



**NEMZETI
KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM**
A HAZA SZOLGÁLATÁBAN

HADTUDOMÁNYI ÉS HONVÉDTISZTKÉPZŐ KAR
Katonai Műszaki Doktori Iskola

Dr. Farkas Attila

**A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA ALKALMAZÁSA AZ ÍVHEGESZTÉS
ROBOTOSÍTÁSÁBAN ÉS ANNAK GYAKORLATI HASZNOSÍTÁSA A KATONAI
JÁRMŰGYÁRTÁSBAN**

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS

Témavezető: Dr. Sipos Jenő PhD mk. ezredes

- Budapest, 2012 -

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	4
AZ ÉRTEKEZÉS CÉLKITŰZÉSEI:.....	9
HIPOTÉZISEK.....	10
AZ ALKALMAZOTT KUTATÁSI MÓDSZEREK.....	10
1. FEJEZET A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA ALKALMAZÁSÁNAK TERÜLETEI AZ ÍVHEGESZTÉSBN	11
1.1 MI AZ A MI? - A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA FOGALMA.....	11
1.2 ÁGENS SZEMLÉLET A MESTERSÉGES INTELLIGENCIÁBAN.....	12
1.3 A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA TERÜLETEI.....	13
1.3.1 Szakértői rendszerek.....	14
1.3.1.1 Szakértői rendszerek általános jellemzői.....	14
1.3.2 Robotika.....	23
1.3.2.1 A robotika a mesterséges intelligencia megközelítésében.....	23
1.3.2.2 A robotika klasszikus, alkalmazástechnikai megközelítése, a hegesztőrobotok helye a rendszerben.....	24
1.3.2.3 Az ívhegesztő robotok az ívhegesztés gépesítésének, automatizálásának rendszerében.....	25
1.3.2.4 Az ívhegesztő robotokhoz használatos szenzorok.....	29
1.3.2.4.1 Geometriaérzékelő optikai szenzorok.....	31
1.3.2.4.2 Folyamatérzékelő optikai szenzorok.....	38
1.3.2.4.3 Indukciós szenzorok.....	41
1.3.2.4.4 Érintéses geometriaérzékelő szenzorok.....	43
1.3.2.4.5 Folyamatérzékelő, belső paramétereket mérő szenzorok.....	45
1.4 AZ 1. FEJEZET ÖSSZEFOGLALÁSA, KÖVETKEZTETÉSEK.....	66
2. FEJEZET A VARRATKÖVETŐ ÍVSENZOR ALKALMAZÁSTECHNIKAI VIZSGÁLATA	67
2.1. AZ ÍVSENZOROK KINEMATIKAI JELLEMZŐINEK MEGHATÁROZÁSA.....	67
2.2. A KORREKCIÓS SEBESSÉG ÉS AZ ÍVSENZOR ALKALMAZÁSTECHNIKAI PARAMÉTEREK KAPCSOLATÁNAK MEGHATÁROZÁSA.....	70
2.3. A STABIL VARRATKÖVETÉSI FOLYAMAT KIALAKULÁSÁNAK KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA.....	74
2.3.1. A hegesztő áramerősség stabilitásának varrategyenetlenségre gyakorolt hatása.....	76
2.3.3. A hegesztőfej előredöntési szögének varrategyenetlenségre gyakorolt hatása.....	80
2.4. TERVEZŐ RENDSZER, A VARRATKÖVETŐ ÍVSENZOR ALKALMAZÁSTECHNIKAI PARAMÉTEREINEK MEGHATÁROZÁSÁRA.....	82
2.5. A 2. FEJEZET ÖSSZEFOGLALÁSA.....	85
3. FEJEZET GEOMETRIAÉRZÉKELŐ ÉRINTÉSES ELEKTROMOS SENZOR ALKALMAZÁSÁNAK VIZSGÁLATA TOMPAVARRATOK KERESÉSÉRE	86
3.1. HAGYOMÁNYOS KERESÉSI MÓDSZEREK.....	86

3.2. AZ ÚJ KERESÉSI MÓDSZER ELVE.....	87
3.3. A KÍSÉRLETEK CÉLJA.....	87
3.4. A KÍSÉRLETEK LEÍRÁSA.....	88
3.5. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK ISMERTETÉSE ÉS ÉRTÉKELÉSE	93
3.6 JAVASLAT A SZENZOR GYAKORLATI ALKALMAZÁSÁRA A KATONAI JÁRMŰGYÁRTÁSBAN.....	94
3.7 A 3. FEJEZET ÖSSZEFOGLALÁSA.....	98
4. FEJEZET KOMPLEX ROBOTTECHNIKAI SZAKÉRTŐI RENDSZER-MODELL	
ÍVHEGESZTÉS ROBOTOSÍTÁSÁHOZ.....	99
4.1 AZ ALAP-RENDSZER MŰKÖDÉSÉNEK BEMUTATÁSA	99
4.2. A KITERJESZTETT RENDSZER MŰKÖDÉSÉNEK BEMUTATÁSA.....	103
4.3. MEGJEGYZÉSEK.....	107
4.4 A 4. FEJEZET ÖSSZEGZÉSE	108
ÖSSZEGZÉS	109
ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	110
AJÁNLÁSOK	111
JAVASLAT A KUTATÁSI TÉMA FOLYTATÁSÁRA	111
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	112
IRODALOM.....	113
A ROBOTTECHNIKA TÉMAKÖRÉBEN KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓIM.....	126
RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE	131

BEVEZETÉS

Magyarország NATO csatlakozása nagy lehetőséget, ugyanakkor nagy kihívást is jelentett a magyar védelmi ipar számára. Azt hogy hazánk ennek a kihívásnak meg tudjon felelni, többek között a be kellett vezetni katonai minőségirányítási rendszert. A Magyar Minőség Társaság 2001-ben létrehozott Hon- és Rendvédelmi Szakmai Bizottsága is ezt segítette, mely 2002-ben konferenciát rendezett „MINŐSÉG A BIZTONSÁGÉRT” a magyar katonai beszállítók minőségirányításának gyakorlati kérdései címmel. A konferencia célja az volt, hogy a katonai beszállítóknak nyújtson gyakorlati segítséget a „Minősített NATO beszállítói” cím pályázásához, ezen belül is a többek között szakmai segítség nyújtása a AQAP¹ szerinti követelményrendszerek megismertetésében és egyértelmű értelmezésében, valamint a kapcsolatos szervezetfelkészítési tevékenységekben [1]. Az AQAP normatív dokumentumok szerint tanúsított minőségirányítási rendszer alapját az ISO 9001:2008 képezi. A katonai minőségirányítás követelményei azonban természetesen szigorúbbak, mint a polgári területen alkalmazottak [2].

A korábbi (2003. előtti) AQAP normatív dokumentumok meghatározó részét felváltó AQAP 2000 szerint a minőségirányítás olyan folyamat, amelynek résztvevői – közöttük jelentős szerepet betöltve az ipar – elősegítik a katonai képességek kifejlesztését, megteremtését és fenntartását a koncepció kialakításától a termék hadrendből való kivonásáig (megsemmisítésig). 2009. novemberétől fontos változás lépett életbe ezen a területen Magyarországon: a minősített NATO beszállítói határozat megszerzésének feltételévé vált a tanúsított AQAP minőségirányítási rendszer megléte [3].

A minőségirányítási rendszerek bevezetésének hazai elterjedésében komoly szerepe volt, és van ma is az autóipar fejlődésének, főleg a beszállítói kör bővülésének és fejlődésének köszönhetően. Az autóiparban használatos minőségirányítási szabványsorozatoknak is az alapját az ISO 9001 aktuális szabványai képezik [4], mely „Elősegíti és garantálja a termékek és szolgáltatások állandó kifogástalan minőségét, folyamatos fejlesztését és a vevői elégedettség növekedését, a vevői igényeknek való magasabb szintű megfelelést” [5]. Ahhoz, hogy a gyártás ezeknek az igényeknek meg tudjon felelni, olyan gyártó berendezésekre van szükség, melyek a magas szintű minőséget és megbízhatóságot technikai szinten teszik

¹ AQAP: Allied Quality Assurance Publications – katonai minőségirányítási rendszer, melynek normatív dokumentumai a NATO beszállítók nélkülözhetetlen követelményeinek számítanak.

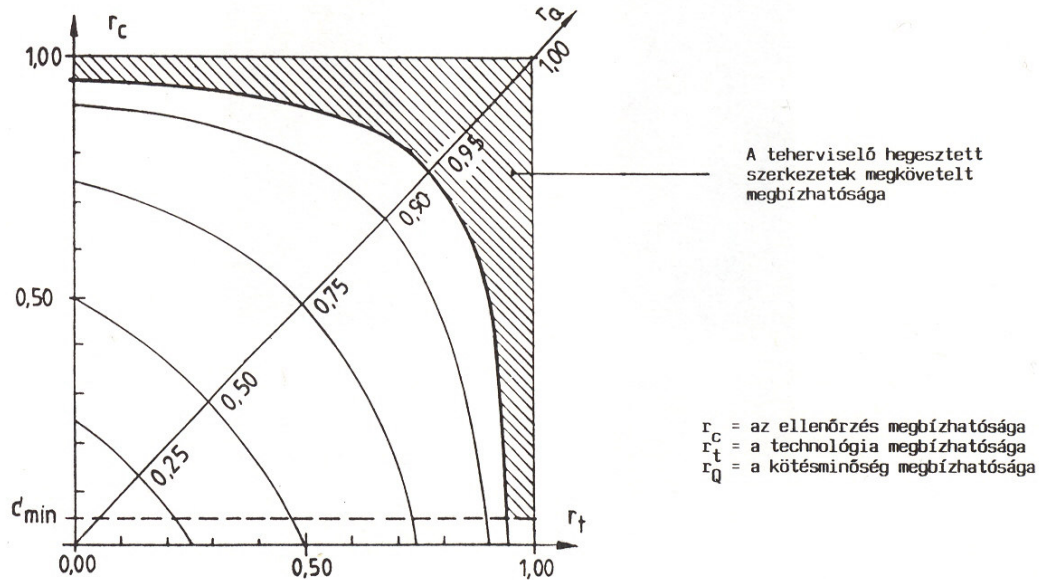
lehetővé úgy, hogy a hibalehetőségeket magában hordozó emberi tényezőt minimálisra csökkentik. Ilyen technikai eszköz az ipari robot.

A katonai eszközök hazai gyártásában fontos szerepet tölt be a katonai járműgyártás, mely jelentős múlttal is rendelkezik. A magyar katonai járműgyártás két fő központja a múlt században a Rába Gyár (korábbi neve a Magyar Vagon- és Gépgyár, mai nevén Rába Járműipari Holding Nyrt.) és a vele katonai járműgyártásban korábban szorosan együttműködő Csepel Autógyár volt² [7]. A hegesztés területén a robottechnika hazai bevezetésében mindkét cég úttörő szerepet játszott a nyolcvanas években. A Csepel Autógyár robottechnikai fejlesztésébe személyesen is volt lehetőségem bekapcsolódni abban az időben, a frissen beszerzett ívhegesztő robotok ívszenzorának alkalmazástechnikai vizsgálatával [8].

A Rábában a hátsóhíd programot 1964-ben indították el, és e termék gyártásában nagyon jelentős sikereket értek el, mely meghatározó termékévé vált a cégnek [7]. Bár a nyolcvanas évektől a kilencvenes évek végéig a Rábának alig volt katonai megrendelése, ez a helyzet a későbbiek során változott: ebben mérőföldkőnek számít, hogy a Honvédelmi Minisztérium által, a Magyar Honvédség gépjárműparkjának hosszú távú fejlesztése tárgyában kiírt pályázatát (terepjáró kategóriában) a RÁBA Jármű Kft. nyerte el 2003-ban [9]. Egy évvel később pedig a Futómű üzemeltető 5 éves keretszerződést írt alá az amerikai Marmon-Herrington Company-val saját fejlesztésű futóművek szállítására, az amerikai partner által gyártott terepjáró tehergépkocsikba. A szállított futóművek hasonló konstrukciójúak, mint amiket a Rába saját terepjáró gépkocsijaiba épít be [10]. A Rába Futómű Kft. ebben az időszakban hajtott végre jelentős technológiai fejlesztést a hídházak gyártásában. Ennek keretében robotosították a hídház, illetve a hídház karima plazmavágását, a karima fedél és karima hegesztését. Ebben a projektben a robotokat szállító cég vezető szakembereként vettem részt. Mindkét szállított robot típus rendelkezik adaptivitással, az ehhez szükséges szenzortechnikával. A plazmavágó robot magassági keresési és követési funkcióval, a hegesztőrobotok pedig kontakt elektromos keresőszennel és varratkövető ívszenzorral rendelkeznek. A robottechnika alkalmazásával jelentősen sikerült a hegesztés minőségén és megbízhatóságán javítani.

² A két cég termékeit nem csak a haza járműgyártásban, hanem nemzetközi szinten is jegyzik: egy-egy termékkel helyet kaptak a 2010-ben megjelent Katonai Jármű Világenciklopédiában [6].

A hegesztett kötés minőségének megbízhatóságát alapvetően a technológia és az ellenőrzés összekapcsolásával lehet jellemezni. Ezt a kapcsolatot [11] alapján igen jól kifejezi az **1. ábra**.



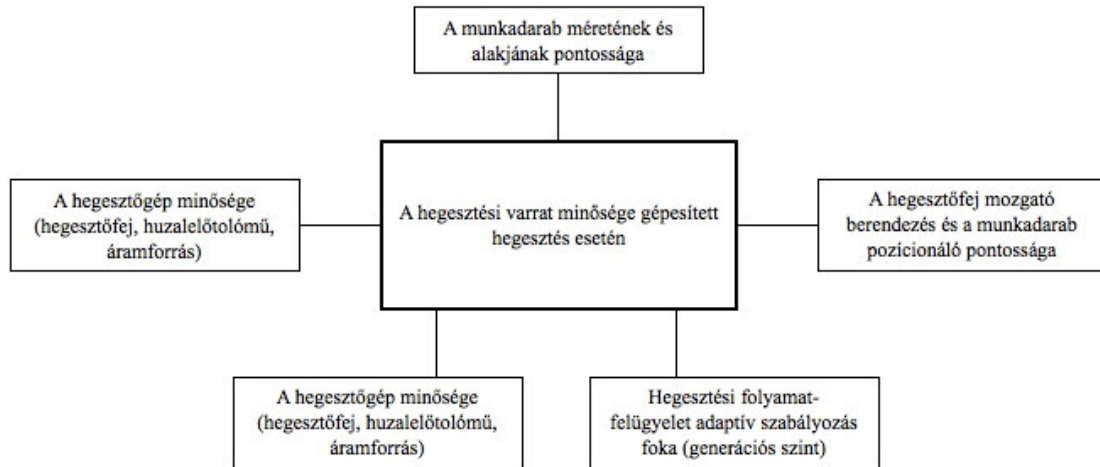
1. ábra. Az ellenőrzés megbízhatóságának, a technológia megbízhatóságának és a kötésminőség megbízhatóságának kapcsolata³

Az 1. ábra nagyon szemléletesen bemutatja, hogy amennyiben a technológia megbízhatóságát 90% fölé sikerül emelni, úgy a vizsgálatok mennyisége (amely megfelelően előkészített vizsgálati terv és gondosan végzett vizsgálati munka esetén arányos az ellenőrzés megbízhatóságával) jelentősen csökkenthető, ami tekintélyes költségmegtakarítást eredményezhet. A technológia megbízhatóságának ilyen számszerűsített értékéről természetesen csak gépesített hegesztés esetén van igazán értelme beszélni (az 1. ábrában valójában erről is van szó).

A továbbiakban, ha áttekintjük a gépesített hegesztés minőségét befolyásoló legfontosabb tényezőket [12] - melyek megfelelő technológiai paraméterek és hegesztőanyag alkalmazása mellett meghatározók - (l. **2. ábra**), megállapíthatjuk, hogy ezek egy része az előkészítés pontosságával kapcsolatos (a munkadarab méretének és alakjának pontossága, a kezelőszemélyzet munkája), másik részét alapvetően a hegesztő berendezés (hegesztő

³ [11]-ből átvett ábra

automata, robot) adaptivitási szintje [13] határozza meg. Azt, hogy a technológia megbízhatóságát egy adott esetben az előkészítés pontosságának fokozásával, vagy a hegesztő berendezés adaptivitási, generációs szintjének emelésével célszerű javítani, az adott hegesztési feladat műszaki és gazdaságossági elemzésével lehet eldönteni. A mesterséges intelligencia tudományának fejlődése és annak eredményei azonban egyre inkább teret engednek ez utóbbi megoldás műszakilag is egyre korrektebb és gazdaságos alkalmazásának.



2. ábra. A hegesztési varrat minőségét befolyásoló tényezők gépesített hegesztés esetén⁴

A hegesztőrobotoknál az adaptivitást különböző típusú szenzorok alkalmazásával lehet megvalósítani, melyekből az elmúlt évtizedekben rendkívül sokfélék fejlesztettek ki világszerte. Ezek közül az egyik leggyakrabban alkalmazott szenzor a varratkövető ívszenzor, amely működésének megfelelő beállítása azért komplex feladat, mert a szenzor az egyébként sok, a mérést zavaró körülményt tartalmazó hegesztési folyamatból nyeri azokat az információkat, melyek a robot on-line adaptív működéséhez szükségesek.

Az ívhegesztés robotosításában alkalmazott adaptív megoldások több tudományterület ismereteinek integrált alkalmazását igénylik. Ilyen szakemberből azonban kevés áll rendelkezésre, viszont a már elérhető technika gyakorlati alkalmazására egyre fokozódó igény jelentkezik, mely a robotok gyakorlati alkalmazási lehetőségeit szélesíti. Ennek a szükségnek a betöltését segíthetik a jövőben a szakértői rendszerek.

⁴ [12] alapján saját szerkesztésű ábra, szerzői fordítással

Mivel a katonai járműgyártás jellemzően nagyobb falvastagságú szerkezeti anyagokat használ, a hegesztés robotosítása során jellemzően felvetődik az adaptív rendszerek, a szenzortechnika alkalmazásának szükségessége. Ennek megfelelően az értekezésben olyan célokat tűztem ki, melyek ennek a területnek a kísérleti-tapasztalati feldolgozásával ad segítséget a téma hatékony gyakorlati műveléséhez.

Az értekezés célkitűzései:

- 1., Áttekinteni a mesterséges intelligencia alkalmazási lehetőségeit az ívhegesztés robotosításában.
- 2., Áttekintést adni az ipari robotoknál alkalmazott szenzorok különböző típusairól, melyek a robotok intelligens működését teszik lehetővé az ívhegesztés területén.
- 3., Kidolgozni egy olyan vizsgálati módszert, mely az ívhegesztő robotoknál leggyakrabban alkalmazott varratkövető ívszenzor paramétereinek előre tervezését teszik lehetővé.
- 4., Egy aktuális katonai járműgyártási projekt kapcsán megvizsgálni, hogy az ívhegesztő robotoknál varratkeresésre alkalmazott geometriaérzékelő érintéses elektromos szenzor alkalmazása kiterjeszhető-e tompavarratok keresésére.
- 5., Megvizsgálni annak lehetőségét, hogy az előző pontokban bemutatott módszerek felhasználásával a robottechnikában alkalmazott szakértői rendszer kiterjeszhető-e a szenzortechnika területére, összekapcsolva a mesterséges intelligencia két, egyébként önálló területét.

A kitűzött célok megvalósítása érdekében tanulmányoztam a téma nemzetközi és hazai szakirodalmát mind nyomtatott mind elektronikus források felhasználásával.

Kísérleteket végeztem a varratkövető ívszenzor alkalmazástechnikai paramétereinek a varratkövetésre gyakorolt hatásának meghatározása érdekében.

Kísérleteket végeztem az ívhegesztő robotoknál varratkeresésre használatos geometriaérzékelő érintéses elektromos szenzor általam bevezetni kívánt új keresési módszerének alkalmazhatóságára.

Az ívhegesztő robotok szenzorjainak alkalmazástechnikai kutatását 1985-ben a BME diplomatervező hallgatójaként kezdtem el, majd az MTA ösztöndíjasaként folytattam. Ennek keretében 2 hónapos tanulmányi úton vettem részt a Rostocki Egyetemen, ahol bekapcsolódtam az ott folyó szenzor-alkalmazástechnikai kutatásokba. Kutatásaim részeredményeit publikáltam neves nemzetközi és hazai konferenciákon, folyóiratokban.⁵

Egyetemi doktori értekezésemben lefektettem az alapjait egy általános kísérleti módszernek, mely a varratkövető ívszenzor alkalmazástechnikai jellemzőinek meghatározására alkalmas.

⁵ Saját publikációs jegyzék az értekezés végén található.

20 éve ápolok szoros kapcsolatot a Yaskawa-Motoman, a világ egyik vezető ipari robotgyártó cégével, melynek hazai képviselőjének vezető szakembereként az elmúlt 10 évben számos haza robotprojekt megvalósításában vettem részt. Ezeknek, illetve a cég szakembereivel való konzultációk tapasztalatait is felhasználtam munkám során.

Hipotézisek

1. Feltételezem, hogy lehetséges olyan alkalmazástechnikai vizsgálati módszert kidolgozni, mellyel az ívhegesztő robotoknál az adaptív működés biztosítására kedvezően használható varratkövető ívszenzor működési jellemzői értékelhetők.
2. Kidolgozható az 1. pontban megfogalmazott alkalmazástechnikai vizsgálatok eredményeire épülő módszer, mellyel az ívhegesztő robotoknál alkalmazott varratkövető ívszenzor paraméterei szakértői rendszer részeként tervezhetők
3. Feltételezem, hogy a geometriaérzékelő érintéses elektromos szenzor alkalmazását hatékonyan ki lehet terjeszteni tompavarratok keresésére is, amennyiben a szokásos, a rövidzárlat keletkezésének érzékelését ki tudjuk egészíteni a rövidzárlat megszűnésének érzékelésére is.
4. Amennyiben az előző hipotézisek igazolhatók, kidolgozható egy olyan komplex szakértői rendszermodell, mely ágens képességgel rendelkező ívhegesztő robotok alkalmazását is belefoglalva képes technológiai off-line megvalósításra, összekapcsolva a mesterséges intelligencia két területét: a robotikát és a szakértői rendszereket.

Az alkalmazott kutatási módszerek

A téma kidolgozása során az általános kutatási módszerek közül az analízist, szintézist, az indukció és kísérleti elemzés módszereit alkalmaztam. A szakirodalom feldolgozását két fő irányban folytattam: a szakértői rendszerek az alkalmazott robottechnikában, illetve az adaptív robotrendszerek, elsősorban hegesztési alkalmazásokra, és a két téma kapcsolódási pontjaira.

A varratkövető ívszenzor működési jellemzőit kísérleti úton, a korábbi kutatások eredményeit felhasználva kívánom feltárni.

A geometriaérzékelő érintéses elektromos szenzor tompavarratokhoz való alkalmazhatóságát kísérleti úton vizsgáltam meg.

1. FEJEZET

A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA ALKALMAZÁSÁNAK TERÜLETEI AZ ÍVHEGESZTÉSSEN

Az ívhegesztéssel kapcsolatban egyre több területen találkozunk a mesterséges intelligencia valamely alkalmazásával: így például a hegesztés robotosításában, a számítógépes folyamatrányításban, a számítógéppel segített hegesztés oktatásában, szakértői rendszerekben, mikroprocesszoros hegesztőgép vezérlésekben. Ezek közül két területtel fogok a következőkben részletesebben foglalkozni:

- Szakértői rendszerek
- Robotika

Míg a szakértői rendszerek egyértelműen a mesterséges intelligencia területéhez tartoznak, a robotikánál a szakirodalomban találkozhatunk műszaki, technikai (beleértve a hozzá tartozó matematikai apparátust is) és a mesterséges intelligencia szempontjából történő megközelítéssel. Kifejezetten az ívhegesztő robotok szakirodalmát több mint huszonöt éve nyomon követve és tanulmányozva arra a megállapításra jutottam, hogy ezen a területen döntő többségében műszaki, technikai megközelítésből tárgyalják a témát, bár az ívhegesztésben alkalmazott szenzoroknál találkozhatunk például a Fuzzy controllal, mint mesterséges intelligencia módszer alkalmazásával [14].

A következőkben először a mesterséges intelligencia azon alapismereteit tekintem át, melyekre a téma feldolgozása szempontjából építeni szeretnék. Ezt követően az ívhegesztésben alkalmazott szakértői rendszerekről készítek összeállítást, a robottechnikai alkalmazásokra fókuszálva. A robottechnika alkalmazását az ívhegesztésben úgy fogom áttekinteni, hogy abban integrálom a műszaki, technikai megközelítésre vonatkozó ismeretanyagot a mesterséges intelligenciában használatos megközelítéssel.

1.1 Mi az a MI? - A Mesterséges intelligencia fogalma

A mesterséges intelligencia egy viszonylag fiatal és univerzális tudományterület. Magát az elnevezést John McCarthy (később a LISP - a mesterséges intelligencia első programozási nyelvének [15] felfedezője) 1956-ban használja először [16]. A mesterséges intelligencia fogalmának meghatározását különböző megközelítésből végezhetjük. Evidensnek tűnik az intelligencia fogalmából kiindulni, mely az ember ítélőképességét, döntésképeségét, megértő képességét, egy helyzethez való alkalmazkodó képességét jelenti [17]. A mesterséges

intelligencia pedig ilyen módon az ember által alkotott, és bizonyos ilyen képességekkel rendelkező gép (számítógép), számítógépes program tulajdonsága. Vagyis: „Emberi intelligenciát megkövetelő feladatok számítógépes megoldásával foglalkozik”, de kölcsönhatásban van más, nem számítógépes tudományokkal (pl. pszichológia, filozófia, nyelvészet) is [18].

