3. ábrán látható.



3. ábra. A koptatáshoz használt berendezés

A mérések során a próbadarabok a lineárisan megvezetett mozgókocsra kerültek felfogatásra. A lineáris alternáló mozgást egy elektropneumatikusan vezérelt 160mm-es löketű pneumatikus munkahengerrel állítottam elő. Az ellendarabot egy, a végén furatolt köracél segítségével pozicionáltam a megfelelő helyre, majd annak a végén elhelyezett tárcsasüllyel terheltem. A súrlódási erőt a függőleges, csapágyazott felfogatólaphoz bekötött erőmérő cella és jelfeldolgozó egység segítségével mértem mindkét mozgási irányban. A mérések körülményeit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat A koptatás mérési körülményei

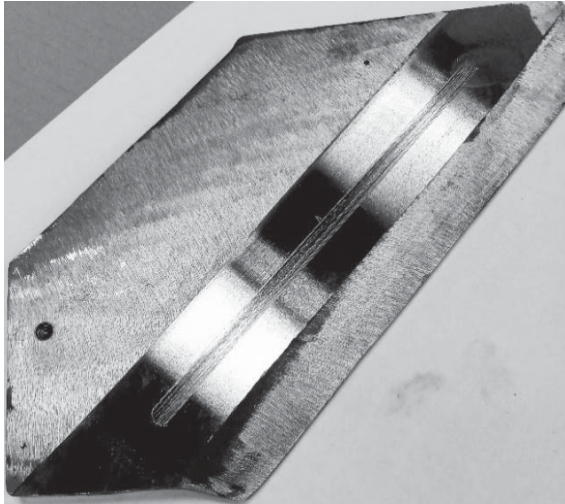
	próbatest	Terhelés [kg]	P_{munkah} [bar]	Koptatási idő [s]	Δt [°C]
1.	Kultivátorkapa	5	4	3749	1,16
2.	Kultivátorkapa	10	4	1860	0,38
3.	S235	10	4	1620	1,32
4.	S235	10	4 bar>0- ig	550	0,20

A vizsgálatok során a mért súrlódási értékek diagramban ábrázolva pozitív és negatív értékek között váltakoznak. Ez a szakaszos váltakozás az alternáló, gyorsuló-lassuló mozgásból ered, mivel a mérőcellát egyszer nyomó egyszer pedig húzó irányba terheli a pin. A mérési adatok feldolgozása során, a gyorsulási és lassulási szakaszokat eltávolítottam, mivel azok nem tartalmaznak

releváns információt. A mérési ciklusok 7-8 percesek voltak.

3. EREDMÉNYEK

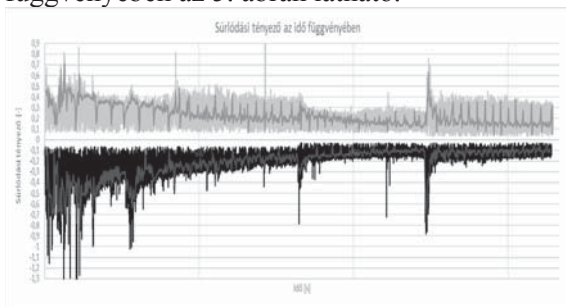
A koptatási vizsgálatokat két különböző anyagon végeztük el, két-két alkalommal. A 4. ábrán, a kultivátorkapa koptatás utáni állapota látható.



4. ábra A kultivátorkapa felülete koptatás után

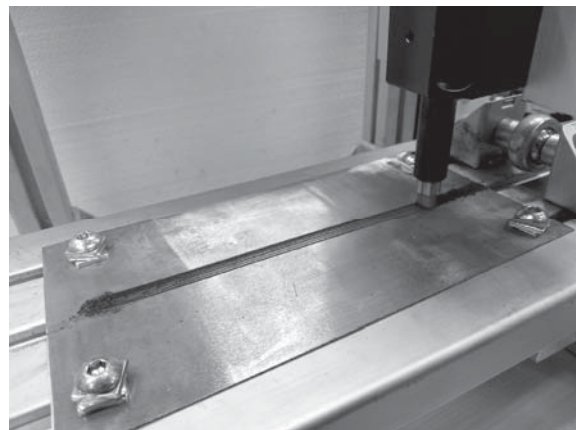
A mérések során rögzített erő értékek szűrése és feldolgozása után számítottuk a súrlódási erőt, amely a függőleges felfogatólap csapágy- lemez, valamint a csapágy és az erőmérő cella távolságának megfelelő karhosszából adódott.

A súrlódási erő értékekből kiszámított súrlódási tényezők időben ábrázolva megmutatják a kopási folyamatot, amelynél megfigyelhető, hogy a kezdeti szakaszon folyamatosan emelkedik a súrlódási erő, majd egy ponton túl csökken, végül pedig állandósul. A súrlódási tényező időbeli változása jellegre megegyezik a szakirodalomban szereplőkkel. Az első mérést a kultivátorkapa felületén végeztem. Ezen mérés során mért súrlódási tényező az idő függvényében az 5. ábrán látható.



5. ábra Súrlódási tényező az idő függvényében

Az ábrán adatfeldolgozás szempontjából külön kezeltem a pozitív és a negatív értékeket, mindkettőnél külön-külön alkalmaztam zajsűrűséget, így kaptam meg a sötétebb vonallal jelölt középértékeket. A diagram három mérésből van összeillesztve, ami látszik is, hiszen az illesztésnél ugrásszerű változás van a diagramban. A kapa anyagát a gyártó nem adja meg, ugyanakkor tudjuk, hogy az erősen abrazív használati környezet miatt valamilyen hőkezelt, magas szén és ötvöző tartalmú, kopásálló acélból készült. A maximális súrlódási tényező érték 0,6 [-], az állandósult szakaszban mért érték pedig 0,15-0,2 [-] tartományban változik. Az állandósult érték megegyezik a pin-on-disk méréseknél mért Ni-hard 4 -es vizsgálatának állandósult eredményével, és jellegre is hasonló azzal. Az S235 acéllemezen végzett mérés működés közben a 6. ábrán látható.



