

DIPLOMADOLGOZAT

**Ferenczi Dóra
HY77W7**

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Műszaki Intézet

Műszaki menedzser mesterképzési szak

Hegesztő robot hasznosítása 3D nyomtatásra

Belső konzulens: Dr. Pataki Tamás István
egyetemi docens

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** **Műszaki Intézet**

Külső konzulens: Szilágyi Nóra
okleveles gépészmérnök

Készítette: **Ferenczi Dóra**

Gödöllő

2024

MŰSZAKI INTÉZET
MŰSZAKI MENEDZSER MESTERSZAK
Termelés és minőségmenedzsment specializáció

DIPLOMADOLGOZAT

feladatlap

Ferenczi Dóra (HY77W7)

részére

A diplomadolgozat címe:

Hegesztő robot hasznosítása 3D nyomtatásra

Feladatkiírás:

Vizsgáljon meg egy hegesztő robotot, olyan céllal hogy miként hasznosítható 3D nyomtatásra! A robot CNC vezérlésű robotkarral van ellátva. Készítsen a hegesztő robothoz programot a megfelelő programnyelven különböző paraméterek alkalmazásával! Vizsgálja meg a kész munkadarabokat, felhasználásukat minőségmenedzsment módszerekkel!

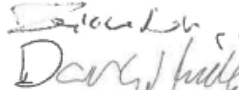
Közreműködő tanszék: Anyagtudományi és Gépipari Folyamatok Tanszék

Külső konzulens: Szilágyi Nóra okleveles gépészmérnök, Ferro Gép '99 Kft., 2100 Gödöllő, Moór János utca 2.

Belső konzulens: Dr. Pataki Tamás István egyetemi docens, MATE, Műszaki Intézet

A dolgozat beadási határideje: 2024. 11. 05.

Kelt: Gödöllő, 2024. 04. 15.


(tanszékvezető)

Jóváhagyom


(szakfelelős)

Átvettem


(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Kelt: Gödöllő, 2024. év 11. hó 05. nap


(külső konzulens)

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés	6
2	Szakirodalmi áttekintés	7
2.1	Hegesztés	7
2.1.1	Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés	7
2.1.2	Hegesztés robotokkal	10
2.2	Additív gyártástechnológiák	11
2.2.1	Sztereolitográfia, SLA	12
2.2.2	Szelektív lézeres szinterezés, SLS	13
2.2.3	Huzalfelrakás, FDM	14
2.2.4	Anyagok és alkalmazásaik	15
2.3	Hegesztő robotok alkalmazása 3D nyomtatásra	16
2.3.1	Gyártási folyamatok öntéssel és hegesztéssel, 3D nyomtatás a GMAW-al	16
2.3.2	3D nyomtatási technológia fémtermékekhez	19
2.4	Minőségmenedzsment módszerek	21
3	Anyag és módszer	28
3.1	Ferro Gép '99 Kft. bemutatása	28
3.2	Felhasznált anyagok	28
3.3	Felhasznált gépek és készülékek	29
3.4	Alkalmazott módszerek	34
3.4.1	Hegesztési varrat létrehozása	34
3.4.2	Próbatestek előkészítése a minőségellenőrzésekre	36
4	Eredmények és értékelésük	38
4.1	Hegesztési varrat geometriai méretellenőrzése	38
4.1.1	Rétegről rétegre	38
4.1.2	Automata 4 réteg	40
4.1.3	Automata 4 réteg emelt sebesség	41

4.2	Hegesztési varrat minőségellenőrzése	42
4.2.1	Brinell keménységmérés	42
4.2.2	Optikai vizsgálat.....	46
4.2.3	Időmenedzsment.....	49
5	Következtetések és javaslatok.....	51
6	Összefoglalás	52
7	Summary	53
	Irodalomjegyzék.....	54
	Ábrák és táblázatok jegyzéke	56
	Ábrajegyzék.....	56
	Táblázatjegyzék	57
	Mellékletek.....	58
	Nyilatkozatok	64

1 Bevezetés

A diplomadolgozatomban szereplő kutatásom célja, hogy megvizsgáljam egy hegesztő robot kihasználhatóságát 3D nyomtatásra alkalmas berendezésként. A felvetés az, hogy szüksége van-e a Ferro Gép '99 Kft.-nek a Panasonic márkájú hegesztő robotjukhoz egy kiegészítő szoftver megvásárlására, amellyel képesek lennének térbeli alakzatok gyártására, vagy egyszerűen, manuális vezérléssel is megoldható-e ennek kivitelezése.

Feladatom, hogy mily módon alkalmazható a hegesztő robot által gyártott alkatrész egy adott lokációban, és ez milyen minőségbéli eltéréseket jelent más módszerekhez képest. Vagyis, hogy hogyan lehet felrakó hegesztési eljárással kisebb hibákat javítani vagy „elfelejtett” alkatrészeket pótolni egy adott hegesztett szerkezeten. A hegesztés definíciójából következik, hogy a munkadarab deformációt fog szenvedni, dolgozatom során kitérek rá, hogy ez milyen hatással lesz a hegeszteni kívánt munkadarabra. Továbbá vizsgálom, hogy lehet ezen módszerrel időt és pénzt spórolni, továbbá minőséget javítani egyéb additív technológiákhoz képest.

Ellenőrizni fogom, hogy a varrat minősége megfelel-e egy acélszerkezetnek. Továbbá, hogy a rétegek közötti összeolvadás mennyire homogén. Valamint fontos szempont az is, hogy időben megéri-e így gyártani, lehet-e időt megtakarítani.

2 Szakirodalmi áttekintés

A következő alfejezetekben a tárgyi témához kapcsolódó szakirodalmak kerülnek áttekintésre. Érintem a hegesztést, azon belül a fogyóelektródás, védőgázos ívhegesztést, majd a hegesztésre használt robotok kerülnek bemutatásra. Ezután az additív gyártástechnológiák közül ismertetek pár szélesebb körben elterjedt technológiát, mint a sztereolitográfia, a szelektív lézeres szinterezés, és a huzalfelrakásos módszer, valamint az ezekhez alkalmazott anyagok kerülnek tárgyalásra. Végül a témában végzett korábbi kutatások közül mutatok meg kettőt, ahol a hegesztést, mint 3D nyomtatásra alkalmas eljárást hasznosították.

2.1 Hegesztés

A hegesztés alapja a hegeszthetőség. Az kiváló minőségű hegesztéshez kiváló hegeszthetőségre van szükség. Az acél, az alumínium és a réz hegeszthetőségi tulajdonságai eltérnek egymástól, ezért az alkalmazott hegesztési technológiák is különböznek. Az egyik legnépszerűbb technológia az ömlesztőhegesztés egyik válfaja, a védőgázos, fogyóelektródás ívhegesztés, amelyet a köznyelvben csak CO hegesztésnek hívnak. [1]

A hegesztés és a hegesztett kötés alkalmazásának célja lehet:

- Erő- és nyomatékátvitel biztosítása, hermetikus zárás létrehozása, valamint áram- és hőátvezetés biztosítása kötőhegesztéssel.
- Felületi és szerszámél-tulajdonságok módosítása felrakó hegesztéssel, amely során olyan hozaganyagot alkalmaznak, amely eltér az alapanyagtól.
- Nemkívánatos anyagfolytonossági hiányok (pl. repedések vagy üregek) kitöltése javító kötőhegesztéssel az előállított termékek használhatóságának javítása érdekében.
- Felrakó hegesztéssel történő pótlás a lekopott vagy elkorrodált anyagtérfogati hiányok (felületi rétegek) javítására olyan termékeken, amelyeket bizonyos ideig üzemeltettek. [2-5]

2.1.1 Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés

A "fogyóelektródás hegesztés" nevet azért kapta, mert a huzal elég vékony, így a gépnek folyamatosan adagolnia kell, hogy el ne fogyjon. [6]

Előnye: Gyors, hatékony, könnyen megtanulható hegesztési technika, amely kiválóan alkalmas vékony lemezek hegesztésére. [6]

Hátránya: A védőgáz és a hegesztőgép költséges, ezért főként ipari munkák során alkalmazzák. [6]

A fogyóelektrodás védőgázos ívhegesztés során az ív a folyamatosan adagolt huzalelektroda és a munkadarab között ég egy védőgáz atmoszférájában. A védőgázként használt anyag lehet semleges argon, hélium, vagy a kettő keveréke. Aktív gázként pedig széndioxidot és keveréket alkalmaznak. [6]

A hegesztést egyenárammal, általában fordított polaritással kell végezni. A védőgázos ívhegesztő áram egyenáram, ahol a huzalt a pozitív pólusra, a munkadarabot pedig a negatív pólusra kötik. Az ívfeszültség beállítása hegesztéskor gyakorlatilag nem változik, függetlenül az áramerősségtől. Az ív-feszültség értékét az adott hegesztési feladatnak megfelelően kell beállítani. A hegesztő áramforrás fontos szerepet játszik abban, hogy a hálózati feszültséget és áramot a hegesztéshez szükséges értékre változtassa. A hegesztő áramforrás jelleggörbéje statikus és dinamikus jellegű. A statikus jelleggörbe leírja az áramerősség és a feszültség kapcsolatát. A fogyóelektrodás védőgázos ívhegesztő áramforrás jelleggörbéje lapos. [6]

A védőgázként általában semleges védőgázokat (argon, hélium), aktív védőgázként pedig széndioxidot (CO₂) alkalmaznak. Az argon alapú keverék védőgáz is gyakran használatos. [6]

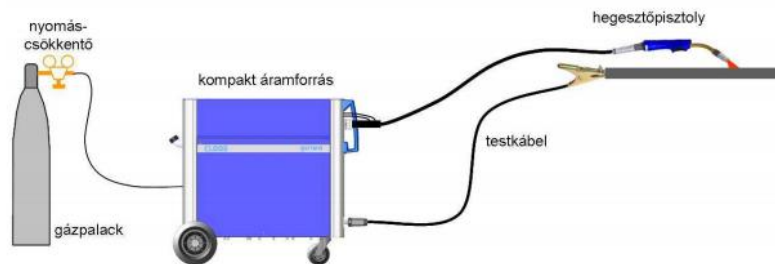
A hegesztő berendezés fő részei a következők:

- Hegesztő áramforrás: A hegesztést általában vízszintes vagy enyhén eső jellegű jelleggörbével, egyenárammal és fordított polaritással végzik.
- Huzalelőtoló berendezés: Fő feladata a hegesztő huzal egyenletes és megtörés nélküli előtolása a beállított sebességgel. Fontos, hogy a huzalelőtolási sebesség és a huzal leolvadási sebessége összhangban legyen.
- Védőgáz ellátó egység
- Vezérlő berendezés: Feladata a hegesztési folyamat szükséges kapcsolásainak végzése. Ellenőrzi és szabályozza a védőgáz és a hűtővíz ellátását. Az ívgyújtást elősegítő elektronikus egység is a vezérlő berendezésben található.
- Hegesztő pisztoly: Lehet léghűtéses vagy vízhűtéses. Fő részei a pisztolytest, a gázfúvóka az áramátadó csővel és a markolat. A pisztoly kiválasztásánál figyelembe kell venni a legnagyobb hegesztő áramot, a megfelelő szigetelést a védőgáz és a vízhűtés számára. Fontos, hogy a

gyakran kopó alkatrészek könnyen cserélhetőek legyenek, valamint a hozzá kapcsolódó hegesztő tömlő hajlékony és könnyű legyen. [6]

1. ábra: Fogyóelektródás ívhegesztő berendezés részei

(Forrás: [6])



Eljárások:

- Argon védőgáz, fogyóelektródás ívhegesztés AFI / MIG:

Rövidítése: AFI, nemzetközileg a MIG betűszót használják (Metal Inert Gas). Az eljárás során a hegesztőív a folyamatosan előrehaladó hegesztőhuzal és a munkadarab között ég. A hegesztőhuzalt két vagy négy görgő tolja előre, amelyeket a huzalelőtoló hajtószerkezete mozgat. A hegesztőhuzalt a hegesztőpisztoly huzalvezető spirálján, valamint a rézből, réz-cirkónium ötvözetből készült áramátadón keresztül vezetik a hegesztés helyére. AFI-hegesztéskor egyenárammal dolgoznak, és legtöbb esetben fordított polaritást alkalmaznak.

- Keverék védőgáz, fogyóelektródás ívhegesztés:

Argon és szén-dioxid gázkeverékéből álló védőgáz alatt végzik a hegesztést (CORGON-Magyarországon 82% Argon – 18% Szén-dioxid).

- CO₂ védőgáz, fogyóelektródás ívhegesztés CFI / MAG:

Rövidítése: CFI vagy MAG (Metal Active Gas). Ezt az eljárást elsősorban ötvözetlen és gyengén ötvözött szerkezeti acélok egyesítésére használják. A CO₂ védőgáz alkalmazásakor problémát jelent, hogy a szén-dioxid gáz szén-monoxidra és oxigénre bomlik, ezért jelentős oxidációval lehet számolni. Az elektródhuzalba ezért dezoxidáló elemeket (mangánt és szilíciumot) ötvöznek. Előnye a gáz olcsósága és a mély beolvadás, hátránya a nyugtalan hegesztési ív, ebből következő erős fröcskölés. Impulzushegesztésre nem alkalmas.

