



DEBRECENI EGYETEM
MŰSZAKI KAR
GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

UNIVERSITY OF DEBRECEN
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL
ENGINEERING

**BEVONATOLÓ KÉSZÜLÉK GYÁRTÁSI
TECHNOLÓGIÁJÁNAK FEJLESZTÉSE
AZ SL-FORG KFT.-NÉL**
SZAKDOLGOZAT

Mező Péter

Üzemeltető-karbantartó specializáció

Debrecen

2023



Ide kerül a sorszámozott kiírólap



Ide kerül a plágium nyilatkozat



Ide kerül az elfogadási nyilatkozat

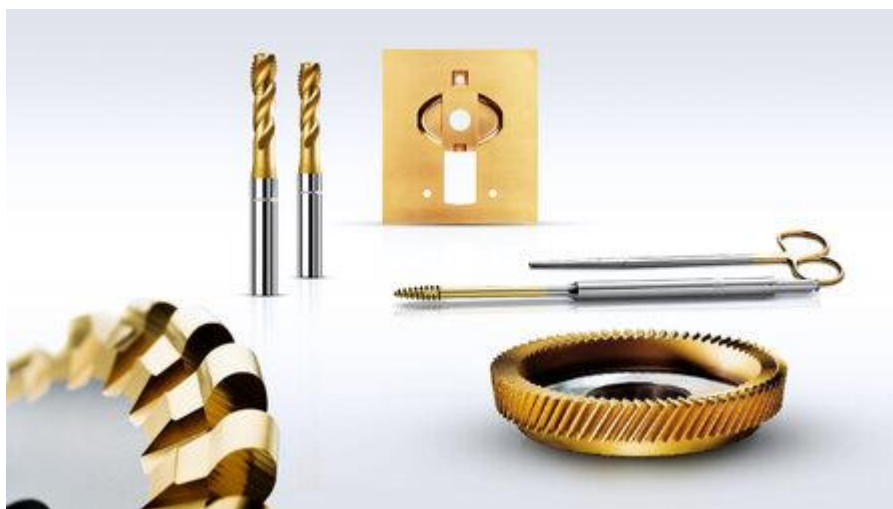
Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	V
1 Bevezetés.....	1
2 Cégbemutató	3
2.1 A cég fejlesztései és tervei.....	4
3 Termékbemutató	6
4 Irodalom feldolgozás.....	7
4.1 Hőkezelési eljárások	7
4.2 Gyártási eljárások bemutatása	12
4.2.1 3D nyomtatás.....	12
4.2.2 CNC megmunkálás.....	19
4.2.3 Magas nyomásos öntés	25
5 Árkalkulációk készítése	28
5.1 3D nyomtatás árkalkuláció	30
5.2 CNC megmunkálás árkalkuláció	34
5.3 Magas nyomásos öntés árkalkuláció.....	36
5.4 Árkalkulációk összehasonlítása	36
6 Választott gyártási mód bemutatása	51
7 Eredménykimutatás.....	52
8 Összegzés	53
Irodalomjegyzék.....	54

1 Bevezetés

Diplomamunkám témája, hőkezelő berendezés fejlesztése az SL-Forge Kft.-nél. A diplomadolgozatom témáját a jelenlegi munkahelyem biztosította, ahol 2018 óta dolgozom. Minőségellenőrzési területen bizonyíthattam az első három évben, majd megelőlegezett bizalomra alapozva csatlakozhattam a mérnökség csapatába ahol azóta is fejlesztő mérnökként tevékenykedem. Az eltelt idő alatt számtalan alkalommal ütköztünk problémába, melyek megoldása a mérnökökre hárult. A téma egy eddig új és ismeretlen példát állított elénk.

Az Oerlikon Balzers az SL-Forge Kft. kiemelkedő partnere, hosszú évekre visszanyúló közös munka és számtalan kiszállított termék jellemzi a kapcsolatot. Az Oerlikon vezetőnek számít saját iparágán belül. A multinacionális vállalat főként hőkezeléssel foglalkozik, ezek közül is egyik kiemelkedő platformja a PVD bevonatolás. Ez a típusú eljárás a nagy tisztaságú, szilárd bevonó anyagot hő hatására elpárologtatják vagy ionokkal bombázzák a bevonatolni kívánt felületet. Ezzel egyidőben reaktív gázt adnak hozzá, melyek vegyületet képeznek a fémgőzzel aminek következményeképp jön létre egy erősen tapadó vékony réteg. Ez a réteg egyenletesen rakódik le a szerszámokra vagy az alkatrészekre. Ezt a bevonatot elősegíti, ha az alkatrészeket több tengely körül állandó sebességgel forgatjuk. Ezeket a tartó illetve forgató készülékeket gyártja a mi cégünk.



1. ábra PVD bevonat [1]

A vevő egy fontos, stratégiai kérdéssel fordult felénk. Megkaptuk a teljes tervdokumentációt, mely szerint több apró repülőgép turbina lapátot szeretnének bevonatolni egy fém lapra erősítve, ahol különösen fontos szempont a megfelelő befogatás és a különös alak „lekövetése”. A termék alaplapja egy rozsdamentes lemez, amiben hat darab férőhely található. A férőhelyek egyenként CNC marással készülnek, melynek egyik oldalába a kérdéses alkatrész fekszik bele, míg másik oldalról egy lézervágott és élhajlított vékony 0,8 mm lemezvastagságú alkatrész, csavározás után biztosítja, hogy a fészekből ne potyogjanak ki az apró repülőgép turbina lapátok. Érdekes feladat, hiszen sokféle technológiával készül a termék összeállítása. Ilyen technológiák a darabolás, marás, lézervágás, élhajlítás és a témaadó alkatrész gyártási technológiája, ami opcionálisan lehet CNC marás, 3D fémnyomtatás vagy magasnyomásos öntés. Természetesen elvárás a költséghatékony, de megfelelő minőségű gyártás, lehetőleg rövid átfutási idővel kombinálva. A hosszas egyeztetések és a műszaki paraméterek tisztázása után én kaptam meg a feladatot, hogy kielégítsük az igényt és megoldjuk az előttünk álló felvetést.

Az alkatrész melyről szól a dolgozatom, különösen alakos formát kapott, funkcióját tekintve egy befogószerkezetről van szó, melyet megillet a pontos gyártás. Alapvetően 3 koncepció került megállapításra. Az első a CNC marás technológiája, következő a 3D fémnyomtatás és a magasnyomásos öntés. Dolgozatom során össze fogom hasonlítani az egyes eljárások gyártási pontosságát és költségét.

Az összehasonlítást több, a való életben is fontos szempont szerint fogom hasonlítani. Az ár kalkulációk elkészítése után és az egyes eljárások extraköltségét összevetve el fogom dönteni, hogy melyik az a variáció ami számunkra ebben az esetben a legideálisabb. A kalkuláció mellett a különböző technológiákat fogom elemezni és bemutatni külön-külön az előnyöket és hátrányokat a mi példánkra vetítve.

Dolgozatomban lépésről-lépésre nyomon követhető a szóban forgó alkatrész fejlesztése, az alapanyagból kiindulva a gyártási eljáráson keresztül a hőkezelésig. A kiválasztott módszer lehetővé teszi, hogy a megadott darabszámot megfelelő minőségben, határidőn belül és a legpiacképesebb árral tudjuk gyártani, majd értékesíteni ezzel ápolva az meglévő kiváló kapcsolatot az egyik kiemelt partnerünkkel.

2 Cégbemutató

Az SL-Forge Kft. vállalat több, mint 20 éves múlttal és tapasztalattal rendelkezik és működik, sikeres gyártóként németországi, liechtensteini és svájci partnerekkel áll beszállítói kapcsolatban. A cég első körben Sörös László egyéni vállalkozásként indult. A vállalat eleinte egy darab hagyományos esztergagéppel, két alkalmazottal működött Hajdúböszörményben.

A megnövekedett gyártási igényekre és a bővülő piaci lehetőségekre alapozva 2014-ben megalapították az SL-Forge Kft-t, mint hosszútávú nemzetközi elvárásokat kielégítő vállalkozást. Amelynek fő tevékenységi körei a következők, acélszerkezetek és precíziós alkatrészek tervezése, illetve gyártása, egyedi alkatrészek forgácsolása, hegesztése, felületkezelése, valamint szerelése. A cég 2014-ben új telephelyre költözött, mely lehetővé teszi a kapacitás és munkaerő állomány fejlesztését illetve a vevői igények hatékonyabb kielégítését.

Az SL-Forge Kft.-nél 2014. évben kezdetét vette a gyártási kapacitás bővítése. A Gazdaságfejlesztési és Innovációs Operatív Program keretén belül a cég vissza nem térítendő támogatást nyert el. A beruházási projekt célja a gyártott termékek minőségének és gyártási kapacitásának fejlesztése, illetve a hozzáadott érték tervszerű növelése. Ennek részeként az akkori hagyományos esztergagépek mellé további fémmegmunkáló gépeket és a gyártott alkatrészek minőségének ellenőrzésére szolgáló mérőeszközöket szereztek be. Két darab NCT MM-760 CNC marógépet, egy NCT BNC-1640 esztergagépet. Majd 2018-ban további eszközöket, egy darab NCT EML-1200 marógépet, egy NCT TCS2000L esztergagépet és egy magas pontosságú koordináta mérőgépet (Mitutoyo Crysta Plus M766). Napjainkig további két marógépet és két esztergagépet szerzett be a Kft.

A megnövekedett mérnöki elvárásoknak következtében 2019-ben megalakult az Ilant Technology Kft., mint az SL-Forge Kft. mérnöki szolgáltatásait végző vállalat. A két cég szoros együttműködéssel elégíti ki régi, jelenlegi és jövőbeni partnereit. Ebben az évben bevezetésre került egy egyedi fejlesztésű termelésirányítási szoftver alkalmazása, amely a könnyebb visszakövethetőséget illetve a folyamatok optimalizálását és karbantartását eredményezte. A rendszernek a következő alapfunkciói vannak: gyártási folyamatok kezelése, dolgozói információs adatlap, cikkek gyártási státuszának követése, gépkarbantartási feladatok indítása és nyomon követése, ár kalkulációk készítése, szállítólevelek automatikus generálása, készletgazdálkodás.

2.1 A cég fejlesztései és tervei

Az eddigi megvalósult fejlesztések mellett a jelenlegi tervek között szerepel egy új munkacsarnok építése, melynek munkálatai pillanatnyilag is zajlanak. Az új műhely lehetővé teszi a még magasabb gyártási kapacitás elérését, ezzel eleget téve a vevőkörnek. A jövőbeni tervek között szerepel a forgácsoló üzem nagyméretű alkatrészek megmunkálására alkalmas illetve egyéb forgácsológépek beszerzése. A megnövekedett tér, megnövekedett szellemi és fizikai állományt követel, amely kulcsfontosságú lépés lehet a vállalkozás életében. Pillanatnyilag foglalkoztatott munkavállalók száma 53 fő, amely az elkövetkezendő 1-1,5 év távlatában akár a duplájára is gyarapodhat.



2. ábra SL-FORG Kft. új műhely [2]

Manapság a gyártás során elvárt szigorú követelmények egyike, hogy a vevő a gyártott termék az általa elvárt minőséget a szállítási határidők betartása mellett kapja meg. Ennek alappillére, hogy a gépek folyamatosan működjenek, melyet a gépek tervszerű karbantartásával lehet elérni. A gépek üzembiztos működése biztosítja a kiszámítható, pontos, precíz munkavégzést. Ez a jelenleg működő cégek alapfilozófiája, így az SL-Forg Kft.-nek is egyik legfontosabb feltétele. A vállalatnál felismerték és elfogadták, hogy termelés és a karbantartás egymás nélkül nem működhet, így komoly gondot fordít az említett gondozás fenntartására. Napjaink egyik legfőbb kérdése a termelékenység és a hatékonyság megfelelő

kombinációja. Ezáltal életben tud maradni a cég és versenyképes beszállító lehet ebben a végletekig kiélezett iparban.

Az SL-Forg egy dinamikusan fejlődő vállalkozás, ami az elmúlt időszak folyamatos investícióinak köszönhetően látványos és meghatározó fejlődéseken ment keresztül. A fejlődés egyaránt észrevehető a munkaterületeken külön-külön, mint forgácsoló részleg, lakatos részleg, minőségirányítás, szerelde, illetve az indirekt állomány terén is. A cég számára az első naptól kezdve presztízskérdés, hogy a vevők a megrendelt terméket, reális áron, megfelelő mennyiségben, elvárt minőségben, határidőn belül kapja meg. A vállalkozás működése jelenleg egy felfelé ívelő szakaszban van, de a jelenlegi koncepciót és irányvonalat követve egyértelműen kijelenthető, hogy az üzem minden adottsága meg van ahhoz, hogy pár éven belül a fejlesztések és a kitartó, konzekvens munka következtében elérje céljait.

Cégünk olyan partnerekkel van közvetlen beszállítói kapcsolatban, mint az Oerlikon Balzers , Schlatter Industries AG , Manz Hungary Kft., K.U.L.T Kress Umweltschonende Landtechnik GmbH vagy a Bürkle Hungary Kft.



oerlikon
balzers



schlatter



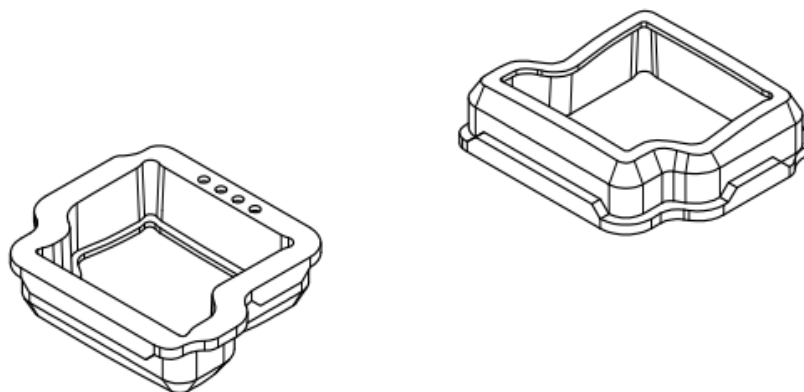
BÜRKLE   **manz**

3. ábra A vállalat kiemelkedő partnerei [3]

3 Termékbemutató

Az SL-Forge Kft. 2019-ben kezdte a közös munkát a már említett Oerlikon Balzers, liechtensteini központú multinacionális céggel. Az évek alatt kiemelkedően jó üzletársi viszony alakult ki, ahol a vevő kivétel nélkül megkapja az általa elvárt minőséget, a gyártó pedig munkát tud biztosítani az alkalmazottjainak és fejleszteni tudja saját magát. Az ajánlatkészítések során rengeteg különféle befogó vagy megfogó szerkezettel találkoztam már, melyeknek pontos funkcióját csak részben ismerjük. A témaadó szerkezetről pontos tudomásom van, így tudok releváns információkat közölni. A készülékek sokaságán túl a végső érdek mégis csak egy célt szolgál, hogy a bevonatolni kívánt terméket megfelelőképpen és elegendő felületen bevonatolni tudja az Oerlikon. A mi szerkezetünkben különféle alapanyagokat fogunk használni. Többek között rozsdamentes alapanyagot 1.4301 (X5CrNi1810) vagy rugólemezt 1.4310 (X22CrMoV12-1+QT) és egyéb kötőelemeket amelyek szintén rozsdamentes alapanyagból készültek. A kötőelemeknél a szabványos jelölést nem az előbb említett módon adjuk meg, hanem a DIN szám mögé A2 illetve A4 jelöléssel látjuk el, amiből tudni fogja a felhasználó, hogy milyen anyagból készült az aktuális kötőelem.