6. ábra S235 lemezen végzett koptatás

A koptatás eredményének kiértékelésekor azt tapasztaltam, hogy a mért súrlódási tényező értékek nagyon kis mértékben magasabbak, de jellegre azonosak, mint a pin-on-disk mérésnél az S355 acéllemez esetében. Eddigi méréseink alapján a kopásállóbb és nagyobb szilárdságú anyagoknál a súrlódási tényező kisebb.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A talajművelő szerszámok élettartam kutatásához elengedhetetlen, hogy a nem ismert, valós művelőszerszám anyagok kopási tulajdonságait, meglévő mérési eredményekkel hasonlítsuk össze. A jellemző szerszámgeometriák miatt, a mérések elvégzéséhez egy új pin-on-plate berendezést kellett kifejlesztenünk, amellyel a korábbi kutatások eredményeként meglévő pin-on-disk

berendezésen végzett vizsgálati eredményeket kívántuk összevetni. Az első tesztméréseket az új fejlesztésű berendezéssel végeztük el., A próbaméréseket a szakirodalomban megtalálható irányelvek szerint végeztük el.

A különböző anyagminőségű acélok koptatása közben, a súrlódási erő (és tényező) változása a kezdeti szakasztól az állandósult szakaszig az elvártan megfelelően alakult. A súrodási tényező az egyes anyagok esetében a keménységgel és a kopásállósággal fordítottan arányos. A koptatás során, a felületen mért hőmérsékleti értékek szórása nagyon nagy volt. Ennek oka a rövid vizsgálati ciklusokkal magyarázható. Azonban már ezen nagy szórású eredményeknél is megfigyelhető volt, hogy ahogyan azt vártuk, a kisebb kopásállóságú anyagok a kopás közben jobban felhevültek.

A mérési eredmények kiértékelése alapján kijelenthető, hogy a megépített berendezés alkalmas a pin-on-disk és pin-on-plate berendezések mérési eredményeinek összehasonlítására.

A mérések során, az időnként akadozó csúszás miatt, viszonylag erős rezgéseket tapasztaltunk. A későbbiekben meg kell vizsgálni, hogy ezeknek a rezgéseknek a mértéke a jelenlegi váz kialakítása mellett mennyire befolyásolja az eredményeket.

A terhelőerőt biztosító tárcsasúlyok rögzítését és a pin terhelés irányba történő, egy tengely körüli elfordulását biztosító billenőajtó a tehermentesítő funkcióját a mérés közben kiválóan ellátja, azonban a mérés leállítása után a pneumatikus rendszer nem tehermentesíthető teljes mértékben, ezért a mérőcella sokszor terhelés alatt marad. Ez mellett a jelenlegi kialakítás miatt a terhelésű nyomatéka előterheli a mérőcellát. Ez megnehezíti a mérési adatok kiértékelését, ezért célszerű a műszer ezen részének kisebb átalakítása, és a forgáspont terhelőerő hatásvonalába történő helyezése.

A tervezett mérések nagy ciklusszáma miatt a pneumatikus mozgató megfelelő megoldás. Azonban a kezdeti szakasz pontosabb vizsgálata miatt indokolt egy mechanikus hajtásrendszer megépítése is. Ezzel lerövidíthető a lassulási-gyorsulási szakaszok hossza, tetszőlegesen és pontosan változtatható a mozgás sebessége, és mindkét irányban azonos sebesség érhető el. Így a mérési adatok kiértékelése is jóval egyszerűbbé válik. Ugyanakkor a hosszú időtartamú, nagy

ciklusszámú mérésekhez továbbra is indokolt a pneumatikus mozgató megtartása.

A pneumatikus rendszer kezdeti hiányossága volt, hogy a használt kompresszor nem tudott annyi levegőt szállítani, mint amennyit a munkahenger működés közben elfogyasztott, így csak a 8 barra feltöltött puffer tartály nyomásszabályzón keresztüli ürülése mellett tudtunk a szabályzási pontig mérni. A mérést így folyamatos 4 bar nyomás mellett végeztük a tartálynyomás 4,5 bar értékéig.

A jelenlegi konfigurációban kizárólag a mérés végén kapunk információt a kopási felületről és a kopadék mennyiségéről. A berendezés továbbfejlesztésével lehetőség van a kopási felület folyamatos 3D szkennelésével a kopásprofil nyomkövetésére, valamint ez alapján a kopadék mennyiségének számítással történő meghatározására, amely a kopott darab utólagos tömegmérésével minden mérésnél validálható.

A mérések során a maximális mérési sebesség meghatározása kiemelten fontos szempont, mivel a valós, szántóföldi körülményeket figyelembe véve a felület hőmérséklete nem érheti el azt a határt, amikor a lokális hőmérséklet befolyásolja a kopás mértékét, hiszen ez a gyakorlatban nem fordulhat elő. Ezért a berendezést a későbbiekben egy hőkamerával kívánjuk ellátni.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az Emberei Erőforrások Minisztériuma által meghirdetett Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program támogatta, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Mesterséges Intelligencia (BME FIKP- MI) tématerületi programja keretében.