- Rozsdamentes acél hegesztéséhez használatos CRONIGON 2:

ami 98% Argont és 2% szén-dioxidot tartalmaz az ív stabilizálása érdekében. [6]

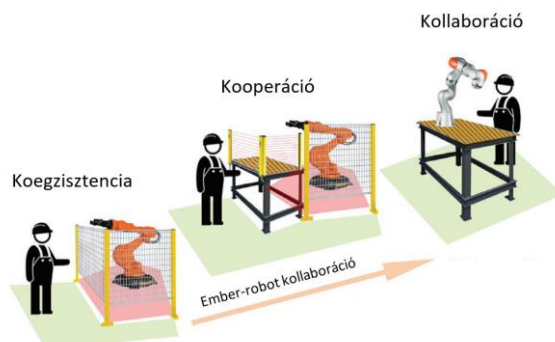
2.1.2 Hegesztés robotokkal

A termelésben egyre növekvő igény van a robotok alkalmazására, különösen a kollaboratív robotok területén. A kollaboratív robotok olyan robotok, amelyek képesek együttműködni az emberrel. Az együttműködés lehet egyszerű, például a biztonságos elhatárolás megvalósítása, de akár egy munkaterületen is együtt dolgozhatnak. [7]

Az együttműködés különböző szintjein, ahogy az ábra is mutatja, a legalacsonyabb szint a koegzisztencia, amikor a robot és az ember időben és térben elkülönülnek egymástól. A következő szint a kooperáció, amikor az ember és a robot munkatere közös, de időben elkülönül a munkavégzés. A legmagasabb szintű együttműködés a kollaboráció, amikor az ember és a robot sem térben, sem időben nincsenek elkülönülve egymástól. [7]

2. ábra: Ember-robot kollaboráció szintjei

(Forrás: [7])



Az ipari robotok és a kollaboratív robotok között alkalmazás szempontjából nincs jelentős különbség. Mindkettő esetében érvényes az a hármas alapelv, hogy a robotokat elsősorban egyszerű, piszkos és veszélyes munkákra célszerű alkalmazni. A kollaboratív robotok különösen jól használhatóak "pick&place" alkalmazások során, mivel nem szükséges őket kerítéssel védeni, elegendő lehet fényfüggöny vagy területszkenner alkalmazása. Ezáltal kisebb területet foglalnak el a gyártósoron. A kollaboratív robotok nemcsak tipikus kollaboratív feladatokra használhatóak, például hegesztésnél is, ahol a kollaboratív együttműködés a gyártás kezdetén jelentkezik. A könnyű telepíthetőség és betaníthatóság miatt ezek a robotok ideálisak

lehetnek ilyen feladatokra. Emellett alkalmasak egyszerűbb vagy bonyolultabb szerelési feladatok elvégzésére is. [7]

Az ipari robotok beépülnek a gyártási folyamatokba, és rendszert alkotnak. Ezek az automatikusan működő, programozható és több tengelyű mozgásokkal rendelkező ipari robotok. Az ipari robotok megjelenésével új ergonómiai és biztonsági előírások is szükségessé váltak, mivel az emberek, akik együtt dolgoznak a robotokkal, jelentősen eltérő munkakörülmények közé kerültek. Az ipari robotok működése során fontos, hogy biztonságos munkavégzési környezetet alakítsunk ki az emberi munkaerő számára. [8]

A kézi hegesztés hosszú ideig volt az egyetlen lehetőség. A hegesztett kötés minősége attól függött, hogy mennyire volt képzett a hegesztő. A kézi hegesztés nagy fizikai megterhelést jelentett a hegesztők számára, így nem tudták folyamatosan végezni ezt a munkát pihenőidők nélkül. Az ipar azonban egyre nagyobb teljesítményt igényelt, amit automatizálással lehetett elérni. A gépesítésnek különböző szintjei ismertek. A manipulátorok és a perifériákkal együttműködő, rugalmasan programozható ipari robotok kiemelkednek a gépesítés eszköztárából. Azok alkalmazásával nő a termelékenység, csökken a gyártás ciklusideje, javul a minőség és a reprodukálhatóság, nő a termelési rendszer rugalmassága, csökken a monoton és nehéz fizikai munka, valamint az egészségre ártalmas helyeken az emberi tevékenység kiváltható velük. [9]

A robot a hegesztést huzalelektrodás ívhegesztési technológiával végzi. A hegesztés során a beállítható áramerősség sokkal nagyobb, mint a kézi áramforrásoké, és a hegesztési sebességnek köszönhetően a termelékenység is jóval magasabb, mint a kézi ívhegesztés esetén. [9]

2.2 Additív gyártástechnológiák

Az anyaghozzáadás elvének alkalmazásával készült termékek iránti igény a gyorsprototípus készítés folyamatainak térhódításával egyre népszerűbbé vált, és széles körben alkalmazottá. Az alapötlet az, hogy a modelleket rétegenként egymásra építve lehetőség nyílik bonyolult formák gyors elkészítésére. Ehhez szükséges, hogy a megfelelően vékony rétegekből felépített test rétegeinek alakja megegyezzen a test adott magasságában a testről készített metszet kontúrjaival. Minden réteg kontúrjának méreteire vonatkozó információkat a háromdimenziós

számítógépes test, vagy a felületmodell felszeletelésével készítjük el. Minél vékonyabb egy réteg, annál pontosabban tudjuk az elméleti modellt megközelíteni. [10]

A 3D nyomtatás során alkalmazott gyártási eljárás rétegenkénti poranyag felszórásával vagy megolvasztásával és lerakásával valósul meg. A rétegek vastagsága általában 10-30 mikron között van, attól függően, hogy milyen technológiát és gépi berendezést alkalmaznak a folyamat során. A végeredmény egy adott szerkezet vékony, vízszintes keresztmetszeteinek felépítése. [10]

Három fő gyártástechnológiai módszer kerül bemutatásra, melyek a leggyakrabban használtak ezen a területen. Az alábbi ábrán látható különböző gyártástechnológiával készült változatok egy kinyomtatott termékről, amelyekről első pillantásra nem lehet egyértelműen megmondani, hogy melyik technológiával készültek. [11]

3. ábra: Síszemüvegkeret nyomtatva FDM-, SLA-, SLS-technológiával (balról, jobbra)

(Forrás: [11])

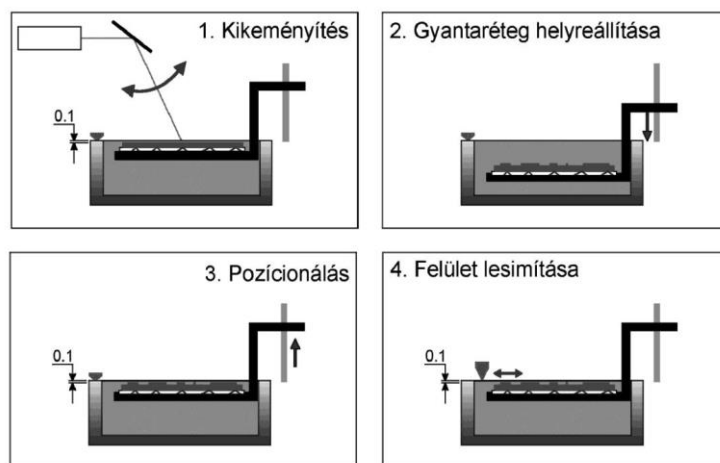


2.2.1 Sztereolitográfia, SLA

A legrégebbi technológia, amely a fotopolimerizáció elvén működik, az bizonyos monomer anyagokban lézersugárzás hatására láncképződési reakciókat indít el, például polimerizációt. A sztereolitográfia alapanyagaként fényérzékeny epoxigyantát használnak. [12]

4. ábra: SLA technológia

(Forrás: [12])



Első lépésként a folyékony epoxigyantát vékony (0,1-0,2 mm vastag) rétegben elterítik a munkaasztalon, ezt követően megvilágítják azt a kialakítani tervezett rétegkontúr mentén UV hullámhosszúságú lézerefénnyel. A lézerefény hatására megtörténik a fotopolimerizációs folyamat, az epoxigyanta a kontúr mentén térhálósodik, megszilárdul. A lézerefény jól fókuszálható, ezért a kikeményedés valóban csak a fény által érintett minimális területen megy végbe. A fókuszált lézersugár átmérője, a sugarat mozgató optikai rendszer pontossága és az epoxigyanta rétegvastagsága határozza meg az előállított termék pontosságát. A kontúr megszilárdítása után a kontúr által körülzárt területet is kikeményítésre kerül, így lesz biztosítva a prototípus elvárt szilárdsága. Amint egy réteg kikeményítése kész van, felvitelre kerül a következő réteg epoxigyanta. Majd a kikeményített részt a rétegvastagságnak megfelelő mértékkel belesüllyeszti a folyékony epoxigyanta fürdőbe és a felületét simítólappal egyenletesre simítják. [12]

A sztereolitográfiával készített munkadarabok felületi érdessége - miután egyszerű kézi megmunkáláson esnek át - ideális az öntőminták készítéséhez, ahol a felület minősége kulcsfontosságú. [13]

2.2.2 Szelektív lézeres szinterezés, SLS

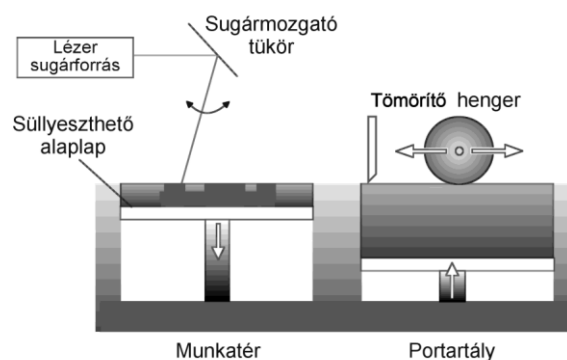
Ebben a technológiában a szinterezés a kulcsfontosságú lépés, amely lényegében az anyag szilárd tömegének tömörítését jelenti. Ehhez az anyagot adott nyomáson és hőmérsékleten tartják. Ezután egy irányított lézernyalábbal egy 2D-s metszetet alakítanak ki egy rétegben (síkbán). Ez a folyamat minden egymást követő réteggel megismétlődik, amelyek egymásra épülnek, végül pedig elkészül a nyomtatott termék. Az adalékanyag, amelyet ehhez használnak, nem merev formájú, mint a PLA (polylactic acid) vagy az ABS (acrylonitrile buta dienestyrene), hanem egyfajta granulátum. [11]

A granulátumréteget megolvasztva, végeredményképpen egy 3D-s szilárd forma alakul ki. A folyamat végén a nyomtatott darab felhevül, amire fokozott figyelmet kell fordítani. [11]

Az SLS-gyártástechnológia előnyei a következők: a) a nyomtatás során nincs szükség segédstruktúrákra (ideiglenes megtámasztásokra - support materials), mivel teljesen önhordó; b) gazdaságosabb anyagfelhasználás; c) alkalmas több alkatrész összekapcsolására; d) lehetőség van komplex, bonyolult darabok készítésére. [11]

5. ábra: SLS technológia

(Forrás: [12])



2.2.3 Huzalfelrakás, FDM

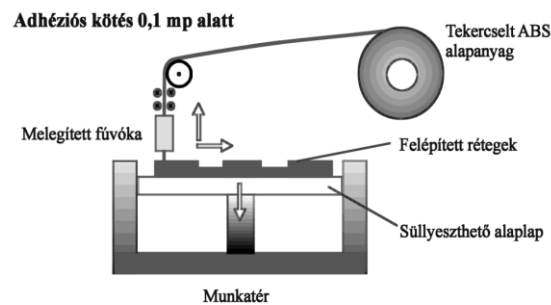
A próbadarab gyártásához öntészeti viaszt, viasszal töltött műanyagot és szívós nylon-szerű (pl. PA - poliamid) szálakat alkalmaznak. Ezeket az olvasztó pisztolyban az olvadási hőmérséklet fölé melegítik, majd egymásra olvasztják rétegenként. Az anyag rövid idő alatt megszilárdul. Az ömledék mennyiségét adagolóval szabályozzák. A jó minőségű felrakáshoz állandó fúvóka-áramlási sebességet kell biztosítani, különben az alkatrész falvastagsága eltérhet az optimálistól. [14]

A test felépítése egy munkalapon (platform) történik, amelyet a felrakott réteg vastagságának megfelelően z-irányban süllyesztenek. A munkaasztal felszíne porózus, habosított műanyag, ami nagyjából 30 mm vastag, hogy tudja biztosítani a modell megfelelő rögzítését, ennek felülete teljesen sík, és az építési folyamat kicsivel e sík alatt kezdődik, azaz a fúvókát belenyomjuk a habosított felületbe, kb. 0,5 - 1,0 mm-re. Az építés folyamatának stabilizálása miatt néhány (kb. 5 db) támasztó réteget is elhelyeznek a rétegfelrakás kezdetekor. A fúvóka leginkább átlós mozgást végez a munkalaphoz viszonyítva, és az összes réteg felrakása után 90

fokkal változtatják meg a mozgás irányát. Ezt a rétegenként egymással párhuzamosan lerakott ömledék tömbi szilárdságának növelése érdekében változtatják rétegről, rétegre. [15]

6. ábra: FDM technológia

(Forrás: [12])



2.2.4 Anyagok és alkalmazásaik

A 3D nyomtatásban használt anyagok széles választékban elérhetőek, és különböző tulajdonságokkal és alkalmazási lehetőségekkel rendelkeznek. Az anyagok típusa meghatározza, hogy milyen tárgyakat lehet nyomtatni, valamint milyen célokra használhatók. [16]

-Műanyagok:

PLA (Polylactic Acid): Környezetbarát, biológiailag lebomló anyag, felhasználható otthoni és oktatási célú nyomtatáshoz is.

ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene): Erős, hőálló anyag, amit gyakorta alkalmaznak ipari prototípusok és műszaki alkatrészek előállításához.

PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol): Erős és flexibilis anyag, gyakran használják mindennapi tárgyak és funkcionális prototípusok gyártásához. [16]

-Fémek:

Acél, Titán, Alumínium: Ezeket az anyagokat főként ipari célokra alkalmazzák, például az autóiparban, repülőgépgyártásban, valamint az orvostechikában.

Nemesfémek: Az aranyat, ezüstöt és platínát gyakran használják ékszerek és művészeti tárgyak 3D nyomtatására. [16]

-Gyanták:

Különböző gyantákat alkalmaznak finom kis részletekkel rendelkező elemek, mint például prototípusok, művészeti alkotások, valamint ékszerek készítésére. [16]

-Speciális Anyagok:

Biológiai anyagok: Például a bioprinting területén alkalmazható 3D nyomtatásra, akár szövetekhez és szervekhez is.