A mesterséges intelligencia talán legelterjedtebb megközelítési módját Russel foglalta össze. E szerint a mesterséges intelligencia definícióit négy kategóriába lehet sorolni [19]:

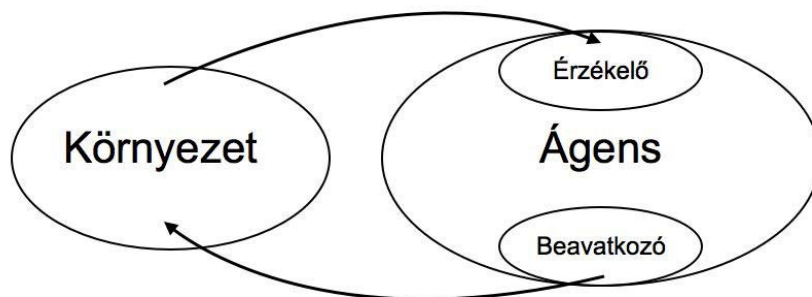
1. Emberi módon gondolkodó rendszerek,
2. Emberi módon cselekvő rendszerek,
3. Racionálisan gondolkodó rendszerek,
4. Racionálisan cselekvő rendszerek.

Ebből a szempontból az emberi megközelítés az emberi teljesítőképességhez viszonyít, a racionális pedig a mesterséges intelligencia ideális koncepciója, mely szerint egy rendszer akkor racionális, ha helyesen cselekszik.

A robotika szempontjából a következőkben a racionálisan cselekvő rendszerek megközelítést alkalmazzuk.

1.2 Ágens szemlélet a mesterséges intelligenciában

Ágens lényegében bármi lehet, ami a környezetét érzékelő(k) (szenzor) segítségével érzékeli, beavatkozó szerve(i) segítségével pedig megváltoztatja azt (**3. ábra**). Felépítését tekintve egy architektúrából (hardver) és szoftverből áll [20].



3. ábra: Ágens: érzékeli a környezetét és cselekszik.⁶

⁶ [20] alapján saját szerkesztésű ábra

Az ágens konkrét megvalósulási formáját tekintve lehet szoftverágens, vagy hardver/fizikai ágens [21]. Ez utóbbi lehet például egy ágens képességekkel rendelkező ipari robot is.

Az alapján, hogy az ágens az érzékelés után milyen program szerint fog a környezetbe beavatkozni, különböző típusú ágens programokat különböztethetünk meg [22]:

- *Egyszerű reflexszerű ágens* – jellemzője az egyszerű működés, csak belső szabályok vezérlik, előre kiszámított reakciók, feltétel-cselekvés szabályok szerint működik.
- *Ágensek, melyek nyomon követik a világot* – belső állapottal rendelkező reflex ágenseknek is nevezhetjük. A belső állapotot az előző észlelések befolyásolják. Az aktuális érzékelés az előző állapottal kombinálva hozza létre a jelenlegi állapot frissített leírását. Ezt az ágenstípust [23] az emlékező ágensként írja le.
- *Célorientált ágensek* – összehasonlítja a lehetséges cselekvések eredményeit, és azt választja, amelyik a legközelebb visz a cél eléréséhez. A mesterséges intelligencia módszerek közül a keresést és tervekészítést használják. Jellemzőjük a nagy rugalmasság.
- *Hasznosságorientált ágensek* – célállapotnak azt tekinti, ami hasznosabb az ágens számára. Ez az ágens hasznosságfüggvényekkel dolgozik, melyek segítségével határozza meg a nagyobb hasznosságú állapothoz vezető cselekvést.

Az ágensek viselkedésük alapján annyiban lehetnek *autonóm ágensek*, amennyiben viselkedésük nem csak beépített tudásukon alapulnak, hanem saját tapasztalataikra is építenek [24]. Ilyen módon az adaptivitás módjának és összetettségének megfelelően hegesztő robotok is tekinthetők különböző típusú ágenseknek. Az ívhegesztés robotosítása területén a többrétegű varratok adaptív követésének képességével rendelkező robotok a működési területükön tekinthetők autonóm ágenseknek, mert a gyökvarrat érzékelésénél megtanult pályainformációkat hasznosítják a következő rétegek hegesztéséhez [25]. Értekezésemben ívhegesztő robotok ágens viselkedési módjának jellemzőit fogom tanulmányozni.

1.3 A mesterséges intelligencia területei

A mesterséges intelligencia területeit többféle megközelítésben tárgyalhatjuk. Az egyik ilyen megközelítési mód két csoportra bontva tárgyalja a mesterséges intelligencia területeit [18].

- *A világi, hétköznapi problémákkal foglalkozó terület:*
ide tartozik a tervezés, a látás, a robotika⁷, a természetes nyelv.
- *A különleges tudást, képezést igénylő feladatok megoldásával foglalkozó terület:*
ilyen jellegű problémák számítógépes megoldásával foglalkoznak a szakértői rendszerek.

A tapasztalatok szerint a látszattal ellentétben a szakértői jellegű feladatok gépi megoldása sok esetben egyszerűbb, mint a hétköznapi tevékenység automatizálása, mert a szakértői rendszerek környezete és a problémaköre viszonylag jól lehatárolt.

A következőkben külön a szakértői rendszerekkel és a robotikával kapcsolatos ismereteket foglalom össze.

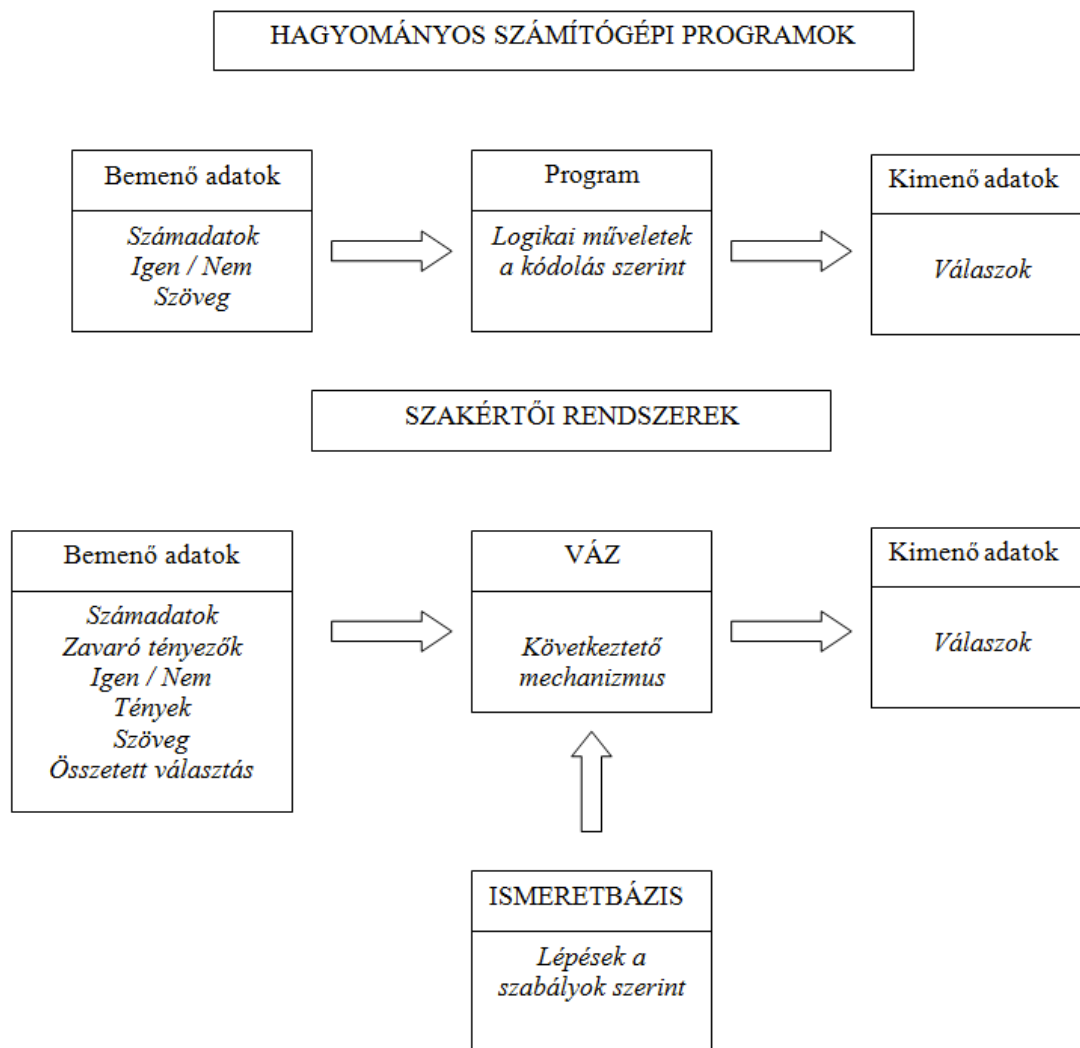
1.3.1 Szakértői rendszerek

1.3.1.1 Szakértői rendszerek általános jellemzői

A szakértői rendszerek meghatározására különböző definíciók ismeretesek, melyek közül az egyik legegyszerűbb Johnson, (1984) szerinti [26]: „Számítógépes rendszer, az emberi szakértői tevékenység szimulálására, amely a logikai következtetés szabályai szerint végez műveleteket az adott információkkal”.

A szakértői rendszerek olyan problémák megoldására képesek, melyekhez egyébként szakemberre lenne szükség [27], [28]. A hagyományos számítógépi programoktól alapvetően az különbözteti meg ezeket, hogy működésükben tudásbázisra építenek. A **4. ábra** szemlélteti, hogy mi a különbség a hagyományos szoftverek és a szakértői rendszer felépítésében [29].

⁷ Ebben az értelemben a robotika a környezetbe való beavatkozó képességet és mozgásképességet jelenti, nem elsősorban a klasszikus értelemben vett robottechnika kifejezést, bár a robottechnika ezeknek a feladatoknak az automatizálásával foglalkozik.

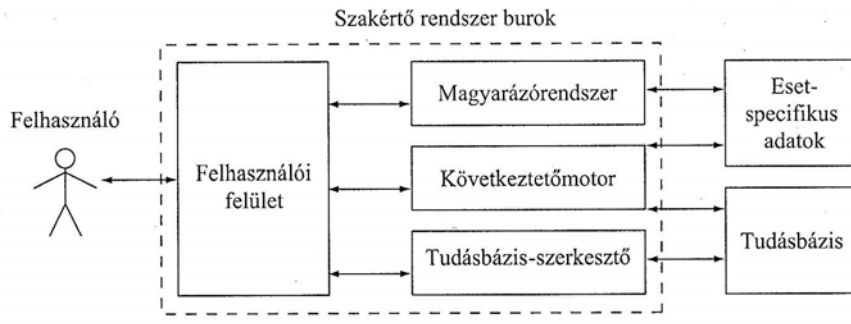


4. ábra. A hagyományos szoftverek és szakértői rendszerek felépítése.⁸

A 4. ábra szerint is látható fő különbség a mérnöki munkában is használatos hagyományos szoftverekhez képest, hogy a szakértői rendszerek általában összetettebb bemenő adatrendszerből képesek dolgozni, ismeretbázissal rendelkeznek, melyre alapozva, a rendszer analitikus képességének felhasználásával tud következtetéseket levonni. Bár részleteikben eltérhetnek egymástól, főbb szerkezeti felépítésük azonban általában hasonló. A felhasználó valamilyen felhasználói felületen kommunikál a rendszerrel (pl. szoftveres feleletválasztós menürendszer), a következtetést a tudásbázisban tárolt, illetve az eset-specifikus adatok alapján a következtetőmotor végzi. A magyarázó alrendszer feladata a következtetőmotor által hozott döntések megindokolása. A rendszer tartalmazhat tudásbázis szerkesztő modul is, mely

⁸ [29]-ből átvett ábra

segíti a tudásbázis hatékony továbbfejlesztését és ellenőrzését is. Az egyes modulok kapcsolatát az **5. ábra** szemlélteti [30].



5. ábra. Szakértői rendszer felépítése.⁹

A hegesztésben már évtizedek óta használnak különböző szoftvereket. Seiffarth és szerzőtársa részletes adatbázissal dokumentált összefoglalást készített ezekről [31], alkalmazási területek szerint a következő csoportba sorolva ezeket a szoftvereket:

- Hegesztéstechnológia
- Anyagkiválasztás és adatbankok
- Folyamatfelügyelet
- Robotvezérlések
- Adatkezelés és szabványosítás (minőségbiztosítás)
- Hegesztő képző központok adatkezelése
- Konstrukció és szilárdsági számítások
- Szimuláció
- Könnyűfém szerkezetek
- Egyéb kötési módok
- Termikus szórás
- Vágási eljárások
- Költségszámítások
- Tanulási és információs rendszerek
- Anyagtechnológia, anyagvizsgálat és törésmechanika
- Számítógépes rendszerek
- Egyéb szoftverek

⁹ [30]-ból átvett ábra

Ezeknek a szoftvereknek csak egy része minősül szakértő rendszernek (a korábban bemutatott ismérvek szerint különbséget téve az egyszerű szoftverek és szakértő rendszerek között). Az egyszerű szoftverek jelentőségét sem szeretném kisebbiteni, hiszen azok is lehetnek rendkívül hasznosak, és még csak azt sem lehet mondani, hogy egyébként a szakértői rendszerek feltétlenül minden esetben nagyon komplex és bonyolult rendszerek. Tehát valójában nem az egyszerűség vagy bonyolultság a lényeg, hanem az, hogy az adott szoftver megfelel-e a szakértői rendszerek fent ismertetett ismérveinek.

A DVS¹⁰ publikációs honlapján [32] számos letölthető, megvásárolható szoftver között több szakértői szoftver is áll rendelkezésre, melyek között talán a legösszetettebb a WELDWARAE [33], mely sokéves fejlesztőmunka eredményeképpen létrejött komplex hegesztéstechnológiai tanácsadó szoftver.

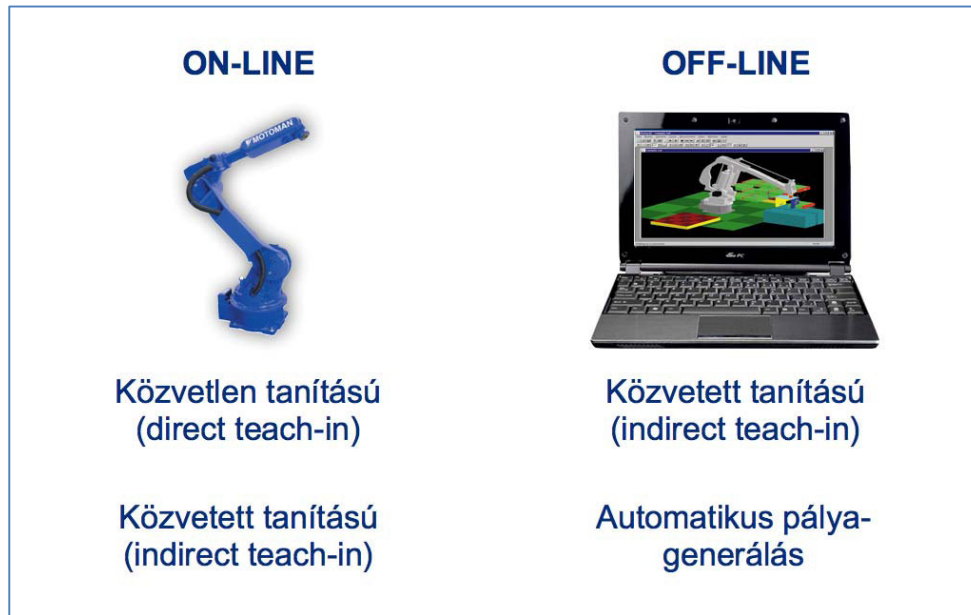
A hegesztés robotosításához kötődő szoftverek döntő mértékben off-line programozói szoftverek¹¹ [31]. Ezeknek a szoftvereknek az alkalmazása ugyan számos előnyt kínál a hegesztő robotok alkalmazásához pl. [34], döntő többségük azonban mégsem sorolható a szakértői rendszerek kategóriájába. Az off-line programozói szoftverek legtöbbször ugyanúgy kell használni, mint amilyen technikával programozzuk on-line módszerrel a robotokat: pontról pontra kell betanítani azokat a kitüntetett pontokat, melyeken keresztül kell majd a robotnak az egyes pontokban megadott (pontvezérlésű vagy valamilyen pályavezérlésű) pályán haladni. A különbség tehát alapjában véve abban van, hogy magát a robotot használjuk-e ezeknek a pályapontoknak a betanításához, vagy a robot szimulációs modelljét a szoftverben virtuális térben mozgatjuk, de ugyancsak kézzel megadva ezeket a pályapontokat. Ilyen módon ezeknél a szoftvereknél a legfőbb előny abban áll, hogy a programozás idejének legjelentősebb részében nem kell magát a robotot használni, mely a robotok kihasználtságát javítja. A teljes programozási idő azonban nem változik jelentősen [35].

¹⁰ DVS - Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. – Német Hegesztés és Rokon Eljárásai Szövetség

¹¹ Off-line programozás: az ipari robotok programozásának azon módszere, amikor a programozáshoz a programozási idő legjelentősebb részében nem a robotot használjuk, hanem számítógépen, szimulációs képességekkel rendelkező szoftver segítségével történik a programozás. Az így elkészült program átvihető a robot vezérlésébe. Bár egyre több helyen használják ennek rövidítésére az OLP-t, ennek használatával nem értek egyet, mert az on-line programozást is ugyanígy lehetne rövidíteni, így ez a rövidítés nem alkalmas ennek megkülönböztetésére.

Az off-line programozási módszernek másik változata, amikor a robot mozgását nem kézzel tanítjuk be, hanem automatikusan generáljuk a mozgáspályát. Annak ellenére, hogy ennek a programozásnak az elvét már egy 1994-es publikációban megtalálhatjuk [36], csak az utóbbi időben jelentek meg kereskedelmi forgalomba ezen az alapon működő off-line programozói rendszerek. Ezek a szakértői rendszerek alaptulajdonságait hordozzák magukon (de azért ezeket még nem lehet egyértelműen a szakértői rendszerek csoportjába sorolni). Ez legfőképpen abban mutatkozik meg, hogy automatizálni lehet a robot pályaprogram írását. Az egyik ilyen szoftver a RobotMaster [37]. A programozás ebben az esetben a CNC berendezéseknél megszokott módon történik. A szoftver a robot pályapontok sokaságát képes rendkívül rövid idő alatt generálni a 3D-s formátumban importált alkatrész felületére. Ebben az esetben tehát a szoftver dönt a robotkar-tagok mozgáspályájáról, melyet szükség szerint egyszerű grafikus felületen lehet módosítani a redundanciák és egyéb határfelületi problémák elkerülése érdekében. Az off-line programozás ezen új módszere nem csak a robotok programozás-technikájában jelent újdonságot és előrelépést (legfőképpen a programozási idő csökkentésével és egyszerűsítésével), hanem az ipari robotok alkalmazási lehetőségeit is kiszélesíti (bővebben lásd. pl. [38]-ban). Ez az off-line programozási módszer tette lehetővé a robotokkal történő 3D-s megmunkálást, illetve hatékonyra a felületi bevonatok készítésének robotosítását (pl. festés, termikus szórások). Ez a programozási technika kiterjeszti a robotok gazdaságos alkalmazhatóságát akár az egyedi gyártás irányába. A szoftver származásából adódóan elsőként a 3D-s megmunkálásra fejlesztettek jól használható modult, azonban egyre több alkalmazásra testreszabott alkalmazás jelenik meg napjainkban. Várhatóan hamarosan megjelenik az ívhegesztési alkalmazásra optimált modul is.

Az előző bekezdésben ismertetett új programozási módszerrel módosítani szükséges az ipari robotok programozási módszereinek eddig ismeretes csoportosítását a **6. ábra** szerint.



6. ábra. Az ipari robotok programozásának módszerei¹²

Ennek a csoportosításnak tehát az új eleme, hogy az off-line programozás területén is megkülönböztethetünk két programozási módot, bevezetve az automatikus pályagenerálás módszerét is.

Az előzőekben bemutattam, hogy a robotok programozásának fejlődése hogyan szélesíti a robotok alkalmazásának lehetőségét különböző irányokban. Ugyanakkor létezik a fejlesztésnek egy másik irányú mozgató rugója is: újabb robotalkalmazások is generálnak olyan fejlesztéseket a robotprogramozás területén. Erre példa a távoli lézer hegesztés. Ennek az eljárásnak a lényege az, hogy a lézerhegesztéshez egy olyan fejet használunk, melyben a lézer sugarat tükrök segítségével irányítjuk, ami a lézersugár sokkal gyorsabb mozgását teszi lehetővé, mint amit a hagyományosan, a robotcsuklókkal mozgatott lézerfejekkel meg lehet valósítani. Ezt a vezérelt tükröket is tartalmazó viszonylag nagyobb méretű lézerfejet a hagyományos fejekhez képest lényegesebb messzebb, több, mint 500 mm magasságban mozgatjuk a robottal a hegesztendő darab felett (innen származik az elnevezés) [39]. Ehhez az eljáráshoz fejlesztettek ki speciális programozási technikát [40], illetve hegesztési sorrend tervező rendszert, melyekben mesterséges intelligencia módszereket is alkalmaznak [41].

A robottechnika területén találkozhatunk olyan szakértői rendszerrel is, mely robottervezésre szolgál: SCARA¹³ típusú robotok iteratív tervezése valósítható meg segítségével [42].

¹² Saját szerkesztésű ábra

Az ívhegesztés robotosíthatóságának vizsgálatával kapcsolatban, a téma jelentősége ellenére alig találni szakértő rendszert. Viszont az ezen a területen a kijevei Paton Hegesztési Intézet munkatársai által még 1985-ben [43], illetve ennek Dr. Brenner András általi magyar fordításában 1986-ban publikált [44] szakértő rendszer leírása úttörő jelentőségű anyagnak számít. A hegesztetett szerkezetek robottal történő ívhegesztéséhez kilenc jellemzőt vizsgál:

1. A gyártás munkaigénye, a gyártási program
2. A munkadarab méretei és tömege
3. A robotvezérlés kapacitása
4. Huzalcsere szükségessége
5. Kötések jellege
6. Hegesztési helyzet
7. Varratok megközelíthetősége
8. Varratvonal megengedhető eltérései
9. Hegesztett kötés minőségi jellemzőinek várható eltérése

Ha ezeket a jellemzőket a technika mai fejlettségi szintjén vizsgáljuk, akkor egyrészt néhány jellemző vizsgálata elhagyható (pl. 3. és 4.)¹⁴, másrészt az egyes pontok kiértékelésének módját is szükséges aktualizálni. A rendszer működésének alap gondolata azonban mindenképpen jól használható. A rendszer tanulmányozása során megállapítható, hogy abból az esetből indulnak ki a szerzők, hogy egy cég meglévő robotját (vagy robot rendszereit) mennyire lehet különböző gyártmányokhoz használni.

A szerzőtársaimmal, két évvel ezelőtt kidolgozott szakértői rendszer alapvető megközelítési módja inkább az, hogy adott gyártási képességek mellett a vizsgált munkadarab hegesztése nagy valószínűséggel végezhető-e robottal [46].¹⁵ Bár az előző bekezdésben bemutatott és az általunk összeállított rendszer mutat hasonlóságot, az általunk kidolgozott rendszert

¹³ A SCARA (Selective Compliant Assembly Robot Arm or Selective Compliant Articulated Robot Arm), jelentése szelektív alkalmazkodó összeállító robotkar vagy szelektív csuklós összeállító robotkar. Több párhuzamos csuklótengelyt tartalmazó gyors mozgásokra képes robotkar típus. Főleg kisebb tömegű alkatrészek gyors mozgására, szerelésre használatos.

¹⁴ A 3. pontban említett memória kapacitás a számítástechnika fejlődésével manapság már nem jelent korlátot, a 4. pontban szereplő huzalcsere igénye pedig egyrészt viszonylag ritkán fordul elő a gyakorlatban, másrészt van már olyan technikai megoldás, mely gyors huzalváltást tesz lehetővé [45].

¹⁵ A [45]-ben bemutatott anyag előzménye Paszternák Gergely 2009-ben készített szakdolgozata [47], melynek konzulense voltam másik szerzőtársammal Dr. Palotás Béla docens úrral. A szakdolgozat készítése során főleg a feltételrendszer egyes pontjainak kialakításában tanácsoltam Paszternák urat.

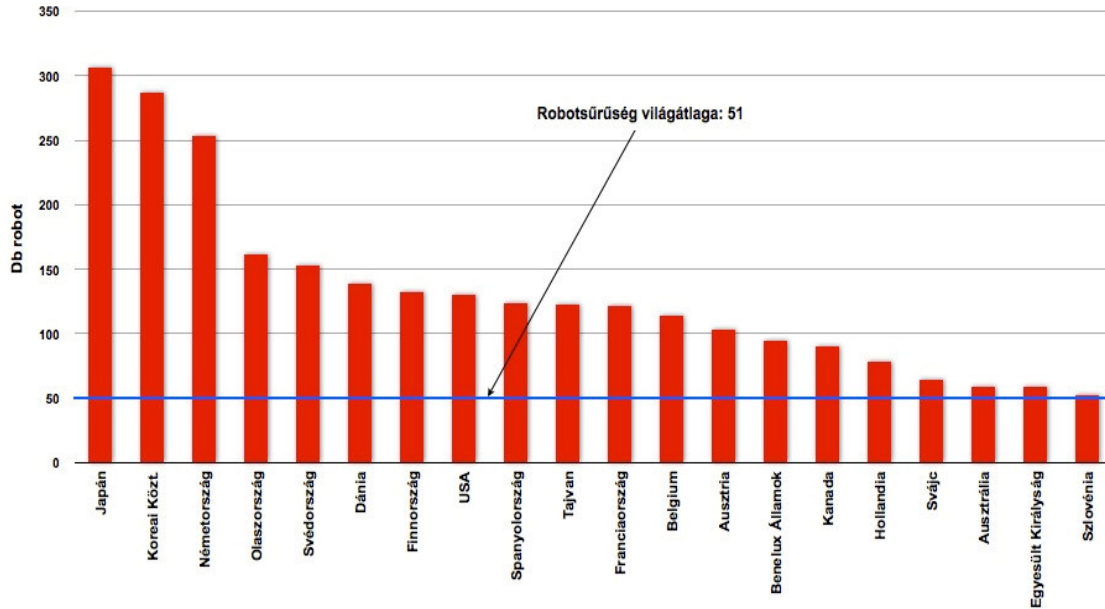
egyszerűbb használni, gyorsabb kiértékelést tesz lehetővé, és nagyobb hangsúlyt fektet a gazdaságosságra. A rendszer felépítését bővebben a 4. fejezetben fogom tárgyalni.

