



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

Amada lézer hegesztő robot alkalmazásának megvalósítása

**OE-BGK
2022.**

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

**Karácsony Gergő
T009116/FI12904/B**



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Anyag- és Gyártástudományi Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Karácsony Gergő

Szaktervezési száma: SZD2208301611591347

Törzskönyvi száma: T009116/FI12904/B

Neptun kódja:

Szak: gépészmérnöki

Specializáció: gépészmérnöki - CAD-CAM-CNC

A dolgozat címe: Amada lézer hegesztő robot alkalmazásának megvalósítása

A dolgozat címe angolul: Implementation of the Amada laser welding robot

A feladat részletezése:

1. Végezzen irodalomkutatást a feladat témakörében!
2. Ismertesse a feladatot és mutassa be a telepített gépet!
3. Ismertesse a lézeres hegesztési technológiát!
4. Ismertesse a robotos hegesztési technológiát!
5. Készítsen összehasonlító elemzést a hagyományos és az új technológiák figyelembe vételével!
6. Elemezze a gyárthatósági követelményeket kiválasztott terméken keresztül!
7. Foglalja össze az eredményeket és javasoljon további fejlesztési lehetőségeket!

Intézményi konzulens neve: Dr. Czifra György

Külső konzulens neve: Szaniszló Zoltán

Munkahelye: Ferzol Kft.

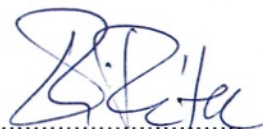
A kiadott téma elévülési határideje: 2024. 05. 15.

Beadási határidő: 2022. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2022. 10. 21.




Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:


belső konzulens


külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat/diplomamunka saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban/diplomamunkában található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 2022. december 15.

.....
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	6
2.	Gépesített hegesztés	8
2.1	A lézersugaras hegesztés jellemzői	8
2.2	A robotizálás hatásai a hegesztésre	9
2.3	A robotkarrendszerek és azok szabadságfokaik.....	11
2.4	Robotok irányítástechnikája.....	14
2.4.1	A hegesztőrobotok programozása.....	18
2.5	Hegesztőkészülékek	18
2.5.1	Követelmények a hegesztőkészülékekkel szemben.....	19
2.5.2	Egyszerű hegesztőkészülékek és készülékelemek.....	19
3.	Amada FLW-ENSIS 3000 M5 lézeres hegesztő robot.....	23
3.1	A robot bemutatása	23
3.2	Amada lézer robothegeztő különlegessége a lézer robothegeztők között.....	23
3.3	Főbb jellemzői.....	24
3.3.1	Alkalmazott védőgázok	24
3.3.2	Behordó asztalrendszer	25
3.3.3	Alkalmazható lézerfejek az Amada robothegeztő gépen	27
3.4	A lézeres hegesztőrobot technikai paraméterei.....	30
3.5	Varratok ellenőrzésére alkalmas készülék	30
3.6	A robot lézerhegeztő programozása	34
3.6.1	Hogyan hozza létre a varratot?	34
3.6.2	Gépkódok a lézerhegesztésben	35
3.7	A hegesztőgép részegységeinek ismertetése	37
3.7.1	Herding COMP 1500 9/9 SB típusú porszűrőegység	38
3.7.2	Lézeroscillátor.....	38
3.7.3	C2EI L66117 gyártmányú transzformátor	39
3.7.4	Rendszervezrlő egység.....	40
3.7.5	Vezérlőszekrény tábla és légszárító egység.....	41
3.7.6	KKT VBoxX 15B típusú hűtőegység	41

3.7.7	Vezérlőszekrény, kábelcsatorna és biztonsági fényfüggöny	42
3.7.8	Robotkar sínrendszer	42
3.7.9	Pozicionáló asztal	42
4.	Készülék a termékhez	44
5.	Termék átalakítása a lézerhegesztőhöz	46
5.1	Szekrénytest alapváltozata	46
5.2	Szekrénytest első variációja	50
5.3	Szekrénytest második változata	55
5.4	Szekrénytest harmadik variációja	56
5.4.1	45°-os éltalálkozás kialakítása a lézerhegesztéshez.....	56
5.5	Szekrénytest negyedik változata	59
6.	Összefoglalás	60
7.	Summary	61
8.	Felhasznált irodalom.....	62
9.	Ábrajegyzék.....	65
10.	Táblázatjegyzék	67

1. Bevezetés

Dolgozatom célja megtervezni egy termék újfajta gyártási módját, kihasználva a robotos lézerhegesztés lehetőségeit és összehasonlítani az új és a hagyományos technológia tulajdonságait.

A szakdolgozatomban bemutatom a témám alapjául szolgáló gépet, az Amada lézerhegesztő robotot, majd ismertetem a gépen alkalmazott technológiát. Témaválasztásomat az indokolja, hogy számomra mindig is lenyűgözőek voltak az olyan automatizált gépszerkezetek, melyek minimális emberi beavatkozás mellett is képesek ellátni a rájuk bízott feladatokat.

A lézerhegesztő robot alkalmazásának megvalósítását, mint témaválasztást az is indokolja még, hogy már középiskolás korom óta érdekelnek az automatizálható dolgok és azok működésének megvalósítása. Ez az érdeklődés a későbbi tanulmányaimban is észrevehető volt, emiatt is választottam a CNC-CAD-CAM specializációt az egyetemi képzésem alatt.

A témám megválasztásánál még motivált az is, hogy annál a cégnél, ahol eddig töltöttem a duális szakmai gyakorlati időmet, volt lehetőségem számos különböző félautomata és automata gépet megismerni. Ebben nagy segítségemre volt a műszaki csapat és az általuk elvégzett különböző feladatok.

Dolgozatomban a lézerhegesztési, valamint a robothegesztési fogalmak tisztázása után szeretném bemutatni egy terméken keresztül, hogy ez az újfajta hegesztési mód miben tér el egy hagyományostól. Kidolgozom egy adott termék technológiai feltételeit, valamint meghatározom az általános gyártásközi követelmények szükséges módosításait ahhoz, hogy ez a termék a robot lézerhegesztő gépen gyártható legyen.

A dolgozatomban a korábban megfogalmazott céloknak megfelelően összehasonlító elemzésen keresztül megvizsgálom, hogy ennek a technológiának milyen előnyei és hátrányai vannak egy hagyományos hegesztési eljárással szemben.

Munkám témáját a Ferzol Kft. cég biztosította, amely 1990 óta végzi tevékenységét a fémfeldolgozás, ezen belül a lemezmegmunkálás területén.

Alapértékei a cég megalapítása óta szinte változatlanok: az elsődleges a Vevő igényeinek maximális kielégítése, legyen az bármilyen összetett vagy magas minőséget

igénylő feladat. Szintén fontos a piac által egyre inkább elvárt rugalmasság, melyet a gyártási folyamatok hatékonyságának megtartása, illetve folyamatos fejlesztése mellett kell megvalósítani. Ehhez elengedhetetlen, hogy az elérhető legmagasabb színvonalú, valamint legkorszerűbb technológiát és gyártóeszközöket használja.

Munkám során elsősorban magyar és külföldi szakirodalmat, Internetet, valamint digitális folyóiratokat és a tanulmányaim során szerzett ismereteimet használtam fel.

A továbbiakban különböző szakirodalmak ismereteiből levont konklúziókon keresztül ismertetem a gépesített hegesztést.

2. Gépesített hegesztés

2.1 A lézersugaras hegesztés jellemzői

A lézersugaras hegesztés egy olyan hegesztési megoldás, ami a hővezetésen alapszik. Ennek oka az, hogy a szükséges energia a munkadarab belsejébe hővezetéssel kerül. A hegesztéshez szükséges hőmennyiséget, ami az ömlesztéshez kell egy egyszínű és azonos hullámhosszú sugarakból álló összefüggő fénynyaláb és egy a hegesztésre alkalmas gáz anyagban történő elnyeletésével létrejövő folyamat során állítunk elő. A lézernyaláb meglehetősen nagy energiasűrűséggel rendelkezik, amit kisebb felületen összpontosítva tovább is tudunk növelni. Abban az esetben, ha a lézersugár teljesítménysűrűsége eléri a 10^4 és 10^5 W/mm² közötti tartományt, akkor a létrejövő olvadék is eléri a forráspontját, és az anyag az adott fénypontban el kezd gőzölni. Ebben a pontban annyira felhevül a fém, hogy az a hegesztési pont alatt létrehoz egy gázzal telt tölcsért, amely körül jön létre az olvadási övezet. A lézersugár és az anyag egymáshoz viszonyított elmozdulása során képződő tölcsér is megváltoztatja a helyzetét, így egy megszilárdult varratot hagyva maga után létre jön a kötés.

Hegesztési célra rengeteg lézergép típus közül lehet választani, mint például a szilárdtestlézerek vagy a gázlézerek. Az általam bemutatott gép nitrogén, illetve argon gázzal képes hegesztetni. Az ilyen típusú gép lézeraktív anyaga a nitrogén vagy argon védőgáz, melyek gáz tisztasága szinte 100 százalékban nitrogén vagy argon gáz. A védőgáz kisülésével gerjesztett és általában folytonos sugárzást biztosít.

A lézerhegesztési technológia több befolyásoló tényező mértékétől is függ. Ezek az alábbiak lehetnek:

- a lézersugárzás időbeli és térbeli lefutásától;
- a hegesztetni kívánt anyag felületének fénynyelő képességétől, ez különböző fénynyelő bevonatanyagokkal növelhető.

A lézersugaras technológiát használó gépeket teljesítményük alapján is meg tudjuk különböztetni. Lehetnek kis, illetve nagy teljesítményűek.

A kis teljesítményű (maximálisan 1 kW) lézerhegesztésnél a hővezetés mértéke is kisebb, ezáltal korlátozódik a beolvadás, valamint szélesebbé válik a hőhatásövezete.

Ilyenkor a varrat szélességének és mélységének aránya általánosságban nézve egy a háromhoz. Ilyen fajta kötést lehet elérni CO₂ gázlézerrel vékony lemezeken és fóliákon. A nagy teljesítményű (minimum 1 kW) lézerhegesztés esetében a varrat által létrehozott kötés a mélyhegesztési hatáson alapszik. Ebben az esetben a szélesség és mélység aránya már egy a tízhez vagy ennél az értéknél nagyobb is lehet. A sugárteljesítmény növelésével arányosan nő a varrat mélysége is.

Még meg lehet különböztetni a lézerhegesztéseket a lézersugár alkalmazási módjával is. Ebben az esetben beszélhetünk impulzusos és folytonos lézersugaras hegesztésről.

Ehhez a hegesztési technológiához általában nem használunk hozaganyagot, mivel a munkadarabokat úgy képezik ki, hogy azok illesztési hézag nélkül érintkezzenek egymással, ezáltal tompavarrattal lehet őket összeállítani. Az illesztés mértéke nem haladhatja meg az egy tized milliméter nagyságot, mivel így a gép nem tudja létrehozni a már korábban említett tölcsért az anyagban.

A lézerhegesztés előnye egy hagyományos hegesztési eljárással szemben az, hogy a létrehozott varrat homogénebb, stabilabb és egyenletesebb.

2.2 A robotizálás hatásai a hegesztésre

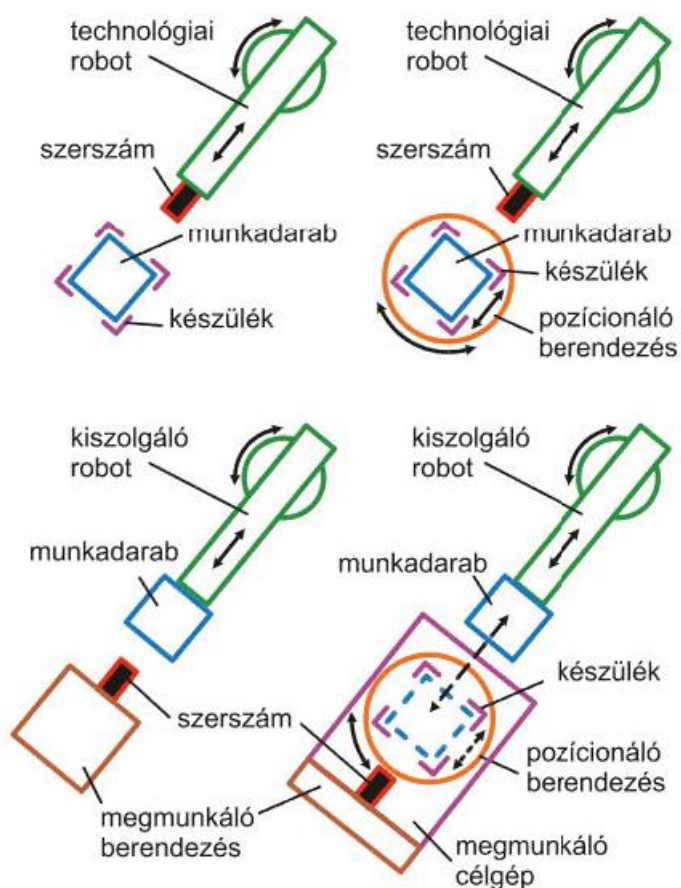
Az első ipari robotokat 1962-ben fejlesztették ki, de ma már önálló tudományterületté fejlődött a robottechnika. A hatvanas évek végére számos iparágban megjelentek, mivel rájöttek az emberek, hogy ezekkel a távirányítású gépekkel minden olyan munka elvégezhető, ami megkíméli az embereket a veszélyes vagy a nehéz fizikai munkától. Az ipari robotok esetében viszont fontos, hogy pontosítsunk azon, hogy milyen célgépek mellett, esetleg helyett alkalmazhatóak. Ezek az alábbiak lehetnek:

- önműködő, vagyis saját hidraulikus, pneumatikus vagy elektromechanikus hajtásrendszerrel működnek;
- mérőfej, munkadarab vagy szerszám pontos pozícionálására, megfogására, esetlegesen valamilyen működési paraméter beállítására alkalmas;
- egy munkatartományon belül szoftveresen programozva több térbeli mozgásirányba, illetve mozgáspályán szabadon vezérelhetőek;
- valamint gyártócellába, esetlegesen gyártósorba integrálható manipulátorokról beszélünk.

Attól függően, hogy az ipari robotok milyen eszközt, tárgyat manipulálnak megkülönböztetünk:

- „make” funkciójú, vagyis valami olyan szerszámmal manipuláló robotokat, ami valamilyen technológia segítségével terméket állítanak elő;
- „move” funkciójú, azaz legtöbb esetben csak munkadarabot, de egyes esetekben készüléket is mozgató vagy szerszámgépet kiszolgáló robotokat;
- „test” funkciójú, vagyis valamilyen mérőfejet manipuláló ellenőrző, tesztelő vagy mérő robotokat.

A robotizálás esetében négy alapesetet különböztetünk meg, annak függvényében, hogy a gyártási folyamat technológiai vagy kiszolgáló robottal oldható meg valamint, hogy a munkadarab vagy a szerszám mozgatása a bonyolultabb feladat. A négy alapeset megvalósítására az 1. ábra szerinti módon van lehetőség. A felső kettő esetben technológiai, vagyis megmunkáló robottal történik, míg az alsó két esetben kiszolgáló, azaz munkadarab-pozícionáló robottal valósul meg a gyártási folyamatszakasz.



1. ábra A robotizált megmunkálás négy alapesete [2]

2.3 A robotkarrendszerek és azok szabadságfokaik

Az ipari robotok által megvalósított mozgások során beszélhetünk alap és kiegészítő mozgásokról. Az alapmozgások alatt saját mozgást értünk, ilyen például az áthelyező mozgás. Ez a fajta mozgás juttatja el a mozgatni kívánt objektumot a munkatartomány és a programozott pálya előre meghatározott pontjaiba. A tájoló mozgás során a mozgatni kívánt objektumot olyan pozícióba állítja a robotkar, hogy az a végzendő művelet szempontjából a leoptimálisabb pozícióban álljon.

Ha arra van szükség, hogy a robot munkatartománya ki legyen bővítve, ahhoz a robotnak egy vagy több kiegészítő mozgást kell elvégeznie. Ha azt szeretnék, hogy a robot valamelyik tengelye mentén forduljon el, akkor perifériális mozgást kell alkalmazni.

A robotmozgásokat alapvetően haladó (Transzlációs) és forgó (Rotációs) mozgásokra bontjuk, jellemzően a térbeli koordináta irányok kombinációja alkotja a robot kar mozgási rendszerét. Az egymástól függetlenül is vezérelhető tengelyek száma határozza meg egy robot esetében annak szabadságfokait.

Az ipari robotok olyan karos-csuklós mechanizmusok, amelyek különböző mérőfejek, megmunkáló szerszámok és munkadarabot megfogó szerkezetek mozgására és irányba állítására alkalmasak.

Ahhoz, hogy egy általunk kívánt munkatéri pontba elmozgassunk egy olyan munkadarabot, amely rendelkezik térbeli kiterjedéssel legalább három egymástól független mozgatóegység, szabadságfok és mozgási irány szükséges. A legtöbb esetben a cél az, hogy a szerszám vagy a munkadarab a leoptimálisabb pozícióban álljon, így a már három szabadságfoki lehetőség felett további szabadságfokokra van igény egy robot esetében. A legmegfelelőbb, ha a robot mind a hat szabadsági fok irányába tud mozgást végezni mivel, ha e szám alattival rendelkezik, akkor az objektum mozgatása korlátozott lehet.