Kompozit anyagok: Az erősített műanyagok olyan anyagok, amelyeket különleges fizikai tulajdonságokkal látnak el, például szénzálakkal vagy üvegszálakkal erősítik. [16]

2.3 Hegesztő robotok alkalmazása 3D nyomtatásra

2.3.1 Gyártási folyamatok öntéssel és hegesztéssel, 3D nyomtatás a GMAW-al

A varrat minősége a hegesztési kötés általános szilárdságára, integritására és megjelenésére utal. Különböző tényezők határozzák meg, beleértve a hegesztési folyamatot, a hegesztési technikát, az anyag tulajdonságait, valamint a hegesztő szakértelmét és tapasztalatát. [17]

Kiváló minőségű hegesztési varratok jellemzői:

- a. Megfelelő elegyedés: A hegesztési varratnak teljesen össze kell olvadnia az alapfémmel, biztosítva az erős és tartós kötést.
- b. Szilárdság: A varratnak mentesnek kell lennie olyan hibáktól, mint például repedések, porozitás vagy zárványok, amelyek gyengíthetik a kötést.
- c. Konzisztencia: A hegesztési varrat méretének, alakjának és megjelenésének egységesnek kell lennie az egész kötésben.
- d. Minimális torzítás: A hegesztés az alapfém torzulását vagy vetemedését okozhatja. A kiváló minőségű hegesztés minimálisra csökkenti a torzulást és megőrzi a munkadarab eredeti formáját.
- e. Megfelelő megerősítés: A hegesztési varratnak megfelelő mennyiségű erősítéssel kell rendelkeznie, amely a kötésen túlnyúló felesleges hegesztési fém.
- f. Sima felület: A kiváló minőségű hegesztés sima és egyenletes felülettel rendelkezik, túlzott fröcsköléstől és érdességtől mentes. [17]

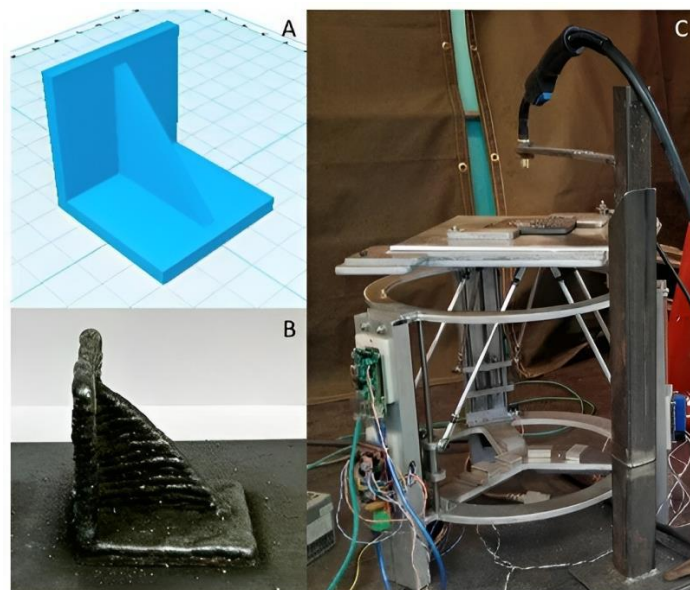
A kiváló hegesztési minőség eléréséhez elengedhetetlen a megfelelő hegesztési paraméterek alkalmazása, a kötés megfelelő előkészítése, a megfelelő hegesztési fogyóanyagok kiválasztása, valamint az adott hegesztési folyamatra vonatkozó legjobb gyakorlatok követése. A rendszeres ellenőrzés és tesztelés, mint például a szemrevételezés, a roncsolásmentes vizsgálat vagy a roncsolásos vizsgálat szintén biztosíthatja a hegesztési varratok minőségét. [17]

Példák az alkalmazásra:

- a) Konzolt nyomtattak a hordozóra, mint egy meglévő alkatrészt. A tartó nyitott végére lyukak nyomtathatók vagy fúrhatók, így egy másik alkatrész rögzíthető anyákkal és csavarokkal. Ez felhasználható az elromlott berendezések javítására. A konzol eltérő kialakítása optimalizálhatja annak szilárdságát, merevségét, méretét és súlyát. [17]

7. ábra: Nyomtatott konzol

(Forrás: [17])



- b) Akár kapa is készíthető egy henger 3D-nyomtatásával egy aljzatra. Ezután az alapot kapa alakúra formázzák, és a nyomtatott hengerrel szemben lévő élen megheggyezik. A kapa fogantyújaként egy fa vagy egy polimer 3D-s nyomtatott nyél is használható. [17]

8. ábra: Nyomtatott kapa

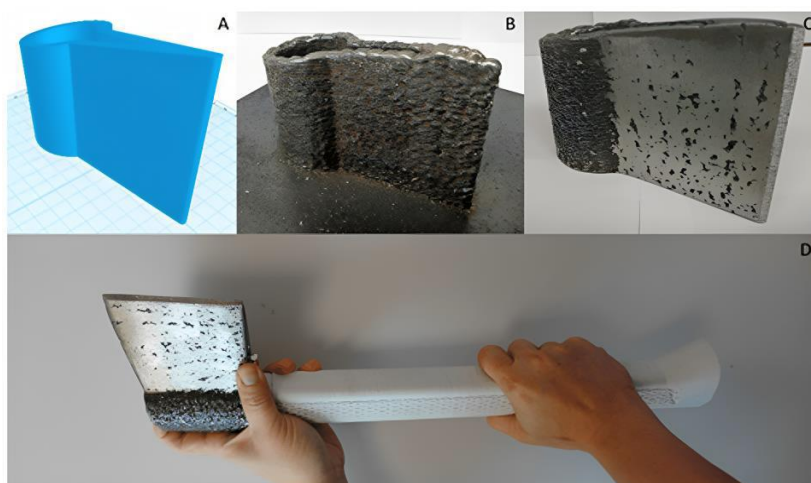
(Forrás: [17])



- c) Egy fejsze fejét acélból, a nyélét pedig műanyagból nyomtatták 3D-ben. Egy ehhez hasonló kombinációs eljárással távolról is előállíthatók hasonló, például kalapács vagy más kéziszerszámok, amelyek hasznosak lennének a fejlett és fejlődő világban. [17]

9. ábra: Nyomtatott fejsze

(Forrás: [17])



Összefoglalva, a Gas Metal Arc Welding (GMAW) 3D nyomtatása ígéretes megközelítésnek bizonyult az additív gyártás területén. Míg a GMAW-t hagyományosan hegesztési alkalmazásokhoz használják, a 3D nyomtatáshoz való adaptációja új lehetőségeket nyit meg a nagy szerkezeti integritású, összetett fém alkatrészek előállításában. [17]

A nyomtatási folyamat optimalizálása, beleértve az utómunkálási módszereket és a CAD/CAM rendszerekkel való integrációt, leegyszerűsíti a munkafolyamatot és növeli a hatékonyságot.

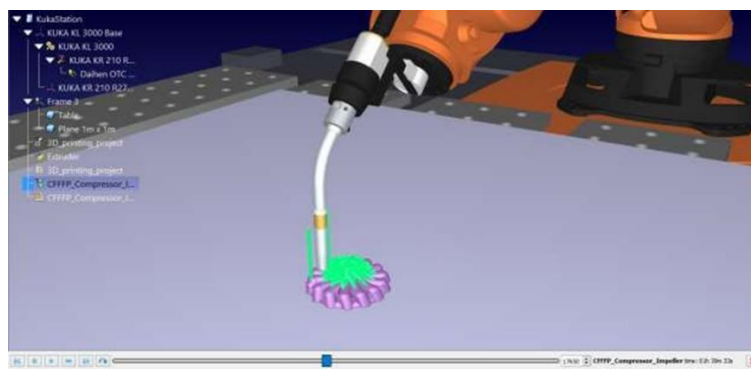
Összességében a GMAW-alapú 3D nyomtatás nagy ígéreteket rejt magában a különböző iparágakban, köztük a repülőgépiparban, az autóiparban és a gyártásban. Ahogy a technológia folyamatosan fejlődik, megvan a lehetőség, hogy forradalmasítsa a fémalkatrészek tervezésének, gyártásának és testreszabásának módját, növelve a hatékonyságot, csökkentve a költségeket és bővítve az innovációs lehetőségeket. [17]

2.3.2 3D nyomtatási technológia fémtermékekhez

Az ipari szektorban az additív technológiák (AT) iránt az érdeklődés elsősorban a költséghatékony, modern gyártási technológiák kifejlesztésének igénye miatt növekedett számottevően. A számos feltörekvő AT megközelítés közül az egyik legígéretesebb a Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM), amely ipari robotokat alkalmaz hegesztőberendezésekkel. A WAAM technológia a szabványos hegesztőanyagok használatának köszönhetően szinte bármilyen fémötvözetrel alkalmazható, beleértve a drága titán- és nikkelalapú ötvözetekből készült alkatrészeket is. A WAAM nagyobb termelékenységgel rendelkezik (40–60%-kal), mint a hagyományos technikák, ami 15–20%-kal csökkenti a befejezési ciklust a termék méretétől függően. [18]

10. ábra: Hegesztési folyamat szimulációja

(Forrás: [18])



Az alkatrészt a nyomtatáshoz kényelmes helyen kell elhelyezni, ahol a robot könnyedén végrehajthatja a betöltött programot. A betöltött modellnek megfelelően a program automatikusan generálja a hegesztőfej mozgásának pályáját. [18]

A letöltött g-kód fájlban ellenőrzik a hibákat és a robot azon képességét, hogy végrehajtsa ezt a programot. A szoftver biztosítja a további funkciók beépítését a nyomtatási folyamatba,

például az elektromos ív be- és kikapcsolását, valamint a robot mozgási sebességének, megközelítésének és visszatérésének beállítását. A hegesztőpisztolyt azonban megfelelően kalibrálni kell, hogy a középpontja pontosan egyezzen azzal a ponttal, ahonnan a nyomtatás kezdődik. [18]

A szoftver automatikusan optimalizálja a robot mozgási pályáját, elkerülve a szingularitásokat, a tengelykényszereket és az ütközéseket. Ezt követően be kell írni a robot munkaterületének koordinátáit és a munkaeszközt a valós munkakörnyezetből, majd egy újabb ellenőrzést kell végrehajtani a szoftverben, hogy megerősítsék a program végrehajtásának lehetőségét. Az összes számítás és ellenőrzés elvégzése után a nyomtatási folyamat szimulálható. [18]

A szimuláció befejezése után lehetőség nyílik a járókerék vizuális megjelenésének megfigyelésére a nyomtatási folyamatot követően. A virtuális program sikeres szimulációja után a végleges program robotnyelven kerül megírásra. Az utófeldolgozó átalakítja a szimulációt a megfelelő robotprogrammá. Ebben az esetben az egyes robotok jellemzőit figyelembe veszi az utófeldolgozó. Alapértelmezés szerint minden robot rendelkezik egy szabványos utófeldolgozóval, amelyet az offline programozószoftver határoz meg. Minden KUKA ipari robot a KRL nyelvet használja. [18]

11. ábra: Nyomtatott járókerék

(Forrás: [18])



2.4 Minőségmenedzsment módszerek

Az európai minőségiskola szerint a termelőrendszerek minősége a társadalom kultúrájának megfelelő minőségszintre építhető, és ezen alapulhat a teljesítmény minősége, aminek eredménye lehet a termékminőség. [19]

A japán minőségiskola a minőséget a célnak való megfelelés definíciójával határozza meg.

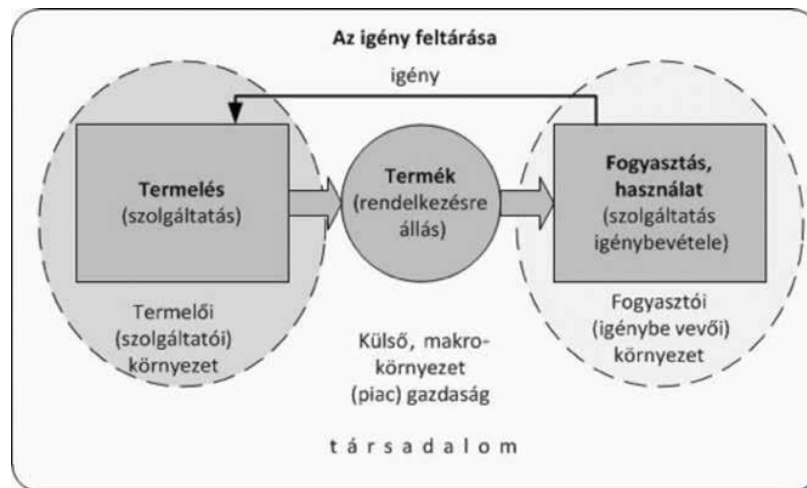
A megfelelésnek négy szintje különböztethető meg:

1. szint: Megfelelés az előírásoknak, szabványoknak, rajzoknak, megállapodásoknak. Fő célja, hogy a nem megfelelő termék ne kerülhessen a vevőhöz.
2. szint: Megfelelés a használati alkalmasságnak. Fő célja, hogy a megkívánt minőséget aktív szabályozással elérjék a teljes gyártási folyamat során.
3. szint: Megfelelés a vevők nyilvánvaló igényeinek. Fő célja a teljes körű minőségirányítás.
4. szint: Megfelelés a vevők rejtett igényeinek. Ez a minőség szint csak olyan teljes körű minőségmenedzsment rendszerekkel biztosítható, amelyek „minőségileg” új elemeket vezetnek be a teljes rendszerbe. [20]

A minőségügy alapvető fogalma a piaci igények kielégítésének folyamata. Ez a folyamat magában foglalja a termelő, gyártó vagy szolgáltató által végzett termelési folyamatot, melynek eredménye a termék vagy szolgáltatás, amely eljut a fogyasztóhoz. A fogyasztó ezután használja, felhasználja vagy elhasználja a terméket vagy szolgáltatást. Az igények kielégítésének folyamata az alábbi ábrán látható.[21]

12. ábra: Az igények kielégítésének folyamatmodellje

(Forrás: [24])



A minőségellenőrzés a termék vagy szolgáltatás egy vagy több jellemzőjének mérése, mérőeszközzel, mérőberendezéssel vagy szemrevételezéssel történő vizsgálata, valamint az eredmények összehasonlítása az előírt követelményekkel annak érdekében, hogy megállapítsuk, elértük-e a megfelelőséget minden egyes minőségjellemzőre nézve. [22]

A minőségellenőrzés alapelve, hogy mindig érvényesüljenek a meghatározott minőségi követelmények. Az elsődleges cél a hibák felderítése, és ehhez szabványosított módszereket, méréseket alkalmazunk. A minőségellenőrzésért a minőségellenőrzési részleg felelős. Azonban a minőségellenőrzésnek számos hátránya van. Nem biztosítja a folyamatos fejlődést, és gyakran konfliktusokat okoz a termelő és a minőséggel foglalkozó részlegek között. A módszerek főként a hibák felderítésére összpontosítanak a folyamat végén, így nincs lehetőség a folyamat közbeni visszacsatolásra. Ezenkívül a felső vezetők gyakran távol maradnak a minőségügyi funkciótól, így kevés információ jut el hozzájuk, és krízishelyzetben nem rendelkeznek megfelelő ismeretekkel. [23]

A minőség fejlesztéséhez alkalmazható módszereket a következőképpen csoportosíthatjuk:

1. Adatgyűjtés, adatfeldolgozás és ábrázolás
2. Folyamatok leírására, modellezésére alkalmazható módszerek
3. Problémafeltáráshoz alkalmazható (ötletgyűjtő) módszerek
4. Problémaelemzésre alkalmazható módszerek
5. Minőségsszabályozásra alkalmazható módszerek

6. Minőségmenedzsment- és humán módszerek [24]

13. ábra: Minőségfejlesztő módszerek csoportosítása

(Forrás: [24])

5.1 Adatgyűjtés és feldolgozás	Kérdéslista	5.6 Minőségmenedzsment- és humán módszerek
Pareto-diagram	Ellenőrző lista	Kompetenciamátrix
Hisztogram	Audit	PDCA módszer
Gantt-diagram	5.4 Problémaelemzés	SWOT/CSWOT elemzés
Hálódiaagram	Ishikawa-diagram	Kano-diagram
Intelligens számítástechnikai szoftverrendszerek	A hibahatás struktúrája	Benchmarking
5.2 Folyamatleírás és modellezés	FMEA	Minőségköltség-elemzés
Folyamat szöveges leírása	Interjú	Minőségkörök
Folyamat táblázatos leírása	5.5 Minőségsszabályozás	Szervezeti minőségmutató rendszer
Folyamatábra	Hibaelhárítás és minőségjavítás	Szervezeti önértékelés
5.3 Problémafeltárás	QFD, a minőségházak módszere	RADAR módszer
Brainstorming	Minőségsokszög	
Delphi-módszer		

Erősség szerinti csoportosítás

„Erős (hard) módszerek”: legtöbbször matematikai alapokra épülnek és kimondottan kevés adat (kb.50-100) is elég, hogy megbízható eredményt tudjanak produkálni (pl.: ellenőrző kártyák, hisztogramok, Pareto elemzés).