A robotos hegeszthetőséget vizsgáló szakértői rendszerek hasznosak azok számára, akik nem járatosak abban, hogy tapasztalataikra, ismereteikre támaszkodva megítéljék, mennyire lehet sikeres az ívhegesztés robotosításának megvalósítása. Ez Magyarországon napjainkban azért különösen időszerű, mert erősen fellendülőben van az ívhegesztés robotosítása, ugyanakkor a történelmi múltból adódóan hazánkban nem halmozódott még fel elegendő tapasztalat ezeknek a problémáknak a kellő megítélésére, illetve kevés még az ehhez értő, megfelelő tapasztalatokkal rendelkező szakember. Ezt támasztják alá azok a statisztikai adatok is, melyek a Magyarországon alkalmazott ipari robotok számát mutatják. Az egyes országokat ebből a szempontból az IFR¹⁶ statisztikai úgy hasonlítják össze, hogy az országokban, a gyártóiparban dolgozó 10 000 fő alkalmazottra vetítik a robotok számát. Az erre vonatkozó adatokat a **7/a. és 7/b. ábrában** mutatom be [48].

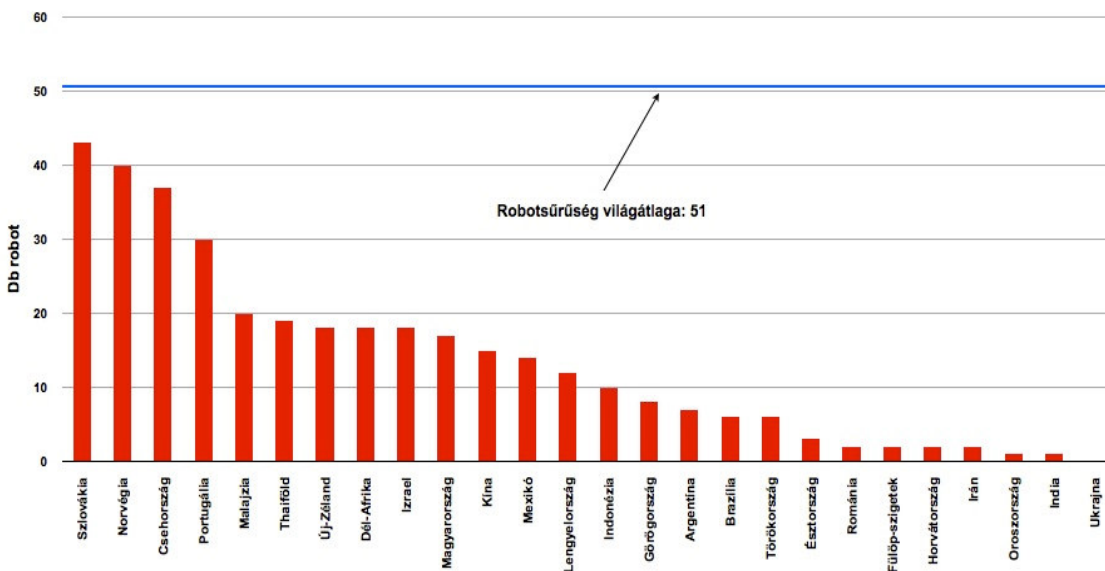
A világátlag ebből a szempontból 51 robot/10 000 fő alkalmazott. A 18/a ábra a világátlag feletti, a 18/b ábra a világátlag alatti országokat mutatja.

A magyarországi adatokat, ha a fentiek értelmében értékeljük, megállapíthatjuk, hogy valójában kedvezőtlenebb a helyzet, mint amit a számadatok mutatnak, hiszen azokban benne vannak azok a nagyobb autógyári beruházások, melyek több száz, illetve ezres nagyságrendű robot betelepítését jelentették. Ez pedig ilyen szempontból nem egyenértékű az egyéb hazai beszerzésekkel.

¹⁶ IFR: International Federation of Robotics – Nemzetközi Robottechnikai Szövetség



7/a. ábra. „Nemzeti robotsűrűség”: A 10 000 fő gyártóiparban alkalmazott dolgozókra vonatkoztatott ipari robotok száma az egyes országokban - világszerte feletti országok¹⁷



7/b. ábra. „Nemzeti robotsűrűség”: A 10 000 fő gyártóiparban alkalmazott dolgozókra vonatkoztatott ipari robotok száma az egyes országokban - világszerte alatti országok¹⁸

¹⁷ [48] alapján saját szerkesztésű ábra

¹⁸ [48] alapján saját szerkesztésű ábra, melynek kapcsán megjegyzem, hogy Kína igen erőteljes előretörését figyelhetjük meg a robottechnika területén is: Kína az elmúlt évtized közepén még egyáltalán nem is szerepelt az ilyen összehasonlításokban [49]. Ebben a diagramban ugyan átlagosnak tűnik, de Kína lakosságát figyelembe véve ez az adat nagyon komoly abszolút számot rejt magában. Ezt mutatja pl. az is, hogy 2011-ben a hegesztőrobotok iránti kereslet kb. másfélszerese volt a teljes európai keresletnek [50].

A következőkben a mesterséges intelligencia másik nagy területét, a robotikát fogom röviden áttekinteni.

1.3.2 Robotika

A robot és robotika szavak alkotói érdekes módon nem mérnökök, hanem írók voltak: Carel Čapek az 1920-ban írt színművében említi először a robot szót¹⁹ a robotika (robotics) kifejezést pedig Isaac Asimov vezette be a 1940-es években, mint a robotokkal foglalkozó művészetet és tudományt [51].

A robotika értelmezésével, definiálásával alapvetően két megközelítésből találkozhatunk:²⁰

- a mesterséges intelligencia értelmezése szerint;
- a klasszikus, alkalmazástechnikai megközelítésben.

A két értelmezési, megközelítési mód között nincs ellentmondás, sőt kiegészítik egymást, ahogyan arra a későbbiek során a hegesztési alkalmazás kapcsán is szeretnék rámutatni.

1.3.2.1 A robotika a mesterséges intelligencia megközelítésében

A mesterséges intelligencia megközelítéséből a robotokat aktív mesterséges fizikai ágensnek tekinthetjük [53]. Nem minden robot ágens azonban, sőt a manapság alkalmazott ipari robotok jelentős része nem az, csak azok, melyek a 3. ábra szerinti ágens képességekkel, intelligens működéssel rendelkeznek.

A robotokat az adaptivitásuk (intelligens működésük) szintje szerint három csoportba sorolhatjuk be [54]:

I. Első generációs robotok

Ebbe a csoportba tartoznak azok a robotok, melyek nem rendelkeznek érzékelőkkel, mozgásukat a betanított (programozott) pálya mentén végzik, környezetükhöz való alkalmazkodó képességgel nem rendelkeznek. Nem rendelkeznek ágens képességekkel.

II. Második generációs robotok

¹⁹ A robot szót Karel Čapek 1921-ben bemutatott R.U.R (Rossumovi univerzální roboti) című színművében használta először, bár a szó igazi kitalálójaként testvérét Josef Čapekot nevezte meg [52].

²⁰ A szerző által alkalmazott csoportosítás.

Ágens képességekkel rendelkeznek: érzékelőjük segítségével feladatuk végzése során képesek az ezekből érkező jelek felhasználásával változó körülményekhez is alkalmazkodni, munkavégzésüket ennek megfelelően módosítani.

III. Harmadik generációs robotok

Ezek az intelligens képességgel rendelkező robotok. Környezetüket komplexebb módon képesek érzékelni, döntéshozó, tanuló képességekkel rendelkeznek. Lehetnek autonóm ágensek, amennyiben viselkedésük nem csak beépített tudásukon alapulnak, hanem saját tapasztalataikra is építenek [24]. Ilyen módon az adaptivitás módjának és összetettségének megfelelően bizonyos ívhegesztő robotok is tekinthetők ágenseknek. Az ívhegesztés robotosítása területén a többretegű varratok adaptív követésének képességével rendelkező robotok a működési területükön, még ha korlátozott képességekkel is, de tekinthetők autonóm ágenseknek, mert a gyökvarrat érzékelésénél megtanult pályainformációkat hasznosítják a következő rétegek hegesztéséhez [25]. Harmadik generációs ipari robotok alkalmazása ma még nem számít általános gyakorlatnak az iparban.

1.3.2.2 A robotika klasszikus, alkalmazástechnikai megközelítése, a hegesztőrobotok helye a rendszerben

A robotokat a Nemzetközi Robotszövetség (IFR) két fő kategóriába sorolja:

- Szolgáltató robotok
- Ipari robotok

A szolgáltató robotoknak jelenleg nincs még egységesen elfogadott definíciója. Annak kialakításán az ISO megfelelő munkabizottsága 2007 óta foglalkozik az ISO 8373 felülvizsgálata kapcsán. Az IFR előzetes definíciója szerint [55]: „Robot that performs useful tasks for humans or equipment excluding industrial automation applications” (emberek vagy berendezések számára hasznos feladatokat végző robot, kivéve az ipari automatizálási alkalmazásokat²¹). Annak ellenére, hogy ezeknél a robotoknál is rendkívüli jelentősége van a mesterséges intelligenciának, a továbbiakban ezekkel a robotokkal nem foglalkozom, mert nem illeszkedik szorosan a téma kutatásához.

Az ipari robotokat az ISO 8373 szerint a következők szerint definiáljuk [56]: „An automatically controlled, reprogrammable, multipurpose manipulator programmable in three

²¹ Szerzői fordítás

or more axes, which may be either fixed in place or mobile for use in industrial automation application” (Ipari automatizálásra alkalmazott, automatikus vezérlésű, újraprogramozható többcélú manipulátor, mely legalább három vezérelt tengellyel rendelkezik, akár fix beépítéssel, akár mobil kivitelben.²²)

Az ipari robotokat csoportosíthatjuk alkalmazási terület szerinti megközelítésben. Az IFR ebből a szempontból a robotokat a következő kategóriákba sorolja (zárójelben az IFR osztályba sorolási szám, fő osztályok) [57]:

- Nem besorolt (000)
- Anyagmozgatás, szerszám gép kiszolgálás (100)
- Hegesztés és forrasztás (minden anyag) (160)
- Felületbevonás (170)
- Feldolgozás (190)
- Össze- és szétszerelés (200)
- Egyéb (900)

A hegesztési alkalmazás igen jelentős arányt képvisel az összes alkalmazási terület között: a 2010-ben a világon üzemelő 1 035 000 db ipari robot 30%-a hegesztőrobot, a 2010-es robot értékesítéseknek pedig 26%-a volt hegesztőrobot [58]. A hegesztőrobotokon belül a két fő alkalmazási terület az ellenállás ponthegesztés és az ívhegesztés (döntően fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés). A két eljárás között nagyjából fele-fele arányban oszlanak meg a robotértékesítések, bár az utóbbi években az ívhegesztés javára tolódott el kismértékben az arány [59]. Ehhez véleményem szerint hozzájárult, hogy az ívhegesztés robotosításának elterjedését segítő adaptív/intelligens működésű robotok egyre nagyobb számban jelennek meg ipari alkalmazásokban.

1.3.2.3 Az ívhegesztő robotok az ívhegesztés gépesítésének, automatizálásának rendszerében

A hegesztés gépesítésének rendszerét a **8. ábra** szemlélteti [60].²³

A rendszerezés szempontjai ahol csak lehet, kapcsolódnak az ívhegesztés területén általánosan használatos fogalmakhoz, a megszokott terminológiához. Az újonnan bevezetett fogalmak, rendszerező elvek alkalmazását indokolja, hogy az így nyert, viszonylag jól

²² Szerzői fordítás

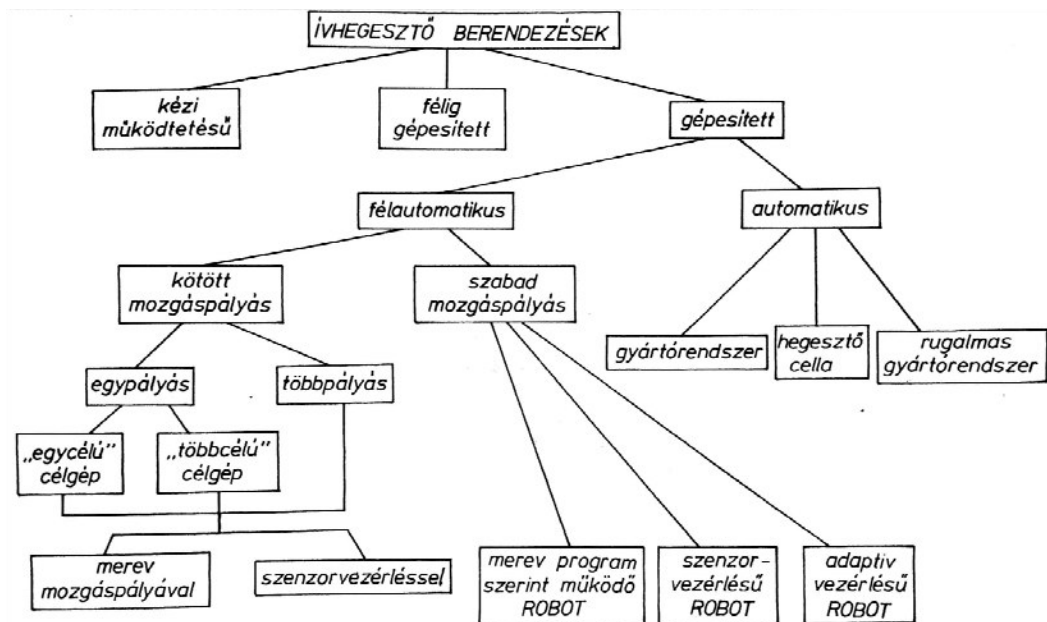
²³ Az általam először 1986-ban publikált rendszerezés napjainkban is megállja a helyét. Ennek egyszerűsített változata került be a 2007-ben kiadott Hegesztés és Rokon Technológiák c. Kézikönyvbe [61].

áttekinthető felosztásba valamennyi ívhegesztő eljárás, berendezés besorolható, és magába foglalja a jelenleg fejlesztés alatt álló berendezéseket, vagy elképzelhető megvalósítási lehetőségeket is.

Az ívhegesztő berendezéseket a varratkészítés módja szerint három nagy csoportba lehet besorolni:

- kézi működtetésű;
- félig gépesített;
- gépesített ívhegesztő berendezés.

A kézi működtetésű berendezéseknél, illetve eljárásoknál mind a hegesztés hőforrásának mozgatása, mind a hegesztőanyag adagolása kézzel történik (pl. kézi ívhegesztés). A félig gépesített berendezéseknél, illetve eljárásoknál a hőforrás mozgatása kézzel történik, a hegesztőanyag adagolását viszont gépi úton valósítják meg (pl. fogyóelektródás védőgázás ívhegesztő eljárás). Gépesített hegesztés esetén mind a hőforrás mozgatása, mind a hegesztőanyag adagolása gépesített (pl. fedettívű hegesztés, vagy gépesített fogyóelektródás ívhegesztő berendezések).



8. ábra. Az ívhegesztés gépesítésének, automatizálásának rendszere²⁴

²⁴ Saját szerkesztésű ábra

A gépesített ívhegesztő berendezések a berendezés kiszolgálása alapján két csoportba oszthatók:

- félautomatikus berendezések;
- automatikus berendezések.

A félautomatikus berendezéseknél a munkadarab adagolása, eltávolítása vagy mindkét művelet kézzel történik, illetve a berendezés indítását, esetleg leállítását is kézzel kell végezni. Automatikus berendezéseknél a munkadarab adagolása és eltávolítása emberi beavatkozás nélkül történik, csakúgy, mint maga a varratkészítés.

A félautomatikus ívhegesztő berendezéseket a hőforrás mozgáspályájának kötöttsége alapján:

- kötött mozgáspályás;
- szabad mozgáspályás

berendezésekre oszthatjuk fel. Ennek a csoportosításnak az az elve, hogy az adott félautomatikus berendezés mechanizmusa a saját munkaterén belül hányféle pályán teszi lehetővé a hegesztő hőforrás mozgatását. A kötött mozgáspályás berendezések csak bizonyos típusú mozgáspályák megvalósítására alkalmasak a munkaterükön belül, míg a szabad mozgáspályás berendezések munkaterükben elvileg tetszőleges pályán (a mozgásvezérlés képességeitől függően különböző típusú pályavezérlésekkel) lehet képes a hőforrás mozgatására. Ebbe a kategóriába tartoznak a hegesztőrobotok.

A kötött mozgáspályás félautomatikus hegesztő berendezéseket a mozgáspálya kötöttsége szerint további csoportokra lehet bontani:

- egypályás berendezések;
- többpályás berendezések.

Az egypályás berendezések a klasszikus hegesztő célberendezések, melyeket egy bizonyos munkadarab hegesztésére terveztek és gyártottak. A többpályás berendezések olyan félautomatikus berendezések, melyek csak bizonyos típusú és helyzetű varratok hegesztésére használatosak (pl. fedettívű hegesztés, gravitációs hegesztés), nem konkrét munkadarab hegesztéséhez készülnek.

A célgépek felépítésük szerint két csoportba sorolhatók:

- egycélú célgép;
- többcélú célgép.

Az egycélú célgép csak egy bizonyos munkadarab hegesztésére alkalmas (más munkadarabhoz nem, vagy csak jelentős átalakítás után alkalmazható). A többcélú célgép bizonyos hasonló munkadarabok hegesztésére alkalmas. Az egyik munkadarabról a másokra történő átállás a szerkezet kisebb mértékű átalakításával lehetséges.

A felosztás legalsó sora a berendezések lehetséges adaptivitási szintjeit mutatja be. Az 1.3.2.1. fejezetben már tárgyaltam a robotok adaptivitási szintjeit, három generációba sorolva a robotokat. Ezek a generációs szintek találhatóak meg ebben a csoportosításban a szabad mozgáspályás berendezésekhez (robotokhoz) kapcsolódóan:

- Merev program szerint működő robot – I. generációs robot
- Szenzorvezérlésű robot – II. generációs robot
- Adaptív vezérlésű robot – III. generációs robot

A kötött mozgáspályás berendezéseknél két csoportot képezhetünk az adaptivitás alapján. Ebben az esetben ugyanis (bár elvileg nem teljesen kizárt, de) a mozgáspálya kötöttsége miatt nincs gyakorlati értelme a III. generációs szint megvalósításának.

A gépesített hegesztő berendezések fő csoportjára visszatérve azok kiszolgálása alapján tehát két csoportot képeztünk. Az automatikus kiszolgálás esetén pedig további három csoportra bonthatjuk a berendezéseket, illetve rendszereket.

- Hegesztő gyártórendszerek
- Hegesztő cellák
- Rugalmas hegesztő gyártórendszerek

A gyártórendszer egy bizonyos alkatrész folyamatos automatizált gyártását teszi lehetővé. Felépíthető akár kötött, akár szabad mozgáspályás berendezésekből (vegyesen is), melyek működése a folyamatos gyártás érdekében össze van hangolva. A munkadarabok adagolása, elvétele, továbbítása automatikusan történik. A gyártórendszerek általában csak egyféle munkadarab gyártására alkalmasak. Más munkadarabra való átállás vagy egyáltalán nem lehetséges, vagy csak a rendszer jelentős átállításával, átszerelésével, struktúrájának megváltoztatásával lehetséges (ami hosszabb időt igénybe vevő feladat).

A hegesztő cella a gyártásban bizonyos munkadarabon végezhető meghatározott hegesztési műveletek folyamatos automatikus végzésére szolgáló viszonylag kisszámú berendezést magába foglaló önálló, más gépektől, gyártási egységektől jól elhatárolható gépcsoport. Több összekapcsolt hegesztő cella alkothat gyártórendszert is.

A rugalmas gyártórendszer (FMS²⁵) jellemzője, hogy rövid átállási idővel vagy átállási idő nélkül képes különböző munkadarabok gyártására. A szakirodalom legfőképpen forgácsoló rugalmas gyártórendszerekkel foglalkozik leginkább, de ezek alapjellemezői értelmezhetők hegesztő gyártórendszerek esetében is. A rugalmas gyártórendszerek rugalmassági jellemzőit különböző szempontok alapján értékelhetjük. Lehet beszélni gép-rugalmasságról, folyamat-rugalmasságról, termék-rugalmasságról, útvonal-rugalmasságról, volumen-rugalmasságról, bővítési rugalmasságról, műveleti rugalmasságról és termelési rugalmasságról [62].

A fentiek alapján is látszik, hogy a gépesített ívhegesztő berendezések tekintetében a legnagyobb rugalmassággal az adaptív ívhegesztő robotok rendelkeznek, melyek intelligens jellemzőkkel bírnak. Ennek gyakorlati megvalósításához (ahhoz, hogy a robotok bizonyos ágens képességekkel rendelkezzenek) a robotoknak érzékelőkkel, szenzorokkal kell rendelkezni. Bár a mai ipari gyakorlat még messze áll attól, hogy az ívhegesztés területén autonóm képességekkel rendelkező robotokat használjunk, az intelligens működés bizonyos alapvonásai megtalálhatók szenzorokkal felszerelt ívhegesztő robotoknál.

1.3.2.4 Az ívhegesztő robotokhoz használatos szenzorok

Az ívhegesztésben azért kezdtek alkalmazni ágens jellemzőkkel rendelkező robotokat, mert a merev program szerint működő ipari robotok alkalmazása sok esetben korlátokba ütközött. Az ívhegesztés robotosításában a hegesztési folyamat megbízhatóságának növelése céljából főként a következő feladatok megoldására használunk szenzorokat:

- varratkeresésre (pl. a hegesztés kezdőpontjának megkeresése) és varratkövetésre;
- hegesztési folyamat szabályozásra.

A gépesített ívhegesztő berendezésekhez használt szenzorvezérlések és az adaptív szabályozást megvalósító vezérlések alapvetően az alkalmazott szenzor típusában térnek el egymástól. Mivel jelenleg nincs minden célra alkalmas (univerzális) szenzor, így a különböző hegesztési feladatokhoz, alkalmazási területekhez nagyon sokféle szenzort fejlesztettek ki az elmúlt évtizedekben. Ezeket a szenzorokat az érzékelés tárgya és azon belül működési elvük alapján az alábbi csoportokba sorolhatjuk be:

1) Folyamatérzékelő szenzorok

- i) Belső paramétereket mérő folyamatérzékelő szenzorok

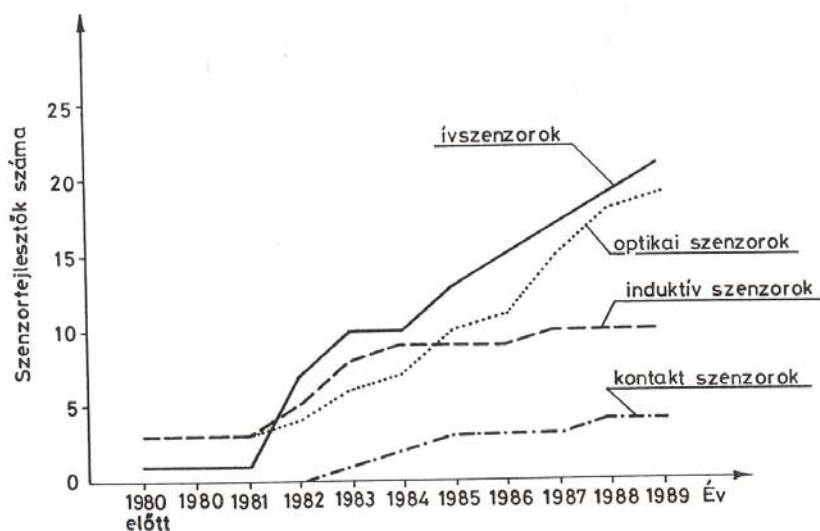
²⁵ FMS: Flexible Manufacturing System: a rugalmas gyártórendszer rövidítése

- (a) Áramerősség-mérő szenzorok
 - (b) Feszültségmérő szenzorok
 - ii) Külső paramétereket mérő folyamatérzékelő szenzorok
 - (a) Optikai szenzorok
 - (b) Hősugárzás-mérő szenzorok
 - (c) Passzív akusztikus szenzorok
- 2) Geometriaérzékelő szenzorok
- i) Érintéses szenzorok
 - (a) Mechanikus szenzorok
 - (b) Mechanikus-elektromos szenzorok
 - (c) Elektromos szenzorok
 - ii) Érintésmentes szenzorok
 - (a) Indukciós szenzorok
 - (b) Kapacitív szenzorok
 - (c) Optikai szenzorok
 - (d) Aktív akusztikus szenzorok
 - (e) Nagyfeszültségű szenzorok
 - (f) Pneumatikus szenzorok

Ez a csoportosítás is érzékelteti, hogy az elmúlt évtizedekben igen sokféle szenzort fejlesztettek ki. Az ez irányú fejlesztések a 80-as évek elején indultak meg (l. **9. ábra** [63]), nagyjából 10 évvel azt követően, ahogy a robottechnika világszerte komolyabban terjedni kezdett az iparban, és az autóiparon kívül más alkalmazási területeken is egyre nagyobb számban kezdték alkalmazni a hegesztő robotokat.²⁶ Hegesztő robotokhoz ezek közül a szenzorok közül legnagyobb számban a következő típusokat alkalmazzák:

- Optikai szenzorokat
- Érintéses elektromos szenzorokat
- Belső paramétereket mérő folyamatérzékelő szenzorokat, rövid nevükön ívszenzorokat

²⁶ Az autóiparban az ívhegesztés robotosításában manapság is elég ritkán használunk szenzorokat, mert az ívhegesztésre kerülő alkatrészek rendszerint nem nagyméretűek, jól készülékezettek, és többnyire vékony lemezből készülnek. A hegesztőfej és munkadarab megfelelő relatív pontosságát és a megfelelő munkadarab előkészítést az előgyártás pontosságával és nagyon jó minőségű készülékezéssel érik el.