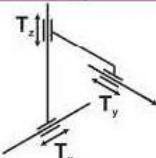
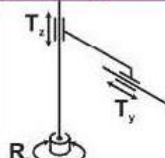
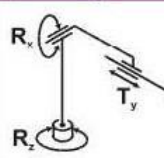
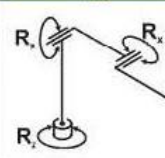
A karrendszer mozgásának összetétele a három főmozgás mozgásvariációjának lehetséges változataiból, a kettő mozgásfajta (T, R) és a három mozgásirányból (x, y, z) tevődik össze. A gyakorlatban a lehetséges 216 különböző variációból csak négy terjedt el. A 2. ábra tartalmazza összefoglalóan a karrendszer lehetséges mozgásvariációi.

$2^3 = 8$ alapvariáció	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
1. főmozgás	T	R	T	T	T	R	R	R
2. főmozgás	T	T	R	T	R	T	R	R
3. főmozgás	T	T	T	R	R	R	T	R

X

$3^3 = 27$ al- variáció	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1. koordináta irány	x	x	x	x	x	y	z	y	y	y	y	y	x	z	z	z	z	z	x	y	x	x	y	y	z	z	
2. koordináta irány	x	x	x	y	z	x	x	y	y	y	x	z	y	y	z	z	z	x	y	z	z	y	z	x	z	x	y
3. koordináta irány	x	y	z	x	x	x	x	y	x	z	y	y	y	y	z	x	y	z	z	z	z	z	y	z	x	y	x

↓

	Koordináta-rendszer, illetve karrendszer			
	derékszögű	henger	gömbi	humanoid
1. főmozgás	T_x	R_z	R_z	R_z
2. főmozgás	T_z	T_z	R_x	R_x
3. főmozgás	T_y	T_y	T_y	R_x
karrendszer vázlat				

2. ábra Főmozgások variációi és a megvalósuló koordináta-rendszer [2]

Attól függően, hogy a három főmozgás közül mennyi a haladó és a forgó mozgás, megkülönböztetünk:

- derékszögű (3T),
- henger (2T+1R),
- gömbi (1T+2R),
- humanoid (3R)

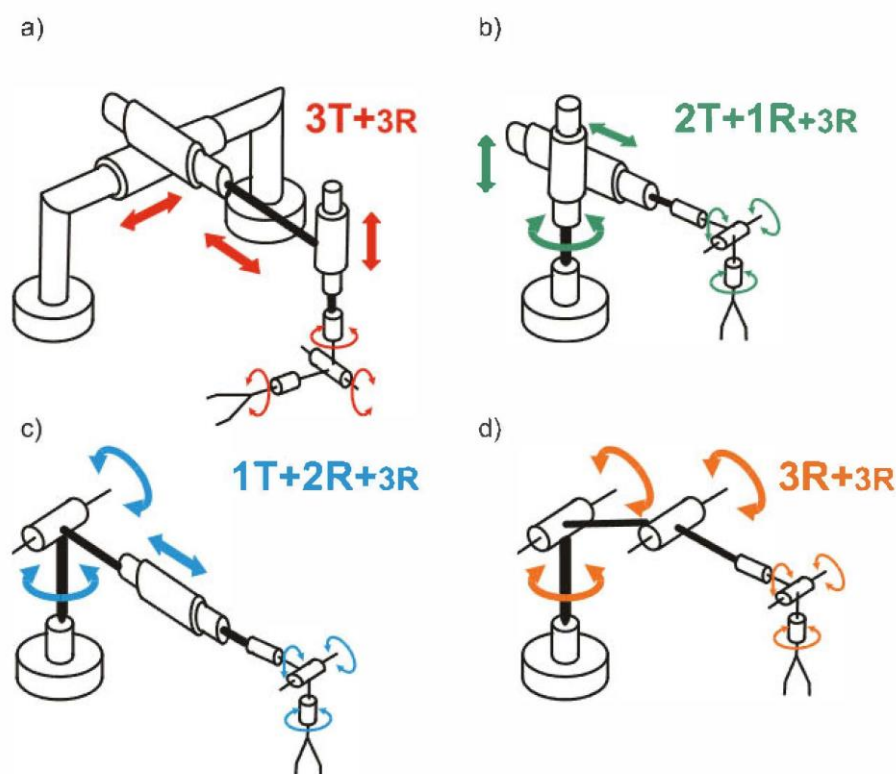
koordináta-rendszerű robotot.

A derékszögű koordináta-rendszerű karrendszer főmozgása csakis három merőleges koordinátatengely mentén történik, egyenes vonalúan, erre példát a 3. ábra a) részében lehet látni.

Főmozgásait tekintve a hengerkoordináta-rendszerű robotkar tud függőleges tengely körüli forgást végezni, valamint olyan függőleges mozgást, amelyhez a csatlakozó vízszintes tengely mentén egyenes vonalúan el tud mozdulni, erre a példa a 3. ábra b) részében látható.

A gömbi koordináta-rendszerű kar főmozgása egy darab translációs és két rotációs irányú mozgásból áll. Ennek oka, hogy az egyenes vonalú sugárirányú mozgás célja a mozgás térbeli beállítása, amire a 3. ábra c) részében látható példa.

A humanoid koordináta-rendszerű robotkar mozgása hasonlít a legjobban az emberi kar mozgásához, mivel ez egy többcsuklós karrendszer, így szinte teljes mértékben le tudja utánozni az emberi karhoz hasonló mozgásokat. Emiatt a finom mozgásokra is alkalmas kar terjedt el legjobban a hegesztés területén. Az ilyen fajta robotkarnak hat szabadsági foka van, amelyek önállóan is vezérelhető rotációs mozgásokat tudnak megvalósítani. Az ilyen fajta robotkarra a 3. ábra d) részében látható példa.



3. ábra Robotkaroknál alkalmazott koordináta-rendszerek

a) derékszögű, b) henger, c) gömbi, d) humanoid [2]

Az ipari robotok karrendszereinek alkalmazási lehetőségeit nagyban befolyásoló tényező, hogy az adott karnak mekkora a mozgási tartománya, tehát mekkora az a terület, amin belül a robot el tudja végezni az adott munkafolyamatot. Ebből az okból kifolyólag szinte az összes ipari robot valamilyen sínre vagy állványra épített portálra

szerelik, ennek köszönhetően a robot szabadsági foka növelhető, valamint a munkatere is jelentősen megnövelhető.

Ahhoz, hogy a hegesztőrobotot hegesztésre tudjuk használni, nem elég csak a szabadságfokait meghatároznunk, szükségünk van még olyan kiegészítő berendezésekre, amelyek segítségével a robot el tudja látni a hegesztési feladatokat. Ezek a kiegészítő berendezések az alábbiak:

- az irányításért felelős programozható számítógép a hozzá tartozó kezelőpulttal,
- a vezérelhető áramforrás interfésszel,
- szükség esetén a védőgáz ellátásáért felelős rendszer,
- a huzalelőtoló egység, ami rendelkezik a hegesztőfejjel és a fúvóka- és hegesztőfejtisztítóval,
- a hűtőegység,
- a munkatér bővítését szolgáló portál- vagy sínrendszer,
- a munkadarab hegesztőkészüléke, amelyben a munkadarab rögzítése és szorítása történik,
- a munkadarabot vagy a hegesztőrobotot pozícionáló berendezések,
- az energia ellátó rendszer,
- az anyag mozgatásáért felelős egység,
- a különböző varratkövető és érzékelő szenzorok,
- végül a munkavédelmi és biztonságtechnikai egységek.

A munkadarab-pozícionáló egységek megnövelik a hegesztőrobot munkaterét az által, hogy a munkadarabot a legoptimálisabb pozícióba helyezik és tartják fent a teljes varrat készítése alatt. Így a varratok minősége jobb lesz, valamint a megközelítésük könnyebbé válik, emiatt a részfeladatok közötti mellékidők csökkennek. Az ilyen egységeket, forgató és billentő asztalokat magához a robotállomáshoz tervezik egyedileg, de lehetnek előre legyártott egységes elemekből felépülő összeépített változatok is, aminek költségcsökkentő hatása van.

2.4 Robotok irányítástechnikája

A legfontosabb része a robotizált hegesztési munkahelynek az összetett vezérlés, ami a robot mozgásán kívül még a hegesztő-áramforrást, a hozaganyag adagolóját, a segédberendezéseket, a hegesztőfejet, valamint a biztonsági berendezéseket

összehangoltan egyszer kezeli. Ezeknek az együttes vezérlése megoldható egy központi robotvezérléssel vagy olyan központi felsőbbrendű külső vezérlőegységgel, ami a többi egyedi vezérlővel kapcsolatban áll.

A munkakörülmények változásaihoz való „alkalmazkodóképességet” a mai ipari robotoktól már elvárjuk, de az ilyesfajta igényeket kielégítő robotok nem egyből jelentek meg az iparban. Az alapján, hogy mekkora mértékben felel meg ennek a képességnek a robot, megkülönböztetünk három intelligenciaszintet.

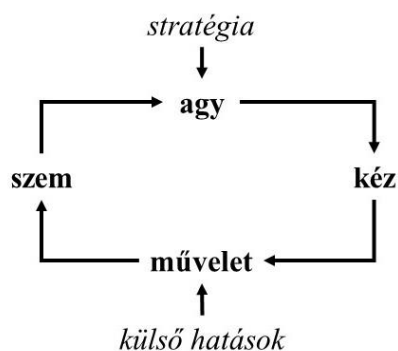
Az első generációs robotok csak az előre programozott munkafolyamatot tudták ismételni, a munkafeltételek megváltozását nem érzékelték.

A második generációs robotokat már különböző szenzorokkal szerelték fel, illetve módosítható vezérlőprogrammal, így azok már érzékelték a munkafeltételek megváltozását, illetve a beállításokat is lehetett aktualizálni a megváltozott feltételekhez.

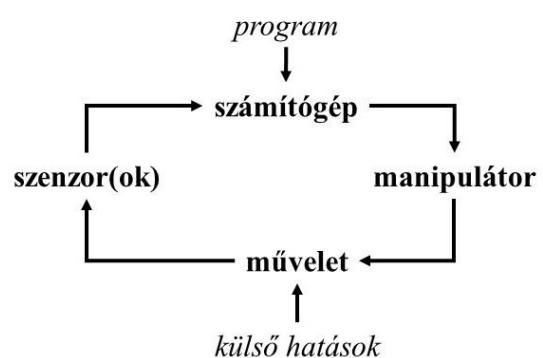
A harmadik generációs robotok a korábbi generációk tudásán kívül már a technológiai eltéréseket is nyomon tudják követni, valamint a különböző szituációkat is felismeri és ahhoz alkalmazkodik, vagyis adaptív szabályozással rendelkezik.

A korszerű robotok irányítása számítógép által vezérelt manipulátorok segítségével történik. A műveletre ható külső hatásokat pedig szenzorok segítségével érzékelik és a különböző változásokra a számítógép ad válasz programot, ezáltal egy emberhez hasonlóan tud reagálni. Ezt a párhuzamot a 4. ábra szemlélteti.

humán irányítás:



számítógépes irányítás:



4. ábra A humán és számítógépes irányítás közötti párhuzam [10]

A szenzorok olyan jelátalakító eszközök, amelyek a technológiai és paraméter változásokat érzékelik. Az érzékelt változás mértékével arányos vezérlő jelet továbbítanak a számítógépnek. Hegesztéskor előforduló lehetséges feladatai a szenzoroknak:

- a hegesztési kezdőpont megkeresése,
- a hegesztőfej megfelelő pozícióba állítása,
- a hegesztési pálya lekövetése,
- minél stabilabb robotmozgás biztosítása,
- a robot pályájának nyomon követése,
- a hegesztési folyamat paramétereinek szabályozása és egy előre meghatározott állandó érték közelében tartása,
- különböző biztonságtechnikai feladatok ellátása,
- a robot tevékenységének körül határolása,
- valamint a robot mozgásterének korrigálása.

A szenzorok csoportosítása különböző szempontok alapján történik, de a legáltalánosabb csoportosítási rendszer azon alapszik, hogy a szenzor mit érzékel.

A geometriaérzékelő szenzorok a hegesztőfej és a munkadarab egymáshoz viszonyított helyzetét érzékelik. Ez történhet érintéssel és érintés nélkül is. Feladatuk a varrathelyzet keresése és a hegesztőfej pozicionálása.

A folyamatérzékelő szenzorok a hegesztési folyamat során a külső, illetve a belső paraméter változásokat mérik, ami a szabályozás alapján történik. Ezek a szenzorok alapvetően nagyban függnek a hegesztési folyamat fennállásától így, ha ez a folyamat megszakad, akkor a szenzor sem mér. Emiatt főleg varratvonal-úttartásra alkalmazhatóak. Azokat a szenzorokat, amelyek a belső paramétereket mérik nem szükséges a hegesztőfej közelébe építeni, mivel a hegesztőfej helyzetének változására bekövetkező munkapont-eltolódást mérik. A külső paramétereket mérő szenzorok a létrehozott fizikai hatásokat, illetve azok mértékének változását mérik.

Az érintéses geometriaérzékelő szenzorok jellemzője, hogy a hegesztőfej helyzetének szabályozását a munkadarabot érintve történik a varrat lekövetése.

A mechanikus szenzorok érzékelője folyamatos kapcsolatban áll a hegesztőfejjel, így annak mozgását közvetlenül tudja befolyásolni.

A mechanikus-elektromos szenzor eseténben a munkadarab érzékelése mechanikus úton történik, de a hegesztőfejjel nem közvetlenül kapcsolódik, hanem a tapintófej elmozdulásával arányos elektromos jel létrehozásával korrigálja a hegesztőfej mozgását. Az elektromos szenzorokat főleg az ívhegesztő robotok esetén alkalmazzák. Ezt a varratkövető eljárást leginkább az automatikus kezdőpont keresésére alkalmazzák a hegesztési varratok esetén.

Az érintésmentes geometriaérzékelő szenzorok legtöbbje a háromszögelés elvén működik, aminek a mérési alapja, háromszög esetében, ha annak ismert egy oldala és két szöge, akkor a másik két oldal, valamint a harmadik szög is meghatározható. Ezeknek a szenzoroknak nagy előnye, hogy nem tartalmaznak mozgó elemeket, de hátrányuk, hogy a hegesztésben felmerülő külső zavaró hatásokat kevésbé érzékelik.

Az optikai szenzorok esetében rendkívül fontos a megfelelő fényforrás megválasztása, mivel a nem megfelelő fényforrás esetén a szenzor fals adat alapján dolgozik.

Az indukciós szenzor az érzékelőfej és a munkadarab távolságát figyelembe véve ad elektromos érzékelő jelet. Hátrányuk a rendkívül kicsi mérési tartomány, ami miatt a szenzort a varrathoz nagyon közel kell elhelyezni. Előnyük a többi varratkövetésre alkalmas szenzorral szemben a kedvező áruk.

A kapacitív szenzor rendkívül alkalmas hegesztőfej és munkadarab távolságának szabályozására, mivel ennek a két tényezőnek a távolságát méri.

A nagyfeszültségű szenzorok is távolságtartás mérésére szolgálnak, de ezek az érzékelők a munkadarab és a tapogató között létrehozott állandó nagyfeszültség mértékét érzékelik és annak változásától függően módosítják a hegesztőfej és a munkadarab közötti távolságot.

Az aktív akusztikus szenzorok a visszaverődő ultrahang segítségével szabályozzák a munkadarab és hegesztőfej közötti távolságot.

A folyamatérzékelő belső paramétereket mérő szenzorokat másnéven ívszenzorokat nem szükséges a hegesztőfej közelbe építeni, mivel azok az érzékelőjel képződés alapján működnek. Az ívszenzor a hegesztőfej pozíciójának meghatározásra a hegesztési folyamat valamely előre meghatározott hegesztési paraméter megváltozásából nyeri a távolságtartáshoz szükséges információkat.

Az optikai szenzorok a hegesztőfej és a létrejött ömledék egymáshoz viszonyított helyzetének megfigyelése alapján működik.

A termikus szenzor a hegesztés során létrejövő hőmérséklet eloszlását érzékeli a hegeszteni kívánt munkadarabban. Ha ez az eloszlás nem szimmetrikus, akkor a hegesztőfejet a megfelelő pozícióba helyezi.

A passzív akusztikus szenzor az ívzaj frekvenciája és annak amplitúdójának érzékelése alapján működik.

A robotkarrendszert a kialakítása, az ettől függő szabadságfokok száma és a munkatartomány mértéke, valamint a különböző szenzorokkal és perifériákkal történő ellátottságon kívül a visszaállási pontosságuk és teherbírásuk is jellemzi.

2.4.1 A hegesztőrobotok programozása

Az ipari robotok programozása történhet szerszámközéppont, pontvezérlés és pályavezérlés alapján. Az, hogy melyik fajta programozást alkalmazzák, függ a mozgatni kívánt objektumtól.

A szerszámközéppontos programozás során két módszer szerint történhet a robot programozása. Az egyik fajta a tanító eljárás, aminek a lényege, hogy a robot programozása a saját hajtásrendszerének működtetésével történik. Ennek hátránya, hogy a robotot a program készítési ideje alatt ki kell vonni a termelésből. Ezzel szemben a másik fajta eljárás, sokkal költséghatékonyabb, mivel annak programozása egy számítógépes szimulációval történik. A programozással kijelölt munkatérbeli pontok közötti mozgáspályaszakaszok számítógép által meghatározottak.

Ezzel szemben a pontvezérlésnél az egyes pontok közötti pályaszakaszok előre nincsenek meghatározva, csak a megadott pontok elérési sorrendje. Emiatt ez a fajta programozási mód csak a mellékmozgások vezérlésére alkalmazható.

A pályavezérlés során a pálya alakja nincs meghatározva, csak annak megközelítési módja van előre definiálva.