„Kváziobjektív módszerek”: ezek a módszerek pontozásos, rangsorolós technikák, emiatt sok szubjektív befolyásoló is megjelenik az eredményben, továbbá megjelennek korlátozó feltételek is (pl.: FMEA elemzés, Mátrix elemzés).

„Gyenge (soft) módszerek”: széles körben alkalmazhatóak, szigorú feltételek nincsenek, kevés a matematikai alap bennük, viszont több a szubjektív befolyásoló tényező, ezért csak rengeteg adatból tudnak megbízható megoldást adni (pl.: ötletroham, TIPHIB, 5S). [25-26]

Japánban a minőségfejlesztés és minőségjavítás hatékonyságának növelése érdekében kidolgozták a "7 módszer" néven ismert módszercsoportot [27].

Ezek a módszerek a következők:

- 1) Folyamatábra (Flow Chart): A folyamat szemléltetésére szolgál, és bármely projekt vagy feladat kezdetén alkalmazandó.
- 2) Adatgyűjtő lap (Data Sheet): Segítségével összegyűjthetjük az adatokat.
- 3) Hisztogram (Histogram): Célja, hogy elemezze az esetek előfordulási gyakoriságát.
- 4) Szabályozókártya (Control Chart): Segítségével követhető a folyamat időbeli változása.
- 5) Szóródási diagram (Scatter Diagram): Segítségével összefüggést kereshetünk két változó között.
- 6) Halszálka diagram (Ishikawa Diagram): A probléma gyökérokainak meghatározására szolgál.
- 7) Pareto diagram (Pareto Diagram): Megmutatja a minőséget befolyásoló kritikus tényezőket, amelyeket először kell javítani a megfelelő minőség elérése érdekében. [27]

FMEA

A hiba-feltérképezés hatékony gyakorlati eszköze az FMEA módszer. A komplex, heterogén szakmai team az egyes lehetséges hibákat a vevői, gyártó/szolgáltatói szemszögből értékeli 1-10 pont közötti súlyozással. A kockázati számok alapján minősíti a hibákat, majd konkrét minőségjavító intézkedéseket dolgoz ki a legnagyobb rizikó-számú hibákra. Az FMEA a legnagyobb szelektáló képességű hibaelemzési módszerünk, akár több száz lehetséges hiba közül is képes elválasztani egy-kettőt. [25]

Az FMEA-nak két fontosabb típusát szokás megkülönböztetni a megvizsgált területtől függően. Konstruktív FMEA-t használunk a konstrukciós megoldásokból, valamint a tervezési előírásokból eredő hibák feltárására és kiküszöbölésére, folyamat FMEA-t egy termelő vagy szolgáltató folyamat elemzésére. [26]

Az FMEA öt lépése:

1. lépés: Lehetséges problémák és relációk összeállítása.

2. lépés: Lehetséges hibák és okok súlyozása.

3. lépés: Ajánlott/ellenőrző/javító intézkedések meghatározása, valamint ezek felelőseinek és határidejének meghatározása.

4. lépés: Döntés jóváhagyása és az intézkedések elrendelése.

5. lépés: Az intézkedések hatásának vizsgálata. [24]

Tapasztalatok alapján célszerű, ha a harmadik lépéstől kezdve csak a kritikus preferenciaszámú hibákra dolgozzuk ki az intézkedéssorozatot. A feltárt összefüggések ismeretében három fő lehetőség kínálkozik a kockázatok csökkentésére: hibahatást csökkentő, felismerhetőséget javító és előfordulást megakadályozó intézkedések bevezetése. [24]

14. ábra: FMEA hibalap felvétele

(Forrás: [24])

FMEA										Készítette: Dátum: FMEA-szám:			
Mik a funkciók, a jellemzők, a folyamat inputok, illetve a folyamat lépései?			A lehetséges hatások meghatározása		Jelenlegi intézkedések a hiba kontrolálására		Súlyosság, gyakoriság, felismerhetőség értékelése		Mit lehet tenni ellene? Hatások ellenőrzése!				
Részve	Sz.	Kompo- nensek/ Folyamat	Funkció	Hibafajta	Hiba- következmény	Hibaok	Hiba elkerülése	Hiba feltárása	S	O	D	RPN	Intézkedések (felelős, határidő)

A funkció, a műveleti lépés stb. hibalehetőségeinek meghatározása

A lehetséges okok meghatározása

Jelenlegi vizsgálati, hibafeltárási intézkedések

RPN érték kiszámítása

Ishikawa

Az Ishikawa diagram, más néven ok-okozati vagy halszájka diagram, a strukturált problémamegoldás alapvető eszköze. Kaoru Ishikawa professzor dolgozta ki ezt az eljárást, hogy segítsen az egyes minőségi problémák alapvető okainak feltárásában. A probléma csak akkor oldódik meg, ha sikerül megtalálni az adott probléma gyökerét, az alap okát. Ha csak a tüneteket kezeljük, akkor a probléma később ismét fel fog bukkanni. Az ok-okozati diagram

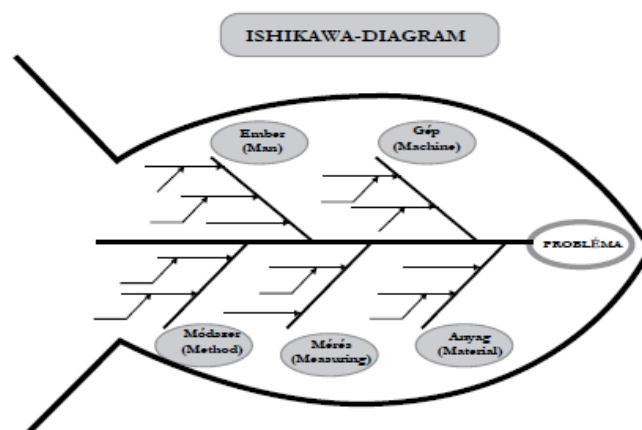
segít abban, hogy feltárjuk az okok és az általuk kiváltott hatások közötti kapcsolatok rendszerét. [28]

A technika lényege: Az ok-okozati diagramot, a problémától (hatástól) visszafelé haladva szerkesztjük meg, az egyes hatások elemzésénél a „miért” kérdést tesszük fel és igyekszünk eljutni a hatást kiváltó alapvető okokhoz. Először felírjuk a papír jobboldalára középre az okot, majd ebből kiindulva meghúzzuk a diagram gerincét baloldalra. Határozzuk meg a problémát (hatást) kiváltó fő okokat (4-8 db) és kössük ezeket hozzá a diagram gerincéhez. A fő okok megtalálásához az ok-okozati diagram az ember - gép - módszer - anyag (4M – Man – Machine – Method – Material; ez szolgáltatási sémában kiegészíthető vagy helyettesíthető egyéb dimenziókkal, mint Információ, Eljárások, Alkalmazott IT rendszerek, Környezet) sémában való gondolkodást javasolja. A fő okokhoz kapcsolódóan keressük az azokat kiváltó okokat. Karikázzuk be a legfontosabbnak ítélt, illetve vizsgálandó okokat. Az ok-okozati diagramot általában a Pareto elemzés után, a legfontosabbnak tartott problémák okainak a felderítésénél használjuk. [28]

Ha ez a megoldás nem hoz eredményt, más struktúrát is alkalmazhatunk. Javasolt, hogy legyen 3-6 fő okcsoport, és egy okcsoporton belül legfeljebb 10-20 okot soroljunk fel. Előfordulhat, hogy az azonos okok több okcsoportban is szerepelnek, különböző mélységű struktúrában. A mélység azt jelenti, hogy általában 4-5 szinten keresztül ki kell térnünk az okok okaira, vagyis a fő okcsoporttól kiindulva addig tesszük fel a "Miért?" kérdést (legfeljebb 5-ször), amíg elemi okokhoz nem jutunk. [24]

15. ábra: Ishikawa-diagram

(Forrás: [24])



PDCA

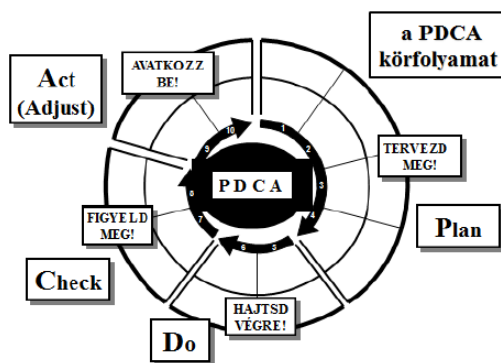
A PDCA ciklus a folyamatos javítás és fejlesztés keretét adó, világszerte alkalmazott folyamatmodell. Két fő forrása lehet: az aktív, amikor egy új ötlet vagy javaslat megvalósításra kerül a gyakorlatban, valamint a passzív, amikor egy bekövetkezett hiba, nem-megfelelés, selejt, panasz vagy reklamáció kezelése történik. A PDCA ciklus egy körfolyamat, amely a következő egymásra épülő fázisokat tartalmazza: P (tervezd meg), D (csináld meg/hajtsd végre), C (ellenőrizd le), A (avatkozz be/vezesd be). A PDCA teljeskörűen át kell fognia azt a rendszert, amelyben alkalmazzák, azaz valamennyi szintet (felsővezetés, közvetlen folyamatirányítás, végrehajtás) és valamennyi területet (pénzügyi, logisztikai, humán erőforrás stb.) magában kell foglalnia. [25]

A PDCA elemzés fontosabb jellemzői és feltételei:

- folyamatos munkavégzés szükségessége;
- egész rendszer átfogó működése;
- aktív, valamint kreatív hozzáállás;
- kis lépésekben létrejövő javítás-fejlesztés opciója;
- erős szemléleti és módszertani alapozás szükséges. [26]

16. ábra: PDCA ciklus

(Forrás: [25])



3 Anyag és módszer

Az alábbi fejezetben a felhasznált anyagok, valamint gépek és berendezések kerülnek bemutatásra. Továbbá az alkalmazott anyag előkészítési módszereket is ismertetem.

3.1 Ferro Gép '99 Kft. bemutatása

A vizsgálatra tervezett hegesztési varratok jelen cégnél kerültek legyártásra. A Ferro Gép '99 Kft. 1999-ben jött létre magántőke felhasználásával, és azóta is hűen szolgálja az ügyfeleket. A Szilágyi család irányítása alatt működő vállalkozás már 25 éve bizonyít a magyar piacon, folyamatos fejlődéssel és elkötelezettséggel áll partnerei rendelkezésére. Kezdetben szerény körülmények között indult, de kitartása és elhivatottsága elvezette őket a gödöllői Ipari Parkba, ahol jelenleg modern, kibővített telephelyükön, 350 m²-en folytatják tevékenységüket. Minőségi munkájukat számos minősítés is alátámasztja. Az ISO9001 minőségirányítási rendszerben dolgozva, valamint hegesztői minősítéssel és az acélszerkezetekre kiadható európai tanúsítvánnyal (CE jel) biztosítják, hogy minden szolgáltatásukat a legmagasabb színvonalon nyújtják. Fő tevékenységük az egyedi gyártás, amelyben a legkorszerűbb technológiákat alkalmazzák, beleértve a robothegesztést, lézervágást és plazmavágást. [29]

17. ábra: Ferro Gép '99 Kft. telephelye

(Forrás: [29])



3.2 Felhasznált anyagok

S355 alaplap

A hegesztéshez használt anyagom az S355 jelű 3 mm vastag acéllemez volt. Ez egy alacsony széntartalmú, általános rendeltetésű ötvözetlen szerkezeti acélok közé tartozó anyag,

szakítószilárdsága általában 500 és 600 N/mm² között van. Mindhárom minőség, vagyis a JR, J0, és J2, kiválóan alkalmas hegesztésre. Jelenlegi gyártási szabványuk az EN 10025. Adatlapja megtalálható M1-es mellékletként. Erre lett 4 réteg hegesztési varrat felrakva 3 féle módon.

Hegesztő huzal

A hegesztés folyamán 1 mm-es rézbevonatú huzal került alkalmazásra, melyet acélszerkezetek hegesztéséhez használnak a gyakorlatban. Az anyag, ami a G 42 2 C1 4Si1, adatlapja a mellékletek között M2-es számmal megtalálható. [30]

3.3 Felhasznált gépek és készülékek

Panasonic TM-1800WGIII hegesztőrobot

A Panasonic új generációs TM hegesztőrobotjai az előző TA és TB sorozatok előnyeit ötvözik. Ezen előnyök révén a felhasználók szabadon választhatják meg, hogy a hegesztő munkakábel a robotkar külső, szeparált vagy belső részén helyezik el, így igazodva a különböző alkalmazási területek igényeihez. További előnyt jelent a rendkívül merev kar szerkezet és a hatékonyabb szervomotor, amely továbbfejlesztett harmonikus mozgást biztosít a hegesztő munkakábel pontosabb pozicionálásához. A 18. ábrán látható az általam használt hegesztő robot és munkakörnyezete. [31]

18. ábra: Panasonic TM-1800WGIII hegesztőrobot

(Forrás: saját kép)



Zwick Roell ZHU187.5 univerzális keménységmérő

A következő ábrán szereplő keménységmérő gépet használtam a keménységek ellenőrzéséhez a próbadarabokon, hogy megállapíthassam az acélszerkezetnek való megfelelőségüket.

19. ábra: Zwick Roell ZHU187.5 univerzális keménységmérő

(Forrás: saját kép)



Brinell-keménységet mértem a próbatesteken, darabonként 8-at. 30 kg-os terhelést alkalmaztam az 1 mm-es keménység Brinell golyóra. Ezután a számítógépes szoftver segítségével megkaptam a keménységértékeket. Az M3-as mellékletben megtalálható a mérőgép adatlapja.