6. IRODALOM

- [1] J.D. Bressan, D.P. Darosa, A. Sokolowski, R.A. Mesquita, C.A. Barbosa (2007): Influence of hardness and the wear resistance of 17-4PH stainless steel evaluated by the pin-on-disc testing
- [2] J.M. Fielke, T.W. Riley, M.G. Slattery and R.W. Fitzpatrick (1992): Comparison of tillage forces and wear rates of pressed and cast cultivator shares
- [3] S.A. Ferguson, J.M. Fielke, T.W. Riley (1994): Wear of cultivator shares in abrasive South Australian soils
- [4] Pierre Leroux (2014): ASTM G99 Tip's Perspective Continuous Wear Contact

A TÁMASZ STRUKTÚRA FOGAZAT HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA LÉZERSUGARAS, FÉMPORÁGYAS ADDITÍV GYÁRTÁSNÁL

INVESTIGATING THE EFFECT OF THE SUPPORT TOOTH IN CASE OF SLM TECHNOLOGY

Varga Ferenc László, PhD hallgató, Dr. Markovits Tamás egyetemi docens, BME GJT

ÖSSZEFOGLALÁS

A lézersugaras, fémporágyas additív gyártásnál (SLM) a munkadarabokat egy platformhoz kell rögzíteni, ahhoz, hogy elkészülhessenek. Ezt a rögzítést úgynevezett támasz struktúrákkal lehet létrehozni. Ezen támasz (szupport) struktúráknak különböző fajtái és ezeken belül különböző állítható paramétereik vannak. A paraméterek helyes beállítása nagy hatással van a nyomtatott modellek tulajdonságaira, valamint arra, hogy a támasz megfelelően elássa feladatait. Ezek a feladatok a munkadarabok kellően erős mechanikai rögzítése, valamint a keletkezett hő elvezetése. Amennyiben a modell támasz kapcsolat túl erős, akkor nehéz a szupport eltávolítása a nyomtatott modelltől, ha pedig nem elég erős, akkor akár a nyomtatási folyamat közben elválhat, ezáltal megakadályozza a nyomtatás sikerességét. A bemutatott kutatás célja az alkalmazott támasz struktúra fogazat paramétereinek hatása a nyomtatott modellek minőségére és egyéb jellemzőire. A kapott eredmények alapján a fogazat kialakítását megfelelően lehet tervezni a későbbiekben a nyomtatásnál.

ABSTRACT

In to dispose of its tasks properly case of Selective Laser Melting (SLM) technology, workpieces must be fixed to a platform before they can be finished. This fixturing can be created with so-called support structures. These support structures have different types and various adjustable parameters. Setting the parameters correctly will greatly affect the properties of the printed models as well as the ability of the support to dispose of its tasks properly. These tasks are to hold the workpieces with sufficient strength and to conduct the generated heat. If the strength of the connection is too strong on that case it will be difficult to remove the support from the printed model, and if it is not strong enough, it will prevent successful printing. The aim of the presented research is to determine the influence of the

tooth parameters of the applied support structure on the quality and other characteristics of the printed models. Based on the results the effect of the tooth can be properly planned later in the printing process.

1. BEVEZETÉS

Az SLM eljárás során a munkadarabok rétegről rétegre épülnek fel. A rétegekben az anyagfelhasználás minimalizálható, mivel ideális esetben mindig csak annyi anyagot használnak fel, amennyi feltétlenül szükséges a nyomtatott modell adott rétegének elkészítéséhez. Másik előnye ennek az eljárásnak, hogy a más eljárásokkal nehezen vagy nem megmunkálható, komplex geometriák kialakítása is lehetséges. Az SLM eljárás során a lézerfolt szkenneli a fémporágy meghatározott területét és megolvasztja azt. A szkennelés pályáját a modell adott keresztmetszete határozza meg és ezt a választott szkennelési stratégiával végzi el a lézerberendezés. A folyamat addig ismétlődik, amíg a munkadarab el nem készül.

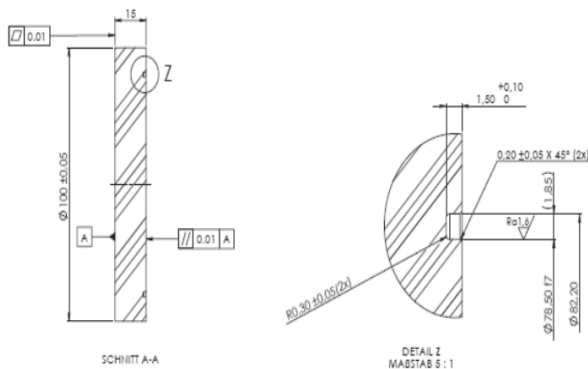
A munkatérben inert gáz áramlik azért, hogy a gyártás alatt védje a modellt az oxidációtól. A kutatásban használt EOS M100-as lézersugaras fémporágyas berendezés munkatere hengeres, amiben egy hengeres építési platform található. Erre a platformra kell rögzíteni a modellt. A rögzítést egy kiválasztott támasz struktúrával és paramétereinek beállításával hozzák létre. A paraméterek változtatásával lehet a rögzítés erősségét befolyásolni. A kutatás célja a szupport fogazás paraméterek hatásának meghatározása a szupport modell kapcsolatra vonatkozóan [1, 6].

2. AZ ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK

2.1. EOS M100 nyomtató berendezés és építési platformja

Az EOS M100-as egy lézeres additív gyártó berendezés, amely lézerrel dolgozik, melynek névleges teljesítménye 200 W. A berendezés munkatere henger alakú, amelynek mérete: \varnothing 100 x 95 mm. A berendezésben található 100

mm átmérőjű alaplapot a berendezés vákuummal rögzíti. A platform vastagsága 15 mm, de kismértékben eltérhet annak függvényében, hogy hányszor került felhasználásra. A gyártás után, ha a munkadarabokat eltávolították a platformról, a következő gyártást megelőzően a platform felszabályozása szükséges azért, hogy ismét síkfelületen kezdődhessen a rétegek terítése. A behelyezett platformot a berendezés a nyomtatást megelőzően előmelegíti azért, hogy az első réteg nyomtatása ne okozzon a munkadarabban nagy belső feszültségeket a magas hőmérséklet különbségek miatt. A platformot a gyártás teljes idejére rögzíti a gép, az operátor külön parancsára engedi el kizárólag a berendezés a nyomtatás befejezését követően a „tisztítása” folyamat alatt. Az 1. ábrán a platform műhelyrajza látható [4, 5, 6].