9. ábra. Az ívhegesztő berendezések szenzorfejlesztéseinek megindulása, a jellemző szenzortípusok.²⁷

A következő fejezetben az ívhegesztő berendezésekhez fejlesztett jellemző szenzortípusokat fogom áttekinteni, az egyes szenzor típusokra jellemző alkalmazási területre való utalással. Ezek között a szenzorok között vannak olyanok is, melyeket nem csak ívhegesztő robotokhoz, hanem egyéb gépi ívhegesztő eljárásokhoz és lehet használni.

1.3.2.4.1 Geometriaérzékelő optikai szenzorok

Az ívhegesztésben alkalmazott geometriaérzékelő optikai szenzorok működési elv szerinti csoportosítását [64] alapján a 10. ábra mutatja be, szemléltetve azt is, hogy mely mérési elvhez milyen típusú képfellevőt szokásos alkalmazni.

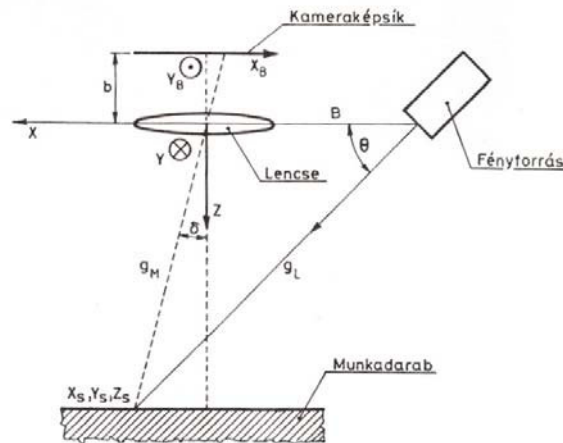


10. ábra. Optikai mérési eljárások²⁸

²⁷ [63] alapján saját szerkesztésű ábra

²⁸ [64] alapján saját szerkesztésű ábra

A háromszögelés elve alapján működik talán a legtöbb optikai geometriaérzékelő szenzor, amelyet az ívhegesztés területén alkalmaznak (a [65]-ben közölt fejlesztési eredmények alapján létrehozott szenzor használatát később több robotgyártó cég pl. [66], [67] is átvette). Mérési alapelveként az a tény szolgál, hogy ha egy háromszög egy oldala és két szöge ismert, akkor a másik két oldal és a harmadik szög kiszámítható. A háromszögelés elve alapján működő szenzor elvi elrendezését a **11. ábra** szemlélteti.



11. ábra. A háromszögelés elve szerinti optikai mérés²⁹

A pontszerű fénysugarat a fényforrás Θ szög alatt bocsátja a munkadarab felületére. Az innen visszaverődött (szórt) fényt a kameraoptika egy soros elrendezésű fényérzékelő cella síkjába képzi le. A fényérzékelő elektronika a rajta leképzett fénypont (X_B) helyzetét képes érzékelni, ami a többi ismert geometriai adattal együtt lehetővé teszi a munkadarab felületi pontkoordinátáinak (X_S , Z_S) kiszámítását az alábbiak szerint:

$$X_S = B \times X_B / (b \times \text{ctg}\Theta - X_B) \quad (1)$$

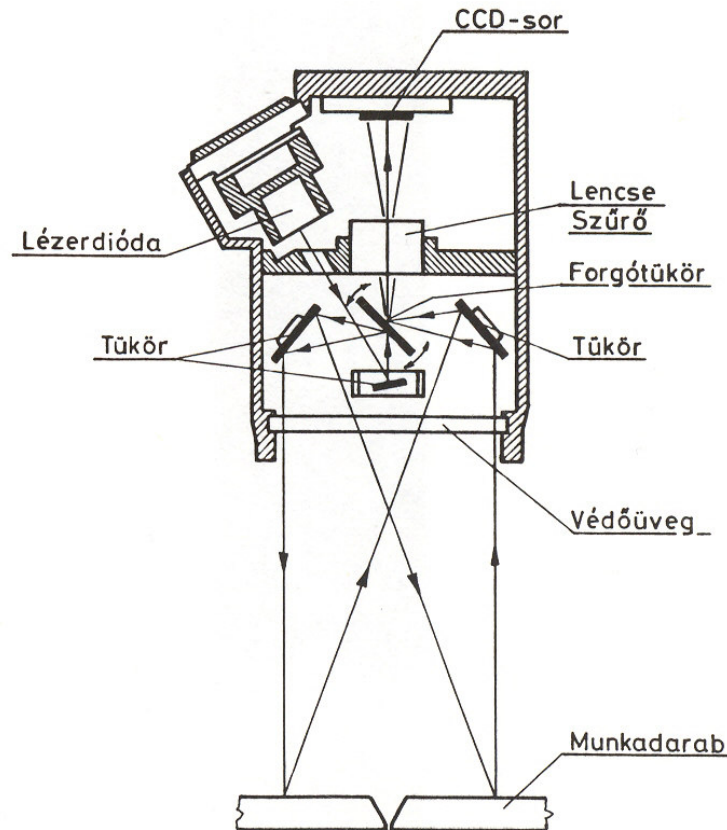
$$Z_S = B \times b / (b \times \text{ctg}\Theta - X_B) \quad (2)$$

A háromszögelés elve alapján működő optikai szenzor gyakorlati kivitelezésére többféle megoldás létezik. Ezek közül néhány jellegzetes példát a 12/a-c. ábrák szemléltetnek.

A **12/a. ábrán** szereplő elrendezésben a lézersugár az alternáló mozgást végző forgó tükörről reflektálva pásztázza végig a munkadarab felületét a varrat vonalára keresztirányban, majd az innen visszaverődött lézersugarat az optika a varratvonalra merőleges irányú soros CCD

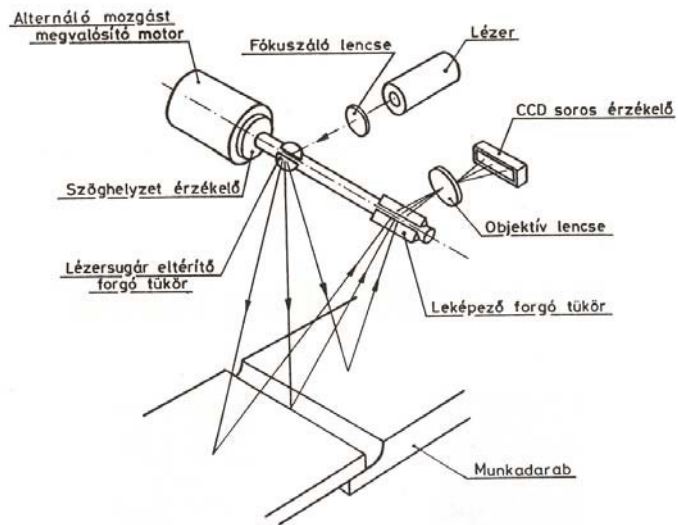
²⁹ [65] alapján saját szerkesztésű ábra

elemre képezi le. Amiatt azonban, hogy a soros CCD elem iránya merőleges a varratvonalra, a hegesztési fröcskölés zavaró hatására ez a rendszer fokozottan érzékeny. Ebből a szempontból sokkal kedvezőbb a **12/b. ábrán** bemutatott megoldás, ahol a CCD elem hossz tengelye a varratiránnyal párhuzamos. A **12/c. ábra** egy kompakt felépítésű, hegesztőrobotokhoz ezért kimondottan előnyösen alkalmazható szerkezeti kialakítást mutat be.

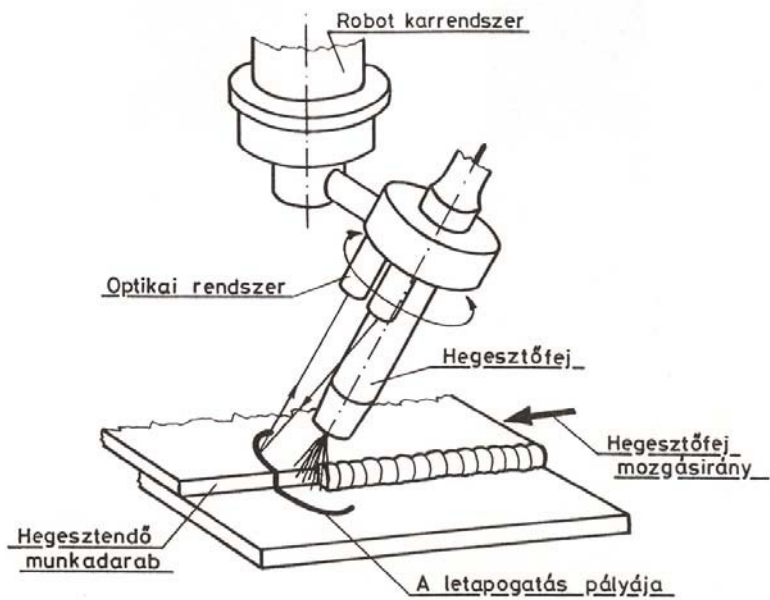


12/a. ábra. Lézer szenzor keresztirányú képfelvevővel³⁰

³⁰ [66] alapján saját szerkesztésű ábra



12/b. ábra. Lézerszenzor hossz-irányú képfelvevővel³¹



12/c. ábra. Kompakt felépítésű lézer szenzor³²

³¹ [66] alapján saját szerkesztésű ábra

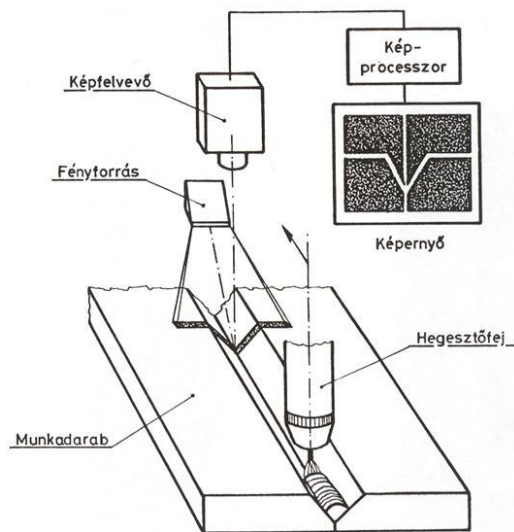
³² [68] alapján saját szerkesztésű ábra

Ebben az esetben az érzékelő optika alternálva együtt forog a fényforrással a hegesztőfej hossz tengelye körül [68]. Azzal, hogy a szenzort viszonylag magasan (kb.150 mm-re) a hegesztőfej felett helyezték el, sikerült elérni, hogy a szenzortest kevésbé szennyeződik hegesztés közben. A fröcskölés jó részétől maga a hegesztőfej gázfűvókája mintegy leárnyékolja a szenzor optikai elemeit, így az optika védőlemezeit az átlagosnál jóval tovább lehet használni csere nélkül [69]. A hegesztési füst káros hatásainak csökkentésére az optikai melletti levegőáramoltatással is lehet védekezni [70].

A háromszögelés elve alapján működő optikai szenzorokban (fényhelyzet - villamos jel) jelátalakítóként gyártó cégektől függően többnyire az alábbi megoldásokat használják:

- Digitális jelátalakítók:
 - Fotodióda sorok [71]
 - CCD elem (fotodiódákból, vagy fényérzékeny MOS félvezető elemekből felépített töltéscsatolt eszköz - Charge-Coupled Device) [72]
- Analóg jelátalakítóként a PSD (Position-Sensitive-Device) elemek használata terjedt el [73].

A fénymetszet eljárás (13. ábra) a varratél megvilágítására vonalszerű keresztmetszettel rendelkező fénysugár (v. lézer) nyalábot használ [74], [75]. Előnye a háromszögelés elvén



13. ábra. Optikai szenzor fénymetszet eljárással³³

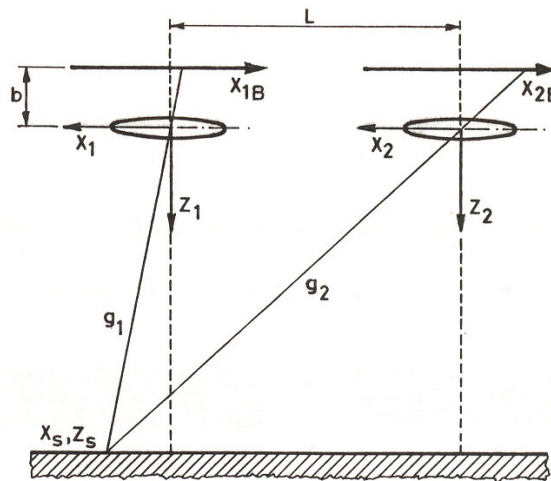
³³ [74] alapján saját szerkesztés

működő szenzorokkal szemben, hogy nem tartalmaz mechanikusan mozgó alkatrészt, hátránya viszont, hogy nagyobb teljesítményű fényforrást igényel, illetve a hegesztés okozta fröcskölésre sokkal inkább érzékeny, ami a képfeldolgozást nagymértékben megnehezíti (bonyolultabb kéпкиértékelő szoftver szükséges). A hegesztési varrat élelőkészítésének kontúrjáról alkotott képet a szenzor a háromszögelés elvéhez hasonló jelfeldolgozási stratégiával értékeli ki. Jelátalakítóként ezeknél a szenzoroknál kétdimenziós fotodióda mátrixokat, vagy kétdimenziós CCD elemeket használnak.

A sztereoszkópia mérési elvét a **14. ábra** szemlélteti. A tárgy felületén lévő pont koordinátáit ennek megfelelően az alábbiak szerint lehet meghatározni:

$$Z_S = L \times b / (X_{2B} - X_{1B}) \quad (3)$$

$$X_S = L \times X_{1B} / (X_{2B} - X_{1B}) \quad (4)$$



14. ábra A sztereoszkópia mérési elve³⁴

Az eljárás előnye, hogy nem igényel külön tárgymegvilágítást. A képfeldolgozásnál azonban bizonyos esetekben gondot jelenthet az azonos tárgyponthoz tartozó, az egyes optikákon át leképzett képpontok megfeleltetése. Annak érdekében, hogy a kép kiértékelését a környezeti megvilágítástól függetlenül megbízhatóan el lehessen végezni, a szenzor segéd-fényforrást is tartalmazhat [76]. Optoelektronikus átalakítóként a sztereoszkópia elvén működő szenzorokban lehet pl. soros elrendezésű jelátalakítókat használni.

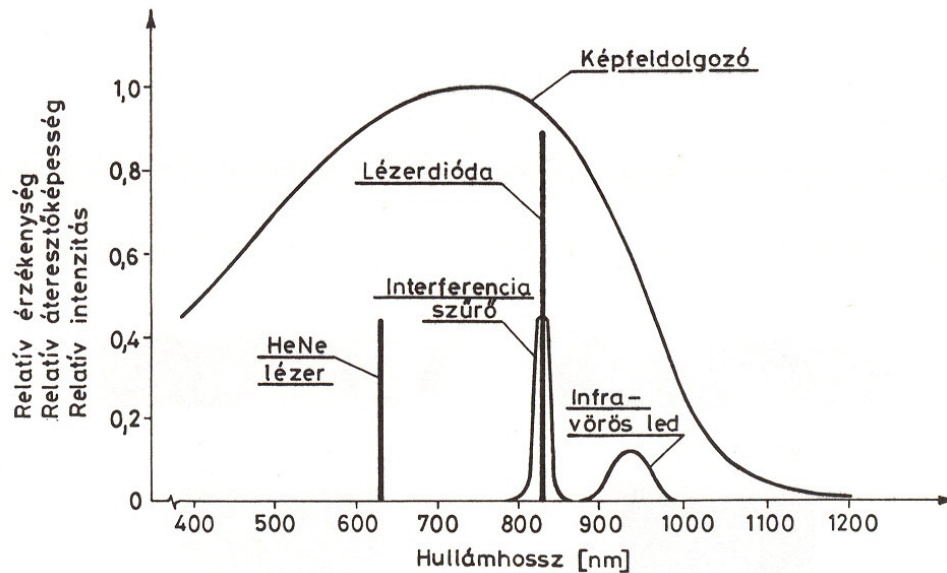
³⁴ [76] alapján saját szerkesztésű ábra

Az ívhegesztésnél alkalmazott geometriaérzékelő optikai szenzorok alkalmazásánál különösen fontos a megfelelő fényforrás kiválasztása. Ebből a szempontból a keskeny hullámhossz-spektrumú fényforrások a kedvezőek (l. **15. ábra**), hiszen ezek használata esetén keskeny sávú optikai szűrők beépítésével az ívhegesztés zavaró hatásainak jó részét ki lehet szűrni [77]. Ezeknek megfelelően alapvetően az alábbi fényforrások jöhetnek számításba:

- Infravörös fényspektrumú LED (IR-LED) [78]
- He-Ne lézer [79]
- Félvezető lézerek (lézerdióda) [80]

Az IR-LED használatának előnyei a viszonylag kedvező beszerzési ár, az elektromos, termikus és mechanikus zavarokkal szembeni érzéketlenség. Hátránya viszont, hogy a kibocsátott fény hullámhosszspektruma viszonylag széles, és a kibocsátási szöge meglehetősen nagy. Ezek miatt használatára nem túl sok példát említ a szakirodalom.

A He-Ne lézer igen kedvező tulajdonságokkal rendelkező monokromatikus sugárforrás [81], külön fókuszálás nélkül is kb. 1 mm átmérőjű közel párhuzamos sugárnyalábot ad. A sugárforrás méretei azonban nem teszik lehetővé, hogy azt a szenzortestbe beépítsék. Ennek megfelelően ebben az esetben a lézerfény megfelelő helyre juttatását pl. üvegszáloptikás hozzávetéssel lehet megoldani [82].



15. ábra Optikai szenzorok lehetséges fényforrásai³⁵

³⁵ [77] alapján saját szerkesztésű ábra

Geometriaérzékelő optikai szenzorokhoz a ma rendelkezésre álló technikai lehetőségek közül a lézerdiódák használata látszik a legkedvezőbbnek előnyös tulajdonságainak köszönhetően [83]: jól vezérelhető, kompakt felépítést tesz lehetővé, kis energiafogyasztású és hosszú élettartamú. A félvezető lézerek jellemző sávszélessége néhányszor 10 nm, hullámhossza hőmérsékletfüggő, de annak stabilizálására többféle elektromos, termikus és optikai módszer létezik [84].

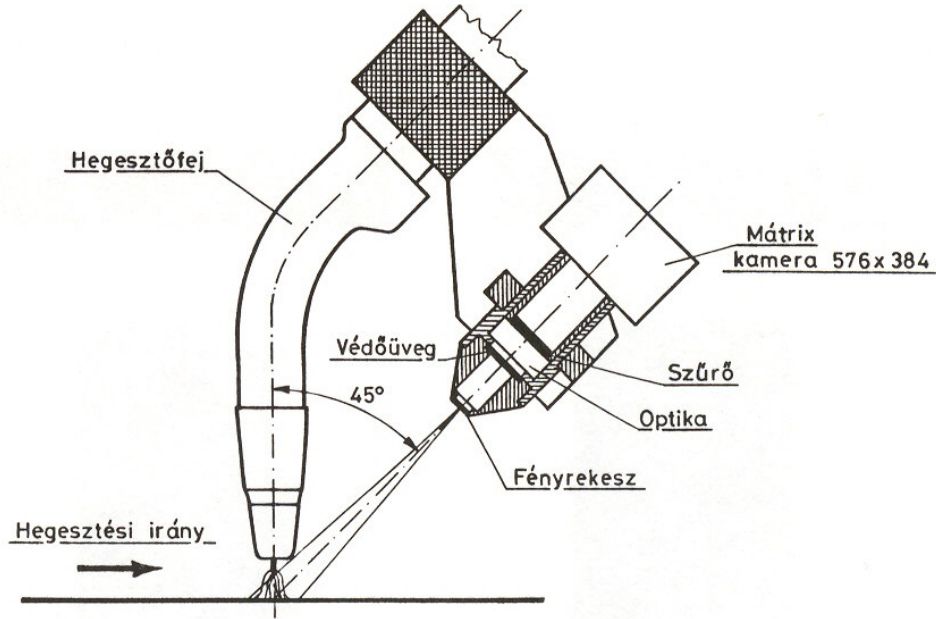
A geometriaérzékelő optikai szenzorok egyik fő alkalmazási területe a hegesztés kezdőpontjának megkeresése (off-line, vagy kereső szenzorok), és a hegesztés közbeni (on-line) varratkövetés. A két alkalmazás a mérési módszerben lényegében nem tér el egymástól, felhasználási sajátosságaiban viszont találunk különbségeket. Az optikai szenzorok keresési funkcióra való használata kevésbé problémás, mert nem kell működés közben a hegesztés zavaró hatásaival számolni. A keresési művelet befejezése után pl. pneumatikus működtetésű záró sapkával védik az optikát [85].

A geometriaérzékelő optikai szenzorok nagymennyiségű információt képesek szolgáltatni az adatfeldolgozó rendszernek a hegesztés helyéről, a hegesztési varratél-előkészítésről. A varratkeresési és követési funkciókon túl lehetőséget biztosítanak többretegű varratok hegesztéséhez a varratok megfelelő elhelyezésére is gépesített ívhegesztő eljárásokhoz [86], [87].

Sok előnyös tulajdonságuk mellett az optikai szenzorok egyik hátránya, hogy a szenzor elhelyezése a hegesztőfej hozzáférési tulajdonságait rontja, bár ennek a hatásnak a csökkentésére a fejlesztők igyekeznek a minél kompaktabb szenzor-testek kifejlesztésére törekedni [88], illetve a szenzortestet a robotkaron ilyen szempontból a lehető legkedvezőbb helyre beépíteni.

1.3.2.4.2 Folyamatérzékelő optikai szenzorok

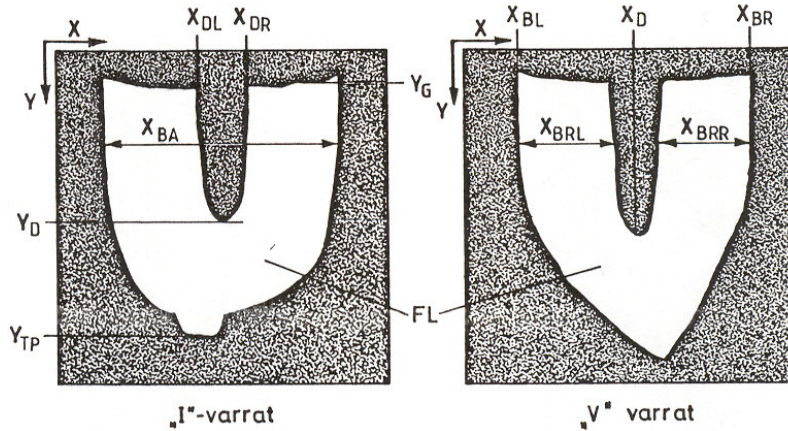
A külső paramétereket mérő folyamatérzékelő szenzorok közül a gyakorlatban leginkább a folyamatérzékelő optikai szenzorokkal találkozhatunk. Ezen szenzorok egyik csoportja a az ívhegesztés során létrejött ömledék alakjának, a hegesztőfej és az ömledék relatív helyzetének megfigyelésével működnek [64], [89]. Egy ilyen elven működő szenzor elvi elrendezési vázlatát a **16. ábra** mutatja be.



16. ábra Folyamatérzékelő optikai szenzor³⁶

A szenzor optikája a varratömlédékek képét egy mátrix formátumú jelátalakítóra (CCD kamera) vetíti. A megfelelő minőségű felvétel készítésének egyik fő akadálya, hogy a látható fény hullámhossz-spektrumában az ív által kisugárzott fény intenzitása három-négy nagyságrenddel nagyobb, mint az ömlédékek által kibocsátott fényé. Ezen probléma áthidalására többféle megoldás kínálkozik, pl. a hegesztő áramerősség értékének (pillanatnyi) csökkentése, megfelelő optikai képkivágás beállítása, illetve rövidzárlatos hegesztéstechnika alkalmazása, ahol az optikai érzékelés csak a rövidzárlatok időtartama alatt történik [90]. Az infravörös tartományban megfelelően keskeny sávú interferenciaszűrő alkalmazásával lehetségessé vált a varratömlédékek folyamatos üzemmódú megfigyelése [64]. A szenzor optikája által a CCD kamera érzékelőjére vetített ömlédékek alakjának jellegzetes képét "I"-varrat és "V"-varrat hegesztése esetén a **17. ábrán** lehet megfigyelni.

³⁶ [64] alapján saját szerkesztésű ábra



17. ábra A varratömladék alakja CCD kamerán³⁷

FL a varratömladék képe a kamera képmezőjében.

Az ábra alapján az alábbi mennyiségek kiszámítása lehet kiemelt fontosságú a szenzor feladata, alkalmazási területe alapján:

A hegesztőhuzal szimmetria tengelyének "X"-irányú helyzete:

$$X_D = (X_{DR} + X_{DL}) / 2 \quad (5)$$

A látható huzalelektroda hossza:

$$Y_L = Y_D - Y_G \quad (6)$$

Az ömladék szélessége:

$$X_{BA} = X_{BR} - X_{BL} \quad (7)$$

A huzalközéptől balra eső ömladék szélessége:

$$X_{BRL} = X_{DL} - X_{BL} \quad (8)$$

A huzalközéptől jobbra eső ömladék szélessége:

$$X_{BRR} = X_{BR} - X_{DR} \quad (9)$$

A leggyorsabb kiértékelés céljából olyan képkiértékelési stratégiát kellett választani, amely az ömladék kontúrjának pontos kiszámítását csak néhány jellegzetes referencia pont körüli, viszonylag szűk tartományban végzi el. Ezzel lehetőség nyílt a képkiértékelési ciklusok

³⁷ [64] alapján saját szerkesztésű ábra

frekvenciájának jelentős (az on-line folyamatszabályozásra alkalmas szintre való) növelésére, még szerényebb sebességű hardver alkalmazásával is.

A folyamatérzékelő optikai szenzorok között azonban van olyan megoldás is, mely nem a varratömlédé, hanem a hegesztőív alakjának megfigyelésével kiértékelésének segítségével működik. Ez a szenzor a varratömlédé megfigyelésével működőkhöz képest egyszerűbb, olcsóbb, és nagyobb sebességű szabályozást tesz lehetővé [91].