A termék amiről a dolgozatom szól, egy több komponensű szerelt egység. Ennek az egységnek egy alkatrészét érinti a dolgozatom.



4. ábra Szakdolgozatomban témaadó alkatrésze [4]

4 Irodalom feldolgozás

Diplomamunkámban egy gyártástechnológiai fejlesztést koordinálok végig, mint fejlesztőmérnök a jelenlegi munkahelyemen. A fejlesztéseket az említett termékkel kapcsolatban prototípus technológiaként fogom végig vinni. Ebben a fejlesztésben az alkatrész megfelelő gyártástechnológiáját fogom meghatározni a jelen esetre vonatkoztatva. A tervezés során szem előtt tartom a korszerű gyártástechnológiák alkalmazását és ezzel egyidejűleg törekszem a gyártási költségek csökkentésére.

A következő alfejezetekben bemutatom a termék végfelhasználására vonatkozó hőkezelési eljárást. Bemutatom az alkalmazni kívánt gyártástechnológiákat is.

4.1 Hőkezelési eljárások

A hőkezelési eljárások különösen fontos szerepet töltenek be a gép-és alkatrészgyártás területein. Ennek oka, hogy a manapság hőkezelt kívánt termékek száma meghaladja az előző évek tendenciáit és ez már évi több milliárdra rúg. A másik ok, hogy a fejlődő iparban egyre inkább előfordulnak olyan gépek és helyzetek ahol sokkal nagyobb igénybevételnek vannak kitéve az gépelemek, mint amit maga az anyag kibír. Ezeket az igénybevételeket elbíró szemcseszerkezetet csakis kizárólag hőkezelt állapottal lehet kielégíteni. [5] Gyakorlatilag manapság megkerülhetetlen a cégek számára, hogy az említett eljárást kikerüljék. Mivel bármilyen területről érkezik a megrendelés, legyen az egészségügy, autó-és motorgyártás vagy repülőgépipar, esetleg gépalkatrészgyártás, minden helyzetben előfordulnak magasabb igénybevételek, ahol szükséges lesz hőkezelést használnia a gyártó cégnek. Az eljárásokat csoportokra tudjuk bontani, amiből három fő csoportot különböztetünk meg.

„A három főcsoport:

- Az acél összetételét nem változtató hőkezelések.
- Termokémiai hőkezelések.34e
- Alakításos hőkezelések.” [5]

Az első csoportot jellemzője, hogy „A vasötvözet szilárd állapotban hőhatással való kezelése, amelynek célja a szövetszerkezet és a tulajdonságok megváltoztatása.” [5] Ebbe a csoportba tartozik az izzítás, edzés, öregítés.

A második csoport alapvető jellemzője „Olyan hőkezelés, amely a vegyi- és hőhatások kombinációja. Célja a vasötvözetek összetételének, szövetszerkezetének

és tulajdonságainak megváltoztatása.” [5] A második csoport legfőbb eljárásai a cementálás, nitridálás, karbonitridálás.

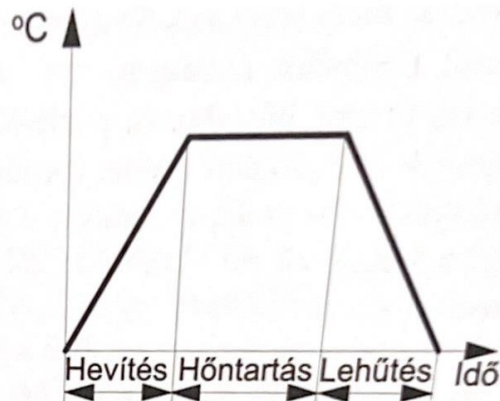
A harmadik, egyben utolsó csoport „olyan hőkezelés, amelynek célja a hőhatással és képlékeny alakítással a vasötvözet szövetszerkezetének és tulajdonságainak megváltoztatása.” [5] E csoporton belül olyan kezeléseket ismerhetünk, mint edzhetőség, elégetés, hőntartás, megeresztés.

Esetünkben a hőkezelés más típusát ismertetem, amikor magas hőmérséklet mellett bevonóréteg kerül a felületre. ”A fizikai gőzfázisú leválasztás (Physical Vapour Deposition, PVD) során a fémes bevonatolóanyagokat, pl. a titánt, alumíniumot, cirkóniumot vagy krómot vákuum alatt elpárologtatják, és azok elektromos mezők, valamint plazma segítségével lerakódnak a munkadarabok felületén.” [5] Az így keletkezett bevonattal a termék kopásállóságát tudjuk elsősorban növelni, illetve ennek következtében az élettartam növelése is evidenssé válik. A PVD-bevonatolás elkerülhetetlen az olyan iparágakban, mint a forgácsolás, stancolás/lyukasztás, formázás vagy formából kiemelés során használt szerszámok, alkatrészek és komponensek esetén. Lényegesen jobb képességekkel ruházza fel a szerszámokat. Véd az oxidáció, kopás ellen és jobb csúszóképességet is biztosít mely tényezők által növelni tudja az élettartamot, teljesítményt és termelékenységet is. Ezeknek köszönhető a sikeresebb produktivitás illetve a kevesebb időbeli és költségbeli ráfordítás. [6]

A PVD bevonatolások mellett számtalan hőkezelési eljárás létezik amit a mindennapok során mi és hasonló iparban dolgozó cégek alkalmaznak.

A hőkezelési technológiát alapvetően három különböző periódusra szoktuk bontani. Ez a három periódus a következők:

- felhevítés
- hőntartás
- hűtés [7]



5. ábra Hőkezelési görbe [12]

1. Felhevítés:

Különös figyelmet érdemelnek a bonyolult, változó keresztmetszetű és nagyméretű acélok amelyeket lassan kell hevíteni. A túlságosan gyors hevítés hatására a káros feszültségek a magban esetleges repedéseket képezhetnek. Ezek a repedések leggyakrabban az ötvözött anyagok esetében fordulnak elő, ahol az ötvözők az anyagok hővezető-képességét csökkentik, nő a hőmérséklet-különbség a kéreg és a mag között. A repedéstől eltekintve a megnövekedett feszültségek önmaguk is torzítják az darabot mellyel vetemedést idéznek elő. A magas hőmérsékleten, 800 C-fok feletti tartományban az acélok szilárdsága meglehetősen nagyot csökken, emiatt a kis keresztmetszetű, karcsú vagy keskeny alkatrészek pusztán a saját tömegük hatására is elvetemedhetnek. Ennek a jelenségnek a kivédésére létezik megoldás, mégpedig ha a megfelelő alátámasztást biztosítunk a folyamat során vagy ha hossz tengelybe eső felfüggesztést alkalmazunk akkor nem kell aggódnunk a jelenség miatt.

Lassú hevítésről akkor beszélünk, ha a kezelendő darabot és a kemencét együtt kezdjük el melegíteni és együtt érik el a kívánt hőmérsékletet, míg gyors hevítésnél a meleg, már magas hőmérsékleten lévő kemencébe helyezzük be a hőkezelt kívánt terméket.

2. Hőntartás

Mindaddig hőntartásról beszélhetünk amíg az előírt hőmérséklet elérését követően meg nem kezdődik a hűtési stádium. Ennek az időnek a periódusa nagyon széles spektrumon mozog. Pár percig vagy több óráig is eltarthat amely teljes mértékben az eljárástól függ. [7] „A hőkezelés során kívánatos diffúziós pontos hivatkozásfolyamatokhoz megfelelő időre van szükség.” [7] Az eljárás mellett a hőntartás függ a darab méreteitől és annak geometriájától is. Amiatt, hogy ne keletkezzen szemcsedurulás, különös figyelmet kell szentelni arra, hogy a

bonyolult geometriájú munkadarabok esetében milyen értéket választunk hiszen fontos, hogy a hőmérséklet kielégítő legyen, de ne lépje túl az előírt határértékeket.

3.Hűtés

Léteznek előírt lehülési sebességek melyek betartása legalább annyira fontos, mint az előző két lépés. A keletkező szövetszerkezetet, mely azonos az újonnan kapott anyag tulajdonságával, nagyban befolyásolja, hogy milyen mértékben és mennyi idő alatt hűtjük le az adott darabot. [7] „A lehülés sebessége az alkalmazott hűtőközeg hővezető képességétől, a hűtőközeg hőmérsékletétől, a munkadarab anyagától, alakjától és felületi állapotától függ.” [7]

A hőkezeléseket típus szerint négy alaps csoportba szoktuk kategorizálni. Ez a négy csoport a következő:

1. Izzítás
2. Keménységnövelés
3. Szívósságfokozás
4. Kérgesítés

Mindegyik kezelésnek meg tudjuk határozni a pontos célját és természetesen minden típushoz tartoznak eljárások is.

Az izzítási eljárás lényege, hogy az anyagban lévő káros feszültségeket minimalizáljuk, ezáltal javítani tudjuk a megmunkálhatósági tulajdonságon és egyneműbbé tudjuk vele képezni az anyagot. Ebbe a csoportba tartoznak azok az eljárások, mint: öregítés, normalizálás, szemcsedurvítás, újrakristályosítás, feszültségoldás, lágyítás vagy diffúziós izzítás.

A keménységnövelés esetén egyértelmű a cél, keményebbé szeretnénk tenni az acélt. Martenzites szövetszerkezetet állítunk elő. Ezek az eljárások lehetnek az edzés, mélyhűtéses edzés, törte dzés vagy lépcsős edzés.

A harmadik típus a szívósságfokozás mely során az acél szívóssága nő és sokkal ellenállóbb lesz a dinamikus igénybevételekkel szemben. Az olyan eljárások, mint nemesítés, patentírozás és ausztemperálás, mind a szívósságfokozást idézik elő.

Negyedik és egyben utolsó eset a kérgesítés, aminek eredményeképpen kemény, kopásnak és kifáradásnak ellenálló anyagot kapunk. A mártóedzés, lángedzés, és indukciós edzés mind ezeket a tulajdonságokat hívják elő.

Mind a négy kategóriában felsorolt hőkezelési eljárások termikus kezelések. Egyedül a kérgesítés esetében létezik termokémiai eljárás amely a cementálás, nitridálás és boridálás. Minden egyéb kezelést az fentebb említett eljárással végeznek. [8]



6. ábra PVD bevonatóló gép, bevonatolás után [9]

4.2 Gyártási eljárások bemutatása

4.2.1 3D nyomtatás

Az első kiválasztott lehetőség a gyártásra a 3D nyomtatás, azon belül a már igazán innovatívnak és korszerűnek számító, fémnyomtatás.

Széles körben még nem feltétlenül elterjedt, de éppen ez adja a technológia érdekességét, hogy egy igazán korszerű és modern technológiával kapcsolatban végezhetek kutatómunkát a szakdolgozatom készítése során.

Az ipar alapvetően két eljárásra korlátozódott egészen az 1900-as évek végéig. Ez a két eljárás az anyag formába öntése vagy annak megmunkálása volt. Az akkori technológiák alakították ki azokat az irányelveket amelyek meghatározták a napjaink gyártósorainak működését illetve használati és berendezési tárgyaink létrehozásának alapjait. Az eljárásokat közös nevükön elvevési gyártásnak vagy angolul subtractive manufacturingnek szoktuk nevezni, mivel a formázás során az alapanyagot alakítva olyan technológiákkal mint, faragás, marás vagy formába öntés után kapjuk meg a kívánt terméket. [10]

„A technológiai áttörés, és a vizsgálat tárgyát képező 3 dimenziós nyomtatás megjelenése az 1980-as évek elejére tehető, azonban a „hozzáadási gyártás” (additive manufacturing) és a térbeli modellezés alapjai a 19. századig nyúlnak vissza és két szabadalomhoz köthetőek.” [10]

„A kezdő lökést Charles W. Hull 1983-as felfedezése adta. Hull a műanyagipari vállalatnál dolgozott, melynek fő profilja a bútorelemekre UV fény segítségével műanyag réteg felhelyezése volt. Felismerte, hogy ezekből akár több ezret is egymásra helyezhetne, a megfelelő rétegparaméterek számítógépes meghatározása segítségével pedig végül összefüggő térbeli alakzatot nyerhet. Szabadalmát 1986-ban jegyeztette be „Három dimenziós objektumok létrehozása sztereolitográfia által” címmel (3D Systems 2013).