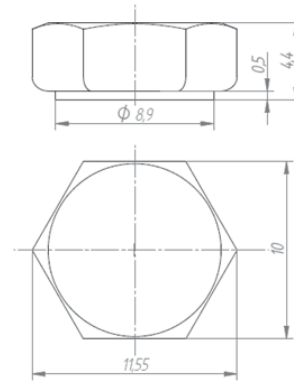


1. ábra. EOS M100 berendezés építési platformja

2.2. Mérési módszerek, felhasznált eszközök

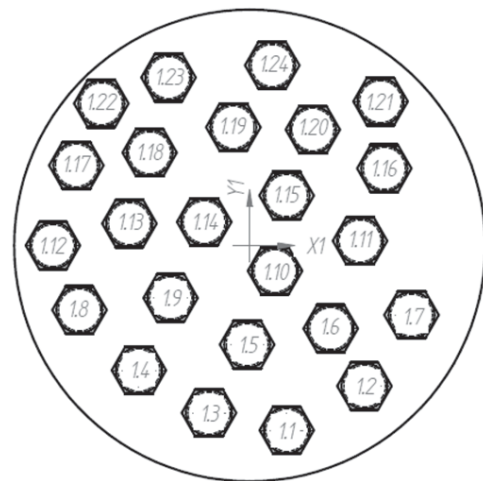
A kutatás e fázisában lecsavarási nyomaték kísérleteket végeztünk. A felhasznált próbatesszt egy M6-os csavarfej volt, melynek nyomtatott modellje a 2. ábrán látható.

A megtervezett próbatessztet adott kiosztás mellett helyeztünk el a platformon a Magic software segítségével. A kiosztáskor fontos szempont volt, hogy a dugókulcs feje, mellyel később lecsavarjuk az egyes darabokat, gond nélkül elférjen a darabok körül. Végül egy platformra 24 db csavarfejet tudunk elhelyezni



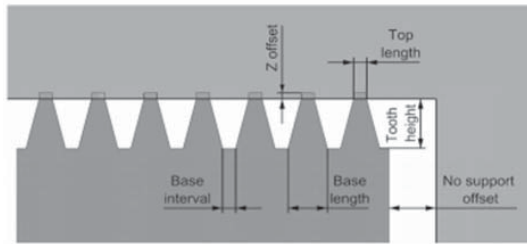
2. ábra. Nyomatékméréshez használt M6-os csavarfej geometriája

A csavarfejek és az építési platform közé különböző szupportokat terveztünk. A 24 próbatessztből 3 rendelkezett ugyanolyan paraméterekkel, vagyis összesen 8 különböző beállítású támasz struktúra egyidejű vizsgálata vált lehetővé. Az egyes beállításokhoz tartozó darabokat továbbá úgy helyeztük el, hogy a nyomtatótérben meghatározott 3 fő térrész mindegyikébe kerüljön 1-1 minta. A kiosztás a 3. ábrán látható.



3. ábra. Munkadarabok kiosztása a platformon

Az EOS 316L korrózió álló fémpor felhasználásával kezdtük a vizsgálatokat. A meghatározott cél az volt, hogy a block típusú támasz struktúra felhasználása esetén a „hatching”, „top length”, valamint a „z offset” paraméterek változtatása mellett figyeljük meg a nyomatékok változtatását. A fogazás egyes paramétereinek értelmezése a 4. ábrán látható.



Top length: Fogazás kapcsolódási hossza a munkadarabbal

Tooth height: Fogak magassága

Base interval: Fogak távolsága

Base length: Fogak alapjának hossza

No support offset: Szupportmentes rész távolsága

4. ábra. Támasz struktúra fogazat paraméterei

Az 1. táblázatban a fogazat azon paraméterei láthatóak, melyeket nem állítottunk át vizsgálatok alatt.

1. táblázat. Gyártások alatt állandó fogazási paraméterek

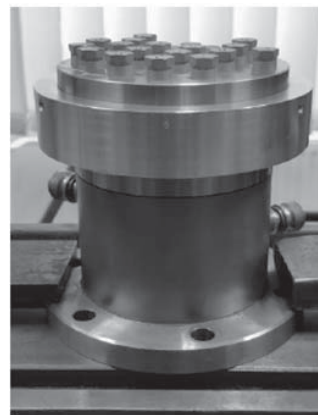
Jellemző megnevezése	Beállított érték [mm]
Tooth height	1
Base interval	0
Base length	0,6
No support offset	0

A változtatott paraméterek és értékeik a 2. táblázatban láthatóak egy adott meghatározott Z offset értéknél. Az üres cellák az egyes vizsgálati esetek, melyeknél adott z-offset mellett kívántuk a darabok lecsavarási nyomatókát megmérni.

2. táblázat. 0 Z-offset esetén vizsgálni kívánt paraméterek

Zoffset = 0	Hatching [mm]			
Top length [mm]	0,4	0,6	0,8	1
0,1				
0,15				
0,2				
0,3				
0,4				
0,6				

A meghatározott paraméter értékeket, korábbi mérések alapján választottuk ki. Nyilvánvalóvá vált, hogy melyek azok a lépésközök (top length esetében először 0,05 mm majd 0,1 mm), melyekkel megfelelően állíthatjuk be a támasz struktúrákat. Kezdetben 0 értékű Z-offset-tel vizsgáltuk a lecsavarási nyomatókakat, majd megismételtük a méréseket különböző Z offsetek esetén. Ezek alapján a -2 / +2 / +4, illetve +6 Z-offseteknek már csak adott paramétereit vizsgáltuk meg, így redukálni lehetett a vizsgálatok számát. A nyomatókméréshez Kistler 9273-as típusú nyomatókmérő cellát használtuk (5. ábra), mely lehetővé teszi az egyes nyomatókértékeknek a folyamatos (meghatározott mintavételezési frekvencia melletti) mérését és rögzítését. Az így kapott diagrammokból látható volt a nyomatók időbeni lefutása, de a vizsgálatoknál számunkra fontosabb volt, hogy meghatározható volt a csavaráskor fellépő maximális nyomatók érték.