2.5 Hegesztőkészülékek

A hegesztőkészülék olyan kézi vagy gépi működtetésű eszköz, amely a munkadarabok összeállítására, kedvező pozícióba állítására, forgatására vagy mozgatására, illetve rögzítésére szolgál. Azokat az eszközöket is a hegesztőkészülékek közé soroljuk, amelyek a hegesztőfej beállítására, rögzítésére, valamint annak a mozgatására szolgálnak.

A hegesztőkészülékek alkalmazásának számos előnye van, mint például a hegesztési sebességet növeli, csökkenti a gyártás során fellépő mellékidőket, valamint javítja a munkadarab méret-, és alak pontosságát. A hegesztőkészülékek alkalmazása a célgépes és robotos hegesztéskor elengedhetetlen eleme a gyártási folyamatnak, de a kézi hegesztés során is ajánlott a használata.

Az olyan készülékeket, amelyek a hegesztési kötések minőségét befolyásolják funkciójuk alapján lehetnek:

- hegesztőfej mozgatására szolgáló,
- munkadarabot beállító, illetve mozgó,
- fűző- vagy készre hegesztő,
- ellenőrzéshez vagy méréshez használt készülékek.

2.5.1 Követelmények a hegesztőkészülékekkel szemben

Ezen eszközök kialakítása során elsődleges követelmény az a tény, hogy a hegesztési folyamatot, illetve a munkadarab mozgását nem gátolhatja semmilyen fröcskölés, salakanyag vagy lehulló fedőpor. Biztosítani kell a munkadarab, valamint a készülék utánállíthatóságát, hogy a hegesztési folyamatot ne kelljen megszakítani.

A hegesztőkészülékek kialakítását, illetve felépítést alapvetően a hegesztési varratok elhelyezkedése határozza meg. A leszorító, valamint tájolóelemeket úgy kell elrendezni, hogy az a hegesztőfej mozgását ne akadályozza.

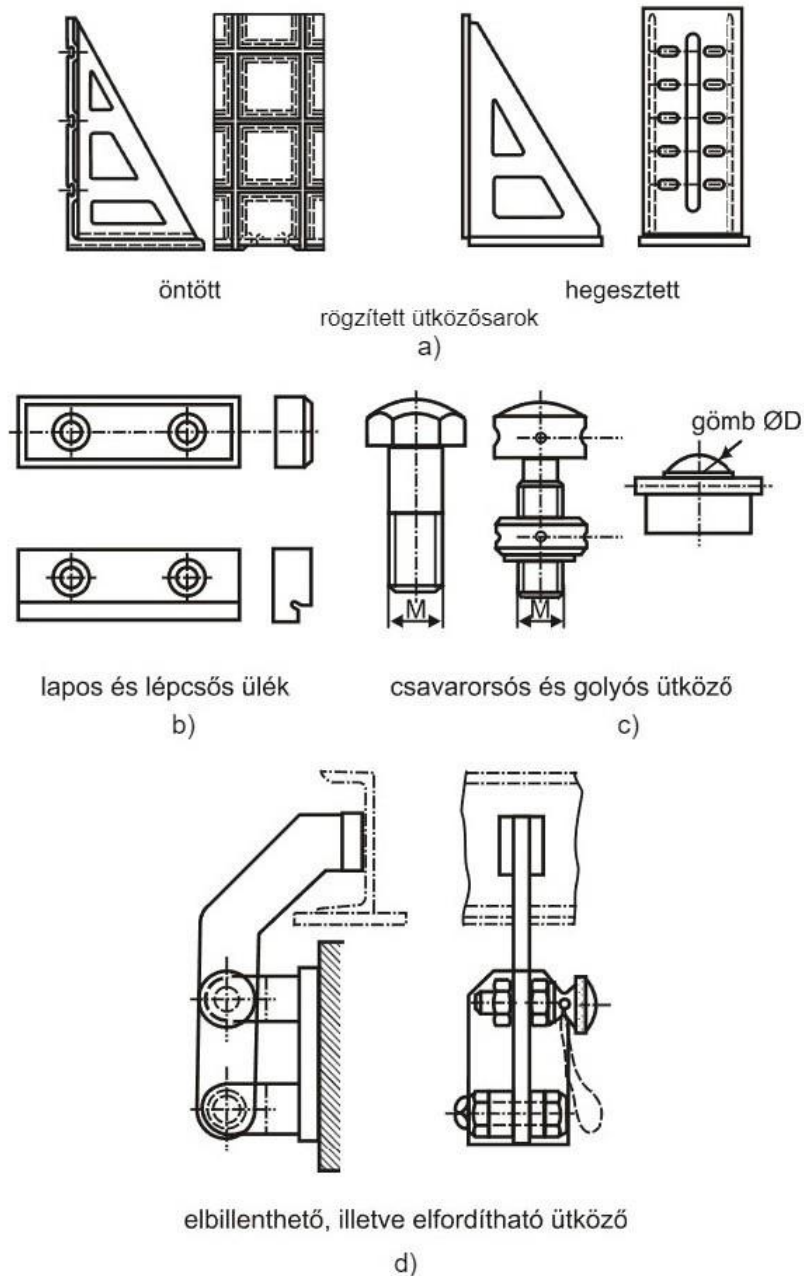
2.5.2 Egyszerű hegesztőkészülékek és készülékelemek

A szerelő- vagy beállítóasztalokat általában olyan szerkezetek, amelyek hegesztéssel kerülnek összeállításra vagy öntés segítségével érik el a végleges formájukat. Főként kis tömegű munkadarabok esetén alkalmazzák ezeket az eszközöket.

A gyártás során a munkadarab pontos helyzetébe állítására szolgálnak a beállítócsapok és -csapszegek, amik lehetnek helyhez rögzítettek vagy modulárisan változtathatóak, esetlegesen eltávolíthatóak. A tájolás mellett erőt is felvehetnek, valamint megvezetésre is szolgálhatnak. Kivitelük szerint megkülönböztetünk:

- ütközősarkot, ami lehet öntött vagy hegesztett (5. ábra a) rész),
- lépcsős vagy lapos ülékek (5. ábra b) rész),

- pontszerű alátámasztást biztosító, állítható csavarorsós vagy golyós ütközők (5. ábra c) rész),
- olyan ütközők, amik elbillenthetőek vagy forgathatóak (5. ábra d) rész).



5. ábra Ütköző típusok [11]

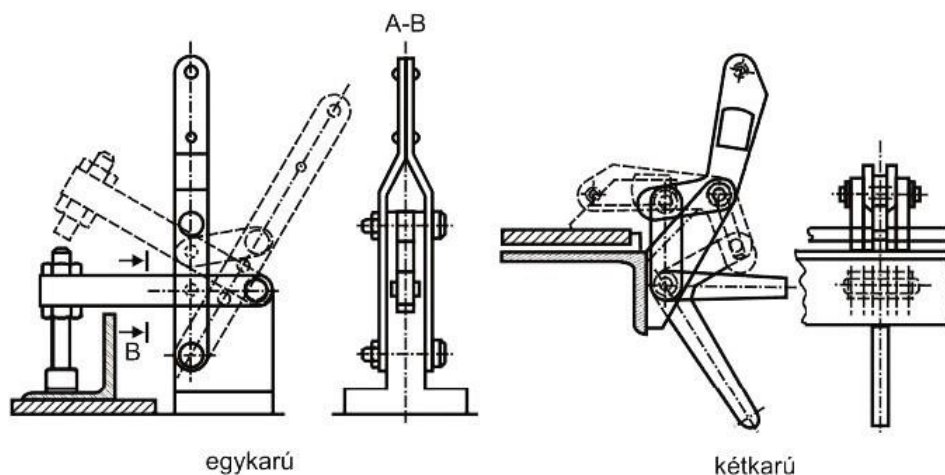
A sablonok olyan készülékek, amelyek általában több részegységből összeállított munkadarab egymáshoz viszonyított helyzetének beállítására szolgálnak. Ezek a sablonok lehetnek rögzíthetőek vagy elmozdíthatóak, kialakításuk a munkadarab hegeszthetősége befolyásolja.

Az ülékekben való hegesztés során elvárt tényező a munkadarab hegesztés közbeni elmozdulás megakadályozása, amit az adott darab leszorításával érnek el. Az alábbi szempontokat kell figyelembe venni, ha a szorítás helyét szeretnénk meghatározni:

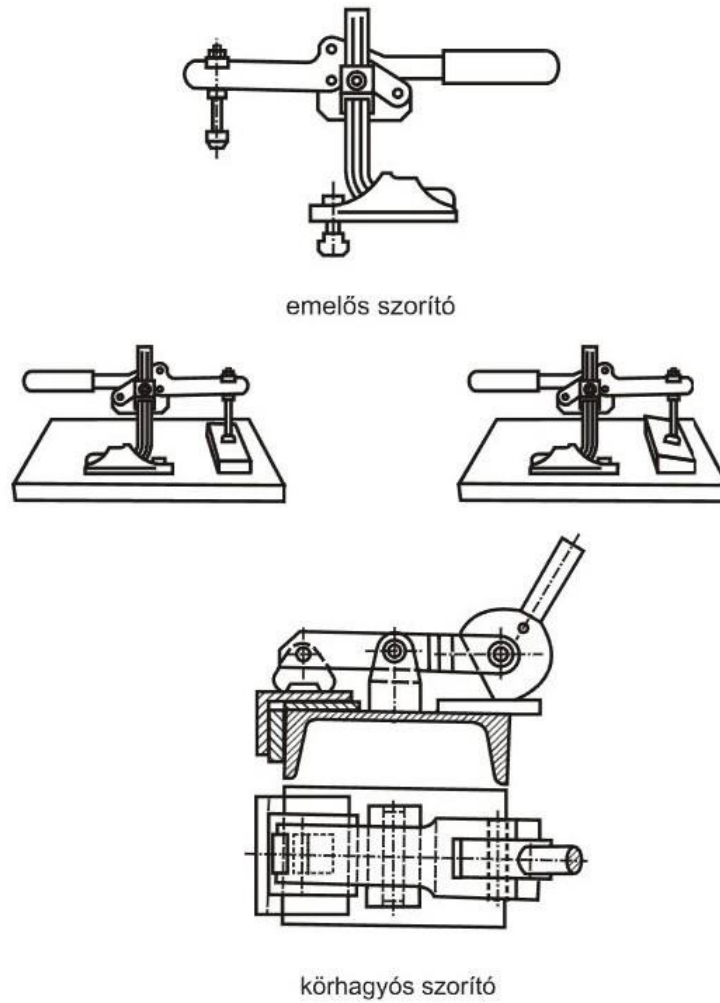
- a rendszer merevségét a készülék és a munkadarab között,
- a munkadarabon fellépő szorítóerő a lehető legkisebb alakváltozást okozza a munkadarabon,
- a munkadarabon keletkező alakváltozások elkerülése miatt a leszorító erő támadáspontja az alátámasztási pont felett kell, hogy legyen,
- a leszorító erő hatására ne változzon meg a hegesztőfej és a munkadarab előre beállított távolsága,
- a leszorító erőnek az ülék vagy ülékek által behatárolt területen kell fellépniük.

A leszorítást létre jöhet ék, csavar, excenter, éktárcsa és más egyéb eszköz alkalmazásával, amik esetében nincs szükség utánszorításra.

A rögzítésre szolgáló eszközök az egy- és kétkarú emelős és a körhagtyós szorítók. Ezekre az eszközökre a 6. ábra és a 7. ábra mutat példát.

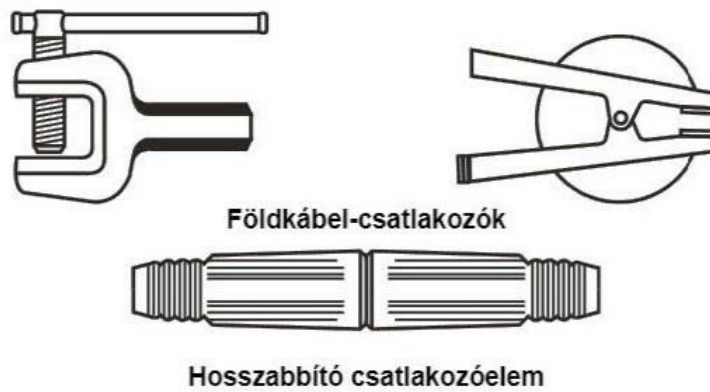


6. ábra Egykarú és kétkarú szorítók [11]



7. ábra Emelőkaros és körhagyós szorítók [11]

A hegesztő-földkábel rögzítésére, illetve hosszabbítására bajonettzáras kialakítású csatlakozóelemeket használnak. Ilyen csatlakozókat a 8. ábra tartalmazza.



8. ábra Kábelcsatlakozók [11]

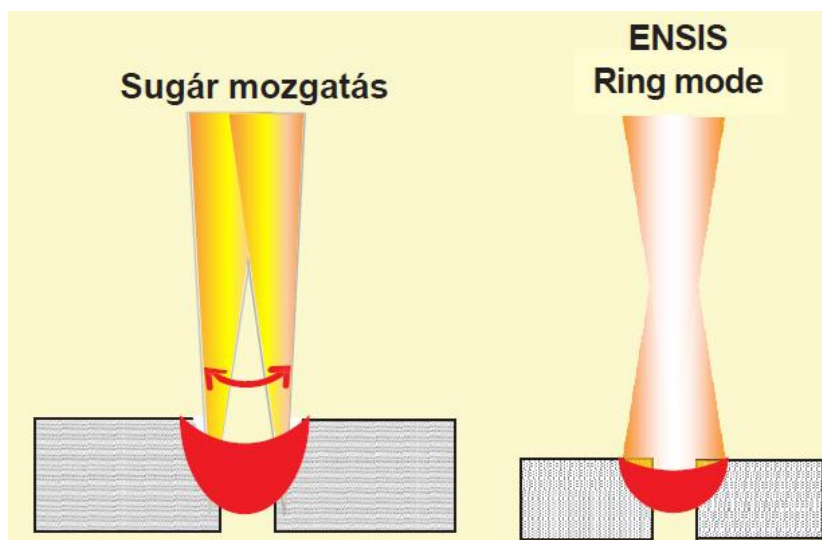
3. Amada FLW-ENSIS 3000 M5 lézeres hegesztő robot

3.1 A robot bemutatása

Az Amada FLW-ENSIS 3000 M5 fiber lézerhegesztő gép egy olyan berendezés, amely a hagyományos hegesztés előnyeit, valamint a modern lézeres hegesztés előnyeit használja ki. Az így létre hozott gép rendkívül alkalmas a kifinomult anyagokhoz, valamint megfelelő a különböző anyagvastagságokhoz, az alumíniumból vagy rozsdamentes acélból készült felületek feldolgozására is. Ez a gép kettő egymástól független lineáris pályán mozgatható forgó, illetve billenő munkaasztallal van szerelve, így a termelés során egyszerre is történhet egy munkadarab hegesztése és egy másik darab készülékbe illesztése. Ezzel a beállítási idők csökkenése érhető el, aminek köszönhetően növekedik a termelékenység.

3.2 Amada lézer robothegeztő különlegessége a lézer robothegeztők között

A lézerhegesztő gépekben egy közös probléma megtalálható, ez nem más, mint az, hogy a lézer hegesztési technológia érzékeny a hegesztési kívánt lemezek között megtalálható résre. Ha azt szeretnék, hogy a hegesztésünk a legjobb minőségű legyen, akkor a hegesztési hézag nem lehet 0,2 milliméternél nagyobb. Az Amada lézer hegesztőgép technológiai újítása erre a problémára kíván megoldást nyújtani. Ez a technológiai újítás a lézersugár mozgatása, vagy másnéven billegtetése. Ez a fajta mozgás a fejen belül jön létre, ami miatt a lézersugár nem egy pontban koncentrálni érintkezik a hegesztési kívánt éltalálkozással. Körkörös mozgást végezve egy nagyobb területet lefedve, az anyagot bentebből olvasztja meg és az így keletkező olvadék feltölti a hézagot, szűkíti azt. Majd a lézersugár visszatérve a már csökkentett szélességű rés széleit újra felhevítve hozza létre a kívánt varratot. Ennek köszönhetően a hegesztőgépnek nem okoz gondot a 0,2 milliméternél nagyobb hézagok hegesztése sem. Ennek a különleges mozgásnak a hatása a 9. ábra szerinti módokon történhet. A megfelelő paraméterek beállításával, akár 0,6 milliméteres szélességű hézagot is tökéletesen meg tud hegesztetni az Amada lézeres robothegeztő gép.



9. ábra Lézersugár mozgása [18]

3.3 Főbb jellemzői

3.3.1 Alkalmazott védőgázok

A következőkben ismertetem, hogy a lézerhegesztő gép milyen fajta védőgázokat használ a hegesztése során. Az Amada lézer hegesztőgép esetében szóba jöhető varratgyökök védelmét szolgáló gázok az argon és a nitrogén. A védőgázok alkalmazására az alábbi hegesztési folyamat javító hatásuk miatt van szükség:

- javítja a kötések minőségét,
- nagyobb hegesztési sebességet lehet elérni minimális vetemedés mellett,
- a varrat szilárdsági tulajdonságait javítja,
- védelmet nyújt a levegőben található oxigénnel szemben, ezzel védi a hegesztési gyököket az oxidációtól,
- a hegesztendő fémekben lévő ötvözők kiégése ellen is véd.

Az Amada lézerhegesztő gép esetében bündeles rendszerben van tárolva a védőgáz. A 10. ábra szerinti elrendezésben a bal oldalon található teljesen szürke bündel rendszerben a nitrogén, míg a fehér és zöld színű bündel rendszerben az argon védőgáz van tárolva.



10. ábra Nitrogén és argon védőgáz bündeles rendszerben [saját]

3.3.2 Behordó asztalrendszer

A következőkben az Amada robot lézerhegesztő gépnél alkalmazott behordó asztal rendszerét ismertetem. A 11. ábra a behordó asztalrendszert mutatja be.