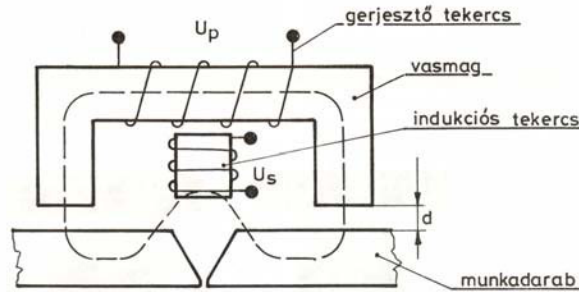
A folyamatérzékelő optikai szenzorok jellegzetes alkalmazási területe a hegesztés közbeni folyamatos varratvonal-követés és/vagy hegesztési folyamatszabályozás [92]. Ilyen szenzorokat varratkövetésre sikerrel alkalmaztak pl. keskenyréshegesztés esetén is, melyről [93] és [94] számol be.

1.3.2.4.3 Indukciós szenzorok

Az indukciós szenzorok a fémesen vezető anyagokban létrehozható örvényáramok és a mágneses indukció alaptörvényét kihasználva, az érzékelőfej és a munkadarab távolságától függő elektromos érzékelőjelet szolgáltatnak. Erre mutat példát a **18. ábra**, ahol az állandó "Up" feszültséggel gerjesztett gerjesztő tekercs által létrehozott mágneses tér az indukciós tekercsben a "d" szenzor-munkadarab távolság függvényében "Us" feszültséget indukál. Mivel adott munkadarab-anyagminőség és állandó gerjesztés esetén "Us" és "d" között egyértelműen kimérhető függvénykapcsolat áll fenn, megfelelő vezérlés és hajtás segítségével az érzékelőfej, a vele mechanikusan rögzített kapcsolatban lévő hegesztőfejjel együtt a munkadarabtól bizonyos tűréshatáron (a szenzor hiszterézisén) belül állandó távolságban tartható [95].

Az indukciós szenzorok működésére ívhegesztő célgépeknél illetve robotoknál való alkalmazásukkor főként a hegesztő ív mágneses tere és hősugárzása fejt ki zavaró hatást. A hegesztőív mágneses terének zavaró hatása a szenzorban lévő indukciós tekercsek megfelelő kialakításával jórészt kiküszöbölhető [95].

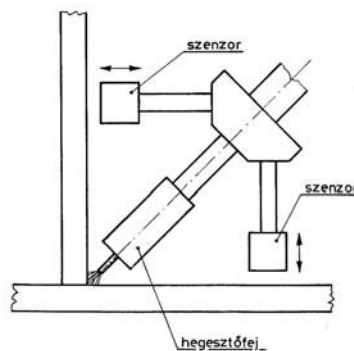
Az indukciós szenzor által szolgáltatott elektromos érzékelőjel jelentős hőmérsékletfüggését [96] a korábbi szenzorfejlesztéseknél a szenzortest vízhűtésével mérsékeltek elfogadható mértékben [97]. Ez azonban túlzottan megnövelte a szenzortest geometriai méreteit. Ezért részben ugyancsak megfelelő tekercskialakítással [96], [98], illetve hőkompenzációs szabályozó elektronika alkalmazásával lehetett kielégítően stabil működésű és kisméretű szenzort kifejleszteni [99].



18. ábra Az indukciós szenzor működése³⁸

Az indukciós szenzornak nem mágnesezhető anyagokhoz (pl. alumínium, réz, ausztenites saválló acél) való alkalmazására is találunk példát [100], [101], azonban ilyen anyagokhoz való felhasználáskor ügyelni kell arra, hogy varratkövetés közben ferromágneses anyagok (pl. munkadarab-rögzítő készülék elemek) ne kerülhessenek be a szenzor érzékelési tartományába. Az indukciós szenzorok alkalmazástechnikáját tekintve hátrányként könnyvelhető el, hogy meglehetősen kicsi a mérési tartományuk (kb. 10 mm), valamint a munkadarab anyagminőségétől függően, de mindenképpen a munkadarabhoz nagyon közel (3-7 mm) kell a szenzort vezetni varratkövetés közben. Előnyük viszont, hogy a folyamatos varrat-követésre alkalmas szenzorok közül talán a legalacsonyabb a beszerzési áruk.

Felhasználási területüket tekintve megfelelő szenzor-elrendezéssel, illetve jelfeldolgozással nagyon sokféle varratípus folyamatos követésére alkalmasak. (Sarokvarrat követésére egy lehetséges kialakítást a **19. ábra** mutat be.)



19. ábra Sarokvarrat követése indukciós szenzorokkal³⁹

³⁸ [95] alapján saját szerkesztésű ábra

³⁹ [95] alapján saját szerkesztésű ábra

1.3.2.4.4 Érintéses geometriaérzékelő szenzorok

Az érintéses geometriaérzékelő szenzorok közös jellemzője, hogy a szenzor a hegesztési vályút, illetve a munkadarabot érintve szabályozza a hegesztőfej helyzetét. Jelenleg ezen szenzoroknak kialakításukat és működésüket tekintve az alábbi változatai ismertek:

- Mechanikus szenzorok
- Mechanikus-elektromos szenzorok
- Elektromos szenzorok

A mechanikus szenzorok érzékelője - amely lehet görgő, tárcsa, golyó, csúszka, stb. - merev kapcsolatban van a hegesztőfejjel, így azt közvetlenül mozgatja. Jellegzetes felhasználási területük az egyenes, vagy egyenesbe fejthető többnyire vízszintes varratok hegesztésére alkalmas gépesített eljárások (gyakran pl. fedettívű hegesztés), illetve célgépek hegesztőfej mozgásszabályozása [95].

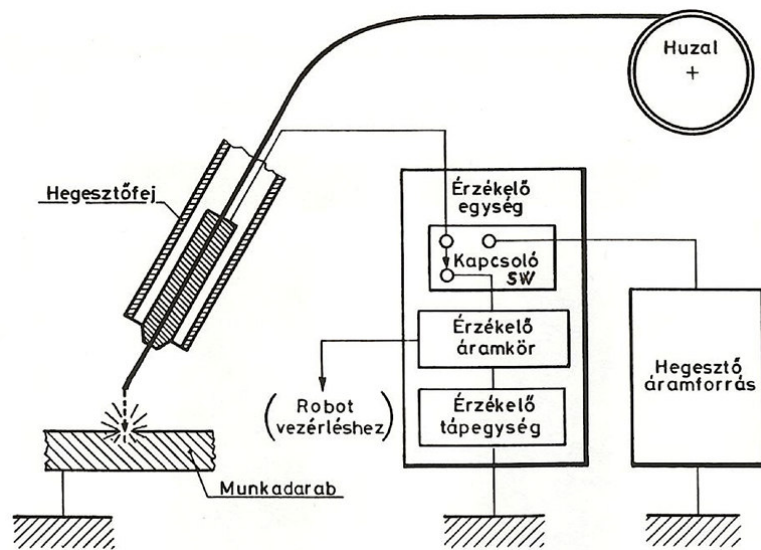
A mechanikus-elektromos szenzoroknál a munkadarab letapogatása mechanikusan történik. A tapintófej azonban nem közvetlenül mozgatja a hegesztőfejet, hanem a szenzor a tapintófej elmozdulásával arányos elektromos jelet hoz létre. Ezt a berendezés szabályozó elektronikája érzékelő jelként felhasználva korrigálja a hegesztőfej mozgását rendszerint a hegesztés irányára merőlegesen elhelyezett villamos hajtású szánszerkezet(ek) segítségével [102], [103].

A mechanikus-elektromos szenzorok felhasználási területe hasonló a mechanikus szenzorokéhoz, ezek a szenzorok azonban nagyobb szabadságot adnak a hegesztőautomata kialakításának, és a hegesztési pozíció megválasztásának szempontjából. Mindkét szenzortípusra jellemző, hogy a követendő hegesztési pályát a szenzor a hegesztőfej előtt egy bizonyos távolságban érzékeli, amiből sok esetben leképzési hiba adódhat (nagyobb eltérések, és különösen hirtelen változások követésére ezért ezek a szenzorok nem alkalmasak).

A kontakt elektromos szenzorok azok az érintéses geometriaérzékelő szenzorok, amelyeket jelenleg ívhegesztőrobotokhoz a legelterjedtebben használnak. Ennek oka, hogy ezekhez a szenzorokhoz nem szükséges (bár lehetséges) külön érzékelő-testet szerelni a robotra, hanem maga a hegesztőfej elszigetelt gázfűvókája, vagy a hegesztőhuzal tölti be a kontakt érzékelő szerepét [104].

A hegesztőhuzallal érzékelő szenzor működési elvét a **20. ábra** alapján az alábbiakban lehet összefoglalni.

A szenzor működésbe hozása előtt a robot a hegesztőhuzal végét meghatározott hosszúságúra egy gépi működtetésű vágófej segítségével levágja. Ezt követően a robot számítógépe által vezérelt SW jelű alternatív kapcsoló megszüntetve a hegesztő áramforrás és a hegesztőhuzal villamos kontaktusát, a hegesztőhuzalra kapcsolja a szenzor érzékelő tápegysége által szolgáltatott feszültséget. Ezután a robot egyenes mentén kis (általában nem több, mint 15 cm/min) sebességgel közelíti a hegesztőhuzalt a munkadarab felé. A szenzor érzékelő áramköre abban a pillanatban, amint rövidzárlatot (jelentős feszültségesést) érzékel, utasítást ad a robot vezérlő számítógépe számára, hogy állítsa meg a karrendszer mozgását, és a karrendszer (illetve a TCP - szerszámközpont) pillanatnyi helyzetét jellemző koordinátákat, mint az érzékelt referencia pont koordinátáit használja fel a továbbiakban.



20. ábra A hegesztőhuzal, mint kontakt elektromos szenzor⁴⁰

Annak érdekében, hogy a munkadarab felületi szennyeződéseitől függetlenül a szenzor érzékelője és a munkadarab érintkezésekor biztosan létrejőjön a villamos kontaktus, a szenzor érzékelőjét a konkrét gyártmánytól függően általában 200 és 600 V közötti feszültségre kapcsolják, a rövidzárlati áramerősség néhány mA-es értékre való korlátozása mellett.

Ezek a szenzorok, mint ahogy az az előbbiekből is következik, nem alkalmasak folyamatos (on-line) varratkövetésre. A szenzor a hegesztés megkezdése előtt a fentiek szerint referenciapontokat érzékel a munkadarab különböző pontjain (a keresési feladattól függő

⁴⁰ [104] alapján saját szerkesztésű ábra

számban és helyeken), majd az aktuális referenciapont-helyzet adatokat összeveti a tanító programozás során felvett referenciapont-helyzet adatokkal. Az adatok különbözősége esetén a keresési módtól függő algoritmus szerint a vezérlő számítógép módosítja az alkatrészprogram bizonyos pontjait (pl. a hegesztés kezdőpontját, kezdő- és végpontját, az egész alkatrészprogramot, vagy annak egy részét) [105].

A kontakt elektromos szenzorok alkalmazásánál problémát jelenthet, hogy maga az érzékelési folyamat (az érzékelendő referencia pontok számától függően) viszonylag sok időt vesz igénybe, mivel a keresőjáratok sebességének növelése az érzékelési pontosság csökkenésére vezet. Ez különösen a hegesztőhuzal végével érzékelő szenzorok esetében jelentős. Ezért ilyen szenzorok használata többnyire csak olyan esetekben gazdaságos, amikor a keresőjáratok összes időszükséglete lényegesen kisebb mint a hegesztési főidő. Az ilyen típusú szenzorok alkalmazásának gazdaságosságát pl. a [106]-ban bemutatott módszer szerint - speciális keresőjárat-mozgásvezérléssel megnövelt keresőjárat-sebességgel - (a megkívánt érzékelési pontosság megtartása mellett) lehet javítani.

Az érintéses geometriaérezkelő szenzorok jellegzetes alkalmazási területe a nagyméretű hegesztett szerkezetek teljesen gépesített, illetve robotosított hegesztése [107], [108]. Ennek a szenzor típusnak az alkalmazási területe a robottechnikában leginkább a hegesztés kezdőpontjának megkeresése főként sarokvarratok esetén. A szenzor megfelelő szoftverrel eléggé sokféle keresési feladathoz rugalmasan felprogramozható, pl. kör középpont keresésre is lehet alkalmas [109]. A szakirodalomból nyert tapasztalatok alapján tompavarratok kereséséhez azonban csak korlátozott mértékben és csak nagyon körülményesen alkalmazható.

1.3.2.4.5. Folyamatérzékelő, belső paramétereket mérő szenzorok

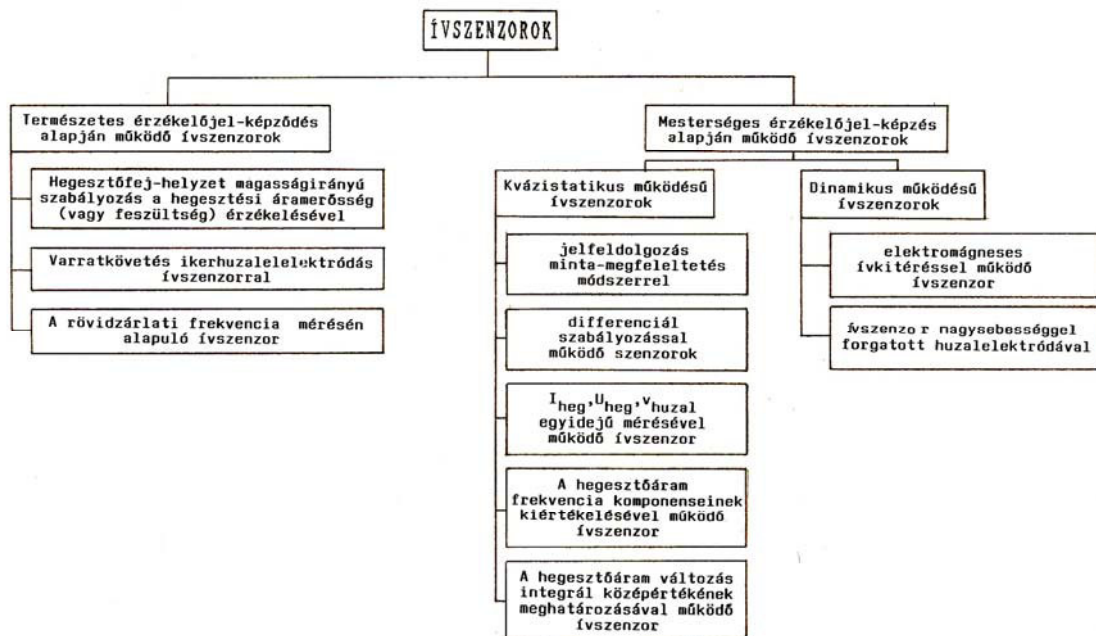
A folyamatérzékelő belső paramétereket mérő szenzorokat a szakirodalom gyakran mint ívszenzort említi, ezért a továbbiakban a tömörség kedvéért ezt a kifejezést használom.

Az ívszenzorok (különösen hegesztőrobotokhoz való) használatának egyik legfontosabb előnye, hogy folyamatos varratkövetési, illetve hegesztési folyamatszabályozási feladatok úgy oldhatók meg segítségükkel, hogy nem szükséges külön érzékelő szenzortestet a hegesztőfej közelébe építeni. Ezzel nem zavarja az adott hegesztő berendezés hozzáférési tulajdonságait, ami különösen robotok alkalmazásakor kedvező a rugalmas felhasználhatóság szempontjából.

A témával foglalkozó szakirodalmat áttekintve megállapítható, hogy az elmúlt évtizedekben meglehetősen sokféle ívszenzort fejlesztettek ki, amelyek mind működésüket, mind felhasználási területüket tekintve jelentősen különbözhetnek egymástól. A jobb áttekinthetőség érdekében célszerű bizonyos elvek szerint csoportosítva bemutatni az egyes szenzortípusok főbb jellemzőit. Ilyen rendezőelv lehet pl. az érzékelőjel képzésének módszere. Az ívszenzorok e szerinti csoportosítását a **21. ábrán** mutatom be.

Természetes érzékelőjel-képződés alapján működő ívszenzorok

A természetes érzékelőjel-képződés alapján működő ívszenzorok közös jellemzője, hogy az érzékelni kívánt fizikai jellemzővel arányos érzékelőjel a hegesztési folyamatba történő mesterséges beavatkozás nélkül nyerhető. A következőkben bemutatjuk az ezen az elven működő ívszenzorok főbb változatait.



21. ábra Az ívszenzorok rendszerező áttekintése⁴¹

Hegesztőfej-helyzet magasságirányú helyzetérzékelés a hegesztési áramerősség (vagy feszültség) érzékelésével

⁴¹ Saját szerkesztésű ábra

A fogyóelektródás ívhegesztő eljárásoknál permetszerű anyagátmenet esetén a szabad huzalhosszon eső feszültség a következő alakban írható fel [110]:

$$U_{sz}=k_1 \times L_{sz} \times j - k_2 \times v_h / j \quad (10)$$

ahol k_1 - konstans, a hegesztőhuzal fajlagos ellenállása (Ωmm -ben),

k_2 - a hegesztőhuzal szobahőmérsékleten mért ellenállásától függő konstans,

L_{sz} - a szabad huzalelektroda-hossz (melynek bizonyos egyszerűsítésekkel ábrázolt értelmezését a **22. ábra** mutatja be),

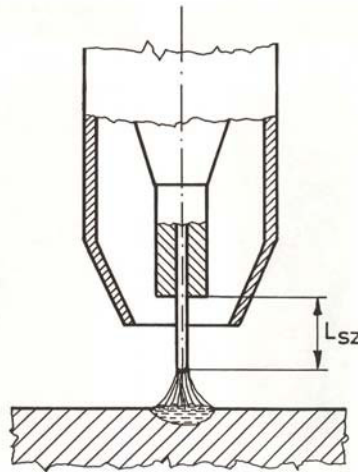
v_h - a huzalelőtölés sebessége,

j - az áramsűrűség [A/mm^2].

Lesnewich nagymennyiségű kísérleti adat felhasználásával felállított egy összefüggést a huzalelőtölési sebesség, az áramsűrűség és a szabad huzalelektroda-hossz között [111]:

$$v_h=C_1 \times j + C_2 \times L_{sz} \times j^2 \quad (11)$$

ahol C_1 és C_2 konstansok.



22. ábra A szabad huzalelektroda hossz (L_{sz}) értelmezése⁴²

(11)-ből kifejezve a szabad huzalelektroda-hosszt, majd az áramsűrűség szerinti differenciálját képezve nyerhetjük a következő összefüggést:

$$d_j/dL_{sz}=C_2 \times j^3 / (C_1 \times j - 2 \times v_h) \quad (12)$$

⁴² Saját szerkesztésű ábra

Ez az összefüggés adja állandósult állapotban az áramsűrűség szabad huzalelektroda-hosszra vonatkoztatott változását. Ugyanezt a névleges áramsűrűség százalékában kifejezve kapjuk az ún. áramérzékenységet:

$$SEN=100 \times (C_2 \times j^2 / (C_1 \times j - 2 \times v_h)) \% \quad (13)$$

Az ívfeszültség a hegesztési feszültség és a szabad huzalelektroda-hosszon eső feszültség különbségeként számítható:

$$U_i = U_h - U_{sz} \quad (14)$$

Amson szerint az ívfeszültség és az ívhossz, valamint az átfolyó hegesztő áramerősség között a következő összefüggés áll fenn:

$$U_{sz} = B_1 \times I + B_2 + B_3 / I + B_4 \times L_i \quad (15)$$

ahol B_1, B_2, B_3, B_4 konstansok.

Permitszerű anyagátmenethez tartozó hegesztési feltételek melletti hegesztési paraméterekkel számolva a konstansok számszerű értékeit behelyettesítve (10), (14) és (15) alapján kiszámítható, hogy a szabad huzalelektroda-hossz 37%-os megváltozása az ívhossznak mindössze 2%-os megváltozásával jár együtt. Tehát a hegesztőfej-munkadarab távolságának megváltozásakor állandósult állapotban az ívhossz megközelítőleg állandó marad. Ennek megfelelően (12)-ben L_{sz} helyébe L_h -t írhatunk, így az állandósult állapotra vonatkozó áramérzékenység a (13) összefüggésnek megfelelően adódik. SEN értéke a fenti feltételek mellett acél hegesztőhuzal esetén 2-6% között változik.

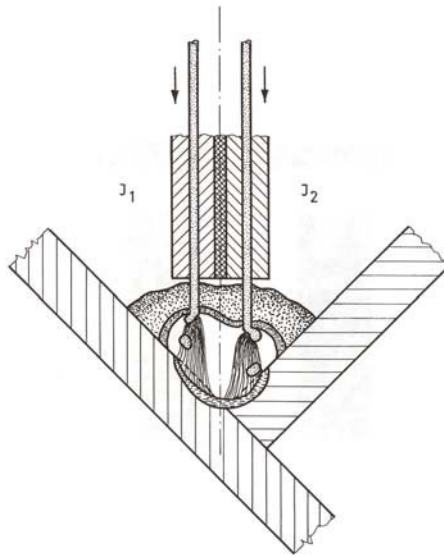
Összefoglalva tehát a fogyóelektrodás védőgázos ívhegesztő eljárásokhoz alkalmazott vízszintes (vagy enyhén eső) jellegű karakterisztikával rendelkező áramforrások használata esetén a belső ívszabályozás miatt a hegesztőfej-munkadarab távolságának megváltozása gyakorlatilag egyenlő a szabad huzalelektroda-hossz megváltozásával. Az állandósult állapotra vonatkozó áramérzékenység értéke pedig 2-6% között változik 1mm hegesztőfej-munkadarab távolságváltozásra vonatkoztatva. Ez lehetővé teszi a hegesztőfej-munkadarab távolság legalább ± 0.25 mm-es pontosságú mérését illetve szabályozását.

Meredeken eső jellegű gépkarakterisztikával jellemezhető hegesztőeljárások (pl. AWI) és plazmaív vágás gépesített változatai esetén a hegesztő/vágó fej – munkadarab távolság megváltozása a hegesztési/vágási ívfeszültség megváltozását idézi elő, ami jól használható magasságirányú szabályozásra. A robotosított, gépesített plazmaív vágás eredményes

gyakorlati alkalmazása el sem képzelhető a vágás közbeni folyamatos magasságszabályozás nélkül [112].

Varratkövetés ikerhuzal-elektrodás ívszenzorral

Az ikerhuzal-elektrodás ívszenzor hegesztőfejének kialakítását a **23. ábra** mutatja be. Ezt a szenzort előnyösen lehet vékony-huzalos fedettívű hegesztéshez alkalmazni (az 1.2 mm-es vagy 1.6 mm-es átmérőjű huzalelektrodák egymástól viszonylag kis, 8-10 mm-es távolságban futnak ki az áramvezető hüvelyből, így az elektrodák alatt közös ömledék jön létre) [113].



23. ábra. Ikerhuzalos ívszenzor fedettívű hegesztésnél⁴³

A szenzor működési elve lényegében megegyezik azzal az előzőekben ismertetett alapelvvel, miszerint a hegesztőfej - munkadarab távolságának változása a szabad huzalelektroda-hosszváltozás hatására létrejövő hegesztő áramerősség változással jellemezhető. Jelen esetben a magasságirányú szabályozáshoz a két elektrodán átfolyó áramerősség összegét (a 23. ábra szerinti I_1+I_2) viszonyítják az előzetesen rögzített referencia értékhez. Az oldalirányú szabályozáshoz pedig az egyes elektrodákon mért átfolyó áramerősség különbségét (I_1-I_2) használják fel érzékelő jelként, melynek nagysága az oldalirányú eltérés nagyságával lesz arányos, előjele pedig az eltérés irányát adja meg.

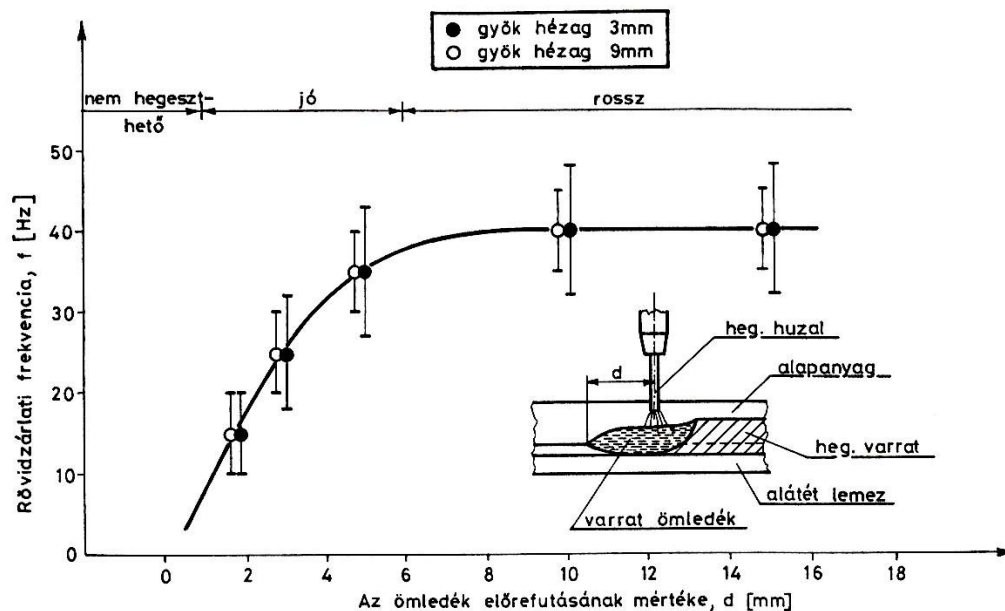
⁴³ [103] alapján saját szerkesztésű ábra

Az ikerhuzal-elektrodás ívszenzor sikeres gyakorlati felhasználására - hegesztő célgépekbe építve - [114]-ben láthatunk példát, ahol a varratkövetési tulajdonságokat a kezdeti két, a varratvonalra merőleges lineáris korrekciós mozgást egy további, a hegesztőfej elfordulását is lehetővé tevő mozgással sikerült jelentősen javítani.

Ezzel a szenzorral a fedettívű hegesztésnél egyébként szokásosan alkalmazott szenzorokhoz (pl. kontakt mechanikus, vagy kontakt mechanikus-elektromos) képest lényegesen nagyobb eltéréseket lehet leképzési hiba nélkül varratkövetéssel áthidalni.