5. ábra. Nyomatókmérő KISTLER cella

A platformot befogjuk az erre a célra kialakított megfogóba, amely a nyomatókmérő berendezéshez csatlakozik. A platformot az elfordulástól az oldalról betekert csavarok biztosítják. A mérőcella analóg villamos jele egy jelerősítőn és digitális átalakítón megy át egy adatrögzítő PC-be. Fontos, hogy a berendezést a használata előtt kalibráltuk egy ismert és meghatározott nyomatók mérésével. A kalibráción kívül a mérések során fontos volt odafigyelni a megfelelő méréstartomány kiválasztására is, hiszen a túl nagy tartományon való mérés pontatlanná teszi az eredményeket [1, 2, 3, 6]. A továbbiakban a 316L anyagra vonatkozó eredményeket mutatjuk be.

3. EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA

A 6. ábrán az első nyomtatott munkadarab látható. A korrózióálló 316L fémorból összesen 6 darab platformnyi nyomtatás készült el. Ezek közül az első nyomtatás sikertelen volt, mert az ott megválasztott paraméterekkel, a munkadarabok támasz struktúra utáni része felvált, és megakasztotta a terítő pengét. Az első nyomtatás során így kiderült, hogy milyen az a minimális erősségű támasz struktúra, ami még elegendő a kísérletek lefolytatásához.



6. ábra. Az első elkészült munkadarab

3.1. Hatching és top length hatásának bemutatása, 316L anyag esetén

A darabok leválasztási nyomatékainak eredményei a 3. táblázatban láthatók. A munkadarabok lecsavarása során tapasztaltuk azt a jelenséget, hogy az egyes támasz struktúrák különböző módokon szakadnak el. Egyes darabok a kívánt helyen, a fogazással való kapcsolódás helyén válnak el, addig mások (amennyiben túl erős a fogazás és gyenge a támasz) a támasz struktúrák különböző szakaszain ronccsolódnak. A 3. táblázatban a különböző színek, ezeket a tönkremeneteli módokat jelentik. A tönkremeneteli módokhoz tartozó jelölési rendszer a 7. ábrán látható.

Hibás mérési paraméterek
Túl gyenge a szupport a gyártáshoz
Fogaknál törés
Középen törés
Platinánál törés
Részben felvált darabok

7. ábra. A különböző tönkremeneteli módokhoz használt színek

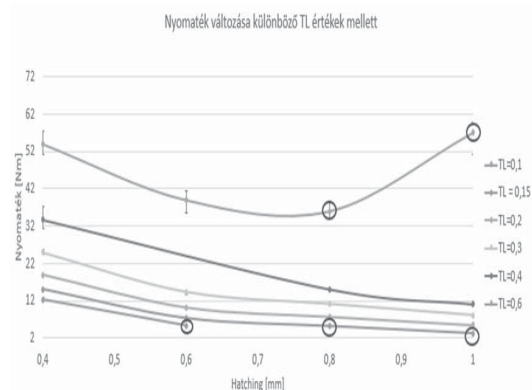
A mérési eredményeket egy beállításhoz tartozóan úgy rögzítettük, hogy minden esetben

a lecsavarás során alulról felfelé haladtunk az azonos sorszámú munkadarabok lecsavarásával. Az így kialakult sorrendben a táblázatban először sorrendben a három mért nyomatékérték található, majd közvetlenül utánuk a három mérés számtani átlaga, Nm-ben megadva.

3. táblázat. 0-s offset mérési eredményei, 316L anyagon

Zoffset = 0	Hatching [mm]			
	0,4	0,6	0,8	1
Top length [mm]				
0,1	11,94/11,94/12,7/12,19	4,95/5,4/5,5/5,28		
0,15	15,32/14,6/15/14,97	7,04/7,59/7,14/7,25	5,42/4,7/5,32/5,15	3,05/3,15/3,49/3,23
0,2	18,7/19,24/18,64/18,86	10,22/10,14/10,22/10,19	7,66/7,48/8,03/7,72	5,32/5,38/5,86/5,52
0,3	25,58/24,25/24,92	14,56/14,69/13,69/14,31	11,16/11,29/10,8/11,08	7,47/8,5/8,26/8,08
0,4	37,2/32,25/31,3/33,58	44,79/42,21/42,62/43,25	15,5/14,4/15,1/15	11,28/11,48/10,19/10,99
0,6	57/50,9/53,95	40,25/35,42/41,18/38,95	38,6/35,5/34,2/36,1	59,5/59,7/51/56,73

A mérési eredményekből látható az a két cella, melyeket nem tudunk lemérni a munkadarabok felválása miatt, valamint azok a beállítások is, melyek mellett a gyártás után jeleztük, hogy a csavarok részben felváltak. Továbbá látható egy paraméterszett, ahol a munkadarab támasz struktúra hibásan került beállításra, így a mért érték nem megfelelő és nem felhasználható a mérések feldolgozásához. A mérési eredményeket ábrázoltuk a hatching függvényében állandó top length értékek mellett, valamint a top length függvényében állandó hatching értékek mellett. Ezek a diagramok az eredménytáblázat egy-egy sorának, valamint oszlopának eredményeit mutatják. A mérési eredmények között a hibásan mért munkadarabot nem vettük figyelembe. Fontos továbbá, hogy az egyes mérések terjedeleme is megtalálható az egyes görbéknel, valamint pirossal bekarikáztattak azok a mérési eredmények, amelyek a mérés határát jelölik. Ezek voltak azok a darabok melyek részben elváltak, vagy nem a kívánt helyen törtek el.