11. ábra Behordó asztal rendszer [saját]

Mint az az ábrán is látható a lézerhegesztő robot behordó asztalrendszere kettő pozicionáló asztallal rendelkezik, ami gyártás során jelent előnyt. Mivel az egyik pozicionáló asztalon történő hegesztés közben, a hegesztési területen kívül található pozicionáló asztalon történhet a soron következő munkadarab készülékbe helyezése vagy akár egy másik termékre való átszerelés is. A behordó asztalrendszer el van látva védőgáz bevezetési lehetőséggel, ennek köszönhetően elérhetővé válik a varratok öblítése, aminek hatására a varratgyökök hegesztés közbeni szétégetése elkerülhető.

A behordó asztalrendszer mozgása automatizálva történik, aminek helyzetváltoztatása az adott lézerhegesztési program lezárulása után történik meg. Az asztalrendszer biztonsági berendezése a fényfüggöny, amely érzékeli, ha egy személy belépne az asztalok mozgási területébe miközben azok cseréje történik. Az automatizált mozgás addig nem folytatódik ameddig arról az operátor nem ad egy visszajelzést a gép számára, hogy biztonságos a mozgási terület. A 12. ábra a fényfüggönybe belépett személy által bekövetkezett hatást szemlélteti.



12. ábra A robotkar és a behordó asztalok egymáshoz viszonyított helyzete [saját]

3.3.3 Alkalmazható lézerfejek az Amada robothegeztő gépen

Az Amada lézerhegeztő gép három típusú hegesztőfejjel rendelkezik. Ezek közül a Ferzol Kft. területén megtalálható lézerhegeztőgép mind a három fajta fejjel rendelkezik. Mindegyik fejről elmondható, hogy a fúvóka cseréje kézzel történik, valamint az is elmondható, hogy a keskeny és a koaxiális vízhűtéses fejjel könnyedén képes hozaganyag hozzáadásával varratot képezni, míg az oldalsó fúvókával szerelt fejjel bonyolult, de kivitelezhető a hozaganyag varrat létrehozása. Ez a robotkarra felszerelt huzaladagoló rendszernek köszönhető. A következőkben a három különböző lézerfejet ismertetem.

Az első lézerfej a keskeny fej (13. ábra), ezzel a fejjel bármilyen anyagminőség hegeszthető. A fej a védőgázt közvetlenül a hegesztési varratra fújja ezzel megvédve azt. Valamint erre a lézerfejre felhelyezhető a hagyományos fúvókahossznál hosszabb fúvóka, ezáltal a szűkebb helyeken is képes varratot létre hozni.



13. ábra Keskeny lézerfej [saját]

A következő lézerfej a vízhűtéses koaxiális lézerfej (14. ábra). Ezzel lézerfejjel bonyolult mozdulatok is végezhetőek a hegesztési iránytól függetlenül. Akár kis

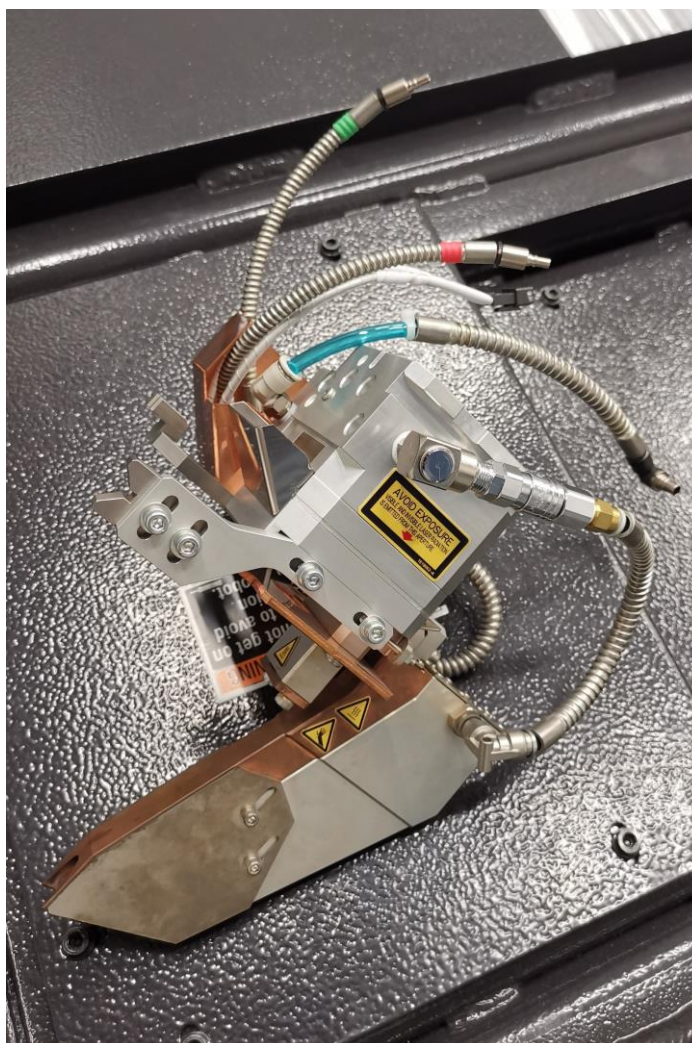
lefedettségű védőgázos területen már közepes hegesztési varrat minőség is elérhető. A vízűtés lézerfej esetében csak a fej van hűtve vízzel, emiatt a fej képes magasabb feszültségen is dolgozni, ami alkalmassá teszi alumínium anyagok hegesztésére.



14. ábra Vízűtéses koaxiális lézerfej [saját]

Egyik hátránya az idáig ismertetett lézerfejeknek, hogy rendkívül érzékenyek a visszavert fényre. A tükröződés miatt a lézersugár a lencsét sértheti meg miközben a varratgyököket hozza létre. Összességében általános minőségű feldolgozás érhető el összetett formák esetén, kevés kompromisszum mellett.

A 45°-ban döntött lézerfej (15. ábra) esetében a csatlakozási ponthoz képest egy előre meghatározott fix szögben helyezkedik el a fűvóka. Mivel a fej döntött, így jóval nagyobb a helyigénye, valamint az irányíthatósága is jóval bonyolultabb a többi fejhez képest, ezek miatt a szűkebb részek hegesztése nem megoldható ezzel a fejjel. A kialakítása miatt a hozaganyag hegesztés is nehezen kivitelezhető. A fűvóka magasságának beállítása viszont történhet kézzel vagy 10 milliméterig a gép által.



15. ábra 45°-ban döntött lézerfej [saját]

A robotkar tanítása ennek a fejnek az alkalmazása közben jóval nehezebb a keskeny, illetve a vízűtési koaxiális fejhez képest, ami szintén a kialakításából következik. A lézerfej hátrányai mellett számos előnnyel is rendelkezik, melyeket a továbbiakban ismertetek. Az egyik ilyen előnye ugyancsak a kialakításából következik, mivel 45°-ban áll a fúvóka, így kisebb az esélye a lézersugár visszatükröződésének, ami a lencsék sérülését okozná. A másik előnye úgyszintén a kialakításából következik, mivel a sarokvarratokra a védőgázt V alakban fújja rá, ennek köszönhetően a legmagasabb minőség érhető el a saválló anyagok esetében is.

Általánosságban elmondható a lézerfejekről, hogy a hegeszteni kívánt anyagok terén mind a három lézerfej alkalmas bármilyen anyagminőség hegesztésére. A megfelelő lézerfej kiválasztását főleg a hegeszteni kívánt termék alakja határozza meg.

3.4 A lézeres hegesztőrobot technikai paraméterei

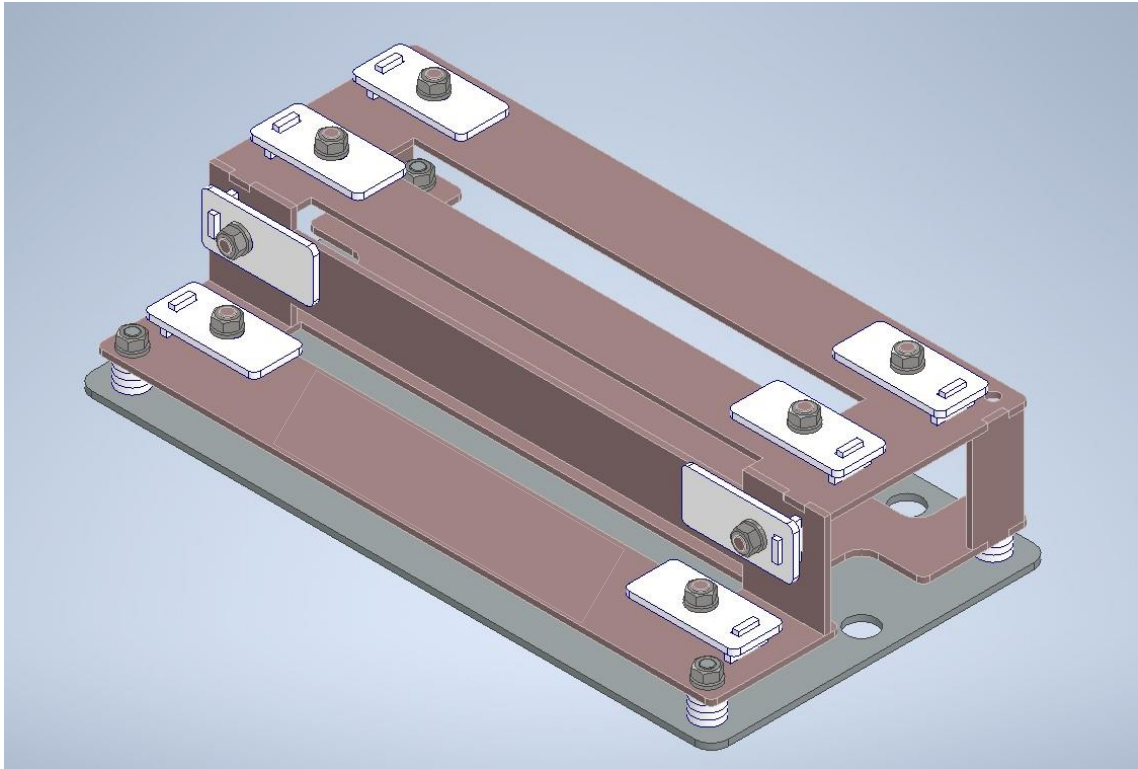
Az 1. táblázat összefoglalóan mutatja be az Amada FLW-300 ENSIS M5 lézeres hegesztőrobot technikai paraméterei.

1. táblázat Technikai paramétereket összefoglaló táblázat [23]

Robot	függőleges 6-tengelyes csuklós robot
Robot vezérlés	DX100 (YASKAWA)
Oszcillátor teljesítménye	ENSIS 3000 (3000 W)
Oszcillátor típusa	lézer diódás, fiber lézer
Vezérlő	AMNC-F
Hegesztőfej	AMADA
Robot sínpálya	
mozgási hossz	4 m
maximális mozgási sebesség	60 m/perc
ismétlési pontosság	0,1 mm
2 db váltó asztal (forgó, billenő)	
maximális teherbírás	500 kg
forgási szög	$\pm 200^\circ$
billenési szög	$\pm 90^\circ$
Gép méretei (szélesség x mélység x magasság)	8500 x 7700 x 3750 mm
Gép súlya	8400 g

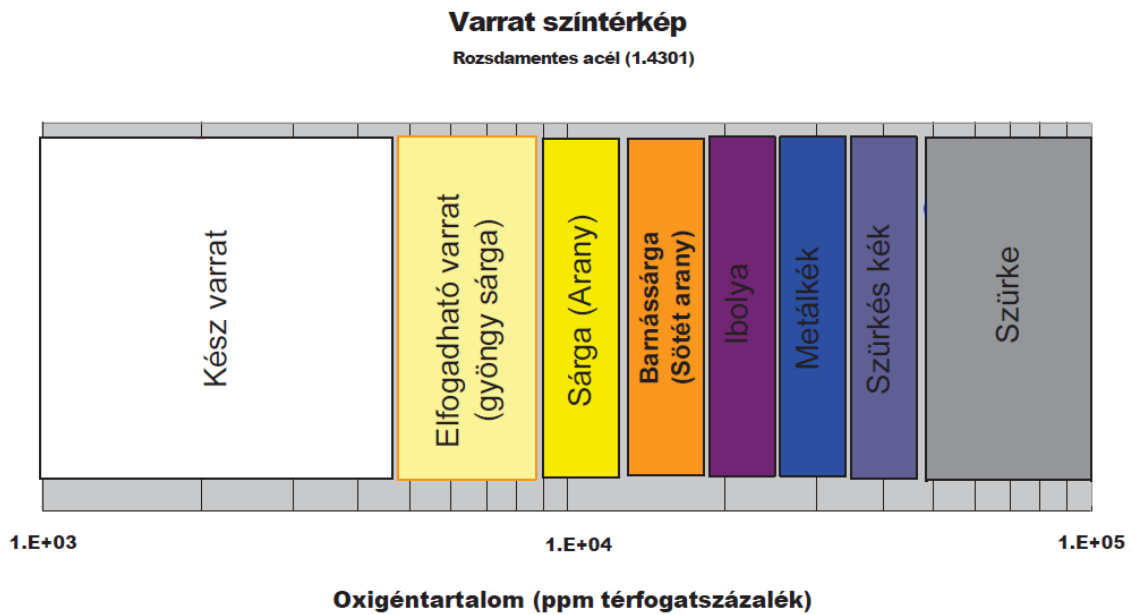
3.5 Varratok ellenőrzésére alkalmas készülék

A gép telepítése során biztosítva lett a hegesztőoperátok számára egy olyan készülék, amelybe behelyezve különböző anyagminőségű lemezdarabokat, ellenőrizhetővé válnak a külső és belső sarokvarratok, illetve tompavarratok minősége, valamint különböző varratpróbák is végezhetőek ebben a készülékben. A készüléket az egyik pozicionáló asztalra felhelyezve tudják üzembe állítani. A készüléket a **16. ábra** szemlélteti.



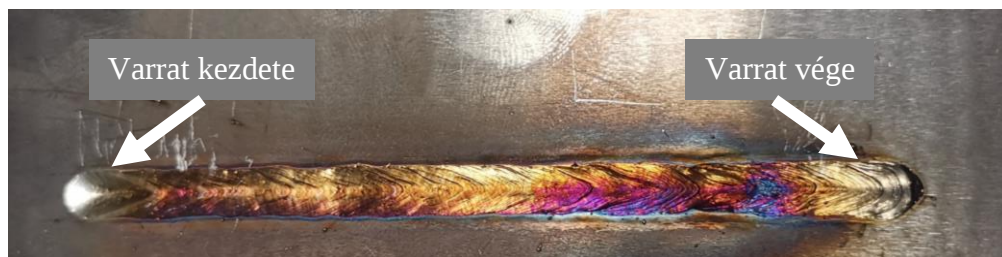
16. ábra Hegesztési varratellenőrző készülék [saját]

A hegesztési varratok minősítése a gyártó által meghatározott színtérkép (17. ábra) alapján történik, amelyen a legjobb minőségű varrat fehér színű, míg a legrosszabb minőségű varrat színe szürke. Az elfogadható minőségű varratok színe gyöngysárga, míg az aransárga, barnássárga, ibolya, metáلكék és szürkés-kék színű varratok minősége elfogadhatatlan. A minősítési folyamat szemrevételezéssel történik.



17. ábra Gyártói varrat szintérkép [18]

A 18. ábra egy tompavarrat tesztelését mutatja be. Mint az az ábrán is látható a varrat kezdeténél az elkészített varrat minősége tökéletes, míg a varrat végéhez közeledve annak minősége jelentősen romlott. Az ilyesfajta színváltozás során a varrat átég és az anyag túl oldalán, mint rög jelenik meg (19. ábra). Az ilyen rögök képződését kerülni kell.



18. ábra Hegesztési varratesszt I. [saját]



19. ábra Hegesztési varratesszt II. [saját]

A **20. ábra** egy külső sarokvarrat tesztjét mutatja be. Mint ahogy az ábrán is látható, a megfelelő paraméterbeállításokkal a varrat színe a teljes varrathosszon fehér színű.



20. ábra Hegesztési varrateszt III. [saját]

Külső sarokvarratok esetében a találkozó élknél 50/50 vagy 70/30 arányú lemezátfedést kell alkalmazni, hogy a varrat a megfelelő kötést biztosítsa. A legmegfelelőbb varrat rádiusz elérése érdekében rendkívül fontos, hogy milyen beesési szögben áll a fúvókából érkező lézersugár a hegeszteni kívánt élhez képest. Ez a beesési szög 1,5 milliméter vagy annál vastagabb lemezek esetében 10° és 20° közötti értéknek kell lennie, míg a 1,5 milliméternél vékonyabb lemezek esetében egy tompább szögértéket – 45° körüli értéket – kell beállítani. Mivel a vékonyabb lemezek helyzetét nehezebb ellenőrizni, ezért a beesési szöget a felső lemez közepéhez képest kell beszabályozni. A **2. táblázat** ezeket a beállításokat szemlélteti.

2. táblázat Fúvóka és hegesztési varratok egymáshoz viszonyított szögei [18]

1,5 mm vagy ennél vastagabb lemezvastagság esetén	1,5 mm-nél vékonyabb lemezvastagság esetén

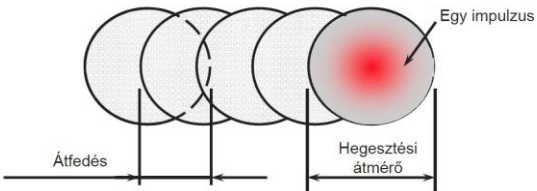
3.6 A robot lézerhegesztő programozása

A következőkben ismertetem, hogy a lézerhegesztő esetében miként történik a hegesztési varrat kialakítása, valamint az egyes hegesztési varratok a programozásban miként jelennek meg.