Valójában ezt a pontot tekinthetjük a modern 3D nyomtatás megszületésének. Még ebben az évben létrehozta vállalatát 3D Systems néven, mely a ma napig piacvezető az iparágban. 1987-ben hozták létre az első sztereolitográf gépet, a 3D Systems SLA-1-et, mely az első, piacra készült 3D nyomtatónak tekinthető.” [10]

A 3D nyomtatás a manapság olyan szinten vált megbízhatóvá és pontosná, hogy a tervező mérnökök előszeretettel tervezik be az általuk megálmodott szerkezetbe. Saját munkám során már számtalan alkalommal foglalkozhattam hasonló ajánlatkérésekkel, ahol a fentebb említett technológiával kellett alkatrészt gyártanunk. Tökéletesen kiválthat fogaskerekeket, esetleg olyan 3D formaalakokat

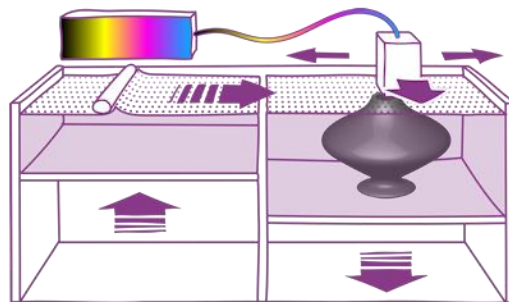
melyeket marási technológiával hosszas, vagy bonyolult legyártani a sok megfogás vagy éppen a szerszámozás miatt. Érdekes, hogy nem csak a gépgyártás területét érinti a nyomtatás, hiszen az egészségügyben különböző protéziseket, számos hangszer kiegészítő elemét állítják elő ezzel a technológiával. Ilyen példa a szaxofon fúvóka is, amely önmagában egy drága hangszer, de a hozzá tartozó fém fúvóka ára szintén magas. Ennek kiküszöbölésére vetették be az újdonságot, hogy egy fém fúvókát 3D szkennelés után nyomtassanak ki. Közel hasonló hangot tudtak generálni az így készült elemmel, az előállítás pedig töredékébe került.

A nyomtatás területén, az idő múlásával különböző technológiák alakultak ki. Mint például:

- CJP (Color Jet Printing)
- FDM (Fused Deposition Modeling)
- SLA (Stereolithography)

CJP (COLOR JET PRINTING)

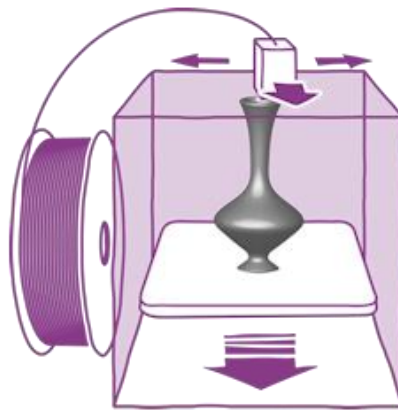
A felsorolásban elsőként említett CJP technológia azon típusa az additív gyártásnak, amely leginkább többszínű, egyedi modellek vagy ajándékok esetleg építészeti tervek megvalósítására alkalmas kicsinyített méretarányban. Ezt angolul multicolornak nevezzük. Azért lényeges külön megemlíteni, mert a standard eljárásoknál a többszínűség nem hétköznapi dolog. Csupán pár technológia képes a multicoloritásra. Működése egy por, kompozit alapanyagra történik, ahol az egyes rétegek közé ragasztó felvitele szükséges melyet szintén a gép végez. Lényegében a nyomtatás során a teljes nyomtatásra alkalmas területet betéti fehér porral, majd speciálisan erre a célra kifejlesztett ragasztót ad hozzá és a művelet végén a felesleges (nem ragasztott) fehér port a kihülés után eltávolítják. Fontos, hogy a kihülés után! Ennél a technológiánál ha szeretnénk többszínű munkadarabot gyártani, a ragasztó mellett festék is juttatható a porhoz. Működése során kb 0,1mm rétegvastagságot tud garantálni a gép. [11]



7. ábra CJP technológia [11]

FDM (FUSED DEPOSITION MODELING)

A második említett technológia manapság a legelterjedtebb, leginkább a lakossági felhasználók körében. Ennél az eljárásnál a legkönnyebben és legolcsóbban beszerezhető az alapanyag, úgynevezett filament. A filamentet száltekercsben tudjuk megvásárolni eltérő vastagságokban (2-3mm átmérőjű). Ugyanezt a technológiát szokták műanyag szálolvasztásos módszernek is nevezni. Alapanyag tekintetében a két leggyakoribb a PLA és az ABS műanyagok. A nyersanyagot egyszerűen csak be kell fűzni a nyomtató gép hátulján található fejbe amely automatikusan adagolja munkavégzés közben a megfelelő mennyiségű filamentet. A fejet egy motor mozgatja a nyomtató két tengelyén, így képes jobbra-balra illetve le-fel mozogni és kialakítani az alkatrész szélességét és magasságát. Az adagolás közben a műanyag 200 C fok körüli hőmérsékletre hevül aminek következtében megolvad, de amint kijut a fejből, gyorsan lehűl és azonnal megszilárdul. Rétegről rétegre ez a művelet játszódik le. Egy tekercsen egyszínű alapanyag van, így általában egyszínű elemeket lehet készíteni ezzel a típusú 3D nyomtatóval. A fejlesztéseknek köszönhetően léteznek már olyan szerkezetek amelyek 2, de akár 3 különböző filament fogadására is alkalmasak. Itt a rétegvastagság nagyjából 0,2 mm. [11]

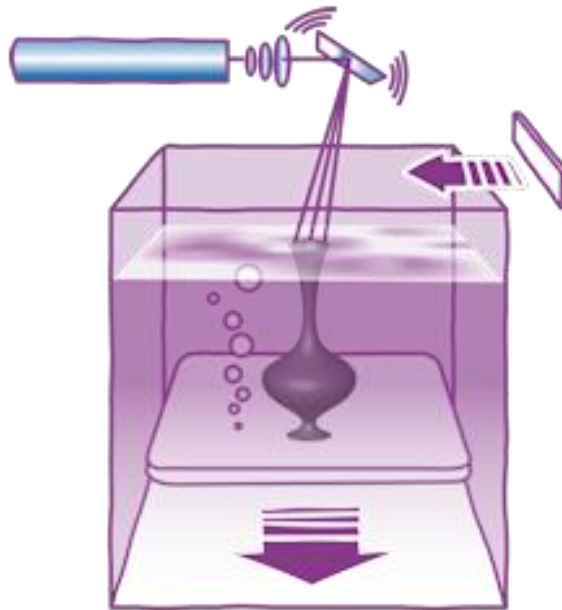


8.ábra FDM technológia [11]

SLA (STEREOLITHOGRAPHY)

A harmadik verzió az SLA amely a legprecízebb technológia. Ennek okán legtöbbször azokon a területeken alkalmazzák ahol a funkcionális végfelhasználás megköveteli a nagyon pontos formát és illeszkedést. A precizitás mellett nagyon egybefüggő és sima felületeket tud létrehozni ez a módszer. Lényegében a 3D nyomtató fényre keményedő, azaz fotopolimer műgyanta rétegeket állít elő. Ennek az eljárásnak két altípusát különböztetjük meg. Egyik az SLA, másik pedig a DLP. Leglényegesebb különbség, hogy az elsőnél lézerténnyel, az utóbbinál pedig

projektorral vannak levilágítva rétegek a megszilárduláshoz. Ennél a technológiai eljárásnál különlegesség a többivel szemben, hogy itt úgynevezett támaszok segítségével folyik a gyártás. A támaszok a munkadarab kinyúló részénél helyezkednek el, mert ebben az esetben a termék fejjel lefelé készül el. Emiatt szükséges a kinyúló illetve üreges részeket támaszokkal ellátni, de ezeket a supportokat szintén a gép készíti amit a lehülés után szabadkézzel egyszerűen el tudunk távolítani az alkatrésztől. Ennél az aprólékos eljárásnál a rétegvastagság is borzasztó kicsi. Akár 0,02 mm is lehet. [11]



9.ábra SLA technológia [11]

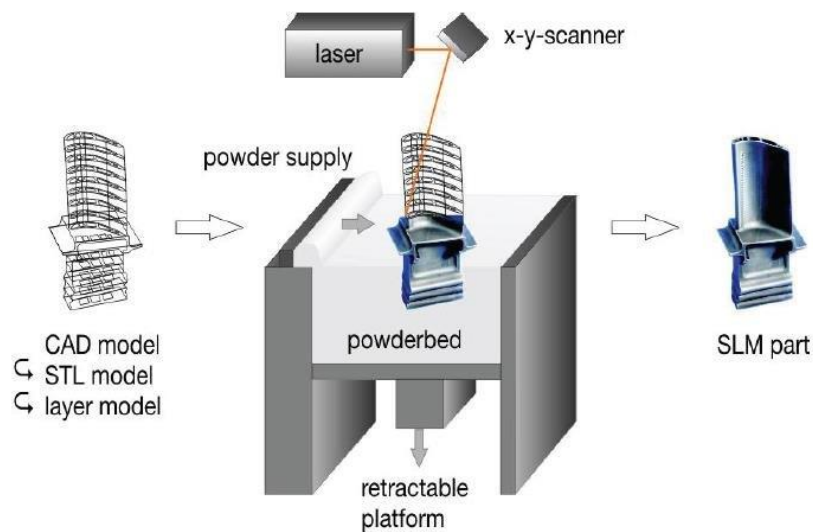
3D FÉMNYOMTATÁS

A 3D fémnyomtatás vagy angol nevén metal printing egy típusa az additív gyártásnak. A manapság kereskedelmi és ipari forgalomban kapható nyomtatók döntő többsége a szelektív lézeres olvasztás módszerét alkalmazza a gyártás során. A szelektív lézeres olvasztás a gyakorlatban nem jelent mást, mint, hogy a rétegeket a lézer a megolvasztani kívánt fémport egymásra illeszti. [12]

A 3D nyomtatás és egyben a fémnyomtatás alapját mindig egy digitális modell képezi. A nyomtató képes háromdimenziós modellekből tárgyakat képezni. Hibátlan olyan prototípusok készítésére melyekre gyorsan van szükségünk. Minden nyomtatás esetében additív eljárásról beszélünk, ugyanis nélkülözhetetlen az anyag hozzáadás. Ezek a gépek a legtöbb esetben vékony rétegek lerakásával készíteneek felületeket, míg a hagyományosnak számító CNC megmunkálás során egy nagyobb nyersanyagból választunk le anyagot. [13]

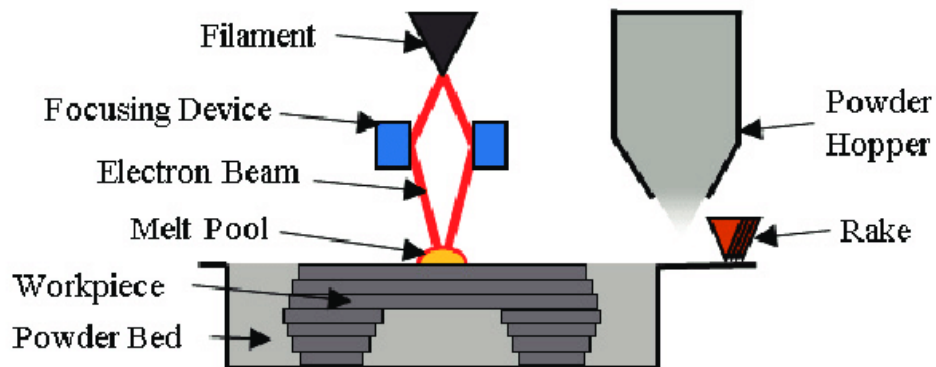
A fémnyomtatás esetében a nevéből kiindulva, a gyártáshoz fémport használunk. Az egyes gépek közötti különbséget leginkább az képezi, hogy az aktuális berendezés milyen módon használja fel a fémszemcséket, hogyan készül el a gyártani kívánt termék. Léteznek olyan masinák melyek nagy energiájú lézereket alkalmaznak ahhoz, hogy a porrészececskéket egymáshoz kössék, de akad úgynevezett szálhúzásos eljárás is, amikor a szál valamilyen mátrix anyag és fémpor kombinációja.

A tisztán por alapú fémnyomtatás csoportjába tartozik az SLM (Selective Laser Melting) amelyet másnéven szokás DMLS (Direct Metal Laser Sintering), SLS (szelektív lézerszinterezés) – nek is nevezni. Ennél az eljárásnál a „fémnyomtatók egy vékony réteg port teríteneek szét egyenletesen az építő tálcára és a porrétegben megolvasztják a nyomtatandó modell keresztmetszetének megfelelő területeket.” [14] Ezek a legelterjedtebb nagy energiájú SLS nyomtatók lézersugárral olvasztják össze a gyártásban lévő termék egyes rétegeit. A folyamat befejezése után egyszerűen csak el kell távolítani a munkafelületről, majd utókezelnit azt. Jellemzője ennek az előállítási módnak, hogy meglehetősen komplex alkatrészek előállítására alkalmazzák, leginkább azokban az esetekben amikor forgácsolással nehezen vagy túl sok kompromisszum meghozása után készíthető el a gyártmány.



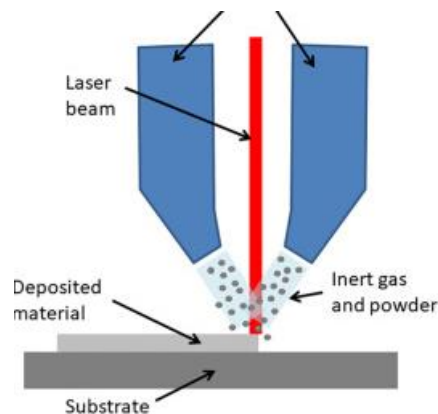
10.ábra 3D nyomtatás folyamata [15]

Ezzel szemben az EBM (Electron Beam Melting) technológia esetében nem lézersugárral, hanem elektronsugárral olvasztják meg a fémport. Igaz, a pontosság valamivel kedvezőtlenebb, mint az előző technológiánál, de a gyártási folyamat végérvényben gyorsabb, kifejezetten a nagyobb tárgyak előállításakor. Anyagi vonzatát tekintve, az eddig említett két eljárás között nincs számottevő különbség.



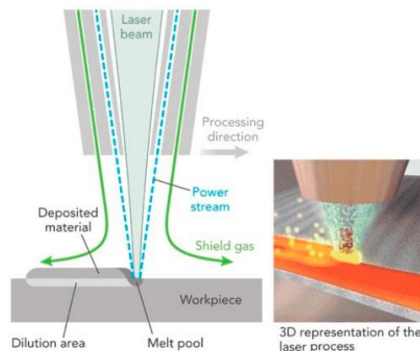
11.ábra Az EBM folyamat illusztrációja [16]

A következő eljárásnál amit bemutatok érdekesség, hogy az alapanyag adagolása és felhevítése a nyomtató fejen történik. Ez a technológia a DED (Direct Energy Deposition). Az elkészített termék hasonlóan színvonalas, mint a fentebb bemutatott két másik nyomtatásnál. Ettől az egy lényeges tulajdonságától eltekintve, közel hasonló a módszer az SLM-hez.