8. ábra. Hatching változásának hatása a leválasztási nyomatékokra diszkrét top length értékek mellett, 316L anyag esetén

Ahogy a mérési eredményekből is látható, a hatching paraméter növelése esetén a támasz struktúrák gyengülnek és a leválasztási nyomaték is csökken, hiszen a támasz struktúrák falainak távolsága nő. Szintén észrevehető következtetés, hogy a top length értékének csökkentése esetén jelentős mértékben lecsökken a lecsavarási nyomaték. Ugyanakkor a pirossal bekarikázott értékeknél látható, hogy a top length 0,6 mm-es érték mellett, ha a támasz struktúrák hatching értéke megnövekszik, akkor a támasz struktúrák már gyengébbek a lecsavaráskor, mint a támasz struktúrák és munkadarab kapcsolódása. Ezek, valamint a gyártáshoz egyértelműen gyenge támasz struktúrák jelentik a nyomtathatóság „határait” a szupportálás szempontjából. A mért nyomtatékértékek növekedésével az egyes mérések terjedelme is megnövekedett.

A mérési eredményekből továbbá kiszámítható a munkadaraboknak a támasz struktúrához kapcsolódó felületükre vetített leválasztási nyomatékcsúszását. A kapcsolódó fogak számából és a top length értékből meghatározhatjuk, hogy a darabok mekkora felületen érintkeznek a támasz struktúrákkal. Ha a kapcsolódó felület nagyságával leosztjuk a mért lecsavarási nyomatékot, akkor felületegységre vonatkoztatva is megadható az egyes támasz struktúrák fajlagos szilárdsága.

A falvastagság, melyekkel a támaszok rendelkeznek a gyártás során 0,01 mm volt. Az egyes típusokhoz tartozó támaszfelületeket a 4. táblázatban láthatjuk.

4. táblázat. A munkadarabok és támaszok kapcsolódó felületének nagysága

Hatching mértéke (mm)	Top length (mm)					
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,6
0,4	0,696 mm ²	1,044 mm ²	1,392 mm ²	2,088 mm ²	2,784 mm ²	4,176 mm ²
0,6	0,463 mm ²	0,6945 mm ²	0,926 mm ²	1,389 mm ²	1,852 mm ²	2,778 mm ²
0,8	0,348 mm ²	0,522 mm ²	0,696 mm ²	1,044 mm ²	1,392 mm ²	2,088 mm ²
1	0,288 mm ²	0,447 mm ²	0,596 mm ²	0,894 mm ²	1,192 mm ²	1,788 mm ²

A top length és a hatching paraméterek mm-ben értendők, a többi érték mm²-ben. Az értékekből látható, hogy az egyre sűrűbb „rácsozás” és egyre nagyobb top length érték

eredményezik a legnagyobb kapcsolódási felületet. A kapcsolódó felületek nagyságából, valamint a lecsavarási nyomatékok átlagos értékeiből kiszámíthatóak az egyes esetekben kapott fajlagos nyomatékot, melyek az 5. táblázatban láthatók.

5. táblázat. Fajlagos nyomaték értékek, 316L anyag esetén (Nm/mm²-ben)

Top length (mm)	Fajlagos nyomatékcsúszás	Hatching (mm)			
		0,4	0,6	0,8	1
0,1	17,51 Nm/mm ²	11,40 Nm/mm ²	-	-	
0,15	14,34 Nm/mm ²	10,44 Nm/mm ²	9,86 Nm/mm ²	7,23 Nm/mm ²	
0,2	13,55 Nm/mm ²	11 Nm/mm ²	11,09 Nm/mm ²	9,26 Nm/mm ²	
0,3	11,93 Nm/mm ²	10,30 Nm/mm ²	10,61 Nm/mm ²	9,04 Nm/mm ²	
0,4	12,06 Nm/mm ²	23,35 Nm/mm ²	10,78 Nm/mm ²	9,22 Nm/mm ²	
0,6	12,83 Nm/mm ²	14,02 Nm/mm ²	17,29 Nm/mm ²	31,73 Nm/mm ²	

A fajlagos nyomatékot a táblázatban Nm/mm² mértékegységben értendők. A számított értékek számtani átlaga (amennyiben a nem a fogazásnál elvált darabokat nem vesszük figyelembe), 11,75 Nm/mm², illetve e számított értékek szórása pedig 2,26 Nm/mm² volt [4, 6].

3.2. Z-offset hatásának bemutatása 316L anyag esetén

A korábban bemutatott eredmények mindegyikét azonos z-offset paraméter beállítással végeztük el, ez az érték 0 mm volt. Az irodalom alapján azonban, fontos lehet ennek a paraméternek a hatása is a nyomtatott darabokra, mivel azonos típusú támaszstruktúrák használata mellett a duplán szkennelt terület akár nagymértékben megnövelheti a leválasztási nyomaték igényt. Ezek alapján lehetséges akár ritkább fogazás alkalmazásával, azonos leválasztási szilárdság elérése. Ennek vizsgálatára végeztünk el, két platform próbatesteinek gyártását, ahol a z-offsetet +0,04 mm-re, illetve -0,04 mm-re állítottuk. Ezáltal vizsgáltuk, e paraméternek milyen hatása van a lecsavarási nyomatékot értékeire. Elméletünk szerint a +0,04 mm-es offset, azaz ahol a támasz struktúrához képest még 2 rétegen keresztül duplán szkenneli a támasz keresztmetszetét a darabokban a lézer, megnöveli a leválasztási nyomatékot, míg ellenkező esetben könnyebb leválasztást tesz lehetővé. A vizsgálatok eredményei itt is színekkel vannak jelölve, a korábbi módszer alapján (6. és 7. táblázat).

A mért értékekből látható, hogy azonos paraméterekkel sem a +2 réteges offset, sem a

-2 réteges beállítású nem eredményez szignifikáns különbségeket a mért nyomatékokban. Bizonyos esetekben az elméletileg gyengébb támaszt eredményező támasz struktúra paraméterek nagyobb leválasztási nyomatékot biztosítottak, mint az elméletben erősebbek. Ez alapján, ilyen mértékben beállított offset paraméterek mellett a mérés bizonytalansága nagyobb, mint a paraméter állításának hatása a mért értékekre [6].