A következő ábra szemlélteti a Brinell keménységmérés módszerét. Lényege, hogy egy meghatározott átmérőjű acél- vagy keménység golyót egy előre meghatározott erővel nyomnak be a vizsgált anyag felületébe. A benyomódás átmérőjéből és az alkalmazott erőből számítják ki az anyag keménységét. [32]

Az eljárás menete a következő:

1. Előkészítés: A vizsgált anyagot megtisztítják, hogy ne legyen rajta szennyeződés, ami befolyásolhatja a mérési eredményt.
2. Terhelés: Az acél- vagy keménység golyót a vizsgált anyagra helyezik, és egy meghatározott erővel (terheléssel) nyomják bele.
3. Mérés: A terhelés alatt keletkező benyomódás átmérőjét mikroszkóppal vagy más mérőeszközzel megméri.
4. Számítás: A keménység értékét a benyomódás átmérője és a terhelés alapján számítják ki a következő képlet segítségével:

$$HBW = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

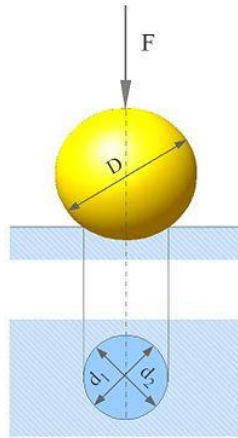
ahol:

- HBW a Brinell keménység,
- F az alkalmazott terhelés (erő),
- D a golyó átmérője,
- d a benyomódás átmérője.

A Brinell módszert leginkább lágyabb fémeknél és anyagoknál használják, mivel nagyobb benyomódási nyomot hagy, ami keményebb anyagok esetén károsodást okozhat. [32]

20. ábra: Brinell keménységmérés módszere

(Forrás: [32])



ATM Saphir 530 polírozó és csiszológép

21. ábra: ATM Saphir 530 polírozó és csiszológép

(Forrás: saját kép)



A képen látható csiszológépet alkalmazva értem el a kívánt felületi érdességet a gyantába kiöntött próbatesteken, hogy a mikroszkópos vizsgálatok elvégezhetők legyenek. M4-es számmal fellelhető az adatlapja a mellékletek között. A következő kép az alkalmazott beállításokat szemlélteti, vagyis 5 percig tartott a csiszolás a 180-as és 320-as érdességű csiszolópapírokon, 20 N-os terheléssel, és 200 fordulat/perces sebességgel. A víz hűtő hatást töltött be a súrlódás következtében fellépő hő csökkentése miatt.

22. ábra: Csiszoláshoz alkalmazott beállítások

(Forrás: saját kép)



Az alábbi kép a felhasznált csiszolópapírokat mutatja. Használtam 180-as, 320-as, 600-as, és 1200-as szemcsefinomsággal rendelkezőt, ebben a sorrendben, a durvább 180-astól haladva, a finom 1200-as felületűig, hogy elérjem a kívánt felületi érdességet a mikroszkópos vizsgálathoz. Ezen beállításokat tapasztalati úton választottam ki. A 600-as finomságúval 8 percig ment a gép, 25 N-os teherrel. Az 1200-assal pedig 10 percre, és 30 N-os teherre volt szükség. Ezt az indokolta, hogy a kisebb szemcsésnek nagyobb az idő igénye, hogy a mélyebb barázdák eltűnjenek.

23. ábra: Használt csiszolópapírok

(Forrás: saját kép)



Zeiss Axio Lab.A1 mikroszkóp és AxioCam ERc 5s mikroszkóp kamera

Intuitív működése miatt az Axio Lab.A1 egy megbízható rendszer a laboratóriumi alkalmazásokhoz. Rugalmasságot kínál, amely elengedhetetlen a sikeres vizsgálatokhoz, például a hibák elemzéséhez, a minőségellenőrzéshez és az anyagvizsgálathoz. Az adatlapja a mellékletek között M5-ös sorszámmal megtalálható. Ehhez tartozik egy AxioCam ERc 5s nevű mikroszkóp kamera, melynek segítségével mikroszkopikus felvételeket tudtam készíteni a mintadarabokról, majd a számítógépen megjelenített képen kielemeztem azokat. Ennek adatlapja M6-os számmal megtalálható a mellékletek közt.

24. ábra: Zeiss Axio Lab.A1 mikroszkóp és AxioCam ERc 5s mikroszkóp kamera

(Forrás: saját kép)



3.4 Alkalmazott módszerek

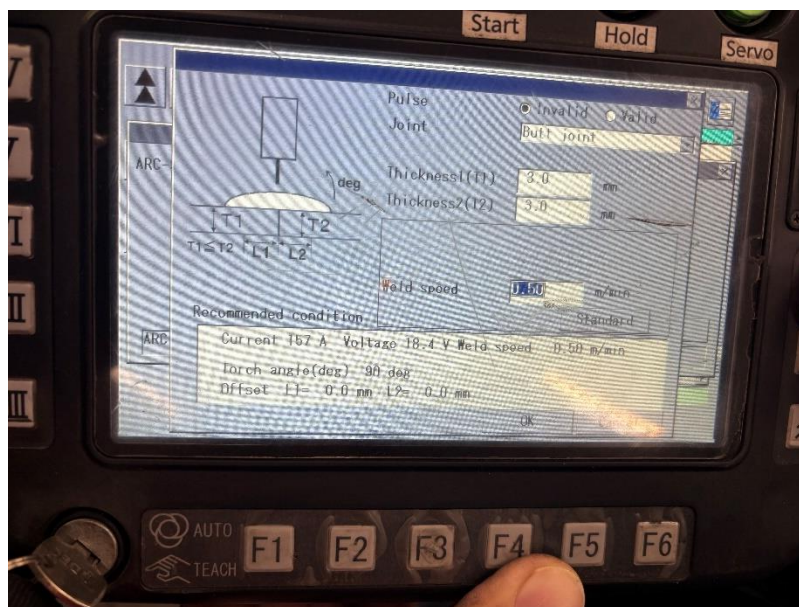
3.4.1 Hegesztési varrat létrehozása

Az 25. ábrán látható felületen beállítottam a hegesztés adatait, először is, hogy tompa varratot készítek, majd az alkalmazott 3 mm-es lemezvastagságot, továbbá a 0,5 m/perc hegesztési

sebességet. Az áramerősség 157 A, a feszültség 18,4 V volt. A hegesztő pisztoly 90°-os szöget zárt be az alaplemezzel.

25. ábra: Hegesztés beállításai

(Forrás: saját kép)



A hegesztés folyamán alkalmazott 1 mm-es huzalt 15 mm hosszan kell kiengedni a pisztolyból az optimális ívgyújtás elérésének céljából, ezt mutatja meg a 26. ábra.

26. ábra: Hegesztőpisztoly

(Forrás: saját kép)



3.4.2 Próbatestek előkészítése a minőségellenőrzésekre

A kapott hegesztési varratot a 27. ábrán látható módon feldaraboltam kisebb próbadarabokra a későbbi vizsgálatok elvégzése miatt. Kivágásra került egy darab a hegesztés kezdő és végpontjának találkozásánál, ahol a legnagyobb a magasságbeli eltérés, majd a közbenső szakaszokból 3 rész került kiválasztásra, a 2-es és 3-as pont közötti szakaszból, ezután a 3. pontból, mivel az található a varrat teljes kerületének felénél, végül a 3-as és 4-es szakasz között is kijelöltem egy részt a vizsgálatra.

27. ábra: Próbadarabok kijelölése

(Forrás: saját kép)



A következő képeken a csiszolat előkészítésének lépései láthatók, a 28., a 29., és a 30. ábrán. A próbadarabokat egyesével a kiöntéshez használt csészékbe helyeztem. Ezután összekevertem a kétkomponensű Dentacryl műgyantát, majd a formákba öntöttem, hogy ellepje a testeket. Végül hűvös helyen legalább 5 órát pihentetni kellett, mire megkeményedett a gyanta, hogy kisorsolható legyen a formából.

28. ábra: Próbatestek előkészítése gyantával kiöntéshez

(Forrás: saját kép)



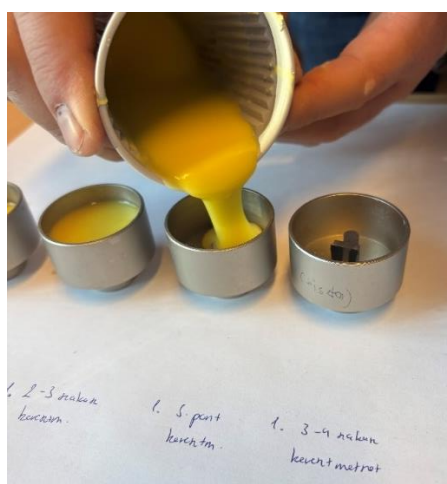
29. ábra: Műgyanta alapanyagjai

(Forrás: saját kép)



30. ábra: Műgyanta kiöntése

(Forrás: saját kép)



4 Eredmények és értékelésük

Az következő fejezetben a végrehajtott vizsgálatok során kapott eredmények kerülnek részletezésre.

4.1 Hegesztési varrat geometriai méretellenőrzése

4.1.1 Rétegről rétegre

Az alábbi kép az elkészült első hegesztett varratot mutatja. Ennél a folyamatnál egymás után került felrakásra a négy varratréteg pár perces hűlési idő kivárása után, ekkor történt a méretellenőrzés is. Egy-egy réteg hegesztésének átfutási ideje 0:25:61 perc volt. A varrat felrakás folyamán a sarokpontokban nem lassított a pisztoly, hanem megállt és ment tovább.

31. ábra: Rétegről rétegre hegesztett alakzat

(Forrás: saját kép)



A következő táblázat a különböző rétegek hegesztése között mért varratmagasságok értékeit mutatja. Látható, hogy megközelítőleg egyenletesen 2-2 mm-el nött a magasság, ahogy azt előre beállítottuk. Továbbá szembetűnő, hogy az egyes rétegek kezdő és végpontja között viszonylag nagy méretbeli különbség van, míg a 4 közbenső szakasz méretei egyenletesek. Ezek a méretbeli eltérések abból adódnak, hogy az 1. varratréteg hideg lemezre történt, viszont a hegesztés végére felmelegedett az anyag, így jobban szétterült az ömledék. A 3. rétegnél már olyan jelentős különbség vált megfigyelhetővé, hogy a sarokpontok magasságellenőrzése is szükségszerűvé vált. Példaként kiemelném a 4. réteg méretváltozatait, ahol a varrat kezdőpontja 8,53 mm-el indult, majd az első szakasz csak 7,68 mm-es, a 2. pont 7,48 mm-es lett. Ez a legalább 0,2 mm-es magasság különbség a további szakaszokon is fennáll. Továbbá a varrat

végpontja csupán 5,41 mm-es lett, így elmondható, hogy a kezdő és végpont között majdnem 3 mm-es a differencia.

1. táblázat: 1. varrat méretei

(Forrás: saját munka)

1. varratréteg					
1-2	3,06	mm			
2-3	2,18	mm			
3-4	2,31	mm			
4-1	2,06	mm			
2. varratréteg					
1-2	4,41	mm			
2-3	4,13	mm			
3-4	4,24	mm			
4-1	4,08	mm			
3. varratréteg					
1. pont eleje	7,53	mm	1-2	5,92	mm
2. pont	6,42	mm	2-3	5,86	mm
3. pont	6,53	mm	3-4	5,81	mm
4. pont	6,34	mm	4-1	5,91	mm
1. pont vége	4,08	mm			
4. varratréteg					
1. pont eleje	8,53	mm	1-2	7,68	mm
2. pont	7,48	mm	2-3	7,27	mm
3. pont	8,11	mm	3-4	7,44	mm
4. pont	7,99	mm	4-1	7,13	mm
1. pont vége	5,41	mm			

Az alábbi táblázat a varrat szélességét szemlélteti a különböző szakaszokon. Itt nem tapasztaltam olyan nagy méretbeli eltérést a rétegek között. 50x50 mm-es négyzet került leprogramozásra, ehhez képest a varrat befoglaló méretét ellenőrizve egy 54,93x56,56 mm-es alakzatot kaptam.

2. táblázat: 1. varrat szélességértékei

(Forrás: saját munka)

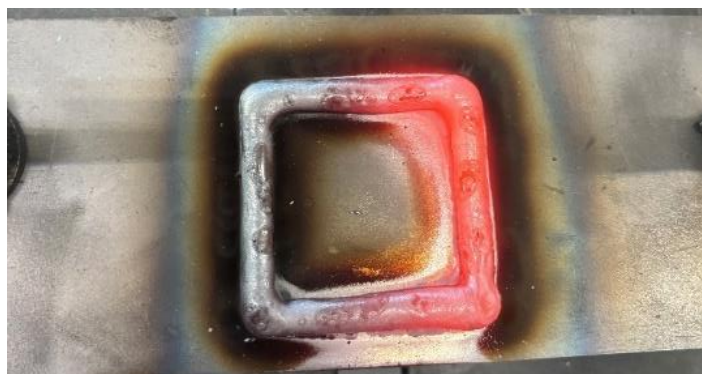
Varratszélesség		
1-2	6,18	mm
2-3	5,94	mm
3-4	5,96	mm
4-1	6,07	mm

4.1.2 Automata 4 réteg

A következőkben az automata módban végrehajtott hegesztési eljárás eredményei kerülnek ismertetésre. Jelen esetben a robotkar egyszerre, megállás nélkül hajtotta végre a rétegek felhelyezését. Mindössze annyi időre emelkedett el a bázisponttól, a -75 mm-es magasságból, amíg két réteg között visszaállt a +157 mm-es kezdőpozíciójába, majd vissza a bázispontba, 50 m/perc sebességgel. A varratképzés sebessége ennél az eljárásnál is 0,5 m/perc volt. Így a 4 réteg hegesztésének átfutási ideje 1:36 perc lett. Látszik, hogy jobban felhevült állapotba került az anyag a hegesztés végére, ezt mutatja a 32. ábra. A 3. táblázat szemlélteti a mért varratmagasságokat az anyag lehűlése után.

32. ábra: Automata módon hegesztett 4 réteg

(Forrás: saját kép)



3. táblázat: 2. varrat méretei

(Forrás: saját munka)

Varratmagasság					
1. pont eleje	8,08	mm	1-2	6,35	mm
2.pont	7,68	mm	2-3	6,37	mm
3. pont	7,86	mm	3-4	6,33	mm
4. pont	7,6	mm	4-1	5,89	mm
1. pont vége	5,54	mm			

Az alsó táblázat mutatja be a kialakult varratszélességeket az adott szakaszokon. Látszik, jobban szétfolyt az ömledék, mint az előző technikánál, mikor rétegről rétegre építette fel a robot a varratot. Ez azzal indokolható, hogy nem volt ideje kihűlni az előző rétegnek mielőtt rá

került a következő. Jelen esetben a hegesztett alakzat befoglaló méretére 56,23x55,68 mm-t mértem.