12-ábra A DED technológia [17]

Mindenképpen szükséges megemlíteni, hogy a lehetőséget tárháza igen széles, de talán az egyik legérdekesebb és legkomplexebb egyike az LMD, (Laser Material Deposition), ami az SLM testvéreként is szokás emlegetni, a különbséget itt is a fémport felhasználása képezi. Ebben az esetben lényeges, hogy nem az építő tálcán kerül el a fémport, hanem a porszóró fejből juttatjuk a munkaterületre. A fűtés során a fejen lévő lézer működés közben megolvasztja a fémport. Az eljárás hasznossága talán abban rejthető, hogy alkalmas nem nyomtatott alkatrészek javítására is.



12.ábra Az LMD technológia működése [18]

4.2.2 CNC megmunkálás

A második opcionális megmunkálási mód a CNC megmunkálóközponttal való gyártás.

A CNC megmunkálás a forgácsolás modern „változata” amikor a szerszámgép tengelyeinek mozgását számítógéppel vezéreljük.

„A forgácsolás olyan megmunkálási eljárás, amelynél a munkadarab kívánt alakját úgy érjük el, hogy a felesleges anyagréteget (ráhagyást) alkalmas eszközzel (szerszámmal), kisebb-nagyobb részecskék (forgács) alakjában eltávolítjuk” [19]

Ahhoz, hogy a forgácsot el tudjuk távolítani, a munkadarab és a szerszám között relatív elmozdulást kell előidézni. Ezeket a mozgásokat a szerszámgép megfelelő egységei biztosítják. A forgácsolási eljárás közben három állapotot különböztetünk meg. Megmunkálandó felületnek azokat a részeket nevezzük, amit a szerszám még nem munkált meg. Ezt követi a forgácsolt felület, ahol a szerszám éppen dolgozik, azaz forgácsot választ le. Majd megmunkált felületnek nevezzük azt a felületet, amin a szerszám már áthaladt, azaz leválasztotta a forgácsot [20]

A mai CNC gépek elődjai az NC gépek voltak. Természetesen ez is, mint sok más ipari fejlődés, a hadiiparból kamatoztatott. 1949-ben az USA kezdeményezésére kezdtek el olyan számjegyvezérlésű marógépek fejlesztéséhez, amelyek képesek gyorsan, pontosan és kiszámítható biztonsággal gyártani bonyolultabb, akár aerodinamikai felületeket is. 1952 volt az az év, amikor nyilvánosságra hozták az első gép prototípusát. [21]

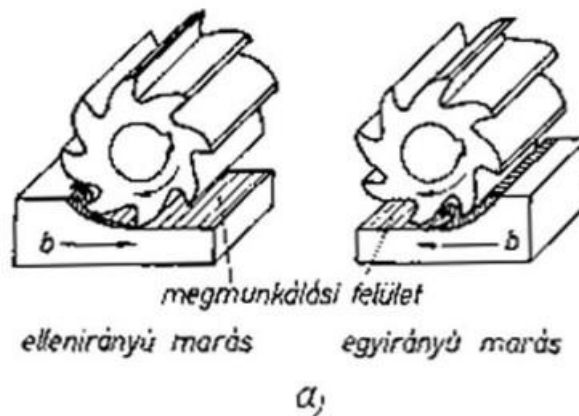
A hazai tervezési és gyártási metódusok valamikor a 60-as években alakult ki. Az akkoriban legnevesebb Csepeli Szerszámgyárban és a szerszámgépipari Művekben. [22]

„A Computer Numerical Control (CNC) olyan szerszámgép, amely programozható mikroszámítógépet is tartalmaz, ami a vezérlést végzi” [23]

A marás technológiáját legegyszerűbben úgy lehetne leírni, hogy az egyes síkokból összetett és más alakos külső felületeket állítunk elő, ahol a forgómozgást rendszerint a szerszám végzi. Az előtolás mozgása rendszerint egyenes vonalú mozgás, amit egyaránt végezhet a szerszám, de a munkadarab is.

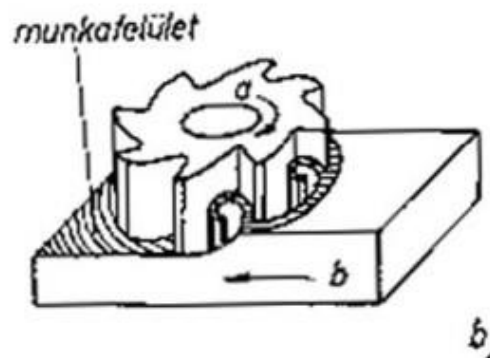
Megkülönböztethetünk két fő marási irányt. Az egyik a palástmarás, a másik pedig a homlokmarás.

Palástmarásnál a maró forgástengelye párhuzamos a mart felülettel és a főélek a paláston forgácsolnak, míg a mellékélek a homlokfelületen végeznek forgácsleválasztást.



13.ábra Palástmarás [24]

Homlokmarásnál a maró forgástengelye merőleges a mart felületre, így a főélek a paláston végeznek forgácsleválasztást.



14.ábra Homlokmarás [24]

A CNC gépek alapvetően két fő részből állnak melyek kezelőfelület illetve maga a szerszámgép, ahol a munkafolyamat történik.

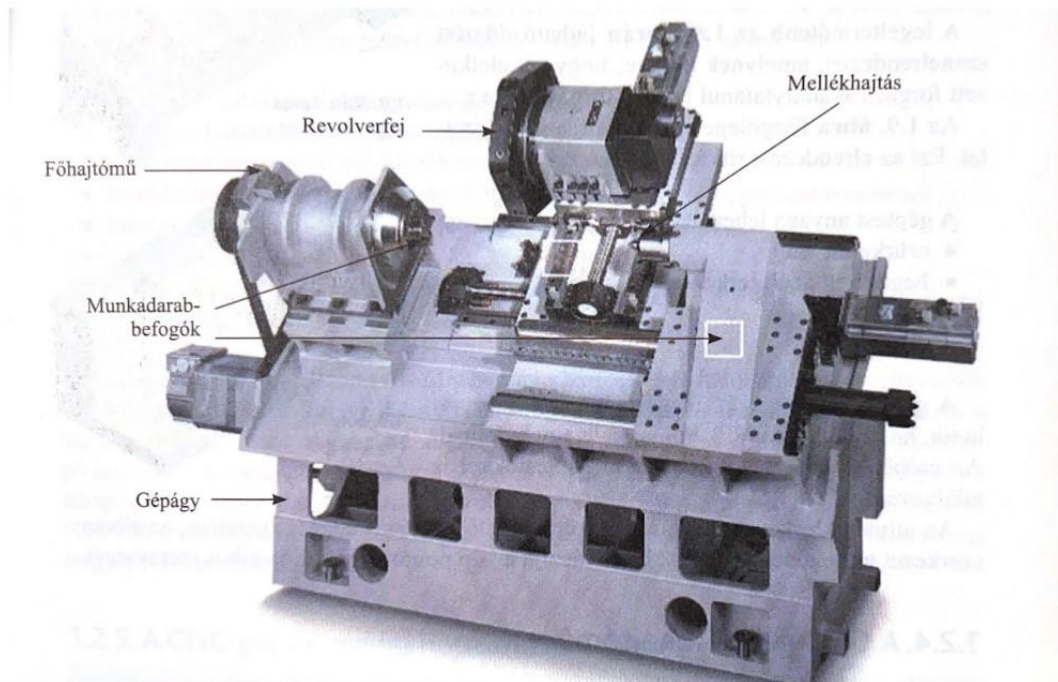


15.ábra A szerszámgép részei [24]

További részeire bontva a szerszámgép egységen belül megkülönböztetjük a következő alegységeket

- „a szerszámgépágyak
- főhajtóművek, főorsók,
- mellékajtóművek, szánrendszerek,
- szerszám-befogók, revolverfejek,
- munkadarab-befogók.” [24]

A szerszámgépágy feladata, hogy biztosítsa a stabilitást. Nagy tömegű gépelem amelyen elhelyezkednek a gép működéséhez szükséges egyéb részek. A főhajtómű a motortól kapja a hajtást. (Ékszíjhajtással és tengelykapcsolóval összekapcsolva). A tengelykapcsolón belül változtatható a fordulatszám, amely a technológiai igényeknek megfelelően alakítható. A mellékajtóművek kis fordulatszámú forgó mozgásra alkalmasak. Egy, a főhajtóműről leágazó hajtást alakítja át kisebb fordulatra. A szerszám-befogók feladatát a neve magában hordozza, a szerszám pontos rögzítésére alkalmas. Hagyományos gépeknél létezik gyorsbefogó amely előre rögzített állapotban csak cserélnünk kell. CNC gépeknél a lehetőségek tárháza sokkal bővebb. A revolverfej az előre betárazott szerszámok helyét, azok cseréjét biztosítja. Megkülönböztetünk különböző férőhelyes revolverfejeket. Fontos, hogy minden szerszámhoz tartozik egy sorszám. Ezt a sorszámot aktiválva tudjuk



16. ábra A szerszámgéppágy részei [24]

előhívni az aktuálisan szükséges szerszámot, ütközőt. Végül a munkadarab befogók, melyek segítségével rögzítjük a megmunkálni kívánt nyersanyagot.

A gépeket egyébként számtalan szempont szerint lehet csoportosítani. Egyik ilyen szempont a szerszámgéppágy elrendezése. E szerint lehet ferde illetve függőleges elrendezésű az esztergagépeknél. Ezeknek az anyaga általában szürkeöntvényből illetve hegesztett szerkezetből és kompozitokból áll össze. Természetesen ezekkel a gépágyakkal szemben támasztott alapkövetelmény a nagy pontosság és merevség, a terhelésvétel illetve a csillapítóképeség is. A munkát végző egységeket különböző fő-és mellékhajtóművek mozgatják, melyekben a golyósorsó alakítja át a forgómozgást egyenes vonalúvá. „A CNC-gép minden tengelyén szükség van egy útmérő rendszerre, amely a megállapítja a szán tényleges helyzetét, és továbbküldi visszajelzésként azt a helyzetszabályzóhoz”[24]

Az egyetemes szerszámgépeket (marógépeket) különböző csoportok szerint tudjuk kategorizálni amelyről egy táblázatot is csatoltam.

IV. MARÓGÉPEK

- Többélű forgácsolószerszámmal végzett forgácsolási mód.
- Két alapeljárást különböztetünk meg: **a palástmarást és a homlokmarást.**
- A forgó főmozgást mindig a maró, a mellékmozgást vagy a munkadarab, vagy a szerszám – vagy mindkettő együtt végzi.

Marógépek		
Konzolos marógépek	Síkmarógépek (ágyas marógépek)	Másolómarógépek
Vízszintes marógépek	Hosszmarógépek	Horonymaró gépek
Függőleges marógépek	Portálmárógépek	Körmarógépek
Egyetemes marógépek	Körasztalos marógépek	Bütyköstengelymaró gépek
Szerszám-marógépek	Alaplemezes marógépek	Egyéb
	Különleges marógépek	

Dr. Bodzás Sándor, Ph.D., Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék

17. ábra Marógépek csoportosítása [25]

A gép hasznossága mellett nem szabad megfeledkeznünk arról, hogy mennyire veszélyes eszközzel van szó. Magas fordulaton mozgó, éles, erős szerszámok forognak és mozognak a gép munkaterületén belül ami hamar sérüléshez vezethet, ha valaki nem az előírásoknak megfelelően irányítja a megmunkálóközpontot.

A CNC megmunkálás napjainkban egy igen elterjedt technológia amiből rengeteg típusú, méretű gép létezik. A cégbemutató fejezetben bemutatam milyen széles a paletta. Jelen esetben a legoptimálisabb egy kicsi, de fürge gép, mint például egy NCT VD-510. Az SL-Forg Kft.-nél ez a leggyorsabb gép, ami a legideálisabb a kisebb méretű alkatrészek elkészítéséhez.

Ebben a gépben az asztal mérete 650mm X 450mm melynek terhelhetősége 250kg. Ehhez társul egy 10.000 fordulat/perc hajtás. VD-510S típusú gép esetén 12.000 fordulat/perc. A gép belső hűtésre alkalmas. [26]



VD-510

18. ábra NCT VD-510 típusú marógép [26]

A megbízhatóság mellett számos előnyét lehet felsorolni amik a következők lehetnek:

- Mivel a CNC megmunkálás precízebb, mint a kézi eljárás, így a reprodukálhatóság mellett egyenletes felületminőséget is biztosít.
- Fontos szempont, hogy megnöveli a termelési rátát. Az automatizálás és a számítógépes vezérlés által magasabb szintre került a gyártás sebessége. Nem elhanyagolható szempont, hogy a munkagép nem tart szünetet, nem pihen ezáltal folyamatosan, rendszeres karbantartás mellett akár 0-24 órában a rendelkezésünkre áll a minőség megtartása mellett.
- A XXI. században minden területen kulcsfontosságú a biztonság. Kivétel nélkül, minden minőségirányítási elv nagy hangsúlyt fektet az emberek biztonságos munkavégzésére. Ha összehasonlítjuk egy kézi működtetésű gépet és egy CNC megmunkálóközpontot, azonnal feltűnő, hogy az utóbbit egy lemez borítás veszi körbe, nyitható ajtókkal. Ez a védőburkolat védi a dolgozót az esetleges balesetektől.
- A mai rezsiköltségeket figyelembe véve az egyik legfontosabb szempont a költséghatékonyság. A CNC pontosságát kihasználva a kezelő egyszerre akár több gépet is tud működtetni. Ugyanis az első pár sikeres alkatrész gyártása után nyugodt szívvel elmozdulhat a dolgozó a ciklusidő lejáratáig. Ez az idő a pár másodperctől

kezdve az órákon át tartó időig is tarthat. Hosszabb ciklusidő esetén egyszerre több gép üzemeltetésére is elegendő figyelem juthat. Pontosságából eredően minimalizálható a felesleges forgácsképződés, majd annak későbbi raktározása és elszállítása. [27]

4.2.3 Magas nyomásos öntés

A mai kor egyik legelterjedtebb fémalakító technológiája a nyomásos öntés. Ez a módszer széles platformot lefed mivel egyszerű automatizálttá alakítani, korszerű, sokoldalú és környezetbarátnak is tekinthető. Leginkább a magas, több tízezer darabszám vagy annál magasabb mennyiségű alkatrészek előállítására ideális. Ezek miatt illetve az extrán sokoldalú és vékony falvastagsággal rendelkező gépelemek gyárthatósága miatt világszerte felhívta magára a figyelmet.