3.6.1 Hogyan hozza létre a varratot?

Ebben az alfejezetben a feltett kérdésre fogok választ adni. A robot hegesztő gép kétféleképpen tudja a hegesztési varratot elkészíteni, folyamatos hullámhosszt használva és impulzusosan (3. táblázat). A folyamatos hullámhossz esetében a fény folyamatosan mozog az anyag hegesztése közben, így nagy sebességű megmunkálást tesz lehetővé nagy hőmennyiség mellett. Impulzusos hegesztés közben a fénysugarat szakaszosan, lövésszerűen juttatja az anyagra és az egy impulzus által kibocsátott fénysugár átmérőjének a felével lépteti tovább a következő impulzushoz.

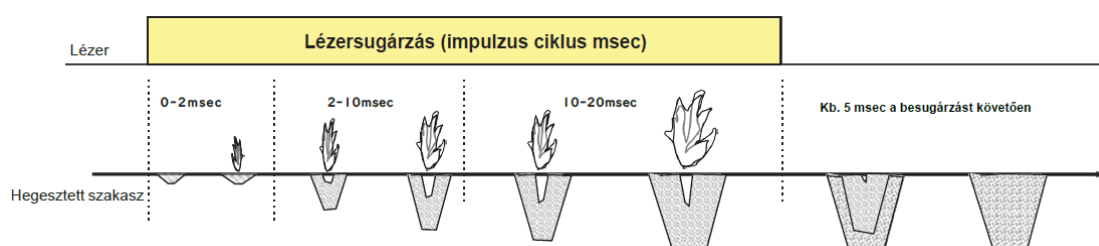
3. táblázat Folyamatos hullámhosszú és impulzus hegesztő rendszer [18]

Folyamatos hullámhosszú lézerhegesztő rendszer	Impulzus lézerhegesztő rendszer
	

A 21. ábra a lézerhegesztés előrehaladását mutatja be egy impulzusos hegesztési ciklus alatt. Egy ciklus ideje körülbelül 0,02 másodpercrek felel meg. A hegesztés kezdetén a lézersugár fókusz pontjában az anyag felülete elkezd párologni, ez nagyjából az első kettő milliszekundumban történik, mivel ekkor kap elegendő hőt. A hőenergiát az anyagban lévő elektronok rezgése hozza létre, mivel azok a fénysugár hullámhosszaira reagálva rezegni kezdenek. A következő nyolc milliszekundumban a párolgási reaktív erő kinyomja a hegesztett részt, ezáltal a lézerfény besugárzásának és visszaverődésének megismétlődésével a már létrehozott mélyedésbe újabb mélyedés keletkezik, egyfajta kulcslyukat hozva létre. A gyorsan elpárolgó fématomok taszítóerőt generálnak a hegesztett fém oldalán, amit párolgási visszaható erőnek nevezünk.

A következő tíz milliszekundumban amikor már a kulcslyuk kialakítása majdnem befejeződött, a hegesztési rész hője eléri az anyagot és a behatolási hő fokozatosan

tovább terjed. Az impulzus magasságának növekedésével arányosan nő, illetve mélyül a kulcslyuk is. Ezt a jelenséget fal fókuszáló hatásnak nevezik. Ilyenkor a lézerfény sugár visszaverődve a kulcslyuk faláról mélyíti tovább a már meglévő mélyedést. Körülbelül 5 milliszekundummal a besugárzás után a kulcslyuk azonnal bezáródik, és a lehűlőanyag a határfelületeken megszilárdul, ezzel létrehozva a hegesztési varratgyököt.



21. ábra Lézerhegesztés előrehaladása egy ciklus alatt [18]

3.6.2 Gépkódok a lézerhegesztésben

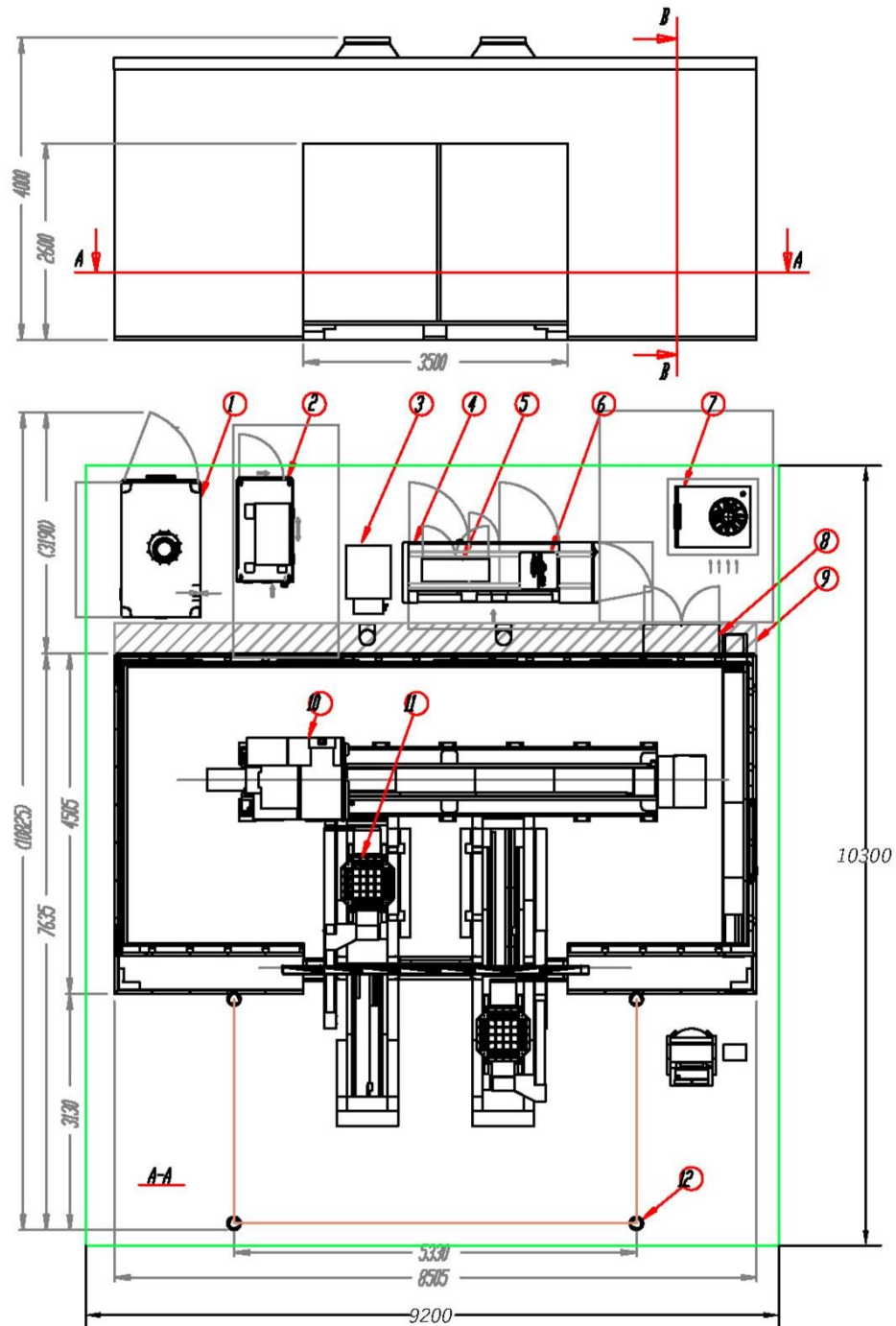
A következőkben a lézerhegesztés programozása során felmerülő gépkódokat fogom ismertetni. A gépkódoknak a hagyományosnak nevezhető esztergálás és marásnál megismert „G” jelölés helyett itt „E” jelöléssel vannak ellátva az egyes hegesztési eljárások. Az, hogy milyen fajta E számú eljárást használunk az anyagminőségétől és vastagságától függ. A 4. táblázat összefoglalóan tartalmazza az egyes E számú hegesztési eljárások megnevezéseit, a lézerfény sugár átmérőit, illetve a hegesztési eljárás célját.

4. táblázat Lézerhegesztés során használható gépkódok [18]

Sorszám	Megnevezés	Sugár átmérő	Felhasználási cél vagy megjegyzés
E1	Vékony varrat (szabványos impulzussal)	Közepes	Vékony lemezek hegesztése minimális torzulással
E2	Vékony varrat (kemény impulzussal)	Nagy	Sima hegesztett termék néhány összetett formával
E3	Nagy sebességű	Kicsi	Laphegesztés
E4	Szabványos	Közepes	Mély behatolású sarokhegesztés
E5	Lapos	Nagy	Sima felületeltű sarokvarrat
E6, E7	Üres		Szabadon programozható
E8	Alacsony sebességű lézersugár mozgatás	Közepes/Nagy	Nagyobb hézagok esetén alkalmazható
E9	Sugár mozgatás	Közepes	Sima hegesztett termék néhány összetett formával
E10	Sugár mozgatás hozaganyaggal	Közepes/Nagy	Sima hegesztett termék néhány összetett formával
E11	Sugár mozgatásos vágás	Közepes/Nagy	Sima hegesztett termék néhány összetett formával
E12	Adaptív hozaganyagos	Közepes/Nagy	Ha a rés nagyobb az adott helyen
E13	Vágás adaptív hozaganyaggal	Közepes/Nagy	Ha a rés nagyobb az adott helyen
E14 – 19	Üres		Szabadon programozható
E20/21/22	Vágás (Kicsi/Közepes/Nagy)	Kicsi	
E23/24	Ponthegeztés	Közepes	
E25/26	Üres		Szabadon programozható
E27-E30	Gyorshegesztés		

3.7 A hegesztőgép részegységeinek ismertetése

A teljes gép területigénye egy 10300 x 9200 mm-es téglalap formájú terület. Ezen a területen a gép működéséhez szükséges segédberendezések, valamint a biztonsági fénysorompók is megtalálhatók. A gép teljes magassága 4000 mm. A hegesztőgép elrendezési rajzát a 22. ábra tartalmazza.



22. ábra Lézeres robot hegesztőgép elrendezési rajza [14]

Az elrendezési rajzon található számozott egységeket a következő alfejezetekben ismertetem.

3.7.1 Herding COMP 1500 9/9 SB típusú porszűrőegység

A 22. ábra szerinti elrendezési rajzon az 1-es számmal jelzett berendezés a porszűrő készülék. Ez a készülék óránként 6000 köbméter levegő megsűrűzésére alkalmas. A szűrési folyamat a robosztus acélházon belül történik. A házon belül egy függőleges pozícióban elhelyezett réselt lemez osztja két gáztérre az egységet, így jön létre egy nyersgáztér és egy elülső tiszta gáztér. A Herding szűrőelemek vízszintesen vannak beépítve a tiszta gáztér oldalán. A 23. ábra a porszűrő egységet mutatja be. Befoglaló méretei (1,78m x 1,25m x 2,26m) miatt ez a legnagyobb berendezés.



23. ábra Herding COMP 1500 9/9 SB típusú porszűrőegység [saját]

3.7.2 Lézeroszcillátor

Ez az egység felelős a lézersugár létrejöttéért, ami a 22. ábra 2-es számával van jelölve. Befoglaló méretei a következők:

- szélessége 1,45 méter,
- mélysége 0,75 méter,
- magassága 1,39 méter.

A lézeroszcillátort általában a lézerbiztonsági burkolatán kívül helyezik el.

A következőkben az oszcillátor működését mutatom be. Egy dedikált lézerdiódából származó nagy fényerőjű fénysugarat injektálnak egy ytterbium-dopált lézerszálba. Az így kapott szálás lézersugarat a lézerhegesztő gépbe juttatja.

A hegesztési pontok ellenőrzésére, valamint a lézer oszcillátor beállítására egy látható zöld lézersugarat (diódalézersugarat) használnak.

A lézeroszcillátor és az optikai egységek hűtésére egy önálló vízkeringtető egység, egy úgynevezett hűtőegység van felszerelve az oszcillátorra. Az elektromos vezetőképesség, valamint a hűtővíz hőmérséklete szabályozva van. A 24. ábra az alkalmazott lézeroszcillátor szemlélteti.



24. ábra Lézeroszcillátor [saját]

3.7.3 C2EI L66117 gyártmányú transzformátor

A 22. ábra 3-as számával jelzett berendezés a transzformátor. Ez az egység felel a megfelelő áramellátásért. Befoglaló méretei a következők:

- szélessége 0,73 méter,
- mélysége 0,51 méter,
- magassága 1,50 méter.

3.7.4 Rendszervezrlő egység

A 22. ábra 4-es számával jelölt alegysége a rendszervezrlő (25. ábra). A rendszervezrlő feladata felosztani és vezérelni a lézerhegesztő gépet és annak kapcsolódó berendezéseit. A robot rendszervezrlője lehetővé teszi a robot programozott automatikus működését, valamint a robot kézi működtetését az AMNC vezrlőállványról.

A rendszervezrlő vezérli a lézeroszcillátort, lézerfűvókákat és a hűtőt, valamint felügyeli és vezérli a lézer biztonsági burkolatát, ezzel védve a kezelőt.

Az ADSS (távdiagnosztikai eszköz) lehetővé teszi az AMNC vezrlőállványtól származó, valamint a lézeroszcillátortól származó információk diagnosztizálását internetkapcsolat segítségével. Befoglaló méretei a következőképpen néznek ki:

- szélessége 2,61 méter,
- mélysége 0,80 méter,
- magassága 1,27 méter.



25. ábra Rendszervezrlő egység [saját]

3.7.5 Vezérlőszekrény tábla és légszárító egység

A vezérlőszekrény a rendszervezérlő egységen helyezkedik el. A 22. ábra ötös számával van jelezve az elhelyezkedése az elrendezési rajzon. A légszárító egység biztosítja a száraz levegőt a hegesztési területen. Erre azért van szükség, hogy az optikai rendszert megvédje a nedvességtől, ami abban károsodást okozna. Ez az egység a 22. ábra 6-os számával van jelezve és elhelyezkedését tekintve a rendszervezérlő egységen található meg.

3.7.6 KKT VBoxX 15B típusú hűtőegység

A hűtőegység a lézer biztonsági burkolatán kívül helyezkedik el. Ez az egység hűti a lézeroszcillátort, hogy az stabilan tudjon szálas lézersugarat kibocsátani. A hűtővíz a lézeroszcillátor, a lézerszál be- és kimeneti nyílásán és a lencsén keresztül kering. Az egység a 22. ábra 7-es számával van jelölve. A hűtőegység a 26. ábra szerinti képen látható. Befoglaló méretei az alábbiak:

- szélessége 1,00 méter,
- mélysége 0,80 méter,
- magassága 1,50 méter.



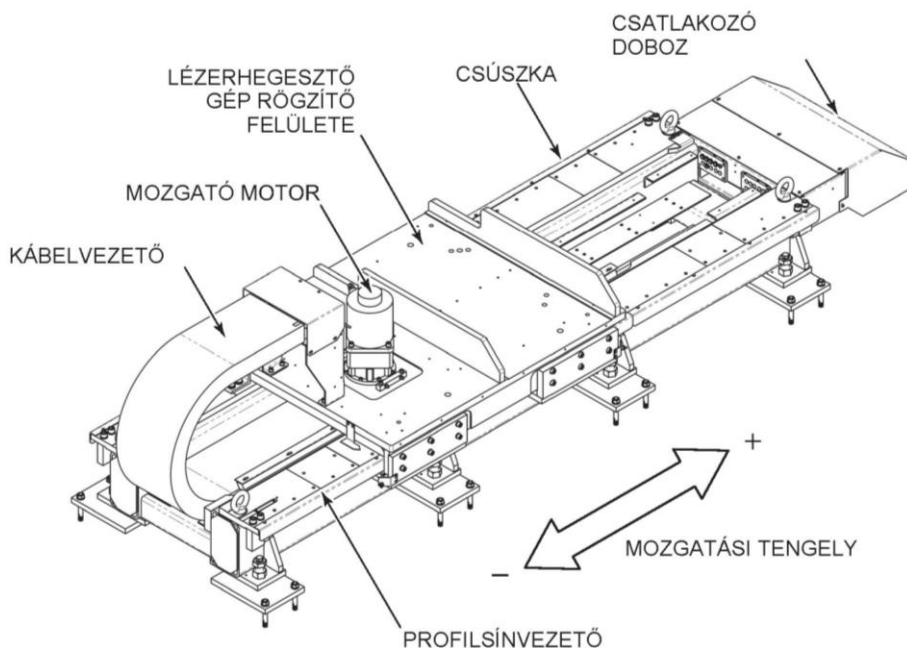
26. ábra KKT VBoxX 15B hűtőegység [saját]

3.7.7 Vezérlőszekrény, kábelcsatorna és biztonsági fényfüggöny

A vezérlőszekrény mely a 22. ábra elrendezési rajzán, 8-as számmal van feltüntetve, míg a kábelcsatorna a 9-es számmal. Elhelyezkedését tekintve a hűtőegység mellett találhatóak meg a hegesztőrobot falán. A biztonsági fényfüggöny a 22. ábra 12-es számmal jelölt biztonsági rendszer és célja, hogy biztosítsa a biztonságos munkateret a pozicionáló asztalok mozgásakor.

3.7.8 Robotkar sínrendszer

A lézerhegesztő robotkarját a lineárisan mozgó hegesztőkocsira rögzítik. A 22. ábra 10-es számával jelezett egység a sínrendszer. A kocsi egy csúszkán tud elmozdulni, a csúszkával párhuzamos tengely mentén. A kocsit a robotvezérlő vezérli, hogy az a megadott módon mozogjon. A kocsi és sínrendszer felépítését a 27. ábra szemlélteti. Az ismételhető pozicionálási pontossága $\pm 0,1$ mm. Mozgatási sebessége maximum 60 méter/perc lehet.