A rövidzárlati frekvencia mérésén alapuló ívszenzor

Igen ötletes megoldás leírását találhatjuk [115]-ben, ahol a gyökhegesztéshez egyébként is gyakran használatos rövidzárlatos technikával hegesztve - a rövidzárlati frekvenciát érzékelőjelként felhasználva - a hegesztési sebességgel történő beavatkozás révén oldják meg gyökvarratok hegesztését változó résméret esetén, megbízható gyökátolvasztással. A szenzor működési elve a **24. ábra** alapján követhető nyomon.



24. ábra. A rövidzárlati frekvencia mérésének elve alapján működő ívszenzor⁴⁴

Az ábrában a rövidzárlati frekvencia és a "d"-vel jelölt ömledék-előrefutás közötti összefüggés látható. Mivel a mérések szerint megfelelő minőségű gyökvarrat az ömledék-

⁴⁴ [105] alapján saját szerkesztésű ábra

előrefutás mértékének csak egy meghatározott tartományában hegeszthető, így ezt a tartományt a rövidzárlati frekvencia egy meghatározott tartományával is lehet jellemezni. A szenzor működtetése során tehát úgy kell a hegesztési sebesség értékét szabályozni, hogy a rövidzárlati frekvencia mindenkori értéke az adott tartományon belül maradjon. Ezzel biztosítható a megfelelő minőségű gyökvarrat készítése egyoldali hegesztéssel is. A hegesztési rövidzárlatok érzékelésére a hegesztési feszültséget használják fel. A rövidzárlatok keletkezésének időpontját a hegesztési feszültség értékének egy bizonyos " U_{ref} " feszültségi szint alá történő csökkenése jelenti.

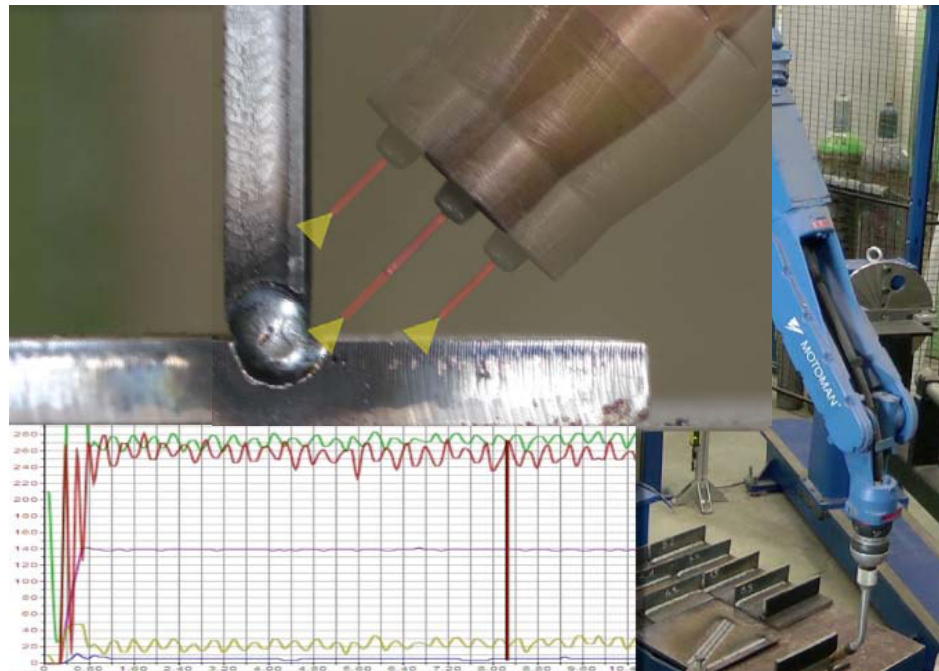
A szenzor felhasználási területe, mint az az előbbiekből is következik, a hegesztési paraméter-szabályozás. A szenzorral varratkövetési feladatokat nem lehet megoldani (a varratkövetésre alkalmazott ívszenzorok, mint azt a későbbiek során még látni fogjuk, általában egyébként sem üzemelnek megbízhatóan minden esetben rövidzárlatos anyagátmenet esetén), ezért ha rövidzárlatos hegesztés tartományában szükséges a megfelelő varratkövetés, azt külön erre alkalmas szenzorral kell megvalósítani.

Mesterséges érzékelőjel-képzés alapján működő ívszenzorok

A mesterséges érzékelőjel-képzés alapján működő ívszenzorok a hegesztési folyamatba történő mesterséges beavatkozás útján nyerik a varratkövetési folyamat szabályozó körének érzékelő jelét. Ez a mesterséges beavatkozás a hegesztő elektróda (elektródahuzal) mechanikus, vagy a hegesztőív elektromágneses lengetését jelenti. (Ez nyilvánvalóan abban az esetben, ha a technológia maga is tartalmaz ilyen értelmű előírást, szó szerint nem tekinthető mesterséges beavatkozásnak.) Az érzékelőjel pedig a lengetés hatására a hegesztő áramerősségben, vagy hegesztési feszültségben bekövetkezett periodikus változás, melynek jellege a hegesztőfej magasságirányú és oldalirányú relatív helyzetére lesz jellemző. Ebből következik, hogy ezek az ívszenzorok csak olyan varratípusok követésére alkalmasak, ahol a lengetés hatására megfelelő érzékelőjel képződik. Vagyis a hegesztő áramerősség (feszültség) lengetés hatására bekövetkező periodikus változása egyrészt mérhető, másrészt a hegesztőfej-munkadarab kölcsönös helyzetére ténylegesen jellemző (pl. **25. ábra**).

Ennek megfelelően ezen szenzorok jellegzetes felhasználási területe a sarokvarratok, "V"-varratok, illetve egyéb nagyobb keresztmetszetű többretegű varratok gyökvarratainak hegesztése (amennyiben ezt az egyéb technológiai paraméterek lehetővé teszik). A működés alapja tehát tulajdonképpen itt is az, hogy a hegesztőfej-munkadarab távolság megváltoztatása ennél az eljárásnál a hegesztő áramerősség megváltozását fogja előidézni [116].

Mivel a lengetés frekvenciájától függően igen gyors hegesztőfej-munkadarab távolságváltozás is létrejöhet ezeknek az ívszenzoroknak a használatánál, célszerű néhány gondolat erejéig kitérni a fogyóelektródás védőgázos ívhegesztő eljárások hegesztőívének dinamikus viselkedésére.



25. ábra. Sarokvarrat lengetett hegesztőfejjel⁴⁵

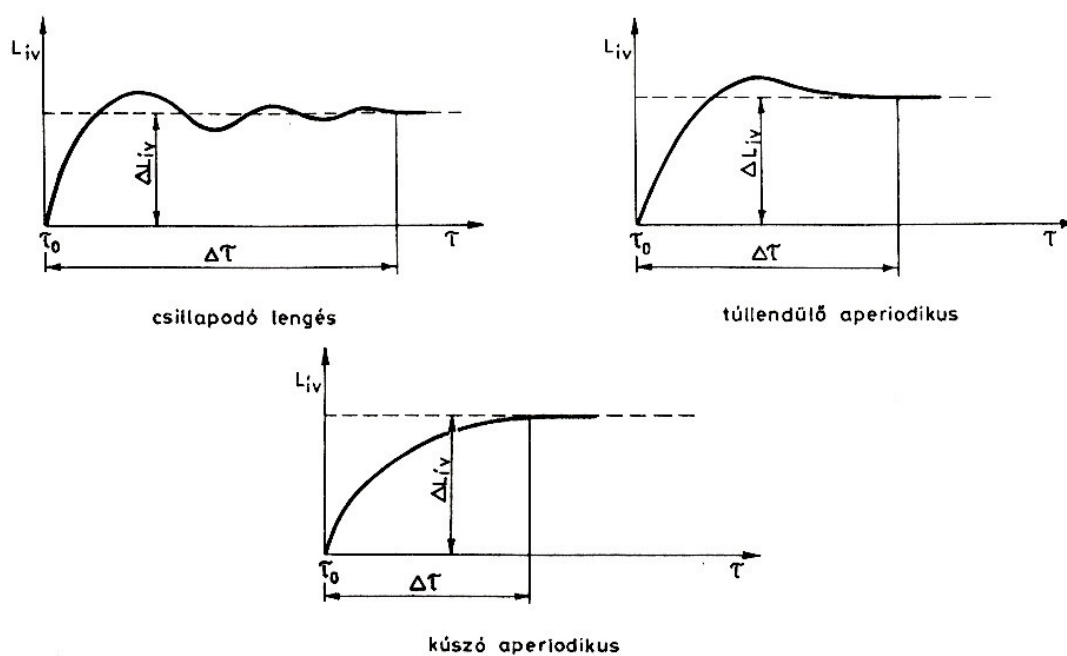
A fogyóelektródás védőgázos ívhegesztő eljárásoknál a stabil hegesztőív kialakulását, a huzalelektroda leolvadási sebességének és a huzalelőtolási sebesség egyensúlyából következő ívhossz stabilizálódást az eljárásra jellemző belső szabályozási folyamat biztosítja. Ennek az ívhossz-stabilizálódásnak is természetesen van egy bizonyos (Δt) időszükséglete. Ezért a hegesztőfej - munkadarab távolság hirtelen megváltozásának következtében átmenetileg megváltozik az ívhossz is.

Az ívhosszváltozás átmeneti jelenségét egységugrás függvényel vizsgálva az ívhossz-stabilizálódás **26. ábra** szerinti alapváltozatait különböztethetjük meg.

Ezek közül legkedvezőbb a kúszó aperiodikus változat, ha a Δt idő elegendően kicsi. A gyakorlatban a megfelelő minőségű hegesztési varrat készítéséhez Δt értékének 0.1s-nál kisebbnek kell lennie [117].

⁴⁵ Saját szerkesztésű ábra

Azt, hogy egy adott berendezés esetében mekkora az ívhossz-stabilizálódás időszükséglete, azt alapvetően a hegesztő áramforrás induktivitása határozza meg. Ezért általában az ívszenzorok használatakor a hegesztő áramforrás induktitásának igen jelentős hatása van a szenzor működésére, döntően meghatározza pl. azt a lengetési határfrekvenciát, amellyel a lengetést végezve még megvalósulhat a folyamat során a hegesztőív hosszának stabilizálódása [118]. A különböző típusú ívszenzorok használatához mindenesetre olyan hegesztő áramforrások használata látszik célszerűnek, amelyek a nagy működési frekvenciából következően igen jó dinamikai tulajdonságokkal is rendelkeznek (inverteres, tranzistoros hegesztő áramforrások) [119].⁴⁶



26. ábra. Az ívhossz-stabilizálódás alapváltozatai⁴⁷

A fentieknek megfelelően a mesterséges érzékelőjel-képzés alapján működő ívszenzorokat célszerűen pl. aszerint lehet csoportosítani, hogy a lengetés során van-e elegendő idő az ívhossz stabilizálódására. Ezek szerint megkülönböztethetünk:

⁴⁶ Itt meg kell jegyezni, hogy a legújabb és legfejlettebb hegesztő áramforrások dinamikus tulajdonságait nem egy (vagy több) hagyományos fojtótekercs határozza meg, hanem annak elektronikus/mikroprocesszoros szabályozása. Vannak olyan szabályozási módok, melyek már teljesen eltérnek a klasszikus vízszintes gépkarakterisztikás belső szabályozási folyamatától: pl. impulzus hegesztés esetén van olyan szabályozási mód, mely periódusonként kétszer vált karakterisztikát. Ilyen esetekben külön meg kell vizsgálni az ívszenzor alkalmazhatóságát az adott üzemmóddal párosítva.

⁴⁷ [117] alapján saját szerkesztésű ábra

- a szabad huzalelektroda-hossz megváltozásán alapuló mesterséges érzékelőjel-képzéssel működő (kvázistatikus) ívszenzorokat, és

- az ívhossz megváltozásán alapuló mesterséges érzékelőjel-képzéssel működő (dinamikus) ívszenzorokat.

A következőkben ebben a csoportosításban mutatom be a mesterséges érzékelőjel-képzéssel működő szenzorok egyes típusait.

Kvázistatikus érzékelőjel-képzéssel működő ívszenzorok

Közös jellemzőjük tehát, hogy a lengetés (ami itt legtöbb esetben a hegesztőfej mechanikus lengetését jelenti) hatására bekövetkező érzékelőjel-képzés közben elegendő idő áll rendelkezésre az ív önszabályozó folyamatának megvalósulására, ezért a hegesztő áramerősség változása döntően a szabad huzalelektroda-hossz megváltozásának következményeként jön létre. A fentiek alapján ez azt jelenti, hogy a lengetés frekvenciája a hegesztőgép dinamikai tulajdonságaitól függően legfeljebb néhány Hz lehet.

Ezeket az ívszenzorokat előnyösen lehet hegesztőrobotoknál használni úgy, hogy a hegesztőfej transzverzális lengetését maga a karrendszer mozgása valósítja meg. Ehhez meg kell jegyezni, hogy az egyes karrendszerekkel megvalósítható lengetési frekvencia értéke a lengetési amplitúdó nagyságától függően legfeljebb 3-5 Hz lehet, de mint ahogy azt az előbbieken is említettük, itt nincs is igény ennél nagyobb lengetési frekvencia alkalmazására.

A következőkben bemutatom az ebbe a csoportba tartozó ívszenzorok néhány jellegzetes típusát, amelyek alapvetően az érzékelőjel feldolgozásának módszerében térnek el egymástól.

Minta-megfeleltetési módszer

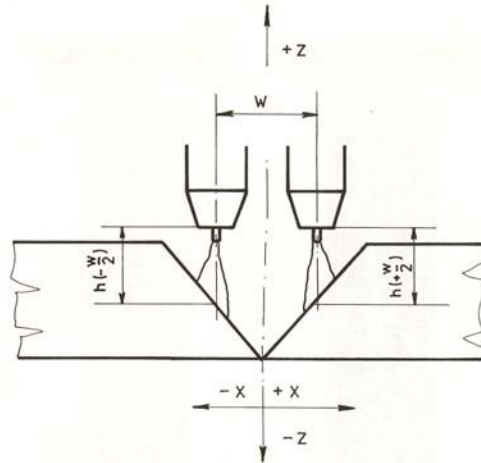
A minta-megfeleltetési módszer a hegesztőfej központosságának szabályozásához (**27. ábra**) a hiba kritériumot a következőképpen határozza meg [110]:

$$Ec = \int_{-w/2}^0 |t(x) - s(x)| dx - \int_0^{w/2} |t(x) - s(x)| dx \quad (16)$$

Amennyiben szükséges, a szélességi kritérium is kiszámítható az alábbiak szerint:

$$Ew = \int_{-w/2}^{w/2} |t(x) - s(x)| dx \quad (17)$$

ahol $t(x)$ - a mintajel a lengetés középpontjától mért (x) távolság függvényében,
 $s(x)$ - a mért áramerősségjel a lengetés középpontjától mért (x) távolság függvényében,
 w - a lengetés teljes szélessége.



27. ábra. Ívszenzor minta-megfeleltetési módszerrel⁴⁸

A szükséges központossági illetve szélességi korrekció értéke arányos E_C -vel, illetve E_W -vel, így a központossági korrekció értéke:

$$k_C \times E_C,$$

a szélességi korrekció értéke:

$$k_W \times E_W,$$

melyek a varratkövetés szabályozókörében visszacsatolásra felhasználhatók.

A függőleges (z) irányú (l. 38. ábra) mozgásszabályozás a lengetési középpont közelében mért átlagos $s(x)$ jel értékének a hegesztőfej-munkadarab távolság referencia jelével való összehasonlítása útján lehetséges.

A leírt minta-megfeleltetési módszert a rendelkezésre álló információk szerint eddig csak laboratóriumi körülmények között próbálták ki.

A differenciál szabályozás módszere

A differenciál szabályozás algoritmusa a számítógépes feldolgozás szempontjából egyszerűbb, mint a minta-megfeleltetési módszer, és a vizsgálatok szerint eléggé megbízható mind a magasság- mind az oldalirányú mozgásszabályozáshoz [120].

Oldalirányú szabályozáskor a lengetés szélső pontjaiban mért áramerősség értékeit hasonlítják össze egymással. A lengetés szélső pontjaiban - ha a munkadarab helyzete $+x$ vagy $-x$ irányban (l. 27. ábra) eltér a programozott iránytól - maximum $h(+w/2)$ illetve $h(-w/2)$ lehet a

⁴⁸ [110] alapján saját szerkesztésű ábra

hegesztőfej-munkadarab távolság. Ennek megfelelően a szélső pontokban mért áramerősséggel különbsége arányos az oldalirányú hiba (e_x) nagyságával:

$$e_x = k_1 \times [I(+w/2) - I(-w/2)] \quad (18)$$

A magasságirányú hiba (e_z) pedig arányos lesz a lengetés középpontjában mért áramérték ($I(0)$) és az előre programozott referenciaáram (I_{ref}) értékének különbségével:

$$e_z = k_2 \times [I(0) - I_{ref}], \quad (19)$$

vagy felhasználva a szélső pontokban mért áramértékeket ez értéke a következőképpen is számítható [110]:

$$e_z = k_2 \times [I_{\text{átl}} - I_{ref}], \quad (20)$$

ahol

$$i_{\text{átl}} = k_3 \times [I(+w/2) + I(-w/2)]/2 \quad (21)$$

sőt igen sok esetben ez utóbbi módszert részesítik előnyben a ciklusonkénti kevesebb mérési pont miatt.

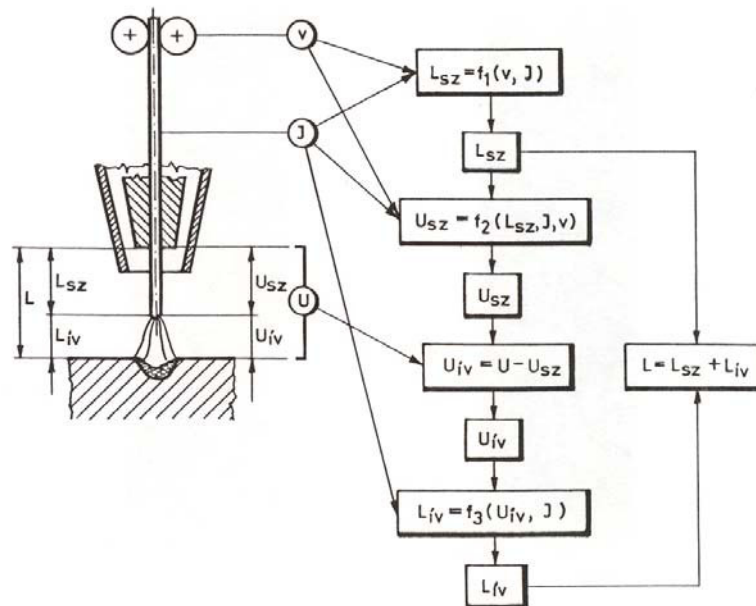
A k_1 , k_2 és k_3 konstansok értékei a varrat geometriájától, a védőgáz minőségétől és a huzalelőtolási sebesség értékétől függenek.

A differenciál szabályozás elvi alapjait hasznosító ívszenzorokat a gyakorlatban nemcsak varratvonal-követésre, hanem pl. lengetési szélesség, varratmagasság szabályozására is használják [121], [122]. Többrétegű varratok hegesztése esetén lehetőség van arra is, hogy a feltöltő- és fedővarratokat a varratkövetéssel hegesztett gyökvarrattal párhuzamosan (a gyökvarrat letárolt pályainformációi alapján) lehessen további on-line varratkövetés nélkül meghegeszteni [123].

Ívszenzor a hegesztő áramerősség, feszültség és huzalelőtolási sebesség egyidejű mérésével

A szenzor működési elve lényegében hasonló az eddig ismertetett szenzorokéhoz, azonban ez esetben a hegesztőfej-munkadarab távolságának meghatározásához nemcsak a hegesztő áramerősség, hanem a huzalelőtolási sebesség és a hegesztési feszültség mérését is felhasználják [124]. A szenzor fejlesztésének célja az volt, hogy több paraméter egyidejű érzékelésével megbízhatóbb információkat lehessen a hegesztőfej és a munkadarab kölcsönös helyzetéről kapni, javítva ezzel a varratkövetési tulajdonságokat.

A hegesztőfej-munkadarab távolságának meghatározására szolgáló számítási mód blokkvázlatát a **28. ábra** mutatja be.



- v: huzalelőtolási sebesség
- J: hegesztő áramerősség
- U: hegesztési feszültség (az áramhozzávezető hüvely és a munkadarab között mérve)
- Uív: ívfeszültség
- Uisz: a szabad huzalhosszon eső feszültség
- Lív: ívhossz
- Lsz: szabad huzalhossz
- L: hegesztőfej-munkadarab távolság jellemző értéke

28. ábra. Ívszenzor a hegesztő áramerősség, feszültség és huzalelőtolási sebesség egyidejű mérésével⁴⁹

Az alábbiakban ismertetem a számításához használt főbb összefüggéseket.

A szabad huzalhossz (L_{sz}) meghatározása:

$$L_{sz} = \frac{v - C_1 x I_a}{C_2 x I_e^2} \quad (22)$$

ahol I_a - a hegesztőáram átlagértéke,

I_e - a hegesztőáram effektív értéke,

⁴⁹ [124] alapján saját szerkesztésű ábra

v - a huzalelőtolási sebesség,

C_1, C_2 - konstansok.

A szabad huzalhosszon eső feszültség meghatározása:

$$U_{sz} = R \times I_a \quad (23)$$

ahol $R = f(I_e, v, L_{sz}, d)$ - a "d" átmérőjű szabad huzalhossz (hőmérsékletfüggő) ellenállása.

Az ívfeszültség így az áramátadó hüvely és a munkadarab között értelmezett hegesztési feszültség (U) és a szabad huzalhosszon eső feszültség (U_{sz}) különbségeként kiszámítható:

$$U_{iv} = U - U_{sz} \quad (24)$$

Az ívhosszt (L_{iv}) az alábbi összefüggés alapján lehet meghatározni:

$$L_{iv} = \frac{U_{iv} - C_3 - C_4 \times I_a}{C_5 + C_6 \times I_a} \quad (25)$$

ahol C_3, C_4, C_5 és C_6 konstansok.

Ezek alapján a hegesztőfej-munkadarab távolság jellemző értéke (amely pontosabban a munkadarab és az áramátadó hüvely távolsága, az áramátadás pontjának bizonytalanságával) a kiszámított ívhossz és a szabad huzalhossz összegeként adódik:

$$L = L_{iv} + L_{sz} \quad (26)$$

A mérések szerint ez a módszer 0.3 mm átlagos hibával alkalmas a hegesztőfej - munkadarab távolságának meghatározására [125], ami a varratkövetés szempontjából kielégítő.

A kvázistatikus működésű ívszenzorok általános problémája a hegesztési paramétereiktől függő, de sok esetben kedvezőtlen áramerősségjel/zaj viszony, ami a varratkövetési folyamat stabilitása szempontjából okoz gondot. E problémának a csökkentése érdekében a fejlesztők különféle megoldási lehetőségeket kínálnak. Az [126]-ban bemutatott módszer szerint pl. impulzus keskenyrés hegesztés esetén az áramerősség-mintavétel a lengetés szélső pontjaiban az impulzus csúcsáram ideje alatt történik. Mivel a csúcsáram erőssége az átlagos áramerősséghez képest jelentősen nagyobb, így ezzel az áramerősségjel/zaj viszonyszám is lényegesen javul.

A varratkövetési folyamat stabilitását ugyancsak jelentősen rontják a rövidzárlatos vagy vegyes anyagátmenet miatt bekövetkező hirtelen áramerősség-változások. Szükség lehet azonban rövidzárlatos anyagátmenet feltételei között is az ívszenzor használatára (varratkövetéses gyökhegesztés, vékonyabb lemezek varratkövetéses hegesztése,

pozícióhegesztés stb.), ezért van jelentősége azoknak a fejlesztéseknek, amelyek az ívszenzor működését e területen is igyekeznek javítani. Ezek közül bemutatok a továbbiakban két megoldási lehetőséget.

A hegesztőáram frekvenciakomponenseinek kiértékelésével működő ívszenzor

A szenzor úgy javítja a rövidzárlatos anyagátmenettel történő hegesztésnél a varratkövetési tulajdonságokat, hogy a hegesztőáram frekvenciakomponensei közül a szenzor kiválasztja a hegesztőfej lengetésének hatására kialakult komponens, és ezt használja fel a hegesztőfej helyzetének szabályozására [106], [127].

A szenzor működésének lényege a következő: a mért hegesztő áramerősség nagyfrekvenciás összetevőinek kiszűrése után a hegesztőfej lengetésének minden egyes periódusát követően elvégzi a hegesztő áramerősség digitális Fourier transzformációját az alábbiak szerint:

$$P(f) = \int I(t) x e^{-i\omega t} dt \rightarrow \sum_n^N I_n x e^{-i\omega t} x \Delta t \quad (27)$$

ahol Δt - a mintavétel időtartama (10 ms)

ω - a körfrekvencia ($\omega = 2 \times \pi \times f_0$)

f_0 - a hegesztőfej lengetésének frekvenciája

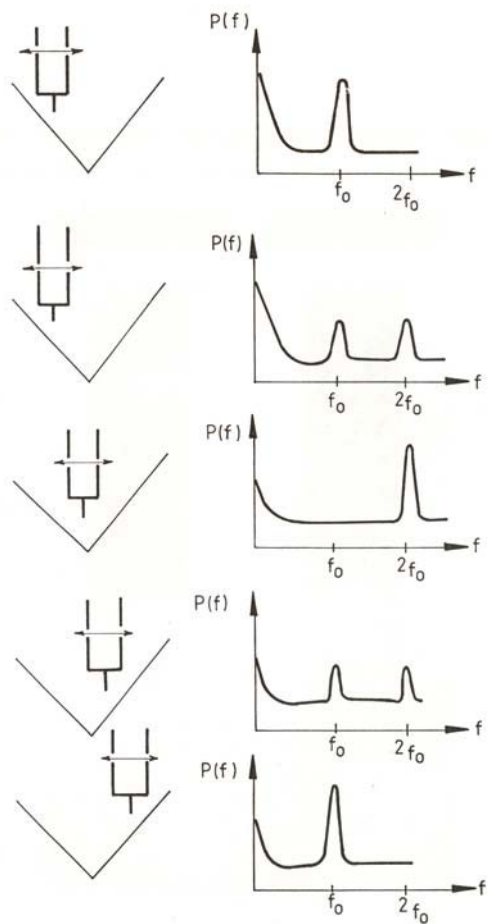
N - a mintavételek száma ($= 1 / (f_0 \times \Delta t)$)

A $P(f)$ frekvencia sűrűség spektrumban a $P(f_0)$ komponens nagysága arányos a varratvályú középvonala és a hegesztőfej lengetésének középvonala közötti eltérés (vagyis az oldalirányú eltérés) nagyságával (**29. ábra**). A hegesztőfej mozgáskorrekciójának irányát az a fázisszög értéke határozza meg, amelyet az alábbi módon lehet kiszámítani:

$$\alpha = \arctg(\text{Im}(P) / \text{Re}(P)) \quad (28)$$

ahol $\text{Im}(P)$ - a $P(f)$ frekvencia-sűrűség spektrum képzetes része,

$\text{Re}(P)$ - a $P(f)$ frekvencia-sűrűség spektrum valós része.