Tovább fejlesztett változata a kokillaöntés. A kokillaöntés gépesített, melyben a kokillafél mozgó munkát végez. Az úgynevezett kilökő tüskék és a mag automatizált és a megolvadt fémolvadékot az üregbe juttatja nagy sebességgel. A befecskendezés után a formáüregben megszilárdul. Ekkor hatalmas nyomás hat a fémre. Kiváló minőségű terméket hozhatunk létre ha helyesen kezeljük és állítjuk be azokat a paramétereket, mint olvadék, szerszám konstrukció és öntési feltételek.

Más forgácsoló és egyéb fémalakító eljárásokkal szemben nagy előnye, hogy az elkészült alkatrészt utólagosan már nem szükséges megmunkálni. Sorjázni, trovalizálni..stb. A különbséget képezi, hogy a nyomásos öntésnél ezt az állapotot egyetlen művelet helyes beállításával elérhető ez az állapot.

A magasnyomásos öntés néhány előnye:

1. Az alapanyagköltség legtöbb esetben alacsonyabb, mint egyéb fémalakító eljárásoknak.
2. A szilárdsági tényezők és értékek kedvezőbbek, mint más homokformába vagy kokillába készített termék hasonló paraméterei.
3. A nyomásos öntés rendkívül hatékony magas darabszám esetén
4. Többfészkes szerszám kialakítása során a termelékenység tovább fokozható

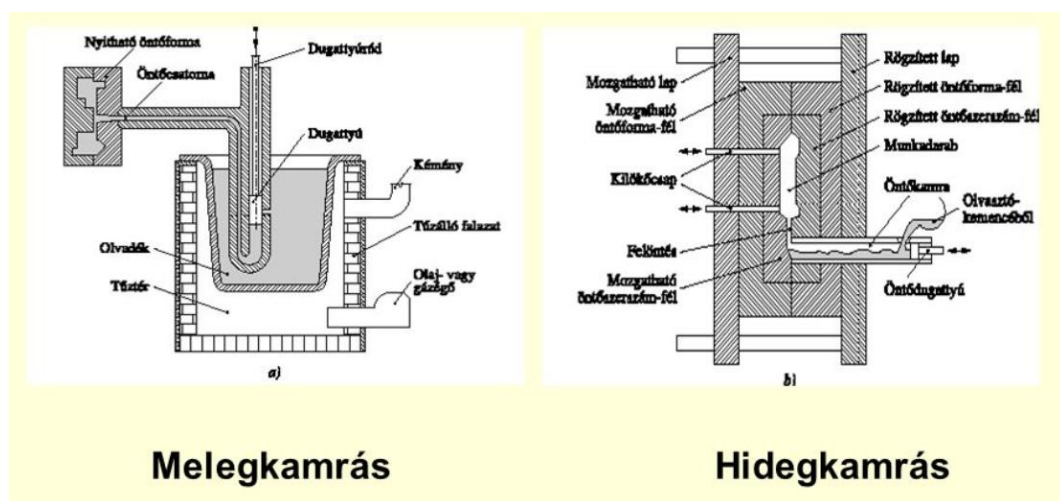
A magasnyomásos öntés néhány hátránya:

1. Nagyon magas a szerszámköltség

2. Egy szerszám csak egy típusú alkatrész gyártására alkalmazható. Apró módosítás esetén is újbóli szerszámköltéssel kell számolnunk

3. Méreteiben korlátozott a gyártás. Átlagos esetben az öntvények tömege valahol 25kg és 5 kg között alakul.

4. Nem minden típusú fémeket lehet önteni. Kizárólag azoknak a fémeknek a gyártására szűkül a kör, amelyek olvadási hőmérséklete alacsonyabb a réz ötvözeteknél.[28]



19. ábra A nyomásos öntés eljárásai [29]

Megkülönböztetünk melegkamrás és hidegkamrás öntési formát.

Az elsőnél, azaz a melegkamrás eljárást jellemzően azokhoz a nehézfémekhez alkalmazzák, amelyeknek kicsi az olvadáspontja. Ilyenek a cink, ólom vagy az ón. Ennél a technológiánál az öntőkamra folyamatosan a fémfűrdőben helyezkedik el és a kemence amely biztosítja a megfelelő hőmérsékletet, része az öntőgépnak. Jellemzően a nyomás amely a készülőben lévő fémekre hat 15 – 400 bar között mozog, vagy ennél nagyobb. A sorozatgyártásban ebben a csoportban a gyártandó termék súlya maximum 10 kg körül mozog.

Hidegkamrás eljárásnál szemben a hidegkamrással, itt nem része a hőtartó az öntőgépnak. A gépen kívül eső hőtartó kemence biztosítja a fémolvadékokat. Az öntőkészülék nagyon rövid ideig, kizárólag az öntési folyamat alatt érintkezik folyékony állapotában a fémekkel. Ez a folyamat döntő többségben alumínium öntésére specializálódott, de bizonyos magnézium vagy rézötvözetek öntésére is alkalmazzák. Maga kamra elhelyezkedése két állásban lehet. Függőleges vagy vízszintes pozícióban. [29]

„Ennek az öntészeti eljárásnak a különlegessége az állandó öntőforma, melyet tízezernyi alkatrészhez lehet használni, ha egyszer elkészítették. Emiatt a nyomásos öntést többnyire szerkezeti elemek sorozatgyártásánál alkalmazzák.” [29]



20. ábra Nyomásos öntés szerszámai [30]

5 Árkalkulációk készítése

Dolgozatom készítése során végig fontos szerepet játszik a bizonyos technológiák anyagi vonzata. Partnerünk nyitott minden említett variációra azonban fontos, hogy az összes lehetőséget tényszerű adatokkal támasszam alá. Ennek a feladatnak a biztosítására össze fogom vetni az egyes eljárások árkalkulációját. A CNC marás esetében pontos, tényszerű alapanyag és időadatokkal fogok szolgálni, melyeket az SL-Forge Kft. vállaltirányítási rendszeréből kölcsönöztem a szakdolgozatomhoz. Kifejtésén során láthatjuk, hogy megkülönböztetek alapanyag költséget, esetleges hőkezelési költséget. Ezek után a technológiai időt dolgozom ki. Megkülönböztetek előkészületi, darabolási és gyártási időt illetve szereldei munkavégzést amely az utómunkát jelenti. Az előkészületi idő egy fontos opció ugyanis egy cég nem tud gazdaságos maradni ha ezzel nem számol az egyes cikkek árának meghatározásakor. A gép konkrét futása mellett, az is a gyártáshoz tartozik amikor a gépkezelő felszereli a szatut a megfogáshoz. Elő kell készíteni az egyes műveletekhez szükséges szerszámokat, azokat befogóba helyezni, majd ezek után a gép revolverfejébe adagolni és sorszámokhoz rendelni. Amint ezek készen vannak, jöhet a szerszámbeállítás, ami szintén felemészti az előkészületi idő egy részét. Körülbelül ezek után a műveletek után tudjuk elkezdni a gyártást. Az előkészületi idő természetesen a magasabb darabszámnál kedvezőbb, mint az 1-2 darabos tételek gyártásánál, mivel ha az előkészületi időt egy magasabb számmal osztjuk, annál kisebb értéket kapunk, azaz több felé oszlik az előkészület. Bizonyos esetekben amikor a partner lépcsős vagy úgynevezett rabattos árat kér, olyankor megadom számukra az egy vagy néhány darabra vonatkozó árat, és annak a többszöröseire is. Ez a módszer, amikor a magasabb darabszámú terméket olcsóbban kínáljuk, egy remek lehetőség arra, hogy kecsgetőbb és vonzóbb legyen a vevőnk részére a nagyobb darabszámú sor megrendelése. Teljesen természetes, hogy a magasabb számú rendelés esetén a fentebb említett költségek több felé koncentrálnak, így lényegesen versenyképesebb árral tudunk harcba szállni az esetleges konkurenciáinkkal szemben.

A 3D nyomtatás egy olyan terület amivel a mi cégünk nem foglalkozik. Azokban az esetekben amikor a partnereink nyomtatott alkatrészeket szeretnének kapni, kooperációs közreműködést szoktunk alkalmazni. Szerencsésnek mondhatjuk magunkat, hogy széles körű az a paletta akik közül kiválaszthatjuk a legideálisabbat, minden technológia esetében. Jelen esetben 3 partner bevonását terveztem. A három partner körül két cég volt, akik vállalkoztak az esetleges gyártásra. Két beszállító magyarországi kft., míg a másik egy kínai vállalat.

Bizonyos esetekben a rá vagyunk kényszerülve, hogy külföldi cégekkel dolgozzunk együtt. Nem csak a korszerű technológiák esetén. Számos tényező befolyásolhatja, hogy melyik beszállítóval tudunk közreműködni. Természetesen az első szempont az esetek döntő többségében az ár. Az ár után fontos szempont a minőség és valahol ezek után rangsoroljuk a szállítási pontosságot. A mai felgyorsult világban, ahol a technológiai harc napról-napra hétről-hétre változhat, nem újdonság, hogy Magyarországon kívüli partnerekkel dolgoznak együtt az itthoni vállalkozók.

A nyomásos öntéssel kapcsolatban meglévő tapasztalatok alapján dolgoztam ki a kalkulációt. Ez a technológia kifejezetten nagyszériás alkatrészek előállítására specializálódott. Lényegében ez az a módszer ami hatalmas előkészítési idővel és szerszámköltséggel jár. Ezt az opciót meghagytam ugyan egy döntési variációnak, azonban személy szerint úgy gondolom, hogy ez az eljárás az, ami a legkevésbé lehet számunkra ideális, mivel a darabszám nem túl magas. Az öntés után a gyártott elem utómunkát is megkíván. A kész elemeket sorjázni szükséges, jobb esetben egy trovalizáló gép megoldja a problémát a kézi reszeléssel szemben.

Ennek következtében részletes árkalkulációt végeztem az említett technológiákat sorra véve.

Hogyan is épül fel egy árkalkuláció?

Egy árkalkuláció jelen esetben a következőképp épül fel:

Több frontról vizsgáltam a költségek felépítését. Egyik fő szempont az alapanyag. Másik pedig a technológiai idő. A lentebbi részletes számításaim során figyelembe fogom venni az egyes technológiák háttérinformációit is. Mint például a beszállító gyártási minősége, szállítási pontossága, ár , esetleges komplikációk jelentkezése és beszerzési idő. A megszerzett információk után, a szükséges adatokat összegyűjtve, a KIPA módszer segítségével fogom elemezni, hogy melyik technológiát válasszuk. Ez a módszer tökéletesen rá fog világítani azokra tényezőkre, hogy az egyes módszereknek mi a gyengéje, erőssége és, hogy az összes opció közül legnagyobb eséllyel melyik lehetőség lesz számunka a legideálisabb.

5.1 3D nyomtatás árkalkuláció

A technológia, mint 3D nyomtatás, nem tartozik cégünk fő tevékenységi körébe. Habár ez is egy fémmegmunkálási folyamat, mégis a fémiparon belül ezt egy külön iparágnak lehet tekinteni. Komoly szinten azok a cégek tudnak érvényesülni akik erre a területre specializálódnak. Emiatt kérdéses alkatrészrel kapcsolatban több beszállítót is megkerestem. Az egyik, a magyarországi FreeDee Kft. volt. Ők foglalkoznak az országhatáron belül a legrégebb óta a 3D nyomtatással és a fémmnyomtatással. Igazán profi körülmények között, szakképzett stáb, akik az elhivatottak a szakmájuk iránt. Az ő hivatalos árajánlatuk lényegi részét az alábbiakban ismertetem.



www.freedee.hu
shop.freedee.hu
info@freedee.hu

ÁRAJÁNLAT

Kiállító adatai	Vevő adatai
FreeDee Nyomdai Szolgáltató Művek Kft. Székhely: 1122 Budapest, Bíró utca 6/A Iroda: 1134 Budapest, Angyalföldi út 5/b Cégjegyzékszám: 01-09-992832 Adószám: 24150460-2-43 Bankszámlaszám: OTP 11712004-29906455 Honlap: www.freedee.hu	Mező Péter Development Engineer Mobile +36 20 4525077 E-Mail peter.mezo@slforg.com Internet https://slforg.com/ SL-FORG Kft. Győrffy István utca 2. H-4220 Hajdúböszörmény

21.ábra FreeDee árajánlat fejléc [31]

AZ AJÁNLAT TÁRGYA

1. 3D nyomtatott DMLS alkatrészek.

Technikai paraméterek:

Alapanyag: SS 316L

Rétegvastagság: 40 mikron

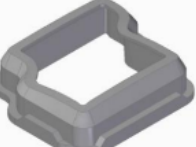
Belső kitöltés: Homogén

Rugalmassági Modulus: 180 GPA

Hajlítószilárdság: 510

22. ábra FreeDee árajánlat fejcél [31]

2. Ajánlati ár

Modell	3D nézet	Mennyiség [darab]	Nettó egységár [HUF]	Nettó érték összesen [HUF]	Teljes bruttó érték [HUF]
2319079-B 140170635-02 Basframe for Vane FET0270- 02 -korr.-		110	11.500	1.265.000	1.606.650
2319103-B 140171033-02 Basframe for Vane FET0270- 03 -korr.-		110	12.000	1.320.000	1.676.400
2319104-B 140170510-02 Basframe for Vane FET0270- 01 -korr.-		110	11.500	1.265.000	1.606.650
2319104-B 140170510-02 Basframe for Vane FET0270- 01 -korr.-		110	10.500	1.155.000	1.466.850

23. ábra FreeDee árajánlat részletező [31]

A technikai paraméterek között látható, hogy a gyártó cég a DMLS technológiát részesített előnyben a termék műszaki dokumentációjának átvizsgálása után. Ezt a technológiát fentebb részletesebben is említettem. Fontos volt a precizitás és a jó felületi minőség így az egyéb technológiai paraméterek mellett ezért is esett a választás erre az eljárásra.

Az adatok között szerep még, hogy az alapanyag amiből készül a termék az az SS 316L. Ami egy duplex rozsdamentes acél. A duplexitását annak köszönheti, hogy „ausztenites és ferrites fázisokból álló kézfázisú mikroszerkezet jellemzi.” [42]

Az alapanyagot nagy szilárdság jellemzi már alacsony hőmérsékleten is. Rozsdamentes típusának köszönhetően korrózióálló, ami különféle környezetben is időt állóságot biztosít.