6. táblázat. Csavarási nyomatékok +2 Z-offsetnél, 316L anyagon

Zoffset = +2	Hatching (mm)			
Top length (mm)	0,4	0,6	0,8	1
0,1		4,7/5,02/4,84/4,85		
0,15	15,38/15,12/13,58/14,69	7,45/7,76/6,74/7,31	5/5,26/5,39/5,22	2,75/3,65/2,88/3,09
0,2		10,02/10,24/10,82/10,36		
0,3		15,72/14,8/14,2/14,89		
0,4				
0,6		43,36/36,58/41,53/40,49		

7. táblázat. Csavarási nyomatékok -2 Z-offsetnél, 316L anyagon

Zoffset = -2	Hatching (mm)			
Top length (mm)	0,4	0,6	0,8	1
0,1		4,36/4,9/5,82/5,03		
0,15	16,02/14,84/14,52/15,13	6,96/7,49/6,48/6,98	4,89/4,57/5,36/4,94	2,92/3,45/3,47/3,28
0,2		10,27/11,694/10,3/10,75		
0,3		15,18/14,72/14,56/14,82		
0,4				
0,6		36,84/37,23/35,64/36,57		

A mérési eredmények alapján látható, hogy a hatching és top length paraméterek befolyásolják leginkább a modell-szupport kapcsolat erősségét. A Z-offsetnek az irodalmi adatokkal ellentétben a vizsgált tartományban alig van hatása [6].

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A támasz struktúrák paramétereinek vizsgálata során 316L alapanyagra meghatároztuk a technológiai határokat, melyekkel a támaszok elkészíthetők az egyes munkadarabokhoz. Ezek az eredmények lehetővé teszik a felhasználók számára, hogy pontosan válasszanak támasz struktúrát a saját munkadarabjukhoz aszerint, hogy milyen erősségű megfogásra van szükség egy modell különböző felületein [4, 6].

5. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] M_Basic-training_Data-preparation_04-17_en.pdf, EOS forrásból származó anyag, 2018
- [2] M100_Machine_05-17_en.pdf, EOS forrásból származó anyag, 2018
- [3] M2 - Application.pptx, EOS forrásból származó anyag, 2018
- [4] Varga Ferenc László, Lézeres additív gyártás technológiájának elemzése, BME, GJT-M-G-2018-05
- [5] Kóczán Péter, Lézeres additív gyártás technológiájának vizsgálata, BME, GJT-M-G-2019-01
- [6] Bartha Gergő, SLM eljárás szupportálásának és szimulációjának vizsgálata, BME, GJT-M-J-2019-03

6. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A projekt a Nemzeti Kutatási és Innovációs Hivatal támogatásával, az NKIH Alapból valósul meg, a projekt címe: „Egyénre szabott orvos-biológiai implantátumok és segédeszközök új generációs gyártási folyamatának kidolgozása additív technológiákra” NVKP_16-1-2016-0022
A kidolgozók köszönik a támogatást.

Külön köszönetet érdemel Bartha Gergő, BME GJT MSc-s hallgatója, aki nagy részt vállalt a vizsgálatok elvégzésében és kiértékelésében.

CONTENTS

1. *Acél Artúr Benjámin, Falk György,
Dr. Takács János:
DESIGN AND QUALITY ASSURED
PRODUCTION OF FREE FORM METAL
PROSTHESES BY SELECTIVE
LASER MELTING 5*
2. *Bakosné Diószegi Mónika, Pelle György Tamás:
DEVELOPMENT OF A LABORATORY
BIOGAS REACTOR 12*
3. *Dr. Czifra György, Hervay Péter,
Varró Csaba, Mészáros Béla:
EXPERIENCES WITH THE
PROJECT BASED LEARNING 17*
4. *Dr. Ficzeré Péter, Dr. Borbás Lajos:
POSSIBILITY OF CHOOSING INTELLIGENT
PRODUCTION PARAMETERS
IN ADDITIVE MANUFACTURING
TECHNOLOGIES 25*
5. *Horváth Richárd, Fábíán Enikő Réka,
Nagy András István, Terek Pál:
CUTTING OF THE CORROSION-RESISTANT
SUPER DUPLEX CAST STEEL WITH
PVD LAYERED HARTMETAL
CUTTING TOOL INSERT 29*
6. *Jónás Szabolcs, Kovács Péter Zoltán:
EXPERIMENTAL AND NUMERICAL
INVESTIGATION OF CLINCH JOINTS
– EFFECTS OF THE PUNCHING TOOL'S
GEOMETRY ON THE JOINTS 35*
7. *Dr. Pesti László, Németh Péter:
MANUFACTURE OF HIGH PURITY
ALUMINUM CASTINGS 40*
8. *Sztankovics István, Kundrák János:
CUTTING FORCE ALTERATION
IN FUNCTION OF THE FEED
IN ROTATIONAL TURNING 43*
9. *Vajda Márk Zsolt, Dr. Rádics János Péter:
DEVELOPMENT OF A PIN-ON-PLATE
TRIBOMETER FOR COMPARATIVE
TESTING OF TILLAGE TOOLS 47*
10. *Varga Ferenc László, Dr. Markovits Tamás:
INVESTIGATING THE EFFECT OF
THE SUPPORT TOOTH IN CASE
OF SLM TECHNOLOGY 51*

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

Vesza József

General Editor

Dr. Jáрмаi Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

Deputy

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

Kármán Antal

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálincás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Szűcs Edit

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Dr. Zobory István

DEAR READER,

On the 30th of January this year, the GTE Construction Division held the 5th Conference on the Professional Culture of Mechanical Engineering. The organization of our conference for the 5th time demonstrates the need to bring together the professionals of the Mechanical Engineering Culture.

For the first time in the plenary session, Dr. Krisztina Bárdos, Strategic Director of GTE outlined the new directions of GTE. After that 3 lectures were given. There were 24 presentations in 2 parallel sections. In addition to the 55 registered participants, 4 exhibiting companies supported the quality of the conference.