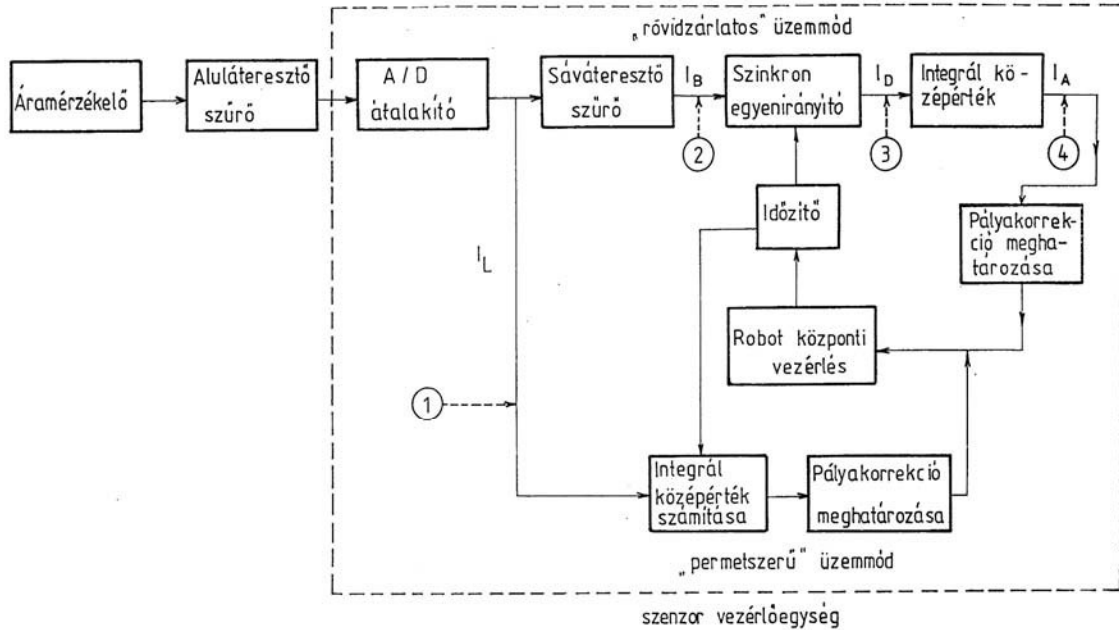


29. ábra. A hegesztőáram frekvenciakomponenseinek kiértékelésével működő ívszenzor⁵⁰

A hegesztőáram-változás integrál középértékének meghatározásával működő ívszenzor

A példaként ismertetésre kerülő COMARC II. típusú ívszenzor tulajdonképpen kétféle módszert használ - az anyagátvitel jellegétől függően - varratkövetésre. Permetszerű anyagátmenet esetén az előzőekben már ismertetett differenciál szabályozás módszerét használja fel. Rövidzárlatos anyagátmenet esetén pedig olyan módszert, amely a rövidzárlatok hatására a hegesztőáram jelalakjában megjelenő tranzienseket kiszűri, majd az így kapott jelet használja fel a hegesztőfej relatív helyzetének meghatározására [128]. A rendszer működését a **30. és a 31. ábra** segítségével követhetjük végig.

⁵⁰ [127] alapján saját szerkesztésű ábra

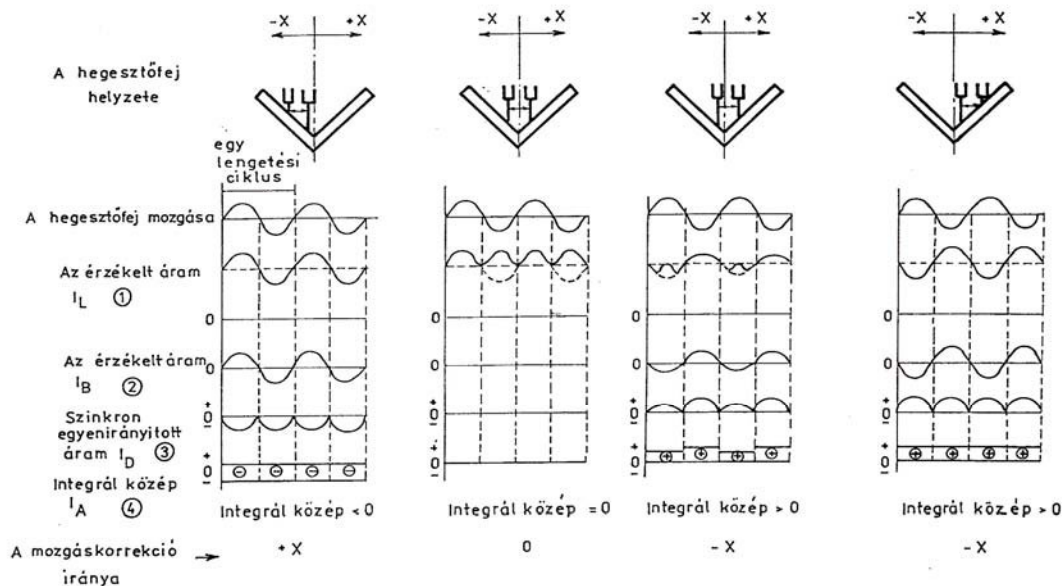


30. ábra. A COMARC II szenzorvezérlés blokkvázlata⁵¹

Az érzékelt hegesztő áramot a nagyfrekvenciás összetevők kiszűrése érdekében aluláteresztő szűrőn engedik át. Az analóg-digitál átalakító után a rövidzárlatos üzemmódban sáváteresztő szűrő segítségével csak a lengetés frekvenciájának megfelelő komponenseket engedik át a szinkron egyenirányítóba. A szinkron egyenirányító szerepe az, hogy a hegesztőfej lengetési fázisának megfelelő előjellel végezze el az áramjel egyenirányítását. Ezt követően határozzák meg az áram-jelalak előjelhelyes integrál középértékét. Az integrál középérték abszolút értéke a hegesztőfej pályakorrekciójának nagyságával arányos, az integrál középérték előjele pedig a pályakorrekció irányát határozza meg (l. 31. ábra).

Permitszerű anyagátvitel esetén az időzítő által vezérelt időpontokban (a fej lengetésének szélső pontjaiban) végzi a vezérlés az integrál középérték számítását, és a továbbiakban ezt használja fel a szükséges pályakorrekció meghatározására.

⁵¹ [128] alapján saját szerkesztésű ábra



31. ábra. A COMARC II szenzorvezérlés működési elve⁵²

Dinamikus működésű ívszenzorok

A nagyobb sebességgel történő hegesztés esetén ($v_{\text{heg}} \gg 40$ cm/min) részben a nagyobb oldal (és/vagy magassági) irányú korrekciós sebesség igénye, részben a megfelelő varratalak miatt már nem elegendő a kvázistatikus működésű szenzorokhoz alkalmazott max. 3-5Hz lengetési frekvencia. Itt meg kell jegyeznünk, hogy nagy (a hegesztési sebesség értékéhez közeli) korrekciós sebességre más esetben is, pl. éles sarkok varratkövetéssel való hegesztésekor [129] is szükség lehet.

A dinamikus működésű ívszenzorok alkalmazásának másik igénye az eddigieknél még nagyobb jel/zaj viszony megvalósításával megnövelni a varratkövetési folyamat biztonságát, stabilitását. A lengetési frekvencia 5Hz fölé történő növelése a tapasztalatok szerint a saját karrendszerrel való lengetéssel hegesztőrobotok esetén a manapság alkalmazott karrendszerekkel és hajtásokkal legfeljebb csak speciális lengetési móddal lehetséges.⁵³

⁵² [128] alapján saját szerkesztésű ábra

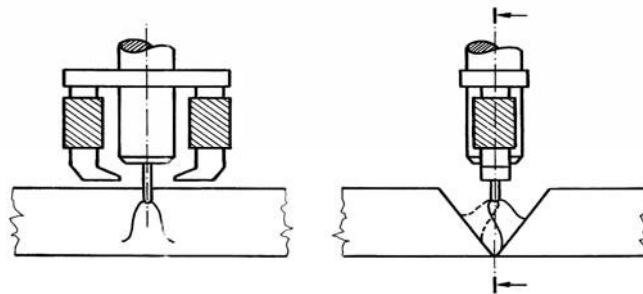
⁵³ Amennyiben megoldható az adott helyzetű varratnál, csak az utolsó (vagy minél kevesebb, és a legkisebb tömeget mozgató robot tengellyel kell végezni a lengetést. Természetesen minél kisebb amplitúdóval lengetünk, a lengetés frekvenciáját annál jobban növelhetjük. Ívszenzoroknál azonban az érzékeléshez szükséges megfelelő áramerősség változás képességéhez pedig a lehető legnagyobb amplitúdóra van szükség.

Ezért amennyiben hegesztőrobotok esetén ennél nagyobb lengetési frekvenciára (illetve precíziós lengetésre) van igény, akkor azt valamilyen külön a karrendszerre épített lengető berendezéssel meg lehet megoldani [130].

A következőkben röviden ismertetem a dinamikus működésű ívszenzorok két jellegzetes típusát.

Elektromágneses ívkitérítéssel működő ívszenzor

Az elektromágneses ívkitérítéssel működő ívszenzor kialakításának vázlatát a **32. ábra** mutatja be. Az eddig ismertetett megoldásoktól eltérően itt nem a hegesztőfejet, hanem magát a hegesztőívet lengetik, a hegesztőfejre épített elektromágnesek segítségével. Ennek hatására időben állandóan változik a hegesztési munkapont helyzete. A változás jellegéből meghatározható a hegesztőfej és a munkadarab kölcsönös helyzete. Az ívkitérítés ideje 1-5 ms, a szünetidő 50-200 ms. A tapasztalatok alapján a rövid idejű ívkitérítés hatására a varrat minősége nem romlik [131].



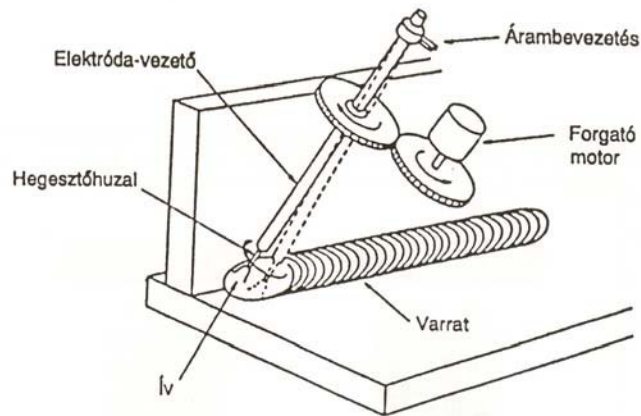
32. ábra. Elektromágneses ívkitérítéssel működő ívszenzor⁵⁴

Ívszenzor nagysebességgel forgatott huzalelektrodával

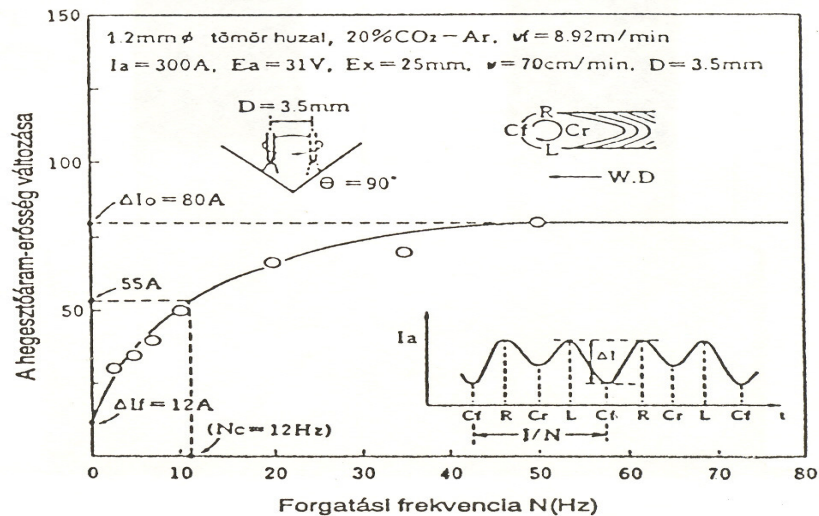
A nagysebességgel forgatott huzalelektrodával működő ívszenzor kialakítását a **33. ábra** szemlélteti. A motorral hajtott fogaskerékre excentrikusan csapágyazott elektrodavezető az áram-bevezetési hely, mint forgáspont körül forog. Így a huzalelektroda vége a motor fordulatszámából és a fogaskerék áttételéből adódó körfrekvenciájú forgást végez, ami meghatározza a hegesztőáram-változás frekvenciáját. Ez a frekvencia a gyakorlatban alkalmazott megoldások szerint 1 és 50 Hz közötti frekvenciájú lengetésnek (forgatásnak) felel meg [132].

⁵⁴ [131] alapján saját szerkesztésű ábra

A 34. ábrán megfigyelhetjük az elektródaforgatás hatására bekövetkező hegesztő áramerősség-változást a másodpercenkénti fordulatok számának függvényében. Az ábrából jól látható, hogy a lengetési (forgatási) frekvencia növelésével a hegesztő áramerősség változását igen jelentős mértékben - a kvázistatikus ívszenzorokra jellemző értékekhez képest több mint kétszeresre - sikerült megnövelni. Ezzel természetesen a hegesztő áramerősség jel/zaj viszonyszámát is nagymértékben javítva nőtt a szenzor működési stabilitása és érzékenysége.



33. ábra. Ívszenzor nagysebességgel forgatott huzalelektrodával⁵⁵

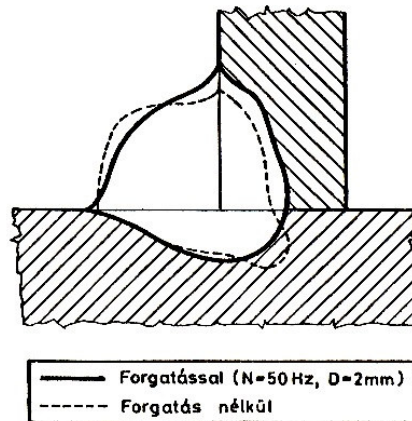


34. ábra. A hegesztő áramerősség változása a forgatási frekvencia függvényében⁵⁶

⁵⁵ [132]-ből átvett ábra, a szerző által fordított ábrafeliratokkal

⁵⁶ [132]-ből átvett ábra, a szerző által fordított ábrafeliratokkal

Nem elhanyagolható szempont ennél a szenzornál, hogy alkalmazásával még viszonylag nagysebességű hegesztés esetén is kedvező varratalakot kapunk (l. **35. ábra**). Így ennek a szenzornak a használata nem hogy nem zavarja a hegesztési folyamatot, hanem még kedvező hatással is van a varrat minőségére.



(\varnothing 1,2 mm-es tömör hegesztőhuzal $I=400$ A, $v=100$ cm/min)

35. ábra. Varratalak változása nagysebességgel forgatott huzalelektroda esetén⁵⁷

A szenzor gyakorlati felhasználására [133]-ban láthatunk példát, ahol a szenzort mobil robotra felszerelve síkszekció-elemek varratkövetéses hegesztésére használják a hajógyártásban.

A dinamikus működésű ívszenzorok, bár igen kedvező hegesztéstechnikai jellemzőkkel rendelkeznek, a miatt, hogy speciális lengető berendezést igényel a használatuk, ívhegesztő robotokhoz való alkalmazásuk nem terjedt el.

Szenzorok kombinált használata

Az előbb leírtakból is elég jól kitűnik, hogy manapság még nincs olyan szenzor, amelyet a hegesztés területén a különböző varratkövetési, illetve paraméter-szabályozási feladatra univerzálisan lehetne alkalmazni. Ezért szükség lehet a feladat komplexitásától függően egyidejűleg két, vagy akár több szenzor alkalmazására is. Hegesztőrobotok esetén pl. gyakran találkozunk ívszenzor (általában kvázistatikus működésű) és kontakt elektromos szenzor kombinált használatával [106], ahol a varrat kezdőpontját kontakt elektromos szenzonnal keresik meg, majd ezt követően ívszenzonnal végzik a varratvonal on-line követését.

⁵⁷ [132]-ből átvett ábra, a szerző által fordított ábrafeliratokkal

Varratmagasság és beolvadási mélység szabályozására varratkövetéssel, nagysebességgel forgatott huzalelektrodás védőgázos ívhegesztésnél [134]-ben láthatunk példát, ahol az adott feladatot CCD kamera és ívszenzor egyidejű alkalmazásával oldották meg.

Vastag lemezek többrétegű varratainak hegesztéséről három szenzor együttes alkalmazásával [135] számol be. Itt a varratkövetést induktív szenzorral, az egyes rétegek precíziós pozicionálását fénymetszet típusú lézer szenzorral, a hegesztőfej helyzetének ellenőrzését folyamatérzékelő optikai szenzorral (CCD kamera) végezték.

1.4 Az 1. fejezet összefoglalása, következtetések

Az ívhegesztő robotokhoz használatos szenzorok áttekintéséből látszik, hogy egy robot ágens-képességét igen sokféle szenzorral biztosíthatjuk. A környezetből a legnagyobb mennyiségű információt a geometriaérzékelő optikai szenzorok szolgáltatják, viszont ívhegesztő robotokhoz való használatuk a hegesztés zavaró hatásai és a szenzortest megfelelő elhelyezésének problémája miatt (bár sok fejlesztés történt ezen a területen az utóbbi időben,) nem vált még általánossá. Többnyire olyankor kerülnek alkalmazásra ezek az optikai szenzorok, ha az adott körülmények között nincs más megoldás, illetve a hozzáférhetőség miatt egyáltalán lehetséges az alkalmazásuk. Kompromisszumos megoldásként szerszámcsere-elővel kombinálva is lehet használni optikai szenzorokat (bár ez a rendszer árát tovább drágítja).

Visszaulva az 1.3.2.1 fejezetre, szeretném kiemelni, hogy a robotok mesterséges intelligencia képességeit bemutató generációs besorolás nem azt jelenti, hogy vannak első, második és harmadik generációs robotok, hiszen ugyanaz a robot attól függően, hogy fel van-e szerelve valamilyen szenzorral/szenzorokkal tartozhat az adott kiépítésben valamelyik generációs szinthez. Ebből a szempontból tehát a rendszer-konfiguráció a fontos, amit viszont a robot szállítója (vagy egy rendszerintegrátor cég) fog összeállítani a rendelkezésre álló technikai lehetőségek és ismeretek függvényében, a megvalósítandó feladatnak megfelelően. A bemutatott szenzortípusok közül a ívhegesztő robotokhoz legelterjedtebben a kontakt elektromos szenzorokat (mely esetben a hegesztőfej gázfúvókája vagy automatával méretre vágott hegesztőhuzal az érzékelő test) és az ívszenzorok valamely típusát használják. Ennek megfelelően kutatómunkámban ilyen típusú szenzorok vizsgálatával foglalkoztam.

2. FEJEZET

A VARRATKÖVETŐ ÍVSZENZOR ALKALMAZÁSTECHNIKAI VIZSGÁLATA

A ezzel kapcsolatos vizsgálataimat még 1985-ben, diplomatervezőként kezdtem [8]. Az ezt követő években igen sok munkát fektettem ennek a területnek a kutatásába, melynek eredményeit rangos nemzetközi fórumokon [136], [137], [138] illetve folyóiratokban [139], [140], [141] publikáltam. A következőkben ezeknek a vizsgálatoknak az eredményét terjedelmi okokból csak összegezni fogom. Részletesebb információk [142]-ben találhatóak.

Az ívszenzorok alkalmazástechnikai vizsgálatához általam javasolt módszer szerint a kísérleteket az alábbi részterületekre bontva végeztem:

- Meghatároztam a szenzorok működésének kinematikai jellemzőit.
- Megvizsgáltam, hogy mely paraméterek és hogyan hatnak az ívszenzor működésére, illetve a korrekciós sebesség és ezen paraméterek kapcsolatát meghatároztam.
- Meghatároztam az ívszenzorral végzett stabil varratkövetési folyamat megvalósulásának feltételeit.

2.1. Az ívszenzorok kinematikai jellemzőinek meghatározása

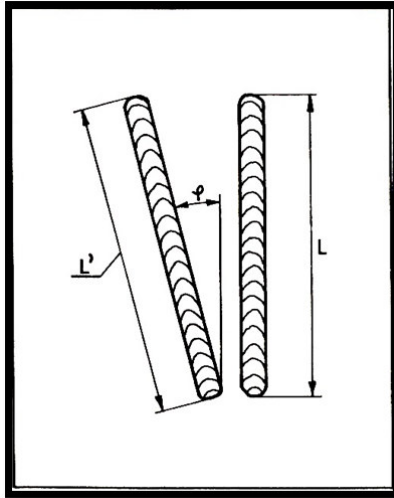
Az ívszenzorok alkalmazástechnikai vizsgálatát azért célszerű a szenzorok kinematikai jellemzőinek meghatározásával kezdeni, mert egyszerű kísérletekkel juthatunk olyan információkhoz, melyek a szenzor működése és felhasználása szempontjából meghatározók.

A kísérletek célja, annak kiderítése, hogy az ívszenzor milyen korrekciós mozgásokkal valósítja meg a varratkövetést.

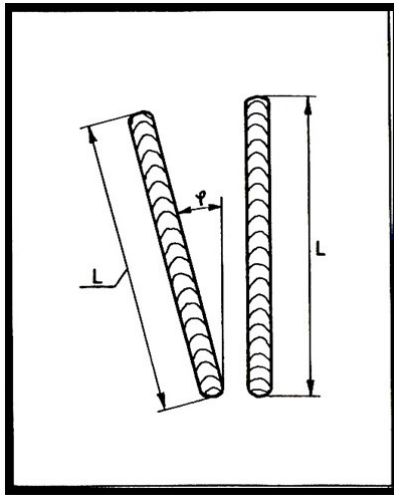
A kísérletekhez az vízszintes álló (PB) helyzetű sarokvarratok varratkövetés robotprogramjait készítettem el. Ezt követően ugyanabban a beállításban vízszintes lemezen hernyóvarratokat hegesztettem, az egyes varratokhoz különböző korrekciós sebességeket eredményező varratkövetési paramétereket programozva. Így az eredeti (varratkövetés nélküli) varrattal különböző szöget bezáró varratokat kaptunk. A kísérletekkel kapott varratok hossza, az eredeti varratirányhoz képesti szögelhajlása jellemző a megvalósult korrekciós sebességre. A **36. ábra** mutat példát arra az esetre, amikor a korrigált varrat hossza változhat, a **37. ábra** pedig arra az esetre, amikor nem változik a korrekcióval hegesztett varrat hossza. A korrekció nélküli és korrekcióval hegesztett varratok közötti φ szög az adott korrekciós

sebesség hatására létrejövő maximális helyi varratelhajlást jelenti, amit a rendszer az adott beállításban követni képes.

A varratok hosszából, elhelyezkedéséből és a mért hegesztési időből megállapítható az adott ívszenzor vektorábrája. A varratkövetés eredményeképpen létrejött korrigált irányú varrat tehát az eredeti varratirányhoz vektoriálisan hozzáadódó korrekciós sebesség hatására jön létre. Két különböző vektorábrával rendelkező ívszenzor vektorábráit mutatja be a **38. és 39. ábra**.