Az egyéb paraméterek, mint, hogy a kitöltése homogén, rugalmassági modulus és hajlítoszilárdság, jelen esetben nem számottevő tényező hiszen az Oerlikon meghatározta az alapanyag szükséges minőségét, így nekünk kizárólag azt kell biztosítanunk, hogy a termék valóban a kívánt alapanyagból készüljön el. Erre a szükséges lépéseket megtettem, a gyártó biztosít számunka alapanyag műbizonylatot az esetleges gyártás során, amit mi továbbítunk a vevőknek.

A táblázat elemzése után megállapítom, hogy összesen 4 típusú, de nagyon közel hasonló paraméterű cikkekre kértem árajánlatot. A tételek között a FreeDee Kft. nem tett számottevő különbséget hiszen az apró formai eltérések elhanyagolhatók mind gyártási idő, mind alapanyag felhasználás tekintetében. 110 db-os rendelés esetén a beszállító az aktuális termékre 10.500 Forint – 11.500 Forint közötti árakkal tudott szolgálni darabonként. Emellett mindenképpen szükségünk volt mintagyártásra is. A termék fontossága megkívánta, hogy először egy darab terméket rendeljünk meg, funkciótesztre illetve, hogy minden paramétert ellenőrizni tudjon a minőségellenőr kollégám. Ebben az esetben a következő díjszabás érvényesül:

1. Ajánlati ár

Modell	3D nézet	Mennyiség [darab]	Nettó egységár [HUF]	Nettó érték összesen [HUF]	Teljes bruttó érték [HUF]
2319079-B 140170635-02 Basframe for Vane FET0270-02 -korr.-		1	58.000	58.000	73.660

24.ábra FreeDee árajánlat részletező [31]

Szembevetően az eltérés amit az előkészületi idő egy darabra koncentrációja, a felfűtés, és a lehűlés utáni utómunka eredményezi. Ez természetes, hogy kedvezőtlenebb árat von maga után. Ebben az esetben 58.000 Ft / darab árral kell számolnom. Viszont ezzel a termékkel a telephelyre való beérkezés után, bejövő kész áru ellenőrzés, ultrahangos mosás és szerelés mellett nincs egyéb teendőnk. Késznek tekinthető.

A második beszállító szintén vállalkozott a kérésemre és az alábbi ajánlatot tette ugyanolyan paraméterek mellett:

Dwg. no	Description	Revision Level	Quantity	Unit Price (EUR)	Total Price (EUR)
2319102	Basframe for Vane FET0270-04 (korr.)	B	780.00	4.21	3283.80
2386252	Coating limiter straight (6mm)	A	910.00	7.56	6879.60

Comments:
 1) Pirt Material: 1.4404/316L
 2) RMB/EUR: 0.1366
 3) Exwork price exclude tax

25.ábra Kínai vállalat árajánlat részletező [31]

Ebből a táblázatból az első sor az, ami a szóban forgó tételről szól. A termék ára 4.42 EUR / darab. Amit, ha átváltunk forintra $Fx395 \rightarrow 1745,9$ Ft / darab.

A két beszállító közötti eltérés óriási. Telefonos egyeztetések után megállapítottam, hogy mindkét partner ugyanazokat a jellemzőket biztosítja. Igaz, hogy a Kínából való rendelés és szállítás hordozhat magában némi komplikációt, de a döntésem egyértelmű volt, hogy ha a 3D nyomtatási technológia lesz a befutó, melyik cégtől fogom megrendelni az alkatrészeket.

Érdekes tényező, hogy eddigi pályafutásom során többször szembesültem vele, hogy nagyon sok területen Kína verhetetlennek bizonyult. Sok esetben egyértelmű tudomásom volt róla, hogy egy ajánlat ami a mi cégünkönél is jelen volt, szintén jelen volt egy kínai cégnél is. Az ilyen versenyhelyzetekből eddig csak korlátozott

A kiinduló alapanyag egy FL30x8 1.4301 (X5CrNi1810) laposprofilú rozsdamentes lemez. Ezt a lemezt a beszállítás után a technológiai lapon feltüntetett méretre darabolja az arra illetékes kollega. Erre a műveletre 2 percre van szükség. Ezt követően kerülhet be a nyersanyag a forgácsoló üzembe ahol az előírt VD-510-es CNC marógéppel fogjuk megmunkálni a darabot. A gépkezelő minden fontos információt megkap ahhoz, hogy a gyártás zökkenőmentes legyen. A technológus a CAM program mellé előírja, hogy milyen szerszámokat kell hozzá alkalmazni. A szerszámköltséggel a kirívó esetektől (ahol nagyon kiemelkedő a szerszámköltség) eltérően nem számolunk a kalkuláció során ugyanis annak azoknak az árát egyéb vállalati szorzók tartalmazzák. Az előkészület után, melyre 60 perc áll rendelkezésre, következhet a gyártás amire 46 perc áll rendelkezésre. Az egyes műveletek és felfogások között a minőségellenőr kollega szerepe kerül előtérbe. Ő az aki a gépkezelő mellett szintén felel az alkatrész helyes gyártásáért és a méretek betartásáért, hiszen ő a „vevő meghosszabbított keze”. A teljes futás után miután elkészült az alkatrész, következik a végellenőrzés. Az SL-Forg rendelkezik egy Mitutoyo 3D koordináta mérőgéppel is, amely az ilyen esetekben nagy segítséget nyújt. Ugyanis a 3D formaalakokat kézi mérőeszközökkel pontatlanul vagy csak közvetetten tudnánk mérni, de így nincs ok aggodalomra. Amennyiben minden méret és tűrés megfelelő, úgy átkerülhet a komponens a szereldébe. Ez a helyiség egy steril, tiszta helyiség ugyanis fontos kritériuma az Oerlikonnak, hogy minden alkatrész vákuumtisztán kell szállítanunk. Ebben a helyiségben az ultrahangos mosás után már csak és kizárólag az arra alkalmas kesztyűben szabad megfogni az alkatrészeket. Ilyen módon zajlik a szerelés és a csomagolás is. A szereldei munkavégzésre 18 perc áll rendelkezésre. A csomagoláshoz szükséges csomagolóanyagokkal, mint térkitöltő habszivacs, dobozok, pántoló szalag, zsugorfólia szintén nem kell számolnunk, mivel azt szintén egyéb vállalati szorzók biztosítják minden tétel után, súlyarányosan.

Így a folyamat, azaz a próbagyártás után végzünk egy utókalkulációt is, amikor minden adatot az ERP rendszerből összegyűjtve, megbizonyosodok arról, hogy a gyártás sikeres volt, zavartalanul haladt egyik állomásról a másikra és a kalkulált idő is elegendő volt az egyes részterületeknek. Jelen esetben, ami egy elég magas CNC gép fő idővel jár együtt, de kijelenthetem, hogy a kalkulált idő elegendő volt, a gyártás sikeresnek tekinthető.

5.3 Magas nyomásos öntés árkalkuláció

A nyomásos öntés az eddig említett technológiáktól számos terület és tulajdonsága miatt eltér. Első és legfontosabb, hogy hatalmas szerszámköltséggel jár együtt ez az eljárás.

Az imént említett indok miatt az öntés kalkulációjába tüzetesen nem mentem bele. A tapasztalati ismeretek alapján garantálható, hogy a szigorú tűrések nem feltétlenül tudnának érvényesülni itt.

Ezek miatt maga a technológia szóba jöhet, de látva a másik két verzió anyagi vonzatait, nem jártam újabb köröket, hogy pontos információval tudjak szolgálni a vevőnek. Ezt a technológiát így elvettem.

5.4 Árkalkulációk összehasonlítása

A három egymástól teljesen különböző eljárás részletezése után különböző érvek és ellenérveket tudok felsorakoztatni mind a 3D nyomtatás, CNC marás és magasnyomásos öntés esetében is. Amit mindenképpen szükséges megemlítenem, hogy a három technológia közül csak az egyik az, amit házon belül az SL-Forg tud végezni. Ez a marás. A másik két eljárást mindenképpen kooperációs partner bevonásával tudjuk megvalósítani. Ez a helyzet önmagában hordoz némi rizikót, esetleges gyártási vagy szállítási problémát ami jelen esetben nem elfogadható. A projekt fontossága miatt a kész termék nem készülhet el később, mint ahogyan az az előre meghatározott menetrendben szerepelt.

A KIPA módszer alkalmazása a megfelelő technológia kiválasztásához

A kiválasztási ok ismert. Szeretném eldönteni, hogy az említett három eljárás közül melyik az, amelyik számunkra alkalmaz és ideális jelen helyzetben. A módszer elvégzéséhez egy szakértői csoportot kértem fel a feladat elvégzésére. Mivel a kollégáim mind tapasztalt szakemberek így a szakértői hozzáállás biztosított. Egyidejűleg több szempontot is szeretnék figyelembe venni. Majd ezeknek a szempontoknak a fontosságát rangsorolni fogom. A túlzott szubjektivitás elkerülése végett egy előre rögzített értékelési mechanizmust alkalmazunk.

A KIPA modell az egyenkénti tényezők alapján elvégzett páronkénti összehasonlításon alapszik. Szükséges előtérbe helyezni azokat a jellemzőket melynél az egyik opció kedvezőbb, mint a másik (ez lesz a preferencia), illetve figyelmet szentel a legrosszabb tulajdonságra is (diszkvalifikancia). Ezekből a feltételekből adódik, hogy a végső döntés nem kizárólag a jó és jobb tulajdonságok alapján fog kialakulni, hanem a legkevésbé kedvező paramétert is előtérbe helyezi,

így szükség esetén végül módosíthatjuk a döntésünket. A módszer alkalmazása során a résztvevők a saját döntéseiket az önmaguk gondolata szerint hozzák meg.

A KIPA módszer használatakor alátámasztjuk a döntésünket a preferencia és a diszkvalifikancia mutatókkal. Az értékelési rendszer menete 7 lépésből fog állni, melyek a következők:

1. „Értékelési szempontok kialakítása
2. Értékelési szempontok súlyozása
3. Szöveges értékelés
4. Szöveges értékelés skála-transzformációja
5. Preferencia és diszkvalifikancia szintek kiszámítása
6. Saját elvárás vagy aspirációs szint meghatározása
7. KIPA mátrix elkészítése és döntés” [33]

A lépések meghatározása után sorban haladva elvégeztük a feladatokat:

1.Értékelési szempontok kialakítása:

Az első lépés alatt megfogalmaztuk a kérdéseket, melyekre a folyamat során válaszolnunk kell. (az értékelési szempontokat az alábbiak szerint fogjuk jelölni: E_i , ahol az indexben lévő „i” jelenti az i-edik szempontot jelöli.)

E1: Szállítási pontosság

E2: Minőség

E3: Eladási ár

E4: Megbízhatóság

2. Értékelési szempontok súlyozása:

Az előző pontban meghatározott tényezőket fontossági sorrendbe állítottuk súlyszámok bevonásával. A szakértői csoport minden tagja önállóan döntheti el, hogy számára melyik opciók a legfontosabbak. A válaszaikat mindenki preferencia táblázat segítségével alakítják ki, ahol áttekintik, hogy az első függőleges oszlopban látható szempontok fontosabbak-e a fejlécben szereplő szempontoknál. Amennyiben igen, egy 1-es jelzéssel látják el. Az egyes szempontok önmagukhoz

való fontosságát nem vizsgáljuk, ott minden cellában egy – (mínusz) jelet rakunk. Amint minden szakértő végzett a saját táblázatával, összesítjük, így megkapjuk az aggregált preferencia-táblázatot. Ezekből a kérdések súlyszáma már könnyedén meghatározhatjuk.

1.táblázat Értékelési szempontok súlyozása [44]

1. szakértő					2. szakértő				
	E1	E2	E3	E4		E1	E2	E3	E4
E1	-	1		1	E1	-	1	1	1
E2		-	1	1	E2		-	1	1
E3	1		-	1	E3			-	1
E4				-	E4				-
E1 fontosabb E2-nél, E4-nél E2 fontosabb E3-nál, E4-nél E3 fontosabb E1-nél, E4-nél					E1 fontosabb E2-nél, E3-nál, E4-nél E2 fontosabb E3-nál, E4-nél E3 fontosabb E4-nél				
3. szakértő					4. szakértő				
	E1	E2	E3	E4		E1	E2	E3	E4
E1	-	1		1	E1	-	1	1	1
E2		-	1	1	E2		-	1	1
E3	1		-	1	E3	1		-	
E4				-	E4		1		-
A véleményezés megegyezik az 1-szakértőével					E1 fontosabb E2-nél, E3-nál E2 fontosabb E3-nál, E4-nél E3 fontosabb E1-nél ill. E4 fontosabb E2-nél				

A konzisztencia mutató megállapítására a következő egyenletet használjuk:

$$k = 1 - \frac{d}{d_{max}}$$

(1)

Amely esetében a

K= konzisztencia mutató

d = inkonzisztens körhármasok száma

d_{max} = maximálisan előállítható körhármasok számaú

A körhármasok maximális darabszámát az alábbi szerint számíthatjuk ki:

HA páros értékelési szempont áll fenn:

$$d_{max} = \frac{n^3 - 4n}{24} \quad (2)$$

HA páratlan értékelési szempont áll fenn:

$$d_{max} = \frac{n^3 - n}{24} \quad (3)$$

ahol

n = értékelési szempontok száma

Az inkonzisztens körhármasok számát az alábbi képlet segítségével kapjuk meg:

$$d = \frac{n(n-1)(2n-1)}{12} - \frac{\Sigma a^2}{2} \quad (4)$$

(itt a d értéke nem lehet negatív tartományú szám)

n = értékelési szempontok száma

a = azon szempontok száma, amelyeket fontosabbnak választottak az aktuális értékelési szempontnál.

Tegyük fel, hogy a szakértői csapat viszonylag enyhe feltételt szab egy-egy hozzáértő véleményéhez. Az eredményt csakis kizárólag abban az esetben használjuk fel ha a $50\% \leq K$

Jelen esetben páros esetről van szó, mivel 4 darab értékelési szempontot határoztunk meg.