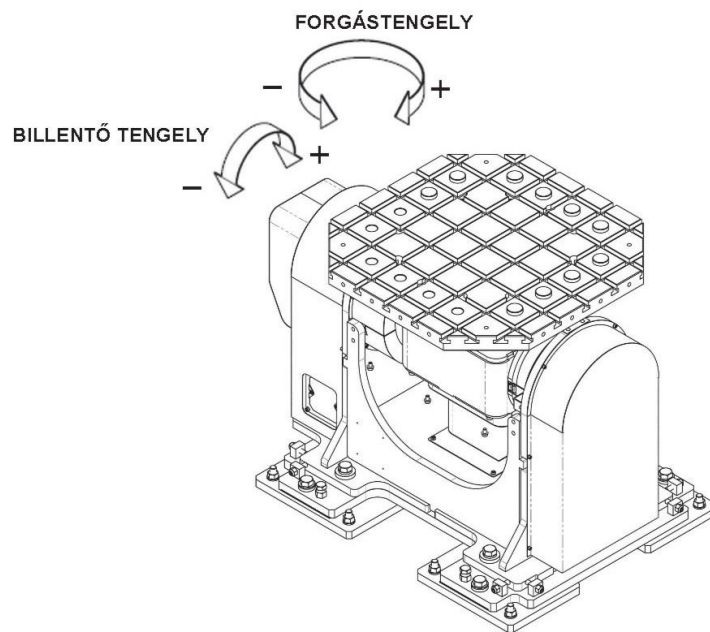


27. ábra Robotkocsi egység [16]

3.7.9 Pozicionáló asztal

A pozicionáló asztal megváltoztatja a munkadarab helyzetét az állványasztalhoz képest. Két tengellyel rendelkezik. Az egyik mentén forgómozgást, míg a másikkal billenő

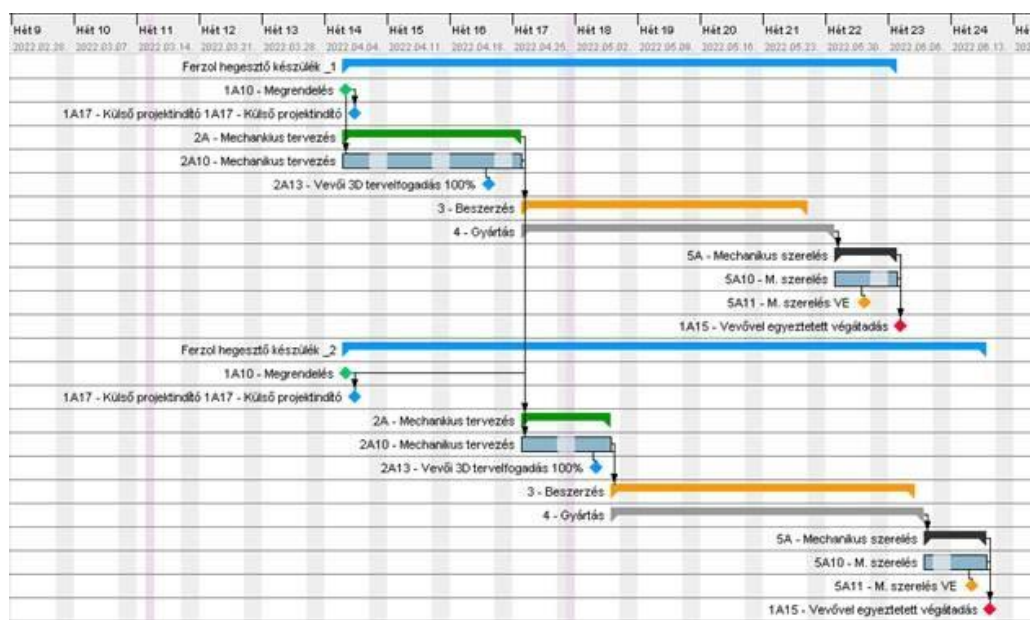
mozgásra képes. A pozicionáló asztalt a robotvezérlő vezérli. A robothoz hasonlóan a pozicionáló asztal is megtanítható a munkadarabok előre meghatározott pozícióba helyezésére. Az asztal 700 mm-es négyzet alapterületű és T-hornyokkal ellátott, amelyek a készülékek rögzítésére szolgálnak. Az elrendezési rajzon (22. ábra) 11-es számmal van jelölve a pozicionáló asztal elhelyezkedése a gép többi egységéhez képest. A 28. ábra a pozicionáló asztalt és annak mozgásirányait szemlélteti.



28. ábra Pozicionáló asztal [16]

4. Készülék a termékhez

A készülék tervezését és legyártását nem házon belül oldotta meg a Ferzol Kft., hanem egy külsős céget keresett meg. A külsős cégnek rövid határidőn belül és az előzetesen egyeztetett feltételeknek megfelelő készüléket kellett leszállítania, melyet teljesített is, ezzel nem okozott gondot a robot üzembehelyezési ütemtervében. A készülék Gantt-diagramban elkészített ütemterve a 29. ábra szemlélteti.



29. ábra Készülék ütemterv [17]

A készülék gyártásával szemben felállított követelmények:

- a hegesztőkészüléket úgy kell megtervezni, hogy az a pozicionáló asztalra integrálható legyen,
- a készülékbe helyezett munkadarabot kellő merevséggel és pontossággal pozicionálja, valamint rögzítse,
- a készüléket úgy kell kialakítani, hogy az semmilyen mértékben nem zavarhatja vagy akadályozhatja a robot mozgását, a hegesztés jó hozzáférhetőségét biztosítsa a megfelelő pontosságú pozicionálás és rögzítés mellett,

- a készülék kialakítása során biztosítani kell egy fix csatlakozó felületet, amely bázisként szolgál a készülékbe helyezett termék pozicionálásakor,
- olyan készüléket kell létrehozni, amely ellenáll a lézerhegesztés során fellépő körülményeknek,
- a készüléket olyan pozicionáló, ütköző, illetve szorító elemekkel kell ellátni, hogy a termék későbbi módosításai miatt fellépő változásokat a készülék le tudja követni azokat (szerelhető elemek),
- a készülék párnalemezeit egy síkba köszörülve készüljenek, valamint műanyag borítással legyenek ellátva, ezzel elkerülve a terméken keletkező karcokat.
- a készüléket megfelelő felületkezeléssel kell ellátni, hogy az a korrózióval szemben ellenálló legyen.

A készülékbe a terméket a gyártás során két ember helyezi be. Erre a termék súlya miatt van szükség. Előszereléskor távolságtartó lemezeket, úgynevezett hézagolólemezeket alkalmaznak az operátorok a termék készülékbe helyezésekor. Erre azért volt szükség, mert a munkadarab hajlítása során nem minden esetben képződik megfelelő hézag a találkozó lemezek között, emiatt azok finomhangolására használják ezeket a lemezeket. A 30. ábra a termékhez használt készüléket mutatja be.



30. ábra Szekrénytesthez gyártott készülék [saját]

5. Termék átalakítása a lézerhegesztőhöz

A következőkben bemutatom a szekrénytest átalakítási fázisait kezdve a kiindulási terméktől egészen addig a verzióig, amelyet már a lézer robothegesztő gépen gyártanak.

5.1 Szekrénytest alapváltozata

Ez a szekrénytest kiindulási állapota. A következőkben ismertetem a termék műveleti sorrendjét. A szekrénytest az életútját táblás lemez formájában kezdi, vagyis egy DC01 anyagminőségű 3000 x 1500 mm kiterjedésű, úgynevezett nagy tábla formájában, amelynek anyagvastagsága 1,2 mm. A terítéklemesz kialakítása egy TruMatic 6000-es kombinált lézer-stancgépen történik. Majd ezt követően egy KOHLER MFC-2199 görgős egyengetőgépen egyengetik ki a terítéklemest, mivel annak kialakítása során a lemez hullámossá válik. Ezután egy TruBend 5170 hajlító robotcellán kerül kialakításra a hajlított termék. A termék súlya miatt történik robot által a hajlítás. Ezt követő folyamat a hegesztés, amely CO hegesztési technológia alkalmazásával történt.

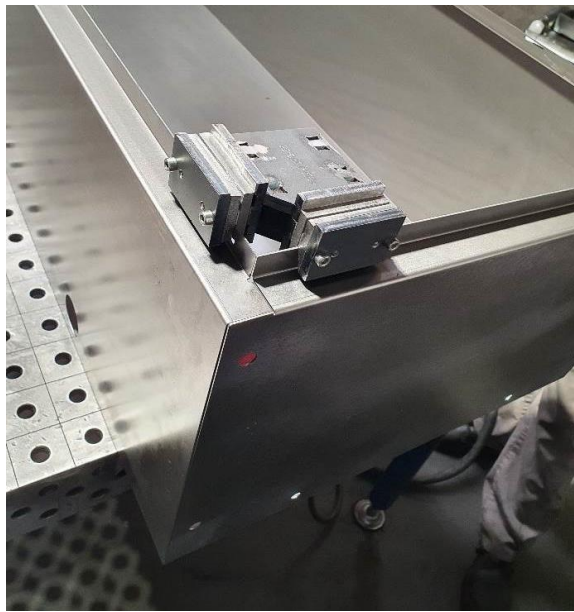
A következőkben a szekrénytest CO hegesztés műveleti lépéseit mutatom be. A hegesztő operátor első feladata, hogy a 31. ábra szerinti módon hézagmentesen illessze össze a termék alsó, illetve felső beépülő elemeit a középső elemmel. Az összeállítás során alkalmazni kell a sarkoknál egy az összeállítást megkönnyítő készüléket (32. ábra), mely által a beépülő elemeket hézagmentesen tudják egymáshoz helyezni.



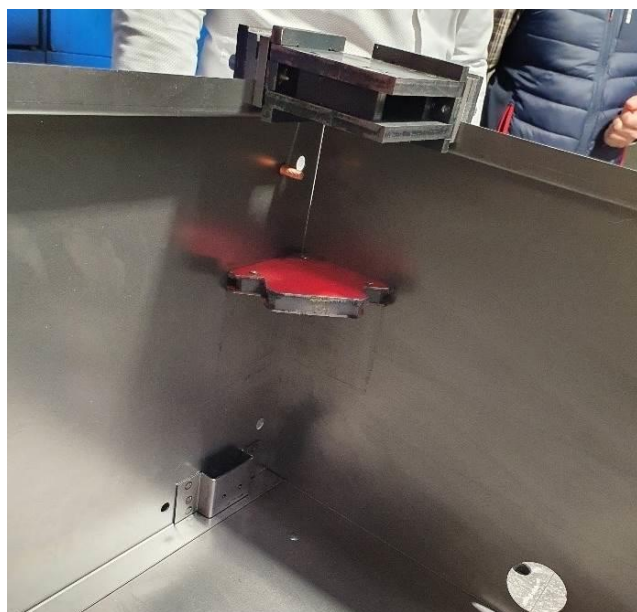
31. ábra Szekrénytest összeállítása [saját]

Az összeállítás során belülről rögzítő sarokmágneseket kell felhelyezni, amelynek köszönhetően elkerülhető a szekrénytest hasassá válása a hegesztési varratok mentén. A mágneseket és azok elhelyezését a 33. ábra mutatja. Az összeállítást követően a

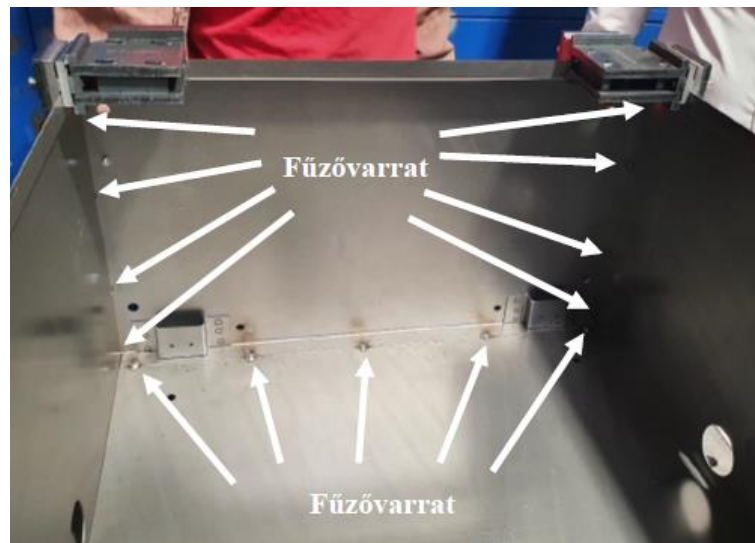
szekrénytest felső és alsó beépülőit fűzővarratok segítségével a felhajtások helyein belülről biztosítják azok hézagmenetes illeszkedésüket. Ezt követően a beépülőit és a szekrényvázat egymással fűzővarrat alkalmazásával néhány helyen összehegesztik (34. ábra), hogy a későbbi hegesztések során a hegesztendő élek szétnyílása elkerülhető legyen.



32. ábra Összeállítást segítő készülék [saját]

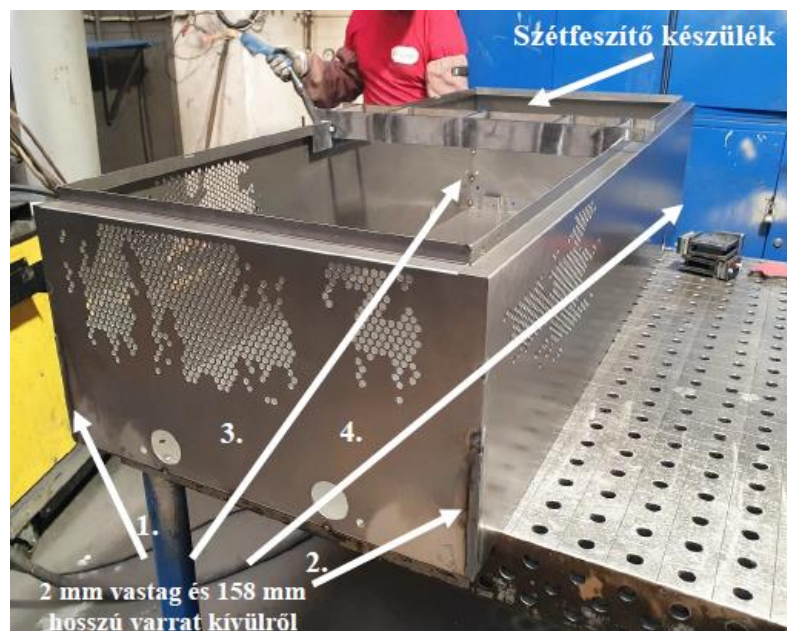


33. ábra Sarokmágnes elhelyezése [saját]



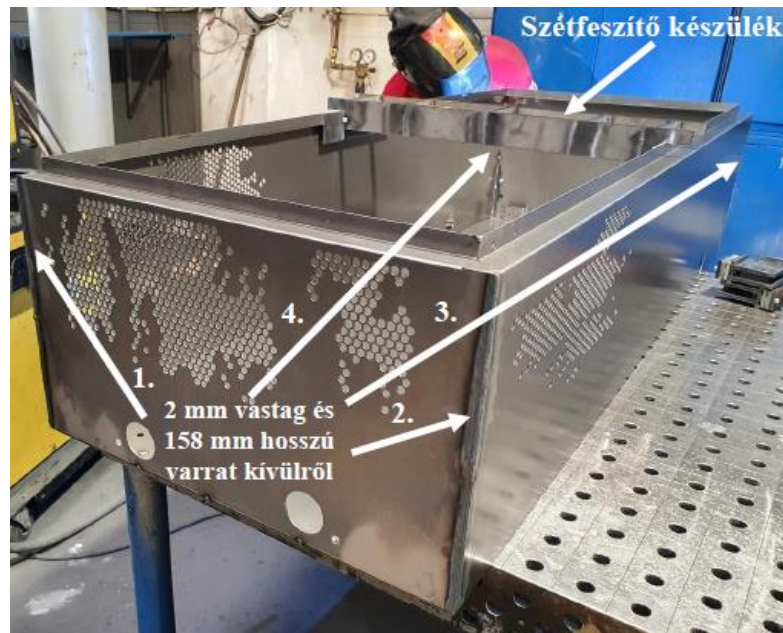
34. ábra Rögzítő fűzővarratok [saját]

Miután a felső és alsó beépülők rögzítése megtörtént, alkalmazniuk kell az operátoroknak egy olyan készüléket a termék közepén, amely azt szétfeszíti (35. ábra), valamint szigorú hegesztési sorrendet kell követniük. A CO hegesztés során olyan szintű hőhatás érte a szekrénytestet, hogy az deformálódott a szétfeszítő készülék nélkül.