4. táblázat: 2. varrat szélességértékei

(Forrás: saját munka)

Varratszélesség		
1-2	8,11	mm
2-3	6,85	mm
3-4	7,94	mm
4-1	7,64	mm

4.1.3 Automata 4 réteg emelt sebesség

Az utolsó hegesztési varratot is az előzőhöz hasonlóan, a robotkar egyszerre, megállás nélkül készítette el. Mindössze annyi időre emelkedett el a bázisponttól, a -75 mm-es magasságból, amíg két réteg között visszaállt a +157 mm-es kezdőpozíciójába, majd vissza a bázisba, 50 m/perc sebességgel. Annyi módosítás történt, hogy a hegesztési sebességet 0,6 m/percre emeltem. Ezáltal az átfutási idő 1:28 percre csökkent. Az így kapott a varratot szemlélteti a 33. ábra. Majd az 5. táblázat mutatja be a visszahűlés utáni magasságértékeket.

33. ábra: Automata módon hegesztett 4 réteg emelt sebességgel

(Forrás: saját kép)



5. táblázat: 3. varrat méretei

(Forrás: saját munka)

Varratmagasság					
1. pont eleje	7,59	mm	1-2	5,63	mm
2.pont	6,7	mm	2-3	5,8	mm
3. pont	7,03	mm	3-4	5,99	mm
4. pont	7,26	mm	4-1	4,92	mm
1. pont vége	4,64	mm			

A következő táblázat az általam mért varratszélesség értékeket tartalmazza. Látható, hogy viszonylag egyenletesen terült szét az ömledék az alaplapon. Ezen módszernél a kapott befoglaló mérete az alakzatnak 55,57x55,59 mm. Látszik, hogy ezzel az eljárással sikerült legjobban megközelíteni a tervezett 50x50 mm-es négyzetet.

6. táblázat: 3. varrat szélességértékei

(Forrás: saját munka)

Varratszélesség		
1-2	6,88	mm
2-3	6,69	mm
3-4	6,55	mm
4-1	6,63	mm

4.2 Hegesztési varrat minőségellenőrzése

4.2.1 Brinell keménységmérés

Az alábbi képen látható módon a felület elő lett készítve marással a keménységméréshez. Mindhárom varrat ugyanazon szakaszán történt meg a mérés.

34. ábra: Keménységméréshez előkészített felületek

(Forrás: saját kép)



A következő képen a keménységmérés után látható a próbatest, rajta a keménységméréshez használt acélgolyó benyomódásának nyomával, mivel ez egy roncsolásos anyagvizsgálat.

35. ábra: Próbatest keménységmérés után

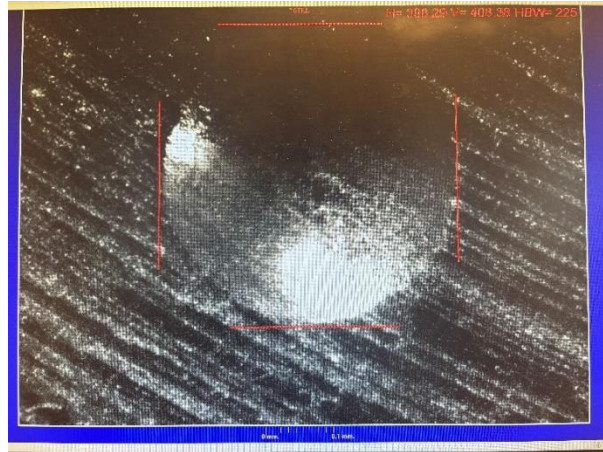
(Forrás: saját kép)



Az alábbi kép a méréshez használt számítógépes szoftveren látott képet mutatja, miután megtörtént a keménységérték kiszámítása, ami itt éppen 225 HBW. A meghatározáshoz szüksége van a programnak egy vízszintes és függőleges hosszúságértékre, amik a 2 átmérő (d_1 , d_2) adatot adják. Ezután a módszereknél ismertetett képlet segítségével egyszerűen megadja a gép a kívánt értéket.

36. ábra: Keménységméréshez használt szoftver

(Forrás: saját kép)



A következő táblázatok a kapott keménységértékeket tartalmazzák külön-külön vizsgált varratonként. Elmondható, hogy hasonló eredményeket kaptam egy-egy varraton felületén. Látható, hogy az első módszerrel, rétegek között hűlési időt hagyásával készített próbadarabnak van a legnagyobb keménysége. A legalacsonyabb értéket pedig a 2. varrat vizsgálatakor figyeltem meg, mikor automata eljárással egymás után, hűlési idő nélkül zajlott le a rétegek hegesztése.

7. táblázat: 1. varrat keménységmérésének eredményei

(Forrás: saját munka)

	D1 (mm)	D2 (mm)	HBW
1.	0,389	0,391	240
2.	0,391	0,389	240
3.	0,397	0,384	240
4.	0,389	0,376	251
5.	0,39	0,386	243
6.	0,398	0,408	225
7.	0,399	0,394	233
8.	0,406	0,4	225
Átlag	0,395	0,391	237,125

8. táblázat: 2. varrat keménységmérésének eredményei

(Forrás: saját munka)

	D1 (mm)	D2 (mm)	HBW
1.	0,419	0,424	204
2.	0,419	0,428	203

3.	0,427	0,417	204
4.	0,422	0,422	204
5.	0,414	0,428	205
6.	0,425	0,418	204
7.	0,423	0,42	204
8.	0,437	0,406	204
Átlag	0,423	0,420	204

9. táblázat: 3. varrat keménységmérésének eredményei

(Forrás: saját munka)

	D1 (mm)	D2 (mm)	HBW
1.	0,407	0,375	239
2.	0,42	0,42	206
3.	0,403	0,394	230
4.	0,394	0,395	235
5.	0,419	0,41	212
6.	0,427	0,419	203
7.	0,42	0,408	212
8.	0,42	0,416	208
Átlag	0,414	0,405	218,125

A hegesztési varrat keresztmetszetén is végeztem méréseket, és azt lehet mondani, hogy megegyezik a varrat felső síkján mért értékekkel. Végül az alaplemez keménysége is lemérésre került, ez a következő táblázatban látható.

10. táblázat: Alaplemez keménysége

(Forrás: saját munka)

D1 (mm)	D2 (mm)	HBW
0,484	0,479	154

Az alapanyag és a heganyag közötti túl nagy keménység különbség idővel a varrat repedéséhez, illetve a szerkezet töréséhez vezethet. Jelen esetben ez a különbség a 2. hegesztési varratnál a legkisebb, 50 HBW. Ezért a 3 vizsgált módszer közül azt nevezhetjük a legjobbnak.

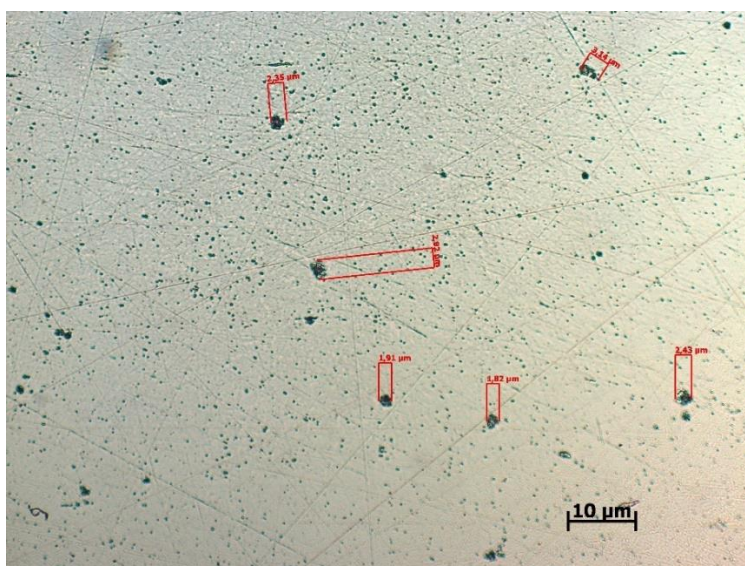
4.2.2 Optikai vizsgálat

A hegesztési varrat minőségének optikai ellenőrzéséhez 3-szor 4 db próbatest került gyantával kiöntésre. Megfigyelésre került, hogy a varratrétegek közötti összeolvadás mennyire homogén, megfelel-e egy szerkezetnek. Összességében elmondható, hogy a varratok minősége megfelelő, tömör, néhol előfordulnak kisebb-nagyobb zárványok, hegesztésből adódó elégtelenségek.

A következő felvételek az anyagminőséget mutatják be, ezeken pirossal méreteztem az apró 2-3 μm -es zárványokat. A szövetszerkezet részleteit, a szemcsehatárokat, az egyes fázisokat maratással tettem láthatóvá. Az első képen a maratás előtti, másodikon a maratás utáni állapotában látható a 3. hegesztési varrat 3-4 szakaszából vett próbatest.

37. ábra: Mikroszkópos felvétel maratás előtt a 3. varrat 3-4 szakaszáról

(Forrás: saját kép)



38. ábra: Mikroszkópos felvétel maratás után a 3. varrat 3-4 szakaszáról

(Forrás: saját kép)



Következő felvételen a 2. varrat 3-4 szakaszából előkészített darab alaplemez és az első varratréteg között látható nagyobb zárvány nagyított képe figyelhető meg. Majd ezután a próbadarab csiszolatáról egy telefonos fénykép, ahol szintén szembetűnő a szabad szemmel is érzékelhető zárvány. Ennek befoglaló méretei 30,5x39,87 μm.

39. ábra: 2. varrat 3-4 szakasz alap és első réteg zárvány mikroszkopikus képen

(Forrás: saját kép)



40. ábra: 2. varrat 3-4 szakasz alap és első réteg zárvány

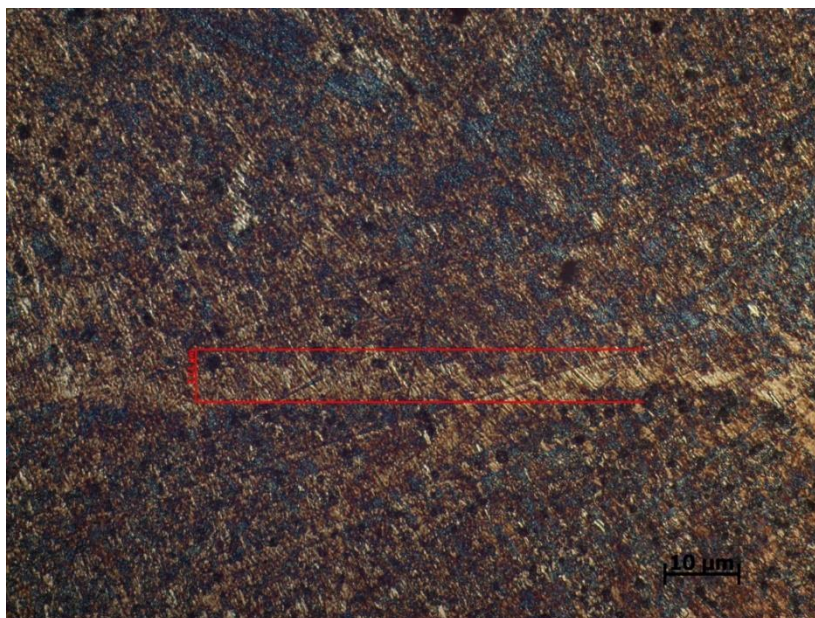
(Forrás: saját kép)



Az alábbi mikroszkopikus képen szintén a 2. eljárással, automatában gyártott minta 3. és 4. pont közti szakaszából kivágott próbatest látszik. Ezen pirossal méretezve az 1. és 2. varratréteg közötti összeolvadás, ami $7,11\ \mu\text{m}$.

41. ábra: 2. varrat 3-4 szakasz 1-2. réteg közti összeolvadás

(Forrás: saját kép)



A 38. ábrán egy szemcse mérete került megjelölésre. Egy ilyen beolvadt szemcse mérete megközelítőleg $81,77 \times 55,05\ \mu\text{m}$. Elmondható, hogy átlagosan nagyobbak a szemcseméretetek, mint a szokványos 3D nyomtatási eljárásoknál.

42. ábra: 3. varrat kezdőpontjában egy csepp mérete

(Forrás: saját kép)



4.2.3 Időmenedzsment

Az alábbi ábra a teljes kutatás egyes fázisainak egymásutániségát, valamint átfutási idejét szemlélteti. Erről leolvasható, hogy a teljes folyamat lefutása összesen 17 órát vett igénybe. A legnagyobb időigénye a csiszolatok előkészítésének volt, a hosszú száradási idő miatt, ez tartott 5 órán keresztül. A legrövidebb idejű munkák a cég felkeresése, a méretek ellenőrzése, valamint a marás elvégzése voltak. Néhány lépés elvégezhető volt egymással párhuzamosan a teljes átfutási idő csökkentésének céljából, például a keménységmérés csinálható egyszerre a próbadarabok kiöntésével egyhuzamban, mivel utóbbinak előkészítését követően már csak száradási időre van szüksége, nem függ egymástól a két feladat. Ellenben azokkal a lépésekkel, melyek csak egymás után hajthatók végre, jelentős késést, csúszást jelentettek volna a kutatás lefolytatásában. Humánerőforrás szempontjából vizsgálva, kijelenthető, hogy az egyes fázisok átfutásának ideje, ezáltal az összidő is csökkenthető lenne amennyiben bizonyos feladatokon egynél több ember dolgozna, ilyen például a program megtervezése, a méretellenőrzés, vagy a keménységmérés amennyiben ezek végrehajtásához több eszköz is rendelkezésre áll. Összehasonlítva egyéb additív technológiákkal, melyekkel egy ilyen munkadarab legyártása ennél több órát, vagy akár napot is igénybe vett volna, elmondható, hogy jelentős idő megspórolható ezzel a technikával.