Ekkor:

$$d_{max} = \frac{4^3 - 4 \times 4}{24} = 2 \quad (5)$$

2.táblázat Szakértők összesítése [44]

1. és 3. szakértő							2. szakértő								
	E1	E2	E3	E4	a_i	a_i^2		E1	E2	E3	E4	a_i	a_i^2		
E1	-		1		2	4	E1	-	1	1	1	3	9		
E2		-	1	1	2	4	E2		-	1	1	2	4		
E3			-	1	2	4	E3			-	1	1	1		
E4				-	0	0	E4				-	0	0		
						$\Sigma a^2 =$	12							$\Sigma a^2 =$	14

1. és 3. szakértő esetén:

$$d_1 = d_3 = \frac{4(4-1) - (2 \times 4 - 1)}{12} - \frac{12}{2} = 1 \quad (6)$$

$$k_1 = k_3 = -\frac{1}{2} = 0,5 \quad (7)$$

$K_1 = K_3 = 50\% \rightarrow$ részt vehet a véleményezésben

2. szakértő esetében:

$$d_2 = \frac{4(4-1) - (2 \times 4 - 1)}{12} - \frac{14}{2} = 0 \quad (8)$$

$$k_2 = 1 - \frac{0}{2} = 1 \quad (9)$$

$K_2 = 100\% \rightarrow$ részt vehet a véleményezésben

3.táblázat 4.szakértő kiértékelése [44]

4. szakértő						
	E1	E2	E3	E4	a_i	a_i^2
E1	-	1	1		2	4
E2		-	1	1	2	4
E3	1		-		1	1
E4		1		-	1	1
$\sum a_i^2 =$						10

4.szakértő esetében:

$$d_4 = \frac{4(4-1) - (2 \times 4 - 1)}{12} - \frac{10}{2} = 2 \quad (10)$$

$$k_2 = 1 - \frac{2}{2} = 0$$

(11)

$K_4 = 0\% \rightarrow$ NEM vehet részt a véleményezésben

Jelen esetben kijelenthetem, hogy az 1. és 3. szakértő véleménye megegyezik. Emiatt az ő preferencia táblázatuk is szintén megegyező. Ennek következményeképpen a konzisztencia mutatójuk egy egyforma.

Mivel a 4.szakértő véleményét az előre rögzített szabály (50%) miatt nem fogadtuk el, így csak az 1. 2. és 3. kollega táblázatát fogadjuk el.

Az összegzett, úgynevezett aggregált preferencia-táblázat a következőképp készült el:

4.táblázat A 3 szakértő aggregált-preferencia táblázata [44]

1. 2. és 3. szakértő				
	E1	E2	E3	E4
E1	-	3	2	3
E2		-	3	3
E3	1		-	2
E4				-

A következőkben a meglévő aggregált preferencia-táblázatot kiegészítem a súlyszámokkal:

5.táblázat Aggregált preferencia-táblázat kiegészítése súlyszámokkal [44]

1. 2. és 3. szakértő									
	E1	E2	E3	E4	a_i	p_a	u	z	T
E1	-	3	2	3	8				
E2		-	3	3	6				
E3	1		-	2	3				
E4				-	0				

$$p_a = \frac{a_i + \frac{k}{2}}{kn}$$

(12)

ahol a:

p_a = preferencia arány

k = szakértők száma (akiknek a szavazataikat elfogadtuk)

n = értékelési szempontok darabszáma

A mi aktuális esetünkben a „ k ” tényező értéke $k=3$, mivel 1 szakértő kollega táblázatát nem fogadtuk el (4.szakértő)

E1-nél:

$$p_a = \frac{8 + \frac{3}{2}}{3 \times 4} = 0,792 \quad (13)$$

E2-nél:

$$p_a = \frac{6 + \frac{3}{2}}{3 \times 4} = 0,625 \quad (14)$$

E3-nál:

$$p_a = \frac{3 + \frac{3}{2}}{3 \times 4} = 0,375 \quad (15)$$

E4-nél:

$$p_a = \frac{0 + \frac{3}{2}}{3 \times 4} = 0,125 \quad (16)$$

Számítások után a táblázat további kiegészítése:

6.táblázat „ u ” érték meghatározása [44]

1. 2. és 3. szakértő									
	E1	E2	E3	E4	a_i	p_a	u	z	T
E1	-	3	2	3	8	0,792	0,81		
E2		-	3	3	6	0,625	0,32		
E3	1		-	2	3	0,375	-0,32		
E4				-	0	0,125	-1,15		

Mivel a preferencia arányokból következtetni tudunk a következő „ u ” oszlop értékeire, így azt egy úttal szintén kitöltöttem, ahol:

$u = P_a$ -hoz rendelt sztenderd normális eloszlású változó érték

A táblázatban fellelhető értékek közül mindig az aktuális értékhez legközelebb álló számot választjuk ki: (a lényeg hogy a táblázatban szereplő értéket vihetünk fel a táblázatba)

E1 értéke: 0,792 → táblázatban legközelebbi érték: 0,81

E2 értéke: 0,625 → táblázatban legközelebbi érték: 0,32

E3 értéke: 0,375 → táblázatban legközelebbi érték: -0,32

E4 értéke: 0,125 → táblázatban legközelebbi érték: -1,15

E3 és E4 értékeknél a negatív előjel használatának indoklása az, hogy a táblázatban a legkisebb érték a 0,5. Mivel ezek a számok ennél alacsonyabbak, így a statisztikai összefüggés miatt a következő összefüggést használjuk fel:

$$\Phi(-z) = 1 - \Phi(z)$$

(17)

A soron következő „z” oszlop kitöltésének menete:

7.táblázat „z” érték meghatározása [44]

1. 2. és 3. szakértő									
	E1	E2	E3	E4	a_i	p_a	u	z	T
E1	-	3	2	3	8	0,792	0,81	100	
E2		-	3	3	6	0,625	0,32	75	
E3	1		-	2	3	0,375	-0,32	42	
E4				-	0	0,125	-1,15	0	

Ezek elvégzése után következhet a „T” érték kiszámítása, azaz a tényleges súlyszámokat fogom meghatározni:

8.táblázat „T” érték kiszámítása [44]

1. 2. és 3. szakértő									
	E1	E2	E3	E4	a_i	p_a	u	z	T
E1	-	3	2	3	8	0,792	0,81	100	5
E2		-	3	3	6	0,625	0,32	75	4
E3	1		-	2	3	0,375	-0,32	42	3
E4				-	0	0,125	-1,15	0	1

A skálázásra egy 1 és 5 közötti skálatartományt alkalmaztam.

Ebből kifolyólag a következő táblázat szerinti felosztás érvényesült:

9.táblázat felosztás[44]

T	zT
1	0
2	25
3	50
4	75
5	100

Jelen feladat során az E értékekhez tartozó megfelelők:

E1: Szállítási pontosság (5-ös súlyszám)

E2: Minőség (4-es súlyszám)

E3: Eladási ár (3-a súlyszám)

E4: Megbízhatóság (1-es súlyszám)

A technológiai opciókra levetítve összesen 3 lehetőséget vázoltam fel amik a CNC marás , 3D fémnyomtatás és magasnyomásos öntés. Ezek közül kell választanunk.

3.Szöveges értékelés

A jelölés meghatározása után (Nagyon jó - (NJ) , Jó - (J) , Megfelelő - (M) , Rossz - (R))

10.táblázat Jelölések meghatározása [44]

	E1	E2	E3	E4
CNC marás	NJ	J	M	NJ
3D fémnyomtatás	NJ	NJ	NJ	NJ
Magasnyomásos öntés	J	M	R	J

4.Szöveges értékelés skála-transzformációja

Ebben a részben a szöveges minősítéseket fogom számszerűsíteni.

S1 értékelési tényezők(kiemelt): $4 \leq \text{súlyszám} \leq 5$

S2 értékelési tényezők(közepes): $2,5 \leq \text{súlyszám} < 4$

S3 értékelési tényezők(gyenge): $\text{súlyszám} < 2,5$

11.táblázat Minősítések számszerűsítése [44]

JEL	MEGNEVEZÉS	S1	S2	S3
NJ	Nagyon jó	20	18	16
J	Jó	15	14	13
K	Közepes	10	10	10
M	Megfelelő	5	6	7
R	Rossz	0	2	4

Az S értékek intervallumait magam határoztam meg. A továbbiakban ezeket az intervallumokat és a fentebbi táblázatot veszem alapul.

A következő táblázat az egyes technológiák skála-transzformációs értékeinek alakulása az előző táblázatot figyelembe véve:

12.táblázat Skála-transzformációk értékei [44]

	E1	E2	E3	E4
CNC marás	20	15	6	20
3D fémnyomtatás	20	20	20	20
Magasnyomásos öntés	15	5	2	13

5. Preferencia és diszkvalifikancia szintek kiszámítása

Preferencia

A soron következő lépésnél két opció mindegyik vizsgált tulajdonságát nézzük meg és kiválasztjuk azokat, amelyek tekintetében a preferált változat legalább annyira jó, mint a párja („i” és „j”)

Jele: C_{i-j}

az „i” és a „j”, a két darab összehasonlításra szánt opciót jelenti.

Képlet:

$$c_{i-j} = \frac{\sum T_i \geq j}{\sum T}$$

(18)

Ebben a képletben a $\sum T$ az összes kérdés súlyszámának az összessége, $\sum T_i > j$ azon súlyszámok összességét jelenti, ahol az „i” jelzővel ellátott opció legalább annyira jó, mint a vizsgált „j”.

13.táblázat A kérdések súlyszámának összessége [44]

Súlyszámok	5	4	3	1
	E1	E2	E3	E4
CNC marás	NJ	J	M	NJ
3D fémnyomtatás	NJ	NJ	NJ	NJ
Magasnyomásos öntés	J	M	R	J

$$\sum T = 5+4+3+1 = 13 \rightarrow \text{tényezők súlyszámának összessége}$$

Következő számításaim során azokat a példákat fogom meghatározni, amely esetekben a „CNC marás” mikor jobb, vagy legalább ugyanolyan jó, mint a „3D fémnyomtatás” E1 , E2 , E3 és E4 esetébe. Az összehasonlítás minden létező lehetőségét ki fogom számítani. Mindhárom technológiát egymáshoz képest.

CNC Marás

$$\sum(T_{CNC} \geq T_{3D}) = 5+4+3 = 12$$

$$C_{CNC-3D} = \frac{12}{13} \approx 0,92 = 92\% \quad (19)$$

$$\sum(T_{CNC} \geq T_{MNY}) = 5+4+3+1 = 13$$

$$C_{CNC-MNY} = \frac{13}{13} \approx 0,1 = 100\% \quad (20)$$

3D Fémnyomtatás

$$\sum(T_{3D} \geq T_{CNC}) = 5+4+3+1 = 13$$

$$C_{3D-CNC} = \frac{13}{13} \approx 0,1 = 100\% \quad (21)$$

$$\sum(T_{3D} \geq T_{MNY}) = 5+4+3+1 = 13$$

$$C_{3D-MNY} = \frac{13}{13} \approx 0,1 = 100\% \quad (22)$$

Magasnyomásos öntés

Olyan eset egyik szempont szerint sem fordult elő, amikor a magasnyomásos öntés jobbnak bizonyult a mi helyzetünkben, mint a CNC marás vagy a 3D fémnyomtatás.

Diszkvalifikancia szintek meghatározása

A diszkvalifikancia mutatónál a preferencia ellentett műveletét végezem. Megvizsgálom azokat a lehetőségeket amikor az „i” opció miben és mennyiben rosszabb a nem preferált „j” opcióval szemben. Ennek segítségével kiválasztjuk a legnagyobb eltérés a „j” javára. A diszkvalifikancia szint kiszűrhetővé teszi azokat az alternatívákat, melyek mellett a döntés nem támogatható egy olyan tulajdonság miatt ami eddig esetlegesen elkerülte a figyelmet.

Jele: d_{ij}

az „i” és a „j”, a két darab összehasonlításra szánt opciót jelenti.

Képlet:

$$d_{ij} = \frac{(h_j - h_i)_{max}}{h_{max}} \quad (23)$$

Ebben a képletben a h_{max} a legnagyobb súlyszámú tényező skálaértékét jelöli, a $(h_j - h_i)$ pedig a páronkénti legnagyobb különbséget.

A diszkvalifikancia esetében is szintén százalékos formában határozom meg a végeredményt.

14.táblázat Diszkvalifikancia [44]

	E1	E2	E3	E4
CNC marás	20	15	6	20
3D fémnyomtatás	20	20	20	20
Magasnyomásos öntés	15	5	2	13

Az itt látható táblázatban a legnagyobb értéke $h_{\max}=20$.

A folyamat ugyanúgy zajlik, mint a preferencia szintnél, hogy minden opciót megvizsgálunk a másik opcióhoz képest.

CNC marás

$h_{\text{CNC}} - h_{3D} = 20-15 = 5$ illetve $20-6 = 4 \rightarrow (h_{\text{CNC}}-h_{3D})_{\max} = 5$

$$d_{\text{CNC}-3D} = \frac{5}{20} = 0,25 = 25\%$$

(24)

$h_{\text{CNC}} - h_{\text{MNY}} =$ ilyen opció nem fordult elő

3D fémmnyomatás

$h_{3D} - h_{\text{CNC}} =$ ilyen opció nem fordult elő

$h_{3D} - h_{\text{MNY}} =$ ilyen opció nem fordult elő

Magasnyomásos öntés

$h_{\text{MNY}} - h_{\text{CNC}} = 20-15 = 5$ illetve $15-5 = 10$ illetve $6-2 = 4$ illetve $20-13 = 7 \rightarrow$
 $(h_{\text{MNY}} - h_{\text{CNC}})_{\max} = 10$

$$d_{\text{MNY}-\text{CNC}} = \frac{10}{20} = 0,5 = 50\%$$

(25)

$h_{\text{MNY}}-h_{3D} = 20-15 = 5$ illetve $20-5 = 15$ illetve $20-2 = 18$ illetve $20-13 = 7 \rightarrow$
 $(h_{\text{MNY}} - h_{3D})_{\max} = 18$

$$d_{\text{MNY}-3D} = \frac{18}{20} = 0,9 = 90\%$$

(26)

6. Saját elvárás vagy aspirációs szint meghatározása

A döntéshozó személy számára egy leginkább alkalmas preferencia és díkszvalifikancia kialakítását jelenti.

Megállapítom, hogy a jelen esetben a preferencia mutató legalább 80%-ot kell, hogy elérjen. ($C_{\bar{u}} > 80\%$) illetve a díkszvalifikancia szint maximum 20% lehet ($d_{\bar{u}} < 20\%$).

Fontos megjegyezni, hogy abban az esetben, ha a saját elvárásunknak egyik opció sem felel meg, akkor két lehetőség áll előttünk. Egyik esetben enyhíthetjük a feltételeinket, vagy elvetjük az összes alternatívát.