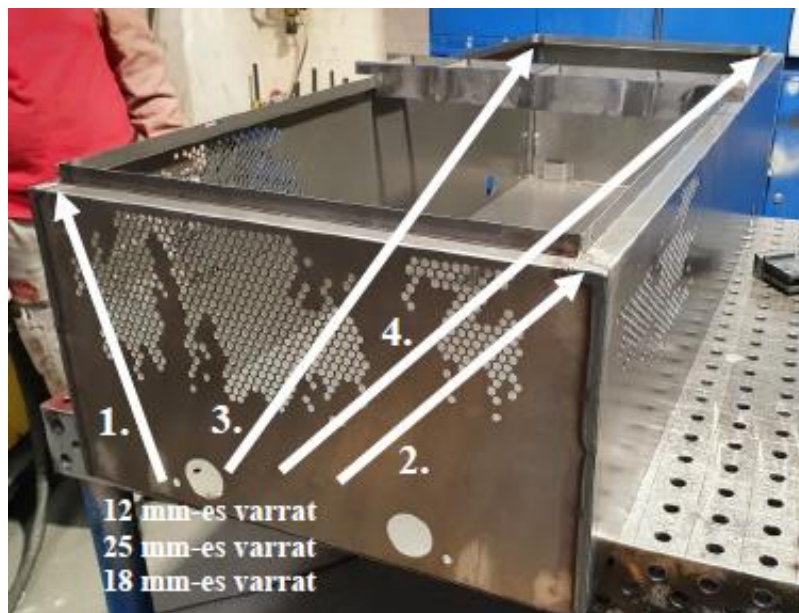
35. ábra Szétfeszítő készülék és hegesztési sorrend I.[saját]

Annak érdekében, hogy a termék minél jobban tudja tartani az alakját, valamint, hogy csökkenjen a varratok hőmérséklete, a hegesztendő éleket két részletben kellett hegesztetni, szigorú hegesztési sorrendet betartva (36. ábra).

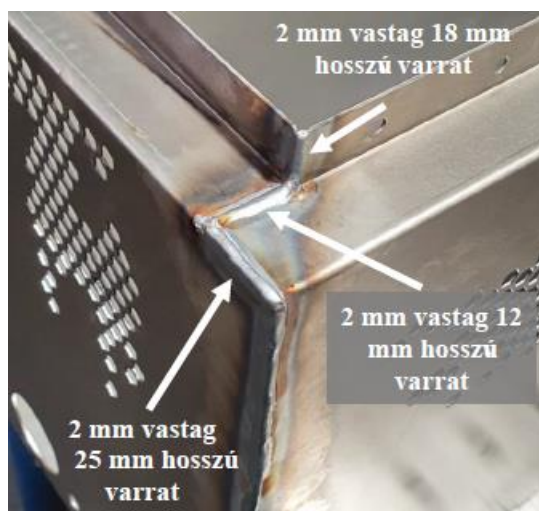


36. ábra Szétfeszítő készülék és hegesztési sorrend II.[saját]

Utolsó hegesztési lépésben a szekrény négy sarkán található rövidebb (12, 18 és 25 mm hosszú) varratok kialakítása történt meg, szintén egy szigorú hegesztési sorrendet betartva (37. ábra). A varratok részletesebb elhelyezkedését a 38. ábra szemlélteti.



37. ábra Rövid varratok hegesztési sorrendje [saját]



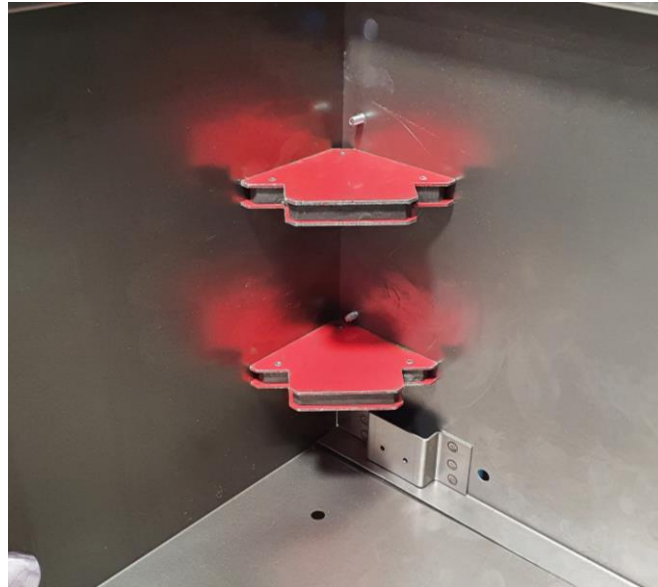
38. ábra Rövid varratok elhelyezkedése [saját]

A szekrény kialakítási folyamat következő lépése a hegesztési varratok lecsiszolása, amire esztétikai szempontból volt szükség. Végül a terméket a vevő által rendelt színűre festik le.

5.2 Szekrénytest első variációja

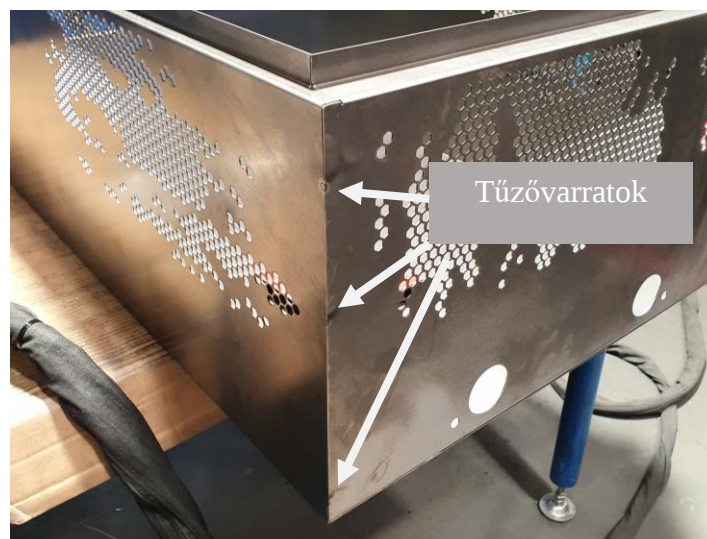
A következőkben a szekrénytestet érintő első nagyobb módosítását írom le. A termék alakjának elérésében nem történt változás, ennek a folyamata a már előzetesen kifejtett módon történt. A módosítás a hegesztés módját érintő technológiai változtatás volt. A varratok kialakítása az eddig CO védőgázos hegesztés helyett kézi lézerhegesztéssel történt. A lézeres hegesztés előnye az kiindulási hegesztési eljáráshoz képest az, hogy a varratok képzése során nem érte a szekrénytestet olyan mértékű hőhatás, hogy annak deformációja elkerülése érdekében szétfeszítő készüléket, valamint szigorú hegesztési sorrendet kelljen alkalmazni.

A következőkben az új hegesztési technológia miatt megváltozott hegesztési folyamatot írom le. Az összeállítás során, amelynél az alsó és felső beépülőelem hézagmenetes egymáshoz illesztése történik, ez már csak sarokmágnesek elhelyezésével történik (39. ábra).



39. ábra Sarokmágnesek elhelyezése lézerhegesztés esetén [saját]

Ezt követő művelet a hegesztési varratok mentén tűzővarratokkal történő megfogás (40. ábra), ezzel megakadályozhatóvá válik a beépülők és a váz egymáshoz viszonyított elmozdulása.



40. ábra Megfogatás [saját]

A minél pontosabb hegesztési varrat elérése érdekében, valamint a hegesztő operátorok munkáját megkönnyítésére szolgál az a készülék (41. ábra), amit felhelyezve a hegeszteni kívánt éllel párhuzamosan megvezeti a lézerhegesztő pisztolyt. Ezáltal

egyenletes hegesztési varrat érhető el. A készülékben kettő darab mágnes található, ami biztosítja, hogy az operátor a számára legmegfelelőbb helyzetbe tudja felhelyezni a termékekre azt (42. ábra).



41. ábra Lézerfej megvezető készülék [saját]



42. ábra Megvezető készülék és lézer hegesztőpisztoly egymáshoz viszonyított helyzete
[saját]

Az ilyen módon elkészített hegesztési varratokat mutatja be a 43. ábra.



43. ábra Kézi lézerhegesztéssel készült varrat [saját]

Mivel a módosítás csak a hegesztés módját érintő változás volt, emiatt a terítékképzés során keletkező rések (44. ábra pirossal kielemlt) feltöltése hozaganyag hozzáadásával történt (45. ábra).



44. ábra Terítékképzés során keletkező rések [saját]



45. ábra Hozaganyagos kézi lézerhegesztés [saját]

A hozaganyag által felöltött varrat a 46. ábra szemlélteti.



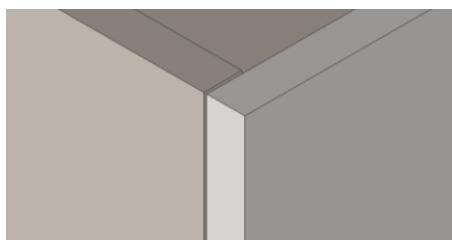
46. ábra Hozaganyaggal feltöltött rések [saját]

A varratok elkészítése után a varratok lemunkálása történik, amelyre a kiindulási terméknél már említett okok miatt van szükség.

5.3 Szekrénytest második változata

A következőkben a szekrénytestet érintő következő nagyobb módosítás folyamatát fogom ismertetni. A módosítás ebben az esetben is szintén a termék hegesztési technologizálását érintette, mivel a varratok képzése már a robot lézerhegesztő gépen történt.

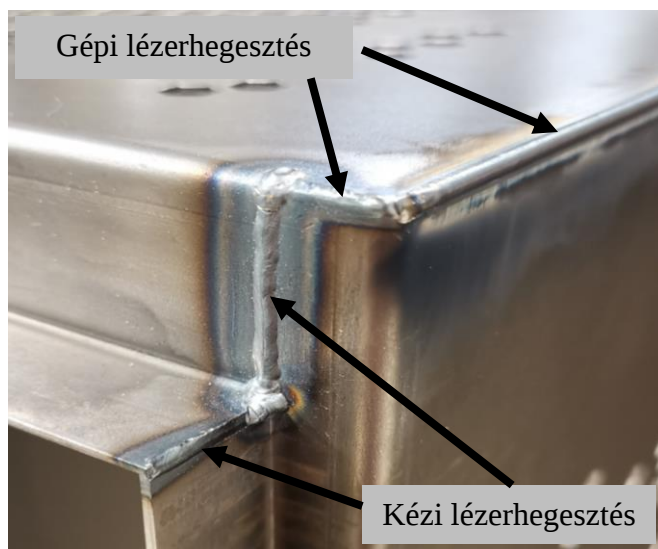
Az 4. fejezetben ismertet készülékbe helyezve hegeszthetővé vált a szekrénytest a robot lézerhegesztő gépen. Mivel a szekrénytest geometriáján nem történt változás, ezért azon a találkozó élek átfedése (47. ábra) teljes arányú, emiatt a lézerhegesztő gép nem tudott megfelelő hegesztési varratrádiust kialakítani.



47. ábra Találkozó élek átfedése [saját]

Emiatt ezeknek az éleken a varratképzés kézi lézerhegesztéssel történt. Ez a fajta vegyes hegesztési móddal előállított élkialakítást a 48. ábra szemlélteti.

Mivel a kézi lézerhegesztés folyamata nem ugyanolyan sebességgel történik, mint a gépi, emiatt a kézi hegesztés során jóval több hő kerül az anyagba, ami nagyobb hőhatási zónát eredményez. A jóval nagyobb területen kiterjedt hőhatási zóna szintén látható az ábrán.



48. ábra Vegyes lézerhegesztéssel előállított varratok [saját]

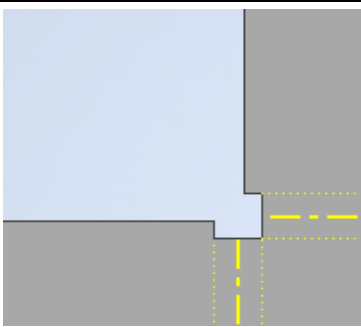
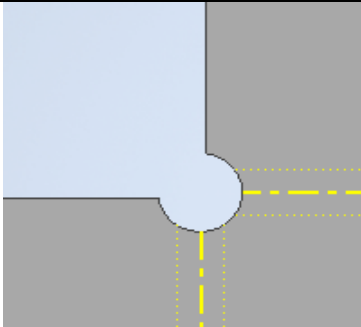
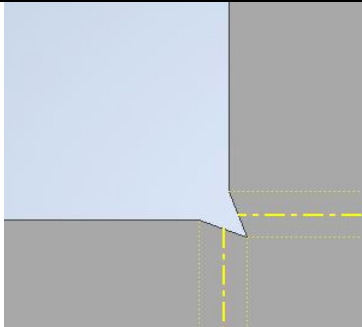
5.4 Szekrénytest harmadik variációja

Ebben az alfejezetben ismertetni fogom a szekrénytest harmadik variációját. Az itt történő változások már csak finomhangolásai annak a folyamatnak, hogy a termék zökkenőmentesen hegeszthető legyen a lézerhegesztő gépen.

A hagyományos hegesztési folyamatában a szebb hegesztési termék elérése érdekében a hegesztés után általában csiszolást és polírozást kell végezni. Az ezt követő folyamat nehézkes és időigényes, valamint a lemunkálási folyamat során könnyedén okozhatnak hegesztési deformációt vagy esetlegesen hegesztési varraton behatolást. A lézeres hegesztéssel azonban kisebb deformáció és szebb hegesztési varrat érhető el gyorsabb hegesztési sebesség mellett.

A lekerekített hegesztési varrat elérése érdekében optimalizálni kell a hagyományos hegesztési átfedés mennyiségét. A hagyományos hegesztési eljárásban általában a téglalap alakú vagy kerek sarokkönnyítő hornyokat használnak. Azonban az ilyen típusú sarokkivágási horony nagyon könnyen okozhatja a hegesztési behatolást vagy alulhegesztést a lézerhegesztés során. A sarokkivágási horony kialakításainak sematikus ábrái összefoglalóan az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat Sarokkivágás kialakítások [saját]

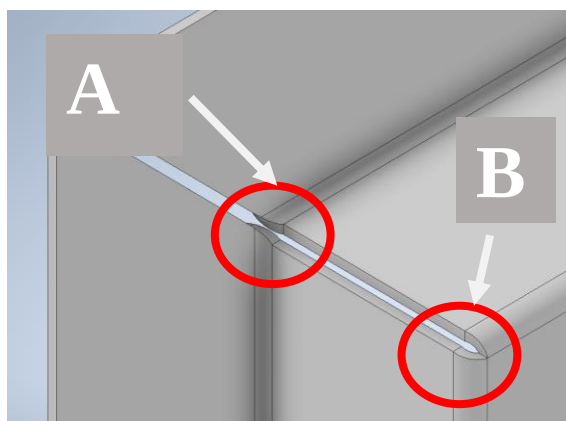
Négyszögletes sarokkivágás	Lekerekített sarokkivágás	Lézerhegesztéshez optimalizált sarokkivágás
		

A lézerhegesztés után nagyon teljes és kerek hegesztési hatás érhető el, szinte nincs szükség másodlagos kezelésre, ami jelentősen csökkenti a későbbi feldolgozás idejét.

5.4.1 45°-os éltalálkozás kialakítása a lézerhegesztéshez

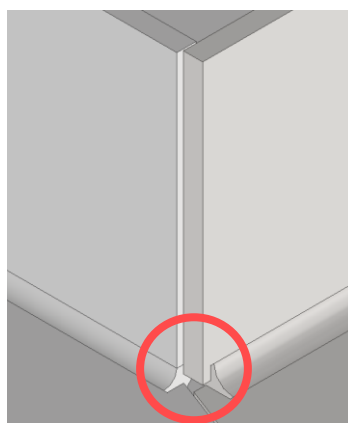
A lézerhegesztéshez optimalizált sarokkivágási kialakítás akkor a legkedvezőbb, ha a találkozó felhajtások 45°-os szögben állnak egymáshoz viszonyítva. Mivel így a

sarokpontokban létrejövő rések szélességének mérete a lehető legkisebb, bár még így sem megoldható a hozaganyag alkalmazásának elkerülése. A hajlításából eredő deformációk miatt nehéz szorosan összezární 45°-os szögben az éleket. Erre a problémára példa a 49. ábra szemléltet.



49. ábra 45°-os éltalálkozás felmerülő problémák [saját]

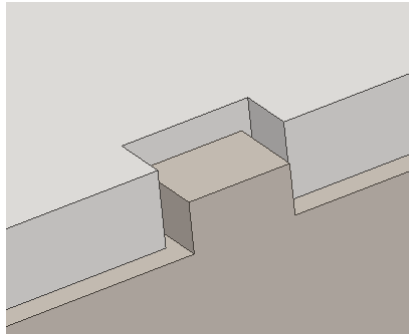
Az A-val, illetve B-vel jelzett területen nagyobb hézag keletkezik a hajlítás miatt, ami a lézeres hegesztésnél nehézséget okoz. Az ilyen területek következtében kell optimalizálni a terméket, ami már a tervezési szakaszban megtörtént, úgy kellett kialakítani a szekrény sarkait, hogy azok találkozásánál meg kellett hosszabbítani a lépcsős felületet, ahogy azt az 50. ábra is szemlélteti. A meghosszabbított felület a piros körrel kiemelt részen látható. Az ilyesfajta kialakításnak köszönhetően ki lehetett küszöbölni a fellépő anyagihiányt és ezáltal megszűnik a hézag.