43. ábra: Gantt-diagram a kutatás fázisairól

(Forrás: saját munka)

Kutatás fázisai		Átfutási idők (óra)																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1.	Kapcsolatfelvétel a céggel	■																
2.	Hegesztési program megtervezése	■	■															
3.	Hegesztés végrehajtása			■	■	■												
4.	Befoglaló méretek ellenőrzése						■											
5.	Próbatestek kivágása a mintából							■	■									
6.	Marás								■									
7.	Keménységmérés									■	■							
8.	Próbadarab kiöntése gyantába									■	■	■	■					
9.	Csiszolat készítése														■	■	■	
10.	Mikroszkópos anyagvizsgálat																■	■

5 Következtetések és javaslatok

A diplomadolgozatomban végzett minőséget célzó alapvizsgálatokat követően kijelenthető, hogy van rá lehetőség, hogy a hegesztő robothoz pluszba megvásárolható szoftver nélkül is legyárthatók kisebb térfogatú testek, alkatrások. Ezek minősége és tűrése korlátozottabb, mint egy additív gyártástechnológiával készített hasonló elemé. Utómunka igénye nagyobb, nem elhanyagolható. Viszont az anyaghasználati lehetőségei tágabbak, könnyen módosítható az alkatrész igénybevételétől függően, adott munkadarab anyagjellemzőihez megfelelő tulajdonságokkal rendelkező hegesztőhuzal megválasztásával. Ezáltal szélesebb körben teszi felhasználhatóvá az eljárást. Lehetővé teszi drága anyagok megtakarítását, melyeket a 3D nyomtatási technológiák igényelnének. Mivel egy kopásnak kitett felületre kopásálló réteget visz fel a robot, ezáltal az élettartam meghosszabbítására is van lehetőség. Nem utolsó szempont az sem, hogy jelentős idő spórolható meg ezen technológiával, különösképpen az automatikusan lezajló hegesztési megoldással.

Hiánypótlásra alkalmas módszer, viszont a gyártási folyamatba beilleszteni csak korlátozottan lehetséges. A hegesztés definíciójából következik, hogy az alapanyag deformációt fog szenvedni. A minőség-ellenőrzés folyamán kiderült, hogy a varrat minősége megfelelő egy szerkezetnek, a rétegek közötti összeolvadás homogénnek mondható. Az is bizonyosságot nyert, hogy ez egy sokkal gyorsabb gyártási eljárás, mint az ismert 3D technológiák, ezért kijelenthető, hogy időt lehet vele spórolni.

Az általam meglátogatott cég több ilyen jellegű fejlesztést végez, például hegesztett szerkezeteket, kapukat gyártanak. Ezáltal rengeteg prototípus gyártást végez, ez a megoldás rugalmasságának, könnyű újra tervezhetőségének köszönhetően egy jó lehetőséget biztosít számukra utólagos kisebb, nagyobb módosítások elvégzésére a szerkezet újra gyártása nélkül is. Így még a szükséges utólagos megmunkálással is megéri bevezetni ezt a technikát. Amíg az adott cégnek nincsenek ilyen jellegű, nagyobb darabszámot igénylő megrendelése, addig nem éri meg megvásárolni milliókért a kiegészítő programot a hegesztő robothoz.

A jövőre vonatkozóan az a javaslatom a cég felé, hogy amennyiben van ilyen jellegű utólagos hiánypótlásra, vagy javításra szükségük, és adott korlátjaik engedik nyugodtan hasznosítsák a témában szereplő hegesztő robotot kisebb befoglaló méretű kiegészítő alkatrészek legyártásához.

6 Összefoglalás

Diplomamunkám abból a célból készült, hogy megvizsgáljam hasznosítható-e egy hegesztő robot 3D nyomtatásra. A felvetésem az volt, hogy szüksége van-e a Ferro Gép '99 Kft.-nek a Panasonic márkájú hegesztő robotjukhoz egy kiegészítő program megvásárlására, amellyel egyszerűen tudnának testeket gyártani felrakó hegesztéssel, vagy a robotkar manuális vezérlésével is megoldható-e ennek kivitelezése. Az általam kutatott szakirodalmi forrásokból kiderült, hogy többen is foglalkoztak már ilyen jellegű vizsgálatokkal, ezekből is pozitív visszajelzést kaptam a technológiában rejlő potenciállal kapcsolatban.

Mivel a cég profiljába tartozik többek között kapuk, acélszerkezetek egyedi gyártása, amihez gyakran van szükségük prototípus gyártására, kisebb vagy nagyobb utólagos módosítások elvégzésére, így ez egy hasznos újításnak bizonyulna számukra.

A diplomadolgozatomban bemutatott vizsgálatok alapján kimondható, hogy a hegesztő robot alkalmazása térbeli alakzatok létrehozására több előnnyel és néhány korlátozással járna. Megállapítható, hogy egy gyorsabb gyártási eljárásról beszélünk, mint egy hagyományos additív gyártástechnológia, ez időmegtakarítást eredményezhet, főleg nagyobb széria gyártásakor, de prototípus gyártásnál is jól jöhet. Rugalmas alkalmazhatósága lehetővé teszi kisebb, egyszerűbb alkatrészek utólagos előállítását egy kész szerkezethez, mivel a varrat minősége a hegesztő huzaltól függ, így könnyen kiválasztható az aktuálisan gyártott szerkezet alapanyagához, és szélesebb körben teszi felhasználhatóvá az eljárást.

Viszont a hegesztés definíciójából következik, hogy az alapidarab deformációt szenved a hegesztés folyamán, ez nagyban befolyásolja a végtermék minőségét. Vagyis a hegesztő robotokkal készített elemek minősége és tűrése korlátozottabb, mint egyéb technológiákkal előállított daraboké. Továbbá az utólagos megmunkálásuk igénye is nagyobb, nem érhető el vele nagy gyártási pontosság.

Kijelenthető, hogy az általam vizsgált cégnek nincs szüksége a szoftver megvásárlására ahhoz, hogy használni tudják az ismertetett eljárást, viszont a gyártási folyamatokba csak korlátozottan illeszthető be. Összességében a hegesztő robotok alkalmazása 3D nyomtatásra ígéretes lehetőség, amely időt és költséget takaríthat meg, bár a minőség és a tűrés tekintetében kompromisszumokat igényelhet.

7 Summary

The purpose of my thesis was to examine whether a welding robot can be used for 3D printing. My proposition was to determine if Ferro Gép '99 Kft. needs to purchase an additional program for their Panasonic welding robot, which would allow them to easily produce bodies using deposition welding, or if this can be achieved through manual control of the robotic arm. From the literature I reviewed, it became clear that several researchers have already conducted similar studies, and they have received positive feedback regarding the potential of this technology.

Since the company's profile includes, among other things, the custom production of gates and steel structures, for which they often need to produce prototypes or make smaller or larger modifications, this would prove to be a useful innovation for them.

Based on the research presented in my thesis, it can be stated that the application of a welding robot for creating spatial shapes has several advantages and some limitations. It can be concluded that we are talking about a faster manufacturing process than traditional additive manufacturing technology, which can save time, especially in large-scale production, but it can also be useful for prototype manufacturing. Its flexible applicability allows for the subsequent production of smaller, simpler parts for a finished structure, as the quality of the weld depends on the welding wire, making it easy to select the one that matches the base material of the currently produced structure, thus making the process more widely applicable.

However, it follows from the definition of welding that the base part suffers deformation during welding, which greatly affects the quality of the final product. That is, the quality and tolerance of the elements produced with welding robots are more limited compared to parts produced with other technologies. Furthermore, their post-processing needs are higher, and high manufacturing accuracy cannot be achieved with them.

It can be stated that the company I examined does not need to purchase the software to use the described procedure, but it can only be integrated into the production processes to a limited extent. Overall, the application of welding robots for 3D printing is a promising opportunity that can save time and costs, although it may require compromises in terms of quality and tolerance.

Irodalomjegyzék

- [1]: <https://www.thyssenkrupp-materials.hu/hu/hirek/a-hegesztes-technologiajanak-fejlolese> [online] [Hozzáférés dátuma: 2024.05.04.]
- [2]: Bagyinszky Gyula, Bitay Enikő: HEGESZTÉSTECHNIKA I. Eljárások és gépesítés
- [3]: Artinger István, Kator Lajos, Romvári Pál: Fémek technológiája (Szerkesztő Gillemot László) Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975.
- [4]: Bagyinszky Gyula: Gyártásismeret és technológia. Budapesti Műszaki Főiskola, Budapest, 2004.
- [5]: Bauer Ferenc (szerk.): Robottechnika (Hegesztőrobotok). Budapesti Műszaki Egyetem Mérnöktovábbképző Intézet, Budapest, 1988.
- [6]: <https://www.welding2000.hu/blog/hegesztestechnika-mig-mag-hegesztes> [online] [Hozzáférés dátuma: 2024.05.04.]
- [7]: Kóczi Dávid, Sárosi József: Kollaboratív robotok ipari alkalmazása, 2022
- [8]: Kafi Abdallah, Kovács Tünde Anna, Tóth László, Nyikes Zoltán: Robotok alkalmazása a hegesztésben, Műszaki Tudományos Közlemények vol. 12. (2020) 50–54.
- [9]: Szilágyi G., Kovács-C. T., Pinke P.: A hegesztés hatása az alapanyagra. FMTÜ XVIII. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2014. 373–376.
- [10]: Dr. Borbás Lajos: Felépítés elvű (additív) gyártástechnológiák a gépészetben, Budapest, 2017., ISBN: 978-615-80452-9-2
- [11]: Gajdács László, Szűcs Viktor: A 3D-nyomtatás gyártástechnológiái, felhasználási területei, illetve az ebben rejlő potenciál
- [12]: Takács János, Balla Sándor, Bánlaki Pál, Göndöcs Balázs, Haidegger Géza, Markovits Tamás, Pál Zoltán, Weltsch Zoltán: Gyártásautomatizálás
- [13]: Donner Cs.: A robottechnika alapjai, Budapest, 2009., ISBN:963 640 757 6
- [14]: D. Schmid: Industrielle Fertigung: Fertigungsverfahren, Europa Lehrmittel Verlag, 2006, ISBN-10 3-8085-5353-7
- [15]: Takács János: Korszerű technológiák a felületi tulajdonságok alakításában, Műegyetem Kiadó, Budapest, ISBN 963-420-789-8, 2004
- [16]: <https://bytech.hu/3d-nyomtato/> [online] [Hozzáférés dátuma: 2024.05.04.]
- [17]: Mohamed Mustafa Mahmoud, Mohamed Walid Sayed, Mohamed Yasser Nouredine, Maram Mohsen, Marwan Sayed, Mariam Amin, Mariam Hamdy, Mariam Amr, Menna Allah Mohamed: Manufacturing processes with casting and welding Project: 3D Printing by GMAW [cikk]
- [18]: Anton A. Kulikov, Yuri V. Nebyshinets, Alena V. Sidorova, Andrei E. Balanovskii: 3D printing technology for metal products: from an automatic design system to a real part [cikk]
- [19]: Csizmadia Tibor: Minőségmenedzsment (2014)
- [20]: Veress Gábor: Minőségügy alapjai. Műszaki Kiadó, Bp. (1999)
- [21]: Tenner A.R. - De Toro I.J.: Teljes körű minőségmenedzsment TQM Műszaki Kiadó 2005.
- [22]: Kövesi J. Topár J.: A minőségmenedzsment alapjai, Typotext, Bp. 2006.
- [23]: Porter, L. and Tanner, S. (2004): Assessing Business Excellence: A guide to Self assessment, 2nd edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK.

- [24]: Turcsányi Károly: Minőségelmélet és -módszertan (2014)
- [25]: Szabó G. Cs.: A minőségfejlesztést támogató technikák (2012/2013)
- [26]: K. Ishikawa: What is Total Quality Control; Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1985.
- [27]: Balogh A.: Minőségfejlesztést támogató technikák és a minőség gazdasági elemzése (2010/2011)
- [28]: <http://leanforum.hu/szocikkek/169-ishikawa-diagram-ok-okozati-diagram> [online] [Hozzáférés dátuma: 2024.05.04.]
- [29]: Egyedi acélszerkezetek a tervezéstől kivitelezésig - Ferro Gép '99 (ferrogep99.hu) [online] [Hozzáférés dátuma: 2024.05.04.]
- [30]: Energomag_thyssenkrupp_Hegesztoanyagok_Flyer_.pdf (lambdawebaruhaz.hu) [online] [Hozzáférés dátuma: 2024.05.04.]
- [31]: <https://www.syntigrobotics.com/tm-1800-en> [online] [Hozzáférés dátuma: 2024.05.04.]
- [32]: https://www.kemenysegmero.hu/Kem%C3%A9nys%C3%A9gm%C3%A9r%C3%A9s/Brinell_kem%C3%A9nys%C3%A9g.html [online] [Hozzáférés dátuma: 2024.05.04.]

Ábrák és táblázatok jegyzéke

Ábrajegyzék

1. ábra: Fogyóelektródás ívhegesztő berendezés részei.....	9
2. ábra: Ember-robot kollaboráció szintjei.....	10
3. ábra: Síszeművegkeret nyomtatva FDM-, SLA-, SLS-technológiával (balról, jobbra) ...	12
4. ábra: SLA technológia	12
5. ábra: SLS technológia	14
6. ábra: FDM technológia	15
7. ábra: Nyomtatott konzol	17
8. ábra: Nyomtatott kapa.....	17
9. ábra: Nyomtatott fejsze	18
10. ábra: Hegesztési folyamat szimulációja	19
11. ábra: Nyomtatott járókerék.....	20
12. ábra: Az igények kielégítésének folyamatmodellje	21
13. ábra: Minőségfejlesztő módszerek csoportosítása	23
14. ábra: FMEA hibalap felvétele	25
15. ábra: Ishikawa-diagram	26
16. ábra: PDCA ciklus.....	27
17. ábra: Ferro Gép '99 Kft. telephelye	28
18. ábra: Panasonic TM-1800WGIII hegesztőrobot	29
19. ábra: Zwick Roell ZHU187.5 univerzális keménységmérő	30
20. ábra: Brinell keménységmérés módszere	31
21. ábra: ATM Saphir 530 polírozó és csiszológép	32
22. ábra: Csiszoláshoz alkalmazott beállítások	32
23. ábra: Használt csiszolópapírok.....	33
24. ábra: Zeiss Axio Lab.A1 mikroszkóp és AxioCam ERc 5s mikroszkóp kamera	34
25. ábra: Hegesztés beállításai	35
26. ábra: Hegesztőpisztoly	35
27. ábra: Próbadarabok kijelölése	36
28. ábra: Próbatetek előkészítése gyantával kiöntéshez	36
29. ábra: Műgyanta alapanyagjai	37
30. ábra: Műgyanta kiöntése	37

31.	ábra: Rétegről rétegre hegesztett alakzat.....	38
32.	ábra: Automata módon hegesztett 4 réteg	40
33.	ábra: Automata módon hegesztett 4 réteg emelt sebességgel	41
34.	ábra: Keménységméréshez előkészített felületek.....	42
35.	ábra: Próbatest keménységmérés után.....	43
36.	ábra: Keménységméréshez használt szoftver	43
37.	ábra: Mikroszkópos felvétel maratás előtt a 3. varrat 3-4 szakaszáról.....	46
38.	ábra: Mikroszkópos felvétel maratás után a 3. varrat 3-4 szakaszáról.....	46
39.	ábra: 2. varrat 3-4 szakasz alap és első réteg zárvány mikroszkopikus képen.....	47
40.	ábra: 2. varrat 3-4 szakasz alap és első réteg zárvány	47
41.	ábra: 2. varrat 3-4 szakasz 1-2. réteg közti összeolvadás	48
42.	ábra: 3. varrat kezdőpontjában egy csepp mérete	48
43.	ábra: Gantt-diagram a kutatás fázisairól.....	49

Táblázatjegyzék

1.	táblázat: 1. varrat méretei.....	39
2.	táblázat: 1. varrat szélességértékei	39
3.	táblázat: 2. varrat méretei.....	40
4.	táblázat: 2. varrat szélességértékei	41
5.	táblázat: 3. varrat méretei.....	42
6.	táblázat: 3. varrat szélességértékei	42
7.	táblázat: 1. varrat keménységmérésének eredményei	44
8.	táblázat: 2. varrat keménységmérésének eredményei	44
9.	táblázat: 3. varrat keménységmérésének eredményei	45
10.	táblázat: Alaplemez keménysége	45

Mellékletek

1. Melléklet:



S355J2

Az általános rendeltetésű ötvözetlen szerkezeti acélok hasonlóan elterjedt tagja, alacsony széntartalommal és általában 500 és 600 N/mm² közötti szakítószilárdsággal. Magasabb mechanikai értékeinek köszönhetően a gyártott végtermékek felhasználása jobban elterjedt az S235 minőséghez képest a gép- és autóiparban. Hidegen történő alakításra, mint kovácsolás, hajlítás korlátozottan alkalmas, ilyen irányú felhasználás esetén érdemes a megrendelésnél kritériumokat meghatározni. Hegesztésre az anyagminőség mindegyik kivitele, azaz a JR, JO, J2 is kiválón alkalmas.