Továbbá abban az esetben, ha több alternatíva is ideálisnak bizonyult számunka, de csak egy esetet választhatunk, olyankor tetszés szerint szigoríthatjuk a kiszabott feltételeket. Így a már szigorított mutatók alapján születik meg a döntés.

7.KIPA mátrix elkészítése és döntés

Az elkészítéshez páronkénti összehasonlító táblázatot rajzolok fel. Ez a táblázat tartalmazza a megfelelő diszkvalifikancia és preferencia szintet is. Majd az imént rögzített százalékos értékek alapján zajlik a döntés.

15.táblázat KIPA mátrix összehasonlító táblázat[44]

	CNC marás	3D fémnyomtatás	Magasnyomásos öntés
CNC marás	-	$C_{CNC-C_{3D}}$ $d_{CNC-d_{3D}}$	$C_{CNC-C_{MNY}}$ $d_{CNC-d_{MNY}}$
3D fémnyomtatás	$C_{3D-C_{CNC}}$ $d_{3D-d_{CNC}}$	-	$C_{3D-C_{MNY}}$ $d_{3D-d_{MNY}}$
Magasnyomásos öntés	$C_{MNY-C_{CNC}}$ $d_{MNY-d_{CNC}}$	$C_{MNY-C_{3D}}$ $d_{MNY-d_{3D}}$	-

Miután létrehoztam a sablon táblázatot, nincs más teendő, mint a megfelelő helyre beilleszteni a korábban kiszámolt értékeket és kiválasztani azokat, amelyek megfelelnek a kiszabott feltételeknek!

16.táblázat KIPA mátrix összehasonlító táblázat behelyettesítve értékekkel [44]

	CNC marás	3D fémnyomtatás	Magasnyomásos öntés
CNC marás	-	92% 25%	100% 0%
3D fémnyomtatás	100% 0%	-	100% 0%
Magasnyomásos öntés	0% 50%	0% 90%	-

A táblázatomban minden olyan cellát jelöltem piros kerettel, amelyben a kritériumoknak megfelelnek az értékek. A választásunkat a mátrixban szereplő piros keretek adják meg, még hozzá olyan módon, hogy azt eljárást kell választanunk, amelyik technológia minden értéke megfelel az elvárásainknak.

Jelen esetben a **3D fémnyomtatás** az, amelyik megfelel.

Így tehát a KIPA módszer alkalmazásának a végén, a mátrix szerint a „3D fémnyomtatás” technológiát kell választanunk a termék legyártásához.

6 Válaszott gyártási mód bemutatása

Az előbbi alpontok eredményét összegezve és a KIPA módszert alkalmazva kijelenthetjük, hogy a legideálisabb technológiának jelen esetben a 3D fémnyomtatás bizonyult. A kimutatásaimról tájékoztattam a megfelelő indoklásokkal és számadatokkal az Oerlikon képviselőit. Ők örömmel fogadták a részletes tervdokumentációt és egyetértettek a jelentéssel.

A részletek megbeszélése után elkezdődhetett a beszerzési és gyártási folyamat. A 3D fémnyomtatott alkatrészsel kapcsolatban ismét felvettem a kapcsolatot a kiválasztott szállítóval. Természetesen az általuk ajánlott ár továbbra is helytálló így az alkatrészt tőlük rendeltem meg. A gyártással és a szállítással kapcsolatban 4-5 hetet beszélünk meg. Ez az idő ideális számunka is. Ezalatt a periódus alatt a termék további komponenseit szintén legyártja az SL-Forg.

7 Eredménykimutatás

A szakdolgozatom témája az SL-Forge életében egy sikeres munkának tekinthető. Az Oerlikon kérése és a helyzet fontossága megkövetelte, hogy az átlagos szituációknál részletesebben elmerüljek a témában. Végül a tapasztalati tudás, az ár kalkuláció és a KIPA módszer alkalmazása után eldöntöttem, hogy a technológia amivel teljesítjük a kihívást a 3D fémnyomtatás. Ez a technológia számunkra is egy viszonylag ismeretlen terület volt, éppen ezért rengeteg kutatómunkával járt. Végeredményben a vevőnk egy kiváló terméket kapott meg, amivel végre tudta hajtani saját feladatát.

Az eredményes munkavégzés sikerességének köszönhetően a partnerünk biztosított minket arról, hogy a jövőben is szívesen dolgoznának velünk együtt stratégiai partnerként. Ez szintén egy nagy előrelépés lehet a Kft. életében, hiszen ha sikerül tovább vinni az eddig is gyümölcsözőnek mondható együttműködést még magasabb szintre, az mind a vezetőség, mind a dolgozók számára egy jó visszajelzés, hogy jó úton haladunk.

8 Összegzés

Az SL-Forge Kft.-nél elkészített diplomamunkám egy eddig új és ismeretlen termék bevezetéséről szólt. A bevezetés mellett a szerelt egység egy részkomponensének gyártási technológiájának optimalizálását bízta ránk a megrendelőnk. A megkeresésnek eleget téve utána jártam minden olyan lehetséges opciónak amely az jelen alkatrészre szóba jöhetett.

Mindvégig szempont volt a költséghatékonyság, de talán ennél is fontosabbnak tartottam a minőséget és, hogy az előre egyeztetett határidőket maradéktalanul be tudjuk tartani, ezzel is növelve a partneri együttműködésünk sikerességét.

Dolgozatom részét képezte a hőkezelési ismeretek bemutatása hiszen az SL-Forge egyik kiemelkedő partnere volt a megrendelők akinek profilja a különböző alkatrészek hőkezelése. Az aktuális termék egy tartókészülék volt, amelybe apró repülőgép turbina lapátokat szerel a felhasználó. Ebben a segédeszközbe rögzítve helyez a hőkezelő berendezésbe, amely jelen esetben PVD bevonatot képez a titán elem felületére. A hőkezeléstől eltekintve a felkutatott irodalmi háttéranyagok segítségével kitértem a CNC forgácsolás, 3D nyomtatás és fémnyomtatás illetve a magasnyomásos öntés részletes ismertetésére is.

Dolgozatom készítése során nagyjából végig párhuzamosan tudtam haladni a termék elkészülésével. Az aktuális folyamatokról mindig egyeztettem az éppen illetékes kollégámmal. A darabolástól kezdődően a forgácsoláson át a szereldei munkavégzésig. A munkafolyamatokat összevetve kijelenthető, hogy az SL-Forge megítélése tovább javult a külföldi partnerünk visszajelzése alapján.

Irodalomjegyzék

- [1] Titán-nitrid a kezdetektől – A világ első kopásvédő PVD bevonata, In: Oerlikon balzers {online} <https://www.oerlikon.com/balzers/th/en/portfolio/balzers-surface-solutions/pvd-and-pacvd-based-coating-solutions/balinit/tin-based/balinit-a/> (Letöltés időpontja: 2023.10.01 6 óra 02 perc)
- [2] Jövőbeli terveink, beruházásaink, In: Siforg.com {online} <https://siforg.com/hu/foaldal/> (Letöltés időpontja: 2023.09.06 14 óra 50 perc)
- [3] Internetes források
- [5] Smóling K.: *Az acélok és a vas hőkezelése*, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 9-16 p., 1976.
- [5] A PVD-bevonat szakértői szemmel, In: Műszaki Magazin {online} <https://muszaki-magazin.hu/2020/11/10/pvd-bevonat-eifeler> (Letöltés időpontja: 2023.10.10. 20 óra 16 perc)
- [6] A PVD-bevonat szakértői szemmel, In: Műszaki Magazin {online} <https://muszaki-magazin.hu/2020/11/10/pvd-bevonat-eifeler> (Letöltés időpontja: 2023.10.10. 21 óra 02 perc)
- [7] Gürtler M.Cs. – Plósz A.: 8. Hőkezelés, hegesztés, In *Műszaki táblázatok*, TCS Media Kft., Budapest, 215 p., 2018
- [8] Gürtler M.Cs. – Plósz A.: 8. Hőkezelés, hegesztés, In *Műszaki táblázatok*, TCS Media Kft., Budapest, 217 p., 2018
- [9] A PVD-bevonat szakértői szemmel, In: Műszaki Magazin {online} <https://muszaki-magazin.hu/2020/11/10/pvd-bevonat-eifeler> (Letöltés időpontja: 2023.10.11. 9 óra 23 perc)
- [10] Horváth Á.-Kurucz A.: A 3D nyomtatás története és jövőbeli kérdései , {online} https://kgk.sze.hu/images/dokumentumok/kautzkiadvany2016/HorvathA_KuruczA.pdf (Letöltés időpontja: 2023.10.13. 16 óra 48 perc)
- [11] 3D nyomtatás technológiák, In: Manubim {online} <https://www.manubim.hu/3d-printing-technologies> (Letöltés időpontja: 2023.10.15. 17 óra 33 perc)
- [12] Additív Technológia – Útmutató a 3D Fémnyomtatás Világához – I.rész, In: Gepeszpresso.hu {online} <https://gepeszpresso.hu/2022/02/10/additiv->

[technologia-utmutato-a-3d-femnyomtatás-világhoz-i-resz/](#) (Letöltés időpontja: 2023.10.15 21 óra 11 perc)

[13] 3D nyomtató, In: Wikipédia {online} https://hu.wikipedia.org/wiki/3D_nyomtat%C3%B3 (Letöltés időpontja: 2023.10.15 21 óra 38 perc)

[14] Tisztán por alapú fémnyomtatás, In: Freedee {online} <https://www.freedee.hu/a-3d-femnyomtatás-modszerei/> (Letöltés időpontja: 2023.10.15 22 óra 3 perc)

[15] 1.ábra, In Researchgate.hu {online} https://www.researchgate.net/figure/Sketch-of-SLM-Technology-Principle-Laser-selective-melting-deposition-SLM-technology_fig1_339986038 (Letöltés időpontja: 2023.10.15 22 óra 48 perc)

[16] Az EBM folyamat illusztrációja, In Researchgate.hu {online} https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-the-EBM-process_fig1_316816086 (Letöltés időpontja: 2023.10.25 23 óra 5 perc)

[17] Fémek 3D nyomtatása a bioanyagok gyors prototípuskészítésében: Technikák az additív gyártásban, In ScienceDirect.com {online} <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/directed-energy-deposition> (Letöltés időpontja: 2023.10.25 23 óra 16 perc)

[18] Lézeres fémleválasztás (LMD) technológia, In Lortek {online} <https://www.lortek.es/en/technological-areas/metal-additive-manufacturing/lmd> (Letöltés időpontja: 2023.10.25 23 óra 42 perc)

[19] Ambrusné Dr. A.M – Dr. Árva J. – Dr. Nagy P. S.: *Forgácsoló eljárások*, Műszaki könyvkiadó Kft., Budapest, 7 p., 2019

[20] Ambrusné Dr. A.M – Dr. Árva J. – Dr. Nagy P. S.: *Forgácsoló eljárások*, Műszaki könyvkiadó Kft., Budapest, 7 p., 2019

[21] Az esztergagépek kialakulása és fejlődése, In CNC media {online} <https://www.cnc.hu/2012/01/az-esztergagepek-kialakulasa-es-fejlodese/> (Letöltés időpontja: 2023.10.26 0 óra 36 perc)

[22] A XX. századi magyar szerszámgyártás fellegvárai- Csepel Szerszámgyár 2.rész, In CNC media {online} <https://www.cnc.hu/2019/02/a-xx-szazadi-magyar-szerszamgepgyartas-fellegvarai-csepel-szerszamgepgyar-2-resz/> (Letöltés időpontja: 2023.10.26 1 óra 9 perc)

- [23] Computer Numerical Control, In Wikipédia {online} https://hu.wikipedia.org/wiki/Computer_Numerical_Control (Letöltés időpontja: 2023.10.26 1 óra 39 perc)
- [24] Mátyási Gy.,- Sági Gy., *Számítógéppel támogatott technológiák*, Műszaki Kiadó, Budapest, 17 p., 2012
- [25] Dr. Bodzás Sándor, Előadás II., Gyártástechnológia, III. félév, Debrecen, Gépészmérnöki Tanszék
- [26] VD-510, In NCT, {online} ; https://www.nct.hu/pdf/Pros/termekkat/VD510_TK_HUN.pdf (Letöltés időpontja: 2023.10.30 18 óra 52 perc)
- [27] Melyek a CNC megmunkálás előnyei?, In Savaria Ipartecnika, {online} https://savariaipartecnika.hu/a-cnc-megmunkalas-elonyei-a-hagyomanyos-megmunkalassal-szemben/?gclid=Cj0KCQjw1OmoBhDXARIsAAAYGSEWZVe-2P8sPjOjFHVPH3eJF-uIbfYW2oDZ83NFzWJtzOm3p4xuRU8aAmbwEALw_wcB (Letöltés időpontja: 2023.10.29 19 óra 00 perc)
- [28] Dr. Dúl Jenő, Dr. Lukács Sándor – Nyomásos öntészeti ismeretek , Nemzeti Tankönyvkiadó, 2009
- [29] Nyomásos öntés , Az eljárások összehasonlítása, In Slideplayer , {online} <https://slideplayer.hu/slide/2119172/8/images/41/Nyom%C3%A1sos+%C3%B6nt%C3%A9s+Az+elj%C3%A1r%C3%A1sok+%C3%B6sszehasonl%C3%ADt%C3%A1sa.jpg> (Letöltés időpontja: 2023.10.30 19 óra 01 perc)
- [30] Nyomásos öntés szerszáma, In Nyeste és Nyesténé Kft, {online} https://www.nyestekft.co.hu/gyartasunk-es-szolgaltatasaink/aluminium-ontes/#gepi_nyomasos_ontes (Letöltés időpontja: 2022.10.03 21 óra 12 perc)
- [31] 2205 rozsdamentes acél anyag, In Wayenind {online}, https://wayenind.com/product/2205-stainless-steel/?gclid=CjwKCAjwp8OpBhAFEiwAG7NaEk5CITJiVWFWr_B4eNX7tVobCq6sIsnxx_ewXyzPXcWw0kH5cMmDhoCqVYQAvd_BwE (Letöltés időpontja: 2023.10.06 16 óra 56 perc)
- [32] Pupos Tibor, Pintár Gábor – Döntéstámogató módszerek, Debreceni Egyetem, AGTC, Debrecen, 2013

Ide kerül a témavezetői konzultációs lap