The mechanical engineering culture encompasses all the methods, processes, techniques employed by the participants in the engineering innovation process. The first of the plenary presentations addressed the role of Artificial Intelligence in education. The second lecture presented an internationally important test track for the automotive industry, mainly for self-driving vehicles, built on the border of Zalaegerszeg. The third lecture presented the development of an innovation culture with regard to rail braking systems.

The section lectures were held in 2 sections and 4 topics:

- 1A. Section: Measurement, experimentation, examination. Some lectures on measuring, testing and examination have been made in the field of earthworks tools, rail and road vehicles.
 - 1B. Section: Education, Industry4.0, Manufacturing. There were 2-3 interesting lectures on several topics in the section.
 - 2A. section: 3D printing, additive manufacturing. First, we had a production science lecture. Then there were 4 lectures on the topic, mostly in the fields of metal powder printing.
 - 2B. Section: Construction. In this section, in addition to the simulations used in the field of construction work, some of the work of the speakers is presented. A presentation about the location, future and domestic production of electric buses.
- Based on the success of our conference, we plan to have the VI. Professional Culture of Mechanical Engineering Conference in 2021.
- We thank the sponsors of our conference:
- MTA Department of Engineering Sciences, Scientific Committee on Mechanical Engineering,
 - BME Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine and Product Design,
 - Knorr-Bremse Railway Vehicle Systems Ltd.,
 - eConEngineering Ltd.,
 - SZTAKI Computer and Automation Research Institute.

István Weszely
Secretary of the Conference

Managing Editor: Vesza József. Editor's address: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.

Phone/fax: (+36-46) 379-530, (+36-30) 9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

Published by the Scientific Society of Mechanical Engineering, 1147 Budapest, Czobor u. 68., Postal address: 1371, Bp, Pf. 433

Phone: 202-0656, Fax: 202-0252, E-mail: a.gaby@gteportal.eu, Web: www.gteportal.eu

Web: http://www.gepujsag.hu * Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Publisher: Dr. Igaz Jenő, Managing Director

Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67. Telefon: 06-46/379-530 • e-mail: gazdasz@chello.hu

Distributed to subscribers by Magyar Posta Zrt, Postal address: 1900 Budapest

Subscription: subscription can be ordered at any Hungarian post office, from postmen, from the link: www.posta.hu WEBSHOP

(https://eshop.posta.hu/storefront/), via e-mail: hirlapelofizetes@posta.hu, by phone: 06-1-767-8262, or mail to: MP Zrt. 1900 Budapest

Subscription: subscription can be ordered from overseas and to overseas at Magyar Posta Zrt. Visit: www.posta.hu WEBSHOP (https://eshop.posta.hu/storefront/), mail to: 1900 Budapest, 06-1-767-8262, or hirlapelofizetes@posta.hu

Domestic subscription prices are: HUF 1,260 a single copy and HUF 2,520 a double copy.

INDEX: 25 343

ISSN 0016-8572

The published articles have been reviewed.

The publication is supported by the National Cultural Fund of Hungary

	1B. szekció: Oktatás, Ipar 4.0, gyártás		2B. szekció: Konstrukció	
	<i>Szekció elnök: Dr. Voith András</i>		<i>Szekció elnök: Dr. Molnár Sándor</i>	
14:00	<i>Dr. Nádasdi Ferenc - Dr. Keszi-Szeremlei Andrea; DUE</i>	Value Manegement oktatásának támogatása on-line tananyag felhasználásával	<i>Bakosné Diósze-gi Mónika - Pelle Görgy Tamás; ÓE Bánki Donát kar</i>	Laboratóriumi biogáz reaktor fejlesztése
14:20	<i>Dr. Czifra György - Hervay Péter - Varró Csaba -Mészáros Béla; ÓE Bánki Donát kar</i>	A projekt alapú oktatás tapasztalatai	<i>Dr. Molnár László; eCon Engineering Kft.</i>	Termékfejlesztés, termékbiztonság ANSYS szimulációs bázison
14:40	<i>Tóth Norbert - Garamvölgyi Ernő; Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közh. Non-profit Kft.</i>	Dolgozói képességek hatásvizsgálata Ipar 4.0 alapokon	<i>Metál Attila; Knorr-Bremse Vasúti Jármű Kft.</i>	Új generációs vezérlőpanel tervezése
15:00	<i>Dr. Hegedűs József</i>	Az Innovációs folyamatok elemi tényezőinek fejlesztése az értékelemzés felhasználásával	<i>Balogh Gábor; BYD Electric Bus & Truck Hungary Kft</i>	Az elektromos járművek helye, jövője, tervezés és üzemeltetés, energiaforrások kérdései, különös tekintettel az autóbuszokra.

15:20-15:40 Kávészünet

15:40	<i>Dr. Pesti László - Németh Péter; Ecseri Kft.</i>	Nagytisztaságú autóiipari alumínium öntvények előállítása	<i>Halász Béla - Petus Róbert; Knorr-Bremse Vasúti Jármű Kft.</i>	Additív gyártástechnológia a Knorr-Bremse Budapest szolgálatában Additív gyártástechnológia a Knorr-Bremse Budapest szolgálatában
16:00	<i>Sztankovics István - Kundrák János; ME</i>	A forgácsoló erő változása az előtolás függvényében rotációs esztergálásnál	<i>Vancsay György - Száraz Kálmán; Knorr-Bremse Vasúti Jármű Kft.</i>	APR – robusztus szerelési folyamat kialakítása a Knorr-Bremse-nél
16:20	<i>Horváth Richárd - Fábíán Enikő Réka - Nagy András István; ÓE Bánki Donát kar - Terek Pál; Újvidéki E.</i>	Öntészeti korrózióálló szuper duplex acél forgácsolása PVD bevonatos keményfémleplekkel	<i>Ratatics Gábor; Knorr-Bremse Fékrendszerek Kft.</i>	Műszaki Műanyagok Alkalmazása és műanyag alkatrészek tervezése a Knorr-Bremse Fékrendszerek Kft-nél

16:45 **A konferencia zárása.** A szekcióelnökök rövid beszámolója, a konferencia értékelése (Weszely István)