Korábbi leginkább elterjedt jelölése az St 52-3, gyártási szabványa jelenleg az EN 10025.

WERKSTOFF-NUMMER: 1.0577

NEMZETKÖZI JELÖLÉSEK / ALTERNATÍVÁK

DIN	NFA	UNI	BS	JIS	ISO	MNC	UNE
St 52-3	E 36-3	Fe 510 (B & C)	Fe 510 D1	SS 490 C	Fe 360 B	2132	AE 355 D

VEGYI ÖSSZETÉTEL (AZ ÖTVÖZET GYÁRTÁSI SZABVÁNYA SZERINT) [%]

C	Si	Mn	P	S	Cu
≤ 0,2	≤ 0,55	≤ 1,60	0,025	0,035	≤ 0,55

TIPIKUS MECHANIKAI TULAJDONSÁGOK

	Sűrűség (kg/dm ³)	Folyáshatár Rp0,2 (N/mm ²)	Szakítószilárdság Rm (N/mm ²)	Nyúlás A (%)
Minimum	7,85	275	450	17
Maximum	7,85	355	630	20

EGYÉB INFORMÁCIÓK

A Loksacél Kft. kínálatában általában 10 és 320 mm közötti mérettartományban elérhető acélminőség, sűrű: 2, továbbá 5 és 10 mm-es lépésközökkel. Nagyobb, vagy nem járatos, ill. raktárunkban nem azonnal elérhető méretek esetén a gyártóműből történő egyedi beszerzés lehetősége javasolt.

A Loksacél Kft. a fenti tájékoztatóban szereplő adatokért, illetve az azoktól való eltérésért nem vállal felelősséget, azok szigorúan csak tájékoztató jellegűek.

Loksacél Kereskedelmi Kft.

Székhely: 1211 Budapest, Öntöde u. 2-12. (Csepel (pari Park))

Raktár: 1211 Budapest, Építőüzem u. 2.

Postafiók: 1756 Budapest, Pf.: 54.

Cégjegyzékszám: 01-09-700854 | Adószám: 12733965-2-43

Tel.: +36 1 420 6640, 425 7559

Fax: +36 1 700 0062

e-mail: info@loksacel.hu



2. Melléklet:

ENERGOmag 3-S

Tömör huzalelektróda GMAW

Rézbevonatú tömör huzalelektróda, vegyes gázokkal (Ar/CO₂, Ar/CO₂/O₂), valamint CO₂-vel történő MIG/MAG hegesztéshez használnak. A kiválasztott huzalelektróda rögzítve van a BS300 tekercsen, hogy biztosítsa a kiváló adagolási jellemzőket, hozzájáruljon a sima, szilárd hegesztéshez és időt takarítson meg az tekercs csere során. Alkalmas alacsony széntartalmú szerkezeti acélok, kazánacélok, valamint szénmangán acélok hegesztésére (S355J2G3 EN 10025 típus). A nagyobb szilícium- és mangántartalom lehetővé teszi a hegesztési fém szilárdságának és a felületi szennyeződésekre való érzékenységének növelését. Stabil ívet és alacsony fröcskölést biztosít.

Alapanyagok

Acélok a következő folyáshatárig 460 MPa M21-hez/ 420MPa C1-hez

S235JR-S355JR, S235J0-S355J0, S450J0, S235J2-S355J2, S275N-S460N, S275M-S460M, P235GH-P355GH, P275NL1-P460NL1, P215NL, P265NL, P355N, P285NH-P460NH, P195TR1-P265TR1, P195TR2-P265TR2, P195GH-P265GH, L245NB-L415NB, L450QB, L245MB-L450MB, GE200-GE240



Besorolás

DIN 8559	EN ISO 14341-A	AWS A 5.18
SG3	G 46 4 M21 4Si1/ G 42 4 C1 4Si1	ER 70S-6

A tömör huzal kémiai összetétele (%)

C	Si	Mn	S	P	Cu
0,06–0,14	0,7–1,0	1,6–1,9	≤0,025	≤0,025	≤0,35

A hegesztett fém mechanikai tulajdonságai (EN 15792-1 szerint, védőgáz M21)

Folyáshatár	Szakító-szilárdság	Nyúlás	Hatáértékek J CVN-ben
0,2% N/mm ²	N/mm ²	%	-40 °C
≥ 420	500-680	≥ 20	≥ 47

Hegesztési helyzetek



Polaritás: ++

Védőgáz: (EN ISO 14175: M2, M3, C1)

Huzal átmérő (mm)	Tekercs/csomagolás	Tanúsítványok
0,8–1,6	15 kg tekercs BS300 250 kg kör hordó	CE, TÜV, DB



3. Melléklet:

Product Information

Zwick/ZHU187.5 - Universal hardness tester up to 187.5 kg



Zwick/ZHU 187.5 Universal Hardness Tester

Advantages/Characteristics

- Types for different load combinations (dead weights) up to 187.5 kg
- Simple operation via:
 - automatic load application and removal
 - diagonal value transfer at the touch of a button
 - automatic evaluation of hardness value
 - load changing via rotary switch
- Variable test sequence timing from 1 to 50 s
- LCD Line display - screen display of hardness value and scale with 0.1 unit resolution (e.g. 60.3 HRC)
- Setting of hardness tolerance and statistics ($\bar{x}$ and R)
- Conversion:
 - Rockwell to Vickers, Brinell, Knoop, and UTS
 - Brinell to Vickers, Knoop, UTS, and Rockwell HRA, HRB, HRC
 - Vickers to Brinell, Knoop, UTS, and Rockwell HRA, HRB, HRC
- Integral microscope with measuring shutters and push button for transfer of dimensional data
- Various accessories as standard, such as
 - indenters
 - reference test blocks
 - specimen support tables

Range of applications

The types of the Zwick ZHU 187.5 Universal Hardness Tester serve to hardness testing to:

- Vickers (HV) DIN EN ISO 6507, ASTM E92
- Brinell (HB) DIN EN ISO 6506, ASTM E 10
- Rockwell (HR) DIN EN ISO 6508, ASTM E 18

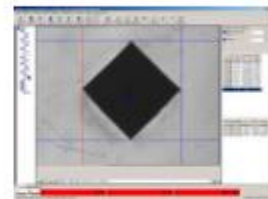
Intelligent testing with testXpert®



testXpert® ready!

Transfer and documentation of the results is made via an integrated RS232 C interface by testXpert®.

There are available testXpert® options with Master, Standard, and customer specific Test Programs.



For optical evaluation on a PC system there is an option to equip the Zwick/ZHU187.5 with a CCD camera.

Hereby are required the following item numbers:

- testXpert® connection (item number 324861)
- election of an adequate video objective:
 - 12 mm (item number 324908),
 - 16 mm (item number 324909),
 - 25 mm (item number 324910)
- Master Test Program for optical testing operation (item number 353472)

4. Melléklet:



Saphir 530



VARIABLE SPEED

The variable speed of the working wheel is set at the control panel of the grinding and polishing head Rubin 500. The speed can also be changed during the working sequence.



ELECTRONIC CONTROL

The control panel is designed to be especially robust. All parameters can be changed at the control knob. The logical design makes operation easy.



Grinder and polisher

Saphir 530

The SAPHIR 530 is a twin wheel grinder and polisher with top-mounted grinding and polishing head Rubin 500 for working wheels Ø 200 - 250 mm.

This unit will convince you best of all through its easy operation and wide range of possibilities. Sequence time, down-pressure,

controlled speed, rotational direction, pneumatic lowering, single and central pressure as well as program saving and a few things more are all available.

Additionally, there are all the advantages of the Saphir 330, a machine with impressive characteristics.

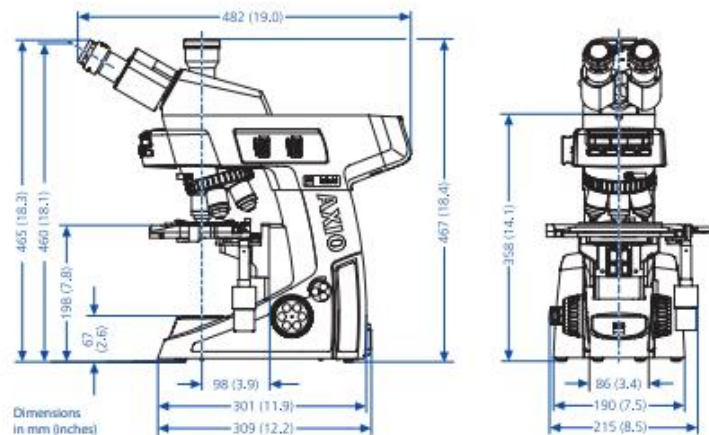


WATER

The water supply is switched manually. The rinsing tap can be pulled out for cleaning the basin with the hose extension. Optimum distribution of water can be reached by swinging the tap left and right across the diameter of the working wheel.



5. Melléklet:



Axio Lab.A1 – Technical Data	
Stand	Upright microscope Axio Lab.A1 Integrated reflected light illumination
Focus	Manual, coaxial coarse/fine drive, 30 mm travel range
Illumination	Halogen reflector lamp HAL 50/12V 50W, optional LED
Nosepiece	5 position nosepiece, for brightfield and darkfield, M27
Reflector turret	4 position for Push&Click modules
Power supply unit	Internal 12V DC 50W stabilized 100...240V AC/50...60Hz/110VA
Filter slider	2 positions; 25 mm diameter
Stage	Mechanical stage, 75x30 mm, coaxial drive right side, anodized surface hardcoated specimen holder included
Eyepieces	PL 10x/20 Br. foc. PL 10x/22 Br. foc.
Camera	AxioCam ERc 5s Sensor: 5 MP CMOS Sensor Resolution: 2560 (H) x 1920 (V) = 5.0 Megapixels Pixel size: 2.2 µm x 2.2 µm Interfaces: 1x SD card slot, 1x mini USB 2.0, 1x AV (S-Video), 1x DVI (HDMI) C-mount

Carl Zeiss Microscopy GmbH
07745 Jena, Germany
Materials
microscopy@zeiss.com
www.zeiss.de/AxioLab-Mat



info@ctk-instruments.com
www.ctk-instruments.com
866-464-1005

Information subject to change.
Printed on environmentally friendly paper
bleached without chlorine.
70-2.0060/ie – printed 05.10

6. Melléklet:



ZEISS AxioCam ERc 5s

Your 5 Megapixel All-in-one Microscope Camera

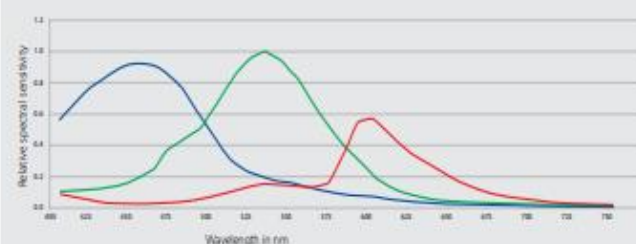
Technical Data	
Sensor	Micron MT9P031, 5 megapixels, CMOS
CCD basic resolution	2560 x 1920 5.0 megapixels
Pixel size	2.2 µm x 2.2 µm
Sensor size	5.7 mm x 4.28 mm equivalent 1/2.5" (diagonal 7.1 mm)
Spectral sensitivity	Approx. 400 nm-700 nm, IR filter
Range of integration time	10 µs up to 2 s
Live image	20 fps at 800 x 600 (with ZEN imaging software)
Read-out mode	Progressive
Digitization	3 x 8 bits/pixel
Interfaces	1x SD card slot, 1x mini USB 2.0, 1x RJ 45 (LAN), 1x HDMI (DVI-D)
Optical interface	C-Mount
Housing (WxDxH)	approx. 68 mm x 68 mm x 66 mm
Power supply	2x USB 2.0
Integrated slot	SD card slot for SD and SDHC cards
Control Elements	On camera: Button for image capture, button for setting white balance
Ambient conditions (operation)	+5° to +45° Celsius, max. 80 % relative humidity, no condensation, free air circulation required
Order number	426540-9901-000

Stand-alone package (optional for use without PC)

Power supply	Via USB 2.0 Output: 5 V / 1 A Input: 100-240 V, 50/60 Hz with country-specific adapters
Remote control	IR remote control
Memory card	4 GB SDHC card with case
Card reader	SD, MMC
Cable	HDMI to DVI
Order number	426540-0003-000



Relative spectral sensitivity AxioCam ERc 5s



EN_40_012_008 | 02.03.2014



microscopy@zeiss.com
www.zeiss.com/axiocam-erc5s

TK Instruments
info@ctk-instruments.com
www.ctk-instruments.com
866-464-1005



Nyilatkozatok

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Ferenczi Dóra
A Hallgató Neptun kódja: HY77W7
A dolgozat címe: Hegesztő robot hasznosítása 3D nyomtatásra
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: Műszaki Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Anyagtudományi és Gépipari Folyamatok Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlant állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

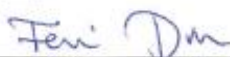
Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumba. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumban.

Kelt: 2024. év 11. hó 04. nap


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Ferenczi Dóra (hallgató Neptun azonosítója: HY77W7) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: 2024. év 11. hó 04. nap



belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendő.

² A megfelelő aláhúzendő.