50. ábra Módosított sarokkialakítás [saját]

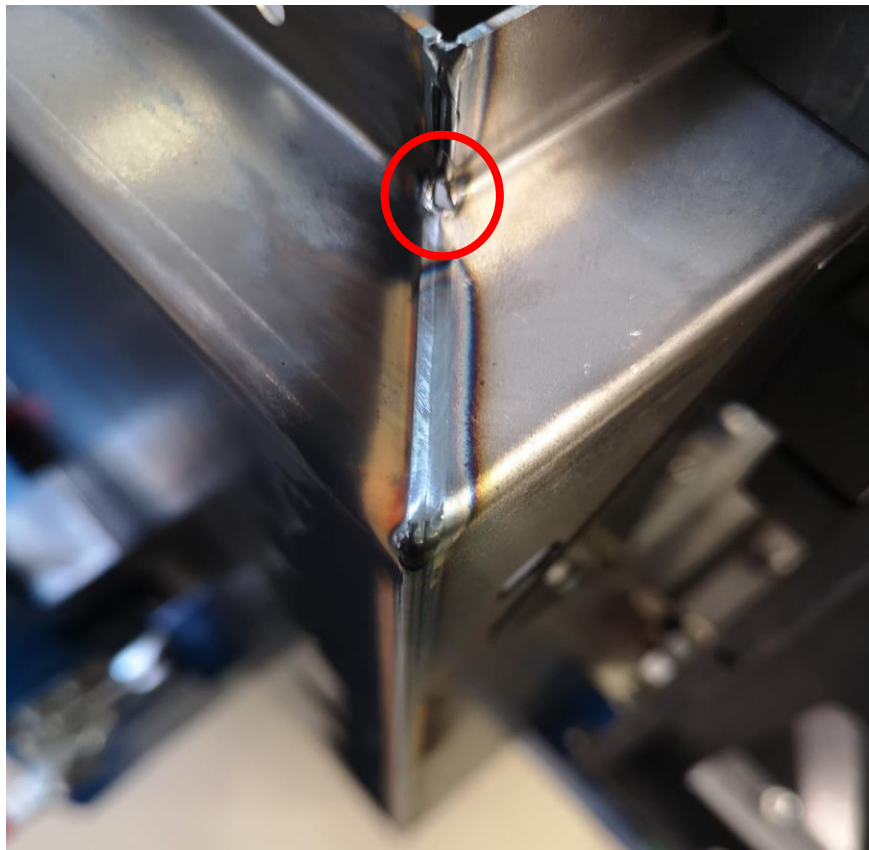
Ennél a verziónál a szekrénytest alsó és felső beépülőelemeit a vázéltalálkozásainál 70/30 arányban fedték egymást, ezáltal biztosítva az optimális hegesztési rádiusz kialakítását. A készülékben való pozicionálás megkönnyebbítése érdekében tájoló fülek

lettek kialakítva a hegeszteni kívánt hosszabb élek mentén (51. ábra). Ezek a fülek is követik a 70/30 arányos lemezél fedettséget.



51. ábra Tájolófülek [saját]

Sajnos az 50. ábra szerint módosított sarokkialakítás a gyakorlatban eltérően viselkedett az elméletben megtervezett hegesztéssel szemben. A hézagot a lézerhegesztő gép nem tudta áthidalni, még a lézersugár mozgatása mellett sem. Ezt az 52. ábra szemlélteti, a megmaradó hézag a pirossal körrel kiemelt részen látható.

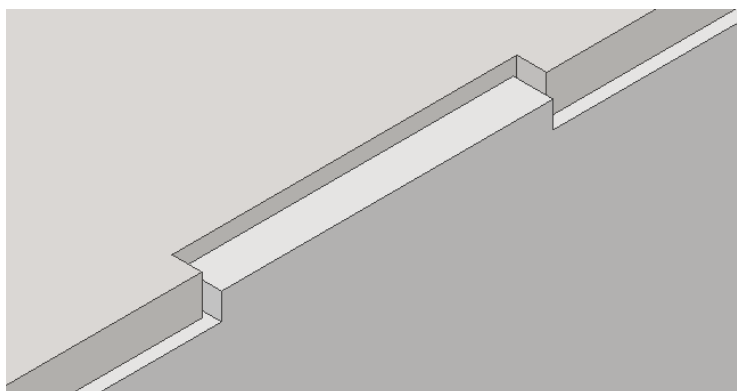


52. ábra Szekrénytest hibás lézerhegesztése [saját]

5.5 Szekrénytest negyedik változata

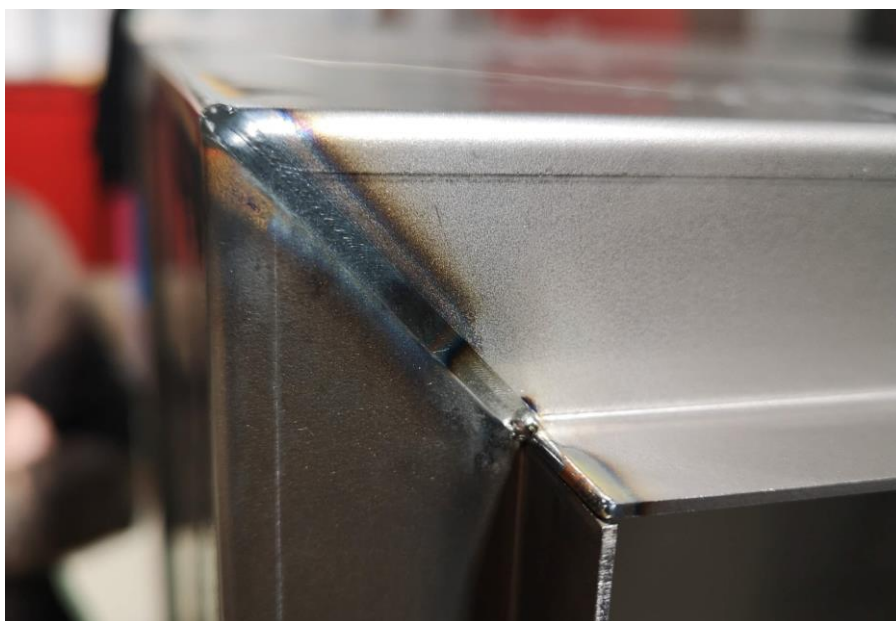
A következőkben bemutatom, hogy milyen finomhangoló módosítás történt a szekrénytest negyedik, egyben jelenleg is gyártásban lévő változatában. A már korábban ismerttetett gyártási folyamatban változás nem történt. A terméket érintő változtatás a modellt érintette.

A módosítás a készülékben történő összeállítás megkönnyítésére szolgáló tájolófülek szélességi méreteinek megváltoztatása. Erre azért volt szükség, mivel a korábbi változatokban alkalmazott tájolófülek szélessége kicsinek bizonyult és lelassította az előszerelési folyamatot. A módosított tájolófüleket az 53. ábra szemlélteti.



53. ábra Módosított tájolófül [saját]

A jelenleg gyártásban lévő verzió gépi lézerhegesztéssel előállított hegesztési varratokat az 54. ábra mutatja be.



54. ábra Teljes gépi lézerhegesztés [saját]

6. Összefoglalás

A szekrénytest áttervezése során egy csapattal dolgoztam együtt. Azáltal, hogy a fejlesztéseket és a lézerhegesztő gép telepítési folyamatait közösen végeztük, folyamatosan fejlődtem én is. Megtanultam milyen egy csapat részének lenni, valamint milyen csapatban dolgozni.

Véleményem szerint a szakdolgozatom elérte a célját, mivel a termék újfajta gyártási technológiára történő fejlesztése a szakdolgozatom elkészültéig megtörtént. A szekrénytest legoptimálisabb kialakítása, valamint a gyártásának finomhangolásai még folyamatban vannak mivel ezek kitalálása egy jóval hosszabb időintervallumot felölelő fejlesztési munka.

Az új technológiával történő gyártásnak köszönhetően a lakatosüzem leterheltségét csökkentette, mert az így gyártott szekrénytesteken már nincs szükség a hegesztési varratok lemunkálására. Ezért a lakatosüzem kapacitása, illetve hatékonysága növekedett.

Összességében elmondható, hogy az új technológiára való áttérés és a szekrénytest fejlesztése során felmerülő problémákat sikerült megoldani. A csapattal való közös munka során sok tapasztalatot szereztem ezeken a területeken. Ezeket a későbbi szakmai fejlődésem során kamatoztathatom. Mindig igyekeztem a határidőket betartani, illetve a pontos, percíz munkavégzésre koncentrálni úgy, ahogy az egy mérnöktől elvárható.

7. Summary

I worked with a team to redesign the cabinet body. By working together on the development and installation of the laser welding machine, I was able to continuously improve. I learned what it is like to be part of a team and to work in a team.

My thesis has achieved its goal, as the development of the product to a new production technology was completed by the time, I finished my thesis. The most optimal design of the cabinet body and the fine tuning of its production are still in progress as figuring these out is a development work that spans a much longer time span.

Thanks to the new production technology, the workload in the locksmith's shop has been reduced, as the welds on the cabinet bodies produced in this way no longer need to be trimmed. Therefore, the capacity and efficiency of the locksmith's plant has increased.

Overall, the problems encountered in the transition to the new technology and the development of the cabinet body have been solved. Collaborating with the team has given me a lot of experience in these areas. I can use these in my future professional development. I have always tried to meet deadlines and to focus on accurate, meticulous work, as an engineer should.

8. Felhasznált irodalom

- [1] Dr. Béres Lajos – Dr. Gáti József – Dr. Gremesberger Géza – Dr. Komócsin Mihály – Dr. Kovács Mihály: Hegesztési Zsebkönyv, COKOM Mérnökiroda Kft. Miskolc, 2008.
- [2] Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: Hegesztéstechnika 1. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2010.
- [3] Artz Gusztáv – Lipóth András – Merksz István: Robotmanipulátorok. LSI Alkalmazástechnikai Tanácsadó Szolgálat, Budapest, 1988.
- [4] Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: Ívhegesztő robot alkalmazástechnikai jellemzői. XV. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Műszaki Tudományos Füzetek, EME, Kolozsvár/Cluj, 2010. 9-16.
- [5] Bagyinszki Gyula: A hegesztés robotosításának fogalmi háttere. Hegesztéstechnika XIX. évfolyam, 2008. 1. szám, 19-26.
- [6] Bagyinszki Gyula: Lézerek alkalmazásának technológiai és biztonságtechnikai szempontjai. XI. Nemzetközi és IV. GTE-MHtE-DVS Hegesztési Konferencia, Budapest, 2004. augusztus 23-26, 14-29.
- [7] Bauer Ferenc (szerk.): Robottechnika (Hegesztőrobotok). Budapesti Műszaki Egyetem Mérnöktovábbképző Intézet, Budapest, 1988.
- [8] Burik Géza: A hegesztőrobot kiválasztás főbb szempontjai – A szállítókkal szembeni elvárások. Hegesztéstechnika XIII. évfolyam, 2002. 2. szám, 61-63.
- [9] Farkas Attila: Szenzoralkalmazás a gépesített ívhegesztésnél. Hegesztéstechnika V. évfolyam, 1994. 2. szám, 23-33.

- [10] Móder Istvánné: Automatizálás és robottechnológia a hegesztésben. Műszaki Információs Iroda, Budapest, 1986.
- [11] Brenner András – Rakoncza László: Hegesztőkészülékek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
- [12] Schuöckre, Dieter: A lézeres hegesztés technikája. Gép XLII. évfolyam, 1990. 11. szám, November, 401-405.
- [13] Siegler András: Robotirányítási modellek. LSI Alkalmazástechnikai Tanácsadó Szolgálat, Budapest, 1987.
- [14] Layout_FLW ENSIS M5 TLC-4m_Variant1_2021-10_E (belső dokumentum intraneten található meg)
- [15] Specifications installation site FLW-3000 ENSIS, AMADA (belső dokumentum intraneten található meg)
- [16] OperatorsManual_FLW DX100 ENSIS_AMNC-3i_DW10905--B_EN PDF (belső dokumentum intraneten található meg)
- [17] KF-2022B190 (belső dokumentum intraneten található meg)
- [18] Welding_processing_outline_2019G (belső dokumentum intraneten található meg)
- [19] <https://docplayer.hu/25999829-Bagyinszki-gyula-bitay-eniko-hegesztestechnika-i.html> (Megtekintve: 2022. 10. 04. 19:22)
- [20] https://www.amada.eu/index.php?id=135&L=40&no_cache=1&MP=5-1353&mtm_campaign=BackLink2EUWebsite&mtm_kwd=FLW-ENSIS&mtm_source=GmbHWebsite&mtm_placement=OldWebsite (Megtekintve: 2022. 10. 31. 17:12)

- [21] <https://www.herding.de/products/filter-units/herding-comp/>
(Megtekintve: 2022. 11. 05. 19:52)
- [22] <https://www.manualslib.com/manual/1314483/Kkt-Chillers-Vboxx-8.html%20>
(Megtekintve: 2022. 11. 06. 14:12)
- [23] <https://epl.hu/amada-technologiai-bemutato/fiber-lezer-hegesztogepek/amada-flw-ensis-3000-m5/> (Megtekintve: 2022. 11. 13. 21:39)
- [24] <https://www.harsle.com/2-Secrets-About-Application-of-Sheet-Metal-Design-in-Laser-Welding-Box-Structure-id3933168.html> (Megtekintve: 2022. 11. 14. 7:47)
- [25] https://www.nive.hu/Downloads/Szakkepzesi_dokumentumok/Bemeneti_kompetenciak_meresi_ertekelesi_eszkozrendszerenek_kialakitasa/5_0220_012_101030.pdf
(Megtekintve: 2022. 11. 14. 15:18)
- [26] https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjUztSYzbT7AhUvgP0HHU-_BBMQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.amada.de%2Ffileadmin%2Fuse_r_upload%2FAMADA_Blechexpo_PM_2_FLW_ENSIS_en.docx&usg=AOvVaw0wsuQSRx6oiDyxB4U_miQt (Megtekintve: 2022. 11. 17. 7:53)
- [27] https://cdn.amada.eu/fileadmin/CentralData/AMADA-Marker/EN/Marker_2017_11_Winter.pdf (Megtekintve: 2022. 11. 17. 9:15)
- [28] <https://www.welding2000.hu/blog/ar-vedogazas-hegesztesek>
(Megtekintve: 2022. 11. 23. 8:51)

9. Ábrajegyzék

1. ábra A robotizált megmunkálás négy alapesete [2]	10
2. ábra Főmozgások variációi és a megvalósuló koordináta-rendszer [2]	12
3. ábra Robotkaroknál alkalmazott koordináta-rendszerek a) derékszögű, b) henger, c) gömbi, d) humanoid [2]	13
4. ábra A humán és számítógépes irányítás közötti párhuzam [10]	15
5. ábra Ütköző típusok [11]	20
6. ábra Egykarú és kétkarú szorítók [11]	21
7. ábra Emelőkaros és körhagyós szorítók [11]	22
8. ábra Kábelcsatlakozók [11]	22
9. ábra Lézersugár mozgatása [18]	24
10. ábra Nitrogén és argon védőgáz bündeles rendszerben [saját]	25
11. ábra Behordó asztal rendszer [saját]	25
12. ábra A robotkar és a behordó asztalok egymáshoz viszonyított helyzete [saját]	26
13. ábra Keskeny lézerfej [saját]	27
14. ábra Vízhűtéses koaxiális lézerfej [saját]	28
15. ábra 45°-ban döntött lézerfej [saját]	29
16. ábra Hegesztési varratellenőrző készülék [saját]	31
17. ábra Gyártói varrat szintérték [18]	32
18. ábra Hegesztési varrataszt I. [saját]	32
19. ábra Hegesztési varrataszt II. [saját]	32
20. ábra Hegesztési varrataszt III. [saját]	33
21. ábra Lézerhegesztés előrehaladása egy ciklus alatt [18]	35
22. ábra Lézeres robot hegesztőgép elrendezési rajza [14]	37
23. ábra Herding COMP 1500 9/9 SB típusú porszűrőegység [saját]	38
24. ábra Lézeroscillátor [saját]	39
25. ábra Rendszervezérlő egység [saját]	40
26. ábra KKT VBoxX 15B hűtőegység [saját]	41
27. ábra Robotkocsi egység [16]	42
28. ábra Pozicionáló asztal [16]	43
29. ábra Készülék ütemterv [17]	44

30. ábra Szekrénytesthez gyártott készülék [saját]	45
31. ábra Szekrénytest összeállítása [saját]	46
32. ábra Összeállítást segítő készülék [saját]	47
33. ábra Sarokmágnes elhelyezése [saját]	47
34. ábra Rögzítő fűzővarratok [saját]	48
35. ábra Szétfeszítő készülék és hegesztési sorrend I.[saját]	48
36. ábra Szétfeszítő készülék és hegesztési sorrend II.[saját]	49
37. ábra Rövid varratok hegesztési sorrendje [saját]	49
38. ábra Rövid varratok elhelyezkedése [saját]	50
39. ábra Sarokmágnesek elhelyezése lézerhegesztés esetén [saját]	51
40. ábra Megfogatás [saját]	51
41. ábra Lézerfej megvezető készülék [saját]	52
42. ábra Megvezető készülék és lézer hegesztőpisztoly egymáshoz viszonyított helyzete [saját].....	52
43. ábra Kézi lézerhegesztéssel készült varrat [saját].....	53
44. ábra Terítékképzés során keletkező rések [saját]	53
45. ábra Hozaganyagossal kézi lézerhegesztés [saját]	54
46. ábra Hozaganyaggal feltöltött rések [saját].....	54
47. ábra Találkozó élek átfedése [saját].....	55
48. ábra Vegyes lézerhegesztéssel előállított varratok [saját]	55
49. ábra 45°-os éltalálkozás felmerülő problémák [saját]	57
50. ábra Módosított sarokkialakítás [saját]	57
51. ábra Tájéolófülek [saját]	58
52. ábra Szekrénytest hibás lézerhegesztése [saját]	58
53. ábra Módosított tájolófül [saját]	59
54. ábra Teljes gépi lézerhegesztés [saját].....	59

10. Táblázatjegyzék

1. táblázat <i>Technikai paramétereket összefoglaló táblázat [23]</i>	30
2. táblázat <i>Fúvóka és hegesztési varratok egymáshoz viszonyított szögei [18]</i>	33
3. táblázat <i>Folyamatos hullámhosszú és impulzus hegesztő rendszer [18]</i>	34
4. táblázat <i>Lézerhegesztés során használható gépkódok [18]</i>	36
5. táblázat <i>Sarokkivágás kialakítások [saját]</i>	56