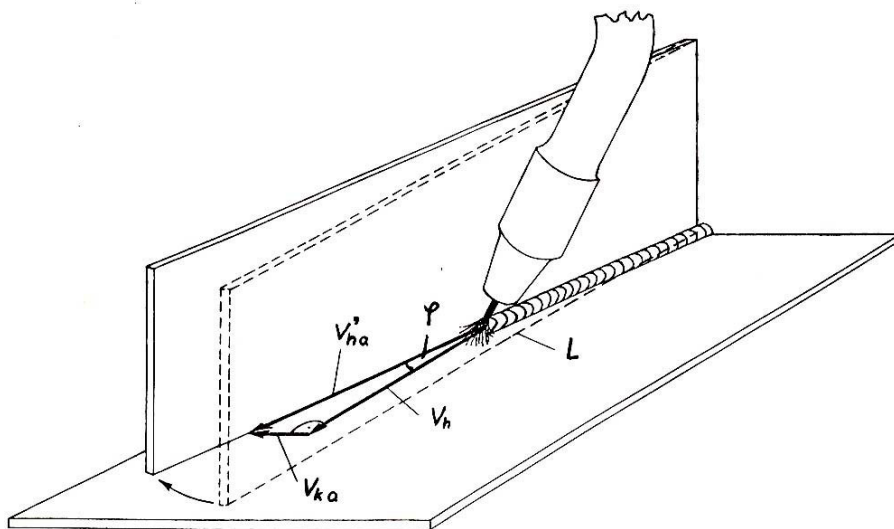
36. ábra. Eredeti és korrigált varrat megváltozott hosszal⁵⁸



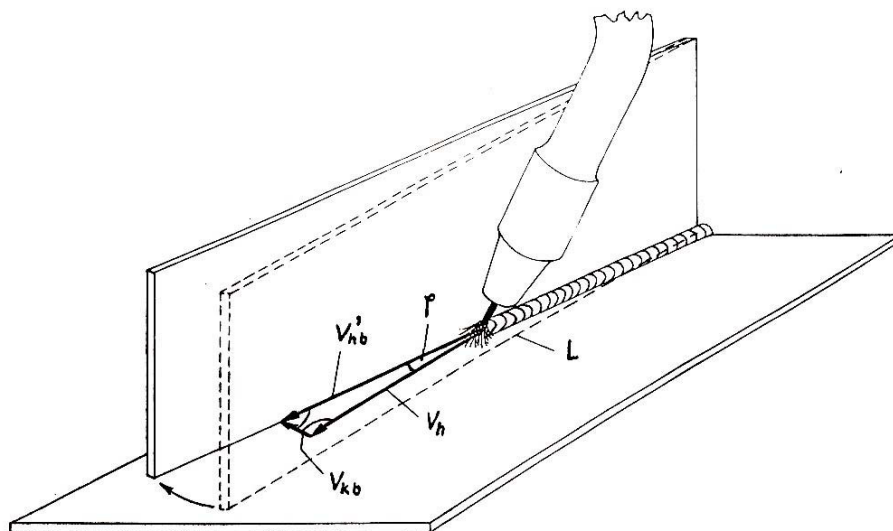
37. ábra. Eredeti és korrigált varrat azonos hosszal⁵⁹

⁵⁸ Saját szerkesztésű ábra

⁵⁹ Saját szerkesztésű ábra



38. ábra. Ívszenzor derékszögű háromszög vektorábrával⁶⁰



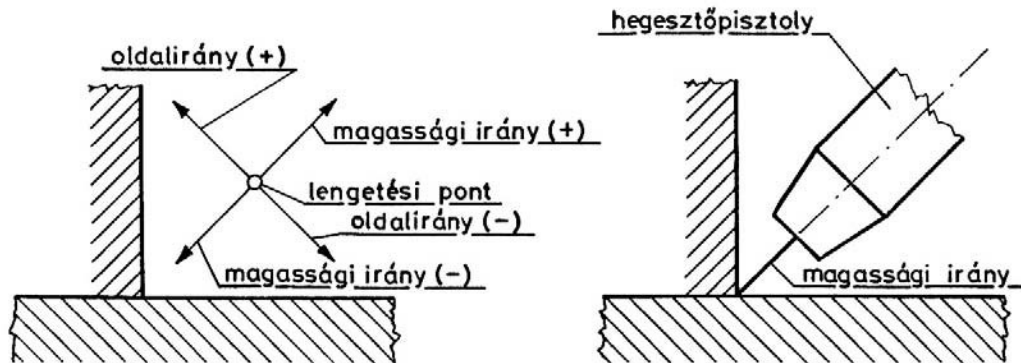
39. ábra. Ívszenzor egyenlő szárú háromszög vektorábrával⁶¹

Mindezekből következik, hogy a korrekciós sebesség nagysága és iránya meghatározó abból a szempontból, hogy a szenzor egy adott beállításban legfeljebb mekkora (helyi) eltérés

⁶⁰ Saját szerkesztésű ábra

⁶¹ Saját szerkesztésű ábra

követésére képes. A korrekciós sebesség irányát (kivéve a magassági és oldalirányt (l. **40. ábra**) általában nem tudjuk befolyásolni, mert ez a robot vezérlésétől függő rendszerjellemző. A korrekciós sebesség nagyságát viszont meglehetősen széles határok között szabadon változtathatjuk. Sajnos azonban a korrekciós sebesség nagyságának értékét közvetlenül nem lehet a robotok vezérlőberendezésén beállítani, hanem a rendszertől függő különböző technológiai paraméterek kölcsönhatásaként alakul ki.



40. ábra. Az ívszenzoros korrekciók (korrekciós sebesség) irányának értelmezése⁶²

2.2. A korrekciós sebesség és az ívszenzor alkalmazástechnikai paraméterek kapcsolatának meghatározása

Korábbi vizsgálataim eredményei [143] kimutatták, hogy a korrekciós sebesség eredőjét alapvetően a következő paraméterek határozhatják meg:

- A varratkövetési érzékenység értéke (S_o , illetve C_{xy})
- A hegesztőfej lengetésének amplitúdója (A)
- A hegesztőfej lengetésének frekvenciája (f)

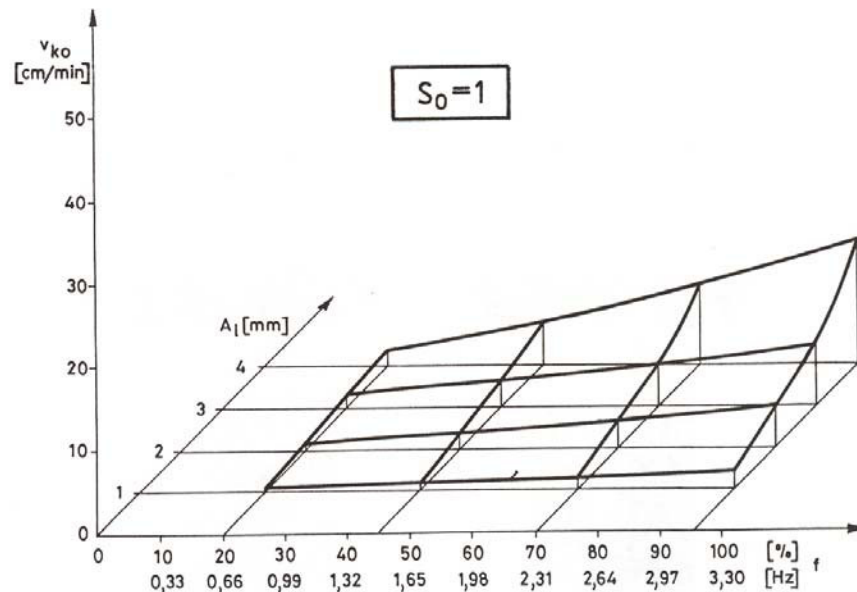
A kísérletekhez a 2.1. pontnak megfelelően végeztük, de külön vizsgáltuk ennek a három paraméternek a hatását a kialakult eredő korrekciós sebességre.

Elsőként azt kell megállapítani, hogy ezek közül a paraméterek közül melyiktől függ (nem biztos, hogy mind a háromtól) az adott robot típusnál az eredő korrekciós sebesség. A [142]-ben végzett kísérleteink során használt „A” (IGM Limat Rt280) **típusú robotnál** mind a három paramétertől, a „B” (TORSTEKNIK K6SB-ERC COMARC-II) **típusú robotnál**

⁶² Saját szerkesztésű ábra

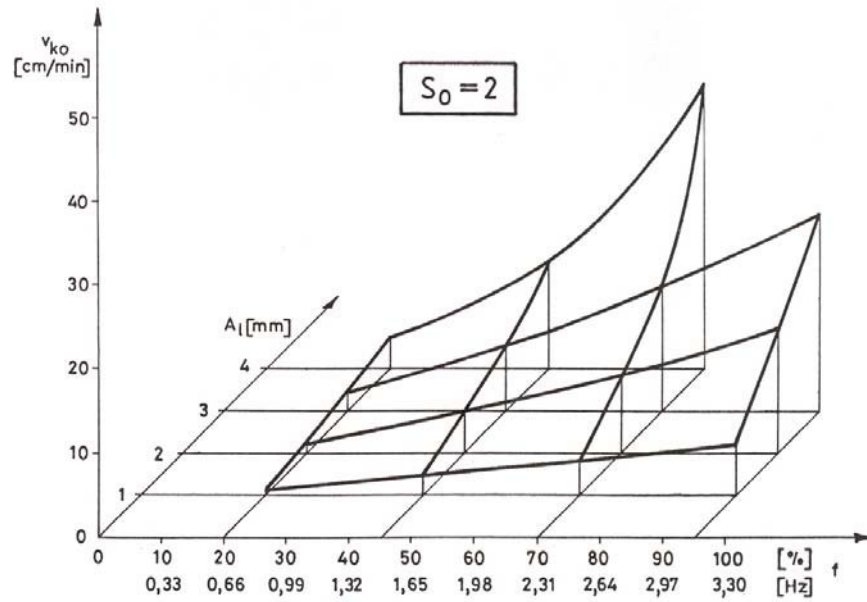
viszont csak a varratkövetés érzékenységtől és a hegesztőfej lengetési frekvenciájától függött az eredő korrekciós sebesség nagysága, a hegesztőfej lengetési amplitúdójától nem. Az eredményeket grafikusán ábrázolva különböző szintfelületeket kapunk. Az „A” típusú robotnál S_0 függvényében egyre meredekebb szintfelületeket kapunk, a „B” típusú robotnál az eredő korrekciós sebesség paraméter-függése egyetlen szintfelülettel leírható. **41-44. ábrákban** az „A” típusú robot, az **45. ábrán** a „B” típusú robot mérési eredményei láthatók.

Mindkét vizsgált robot ívszenzorára jellemző (különösen az A típusú robot esetében), hogy egy adott korrekciós sebesség a különböző szenzor-paraméterek nagyon sokféle kombinációjából előállítható. Ahhoz azonban, hogy az ívszenzorral megfelelő minőségű varratot tudjunk varratkövetéssel hegeszteni - mint ahogyan azt a későbbiek során látni fogjuk - nem lehet ezeknek a paramétereknek az értékeit teljesen tetszőlegesen beállítani. Szükség volt tehát olyan kísérletek végzésére, melyek a szenzor stabil működési feltételeinek vizsgálatával iránymutatást jelentenek ezen paraméterek értékeinek helyes megválasztásához.

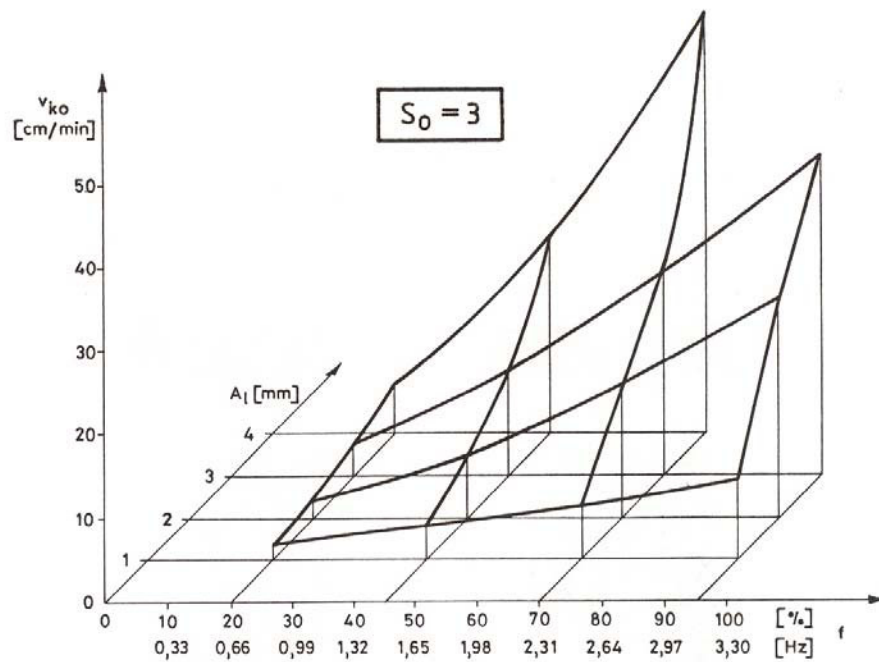


41. ábra. Az „A” típusú robot $S_0=1$ paraméterhez tartozó szintfelület⁶³

⁶³ Saját szerkesztésű ábra



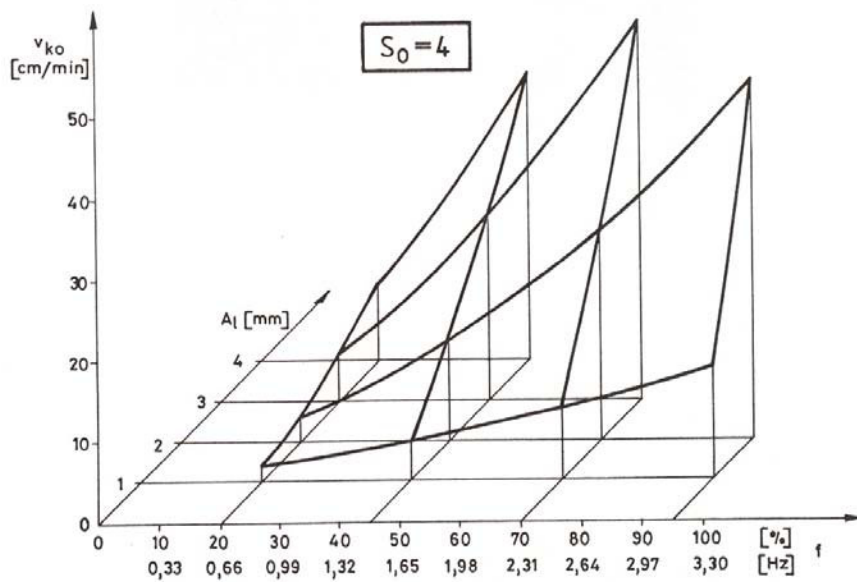
42. ábra. Az „A” típusú robot $S_0=2$ paraméterhez tartozó szintfelület⁶⁴



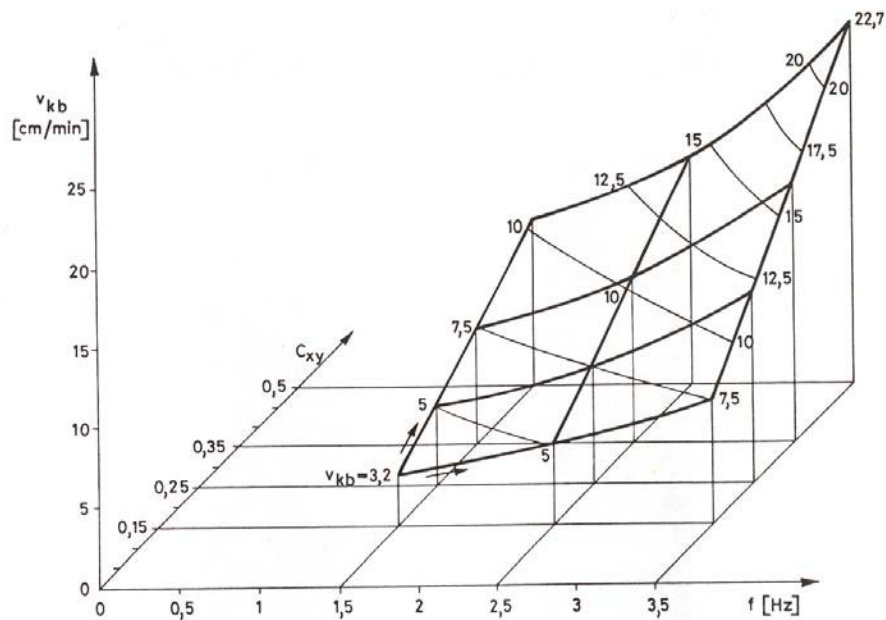
43. ábra. Az „A” típusú robot $S_0=3$ paraméterhez tartozó szintfelület⁶⁵

⁶⁴ Saját szerkesztésű ábra

⁶⁵ Saját szerkesztésű ábra



44. ábra. Az „A” típusú robot $S_0=4$ paraméterhez tartozó szintfelület⁶⁶



45. ábra. A „B” típusú robot paraméter felület⁶⁷

⁶⁶ Saját szerkesztésű ábra

⁶⁷ Saját szerkesztésű ábra

2.3. A stabil varratkövetési folyamat kialakulásának kísérleti vizsgálata

Az ezzel kapcsolatos kísérletek célja annak vizsgálata, hogy az adott szabályozási jellemzőkkel rendelkező ívszenzort milyen hegesztési feltételek mellett lehet megbízhatóan üzemeltetni. Amennyiben ugyanis nem megfelelőek a feltételek, illetve a beállítások, akkor egyenetlen varratvonalat kapunk (**46. ábra**), mely arra utal, hogy túllendülések jönnek létre a varratkövető ívszenzor szabályozó körében.



46. ábra. Nem megfelelő varratkövetés eredményeképpen létrejött egyenetlen varratvonal.⁶⁸

A varrat egyenetlenség⁶⁹ mérésére a sarokvarrat szárhosszainak szórását (R_{\max}) az alábbiak szerint vezettem be [132]:

$$R_x = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (29)$$

⁶⁸ Saját fényképfelvétel

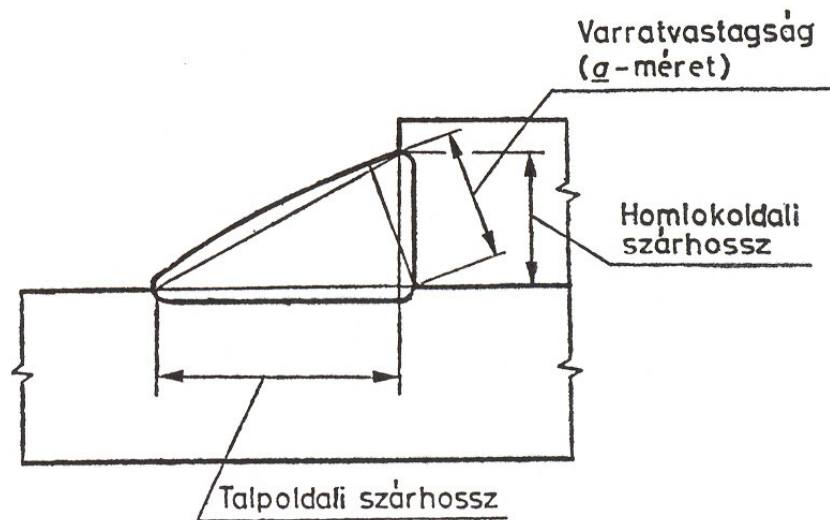
⁶⁹ A varrat egyenetlenség mérésére [132]-ben két mérőszámot használtam: a mikroegyenetlenséget és a makroegyenetlenséget. A mikroegyenetlenség alatt a hegesztőfej lengetési frekvenciájával fellépő egyenetlenséget értettem. Ez az egyenetlenség lényegében csak közvetetten van összefüggésben a varratkövetéssel. Ez a hegesztőfej lengetése miatt alakulhat ki, ha a lengetés amplitúdója a varratkeresztmetszethez és a hegesztési sebességhez képest túl kicsi. Ez az egyenetlenség nem varratkövetéses varratoknál is létrejöhet. Elkerülni, illetve minimálisra csökkenteni a az adott varratkeresztmetszet és varratalak képzését biztosító lengetési amplitúdóhoz és a hegesztési sebességhez megfelelően hozzáhangolt lengetési frekvenciával lehet. Ezzel az egyenetlenséggel jelen értekezésben nem foglalkozom, csak a [132]-ben makroegyenetlenségnek nevezett, kifejezetten a varratkövetési folyamat instabilitásából adódó varratvonal egyenetlenségével. Az egyszerűség kedvéért ezt nevezem varrat egyenetlenségnek értekezésemben.

$$R_y = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n}} \quad (30)$$

$$R_{\max} = \max(R_x, R_y) \quad (31)$$

ahol X_i - a talpoldali szárhossz i -edik mért értéke,
 Y_i - a homlokoldali szárhossz i -edik mért értéke,
 \bar{X} - a talpoldali szárhossz átlagos mérete,
 \bar{Y} - a homlokoldali szárhossz átlagos mérete,
 n - a mérési pontok (helyek) száma a varrat hossza mentén.

A sarokvarrat szárhosszainak értelmezése az **47. ábrán** látható.

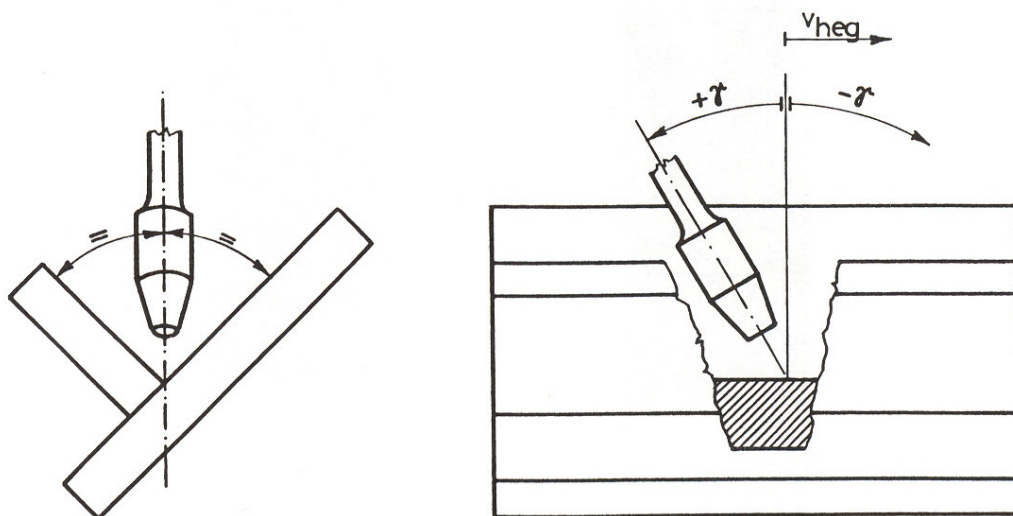


47. ábra. Sarokvarrat szárhosszainak értelmezése.⁷⁰

A varrat egyenetlenség kialakulása, mivel a szenzor szabályozókörének túllendülései miatt jön létre, nyilvánvalóan összefüggésben van a korrekciós érzékenység programozott értékével, melyet célszerű a szükséges minimális szinten tartani. Adott korrekciós érzékenység mellett a varrat egyenetlenséget a következők befolyásolják:

- A hegesztő áramerősség stabilitása
- A hegesztőfej lengetési amplitúdója
- A hegesztőfej (γ) előredöntési szöge (l. **48. ábra**)

⁷⁰ Saját szerkesztésű ábra



48. ábra. A hegesztőfej előredöntési szögének értelmezése⁷¹

A következőkben ezeknek a tényezőknek a varrategyenetlenségre gyakorolt hatását fogom bemutatni.

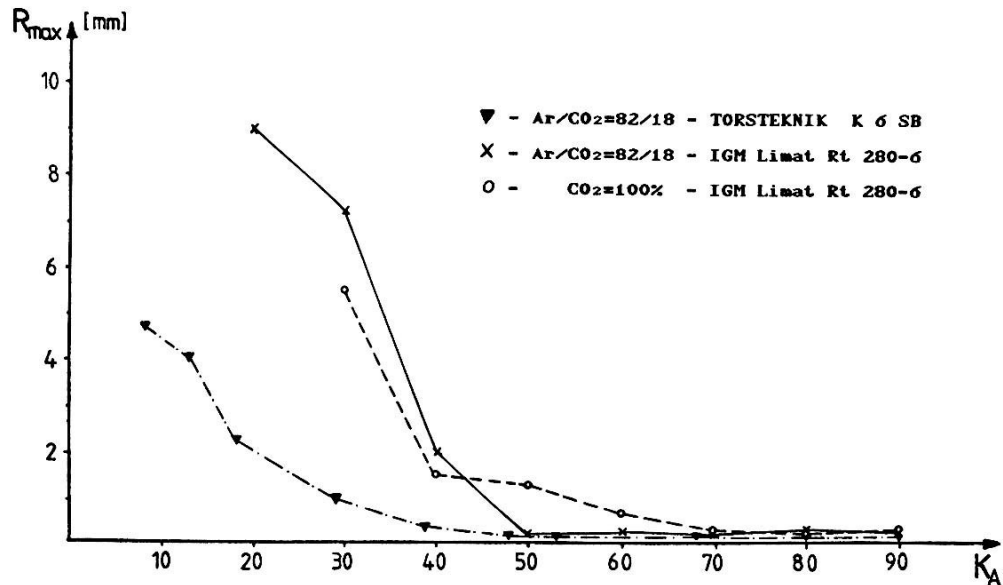
2.3.1. A hegesztő áramerősség stabilitásának varrategyenetlenségre gyakorolt hatása

Annak függvényében, hogy a hegesztő eljárás munkatartományának melyik részén állítjuk be a munkapontot hegesztéshez, milyen huzalátmérővel és védőgázzal dolgozunk, különböző cseppátmeneti módok alakulhatnak ki hegesztés közben a huzalelektroda vége és a varratömladék között. Amennyiben a rövidzárlatos vagy vegyes anyagátmeneti mód tartományában vagyunk a hegesztő áramerősségekben jelentős változások jöhetnek létre a spontán módon kialakuló rövidzárlatok miatt [144]. Ez a jelenség a kis és közepes teljesítményű hegesztésre jellemző acélok hegesztése esetén. Alumínium hegesztésekor pedig az ilyen jellegű anyagátmeneti módokat el szokás kerülni és vagy szóróívvel (ahogyan a nagyobb teljesítményű, acéloknál alkalmazott anyagátmenettel) vagy impulzus ívvel végzik a hegesztést. Az ívszenzorok abban a tartományban működnek a legstabilabban, ahol a hegesztő áramerősségekben nincs számottevő ingadozás. Az irodalmi összeállításban is bemutattam, hogy ívszenzor fejlesztések egy része éppen arra irányult az elmúlt évtizedekben, hogy a szenzor megbízható működési tartományát kiterjesszék a kisebb hegesztési teljesítmények tartományára

⁷¹ Saját szerkesztésű ábra

felé⁷². A különböző gyártmányú és típusú ívszenzorok ebből a szempontból eléggé eltérő tulajdonságokat mutathatnak ezért felhasználás előtt mindenképpen érdemes ezt a kérdést vizsgálni.

Az általam [144]-ben vizsgált két ívszenzor típusnál egyértelműen tapasztalható volt, hogy acél hegesztése esetén kisebb teljesítmény tartományban jelentősen nőtt a varrategyenetlenségi mérőszám (R_{max}) értéke (49. ábra).



49. ábra. A varrategyenetlenség (R_{max}) a hegesztési teljesítmény (K_A) függvényében.⁷³

Ez összhangban volt az áramcsúcs-tényező (C_p) változásával (61. ábra), mely a hegesztési folyamatban a cseppátmenetek következtében kialakuló rövidzárlati áramerősség és az átlagos áramerősség viszonyát fejezi ki:

$$C_p = \frac{I_p}{I_a} \quad (32)$$

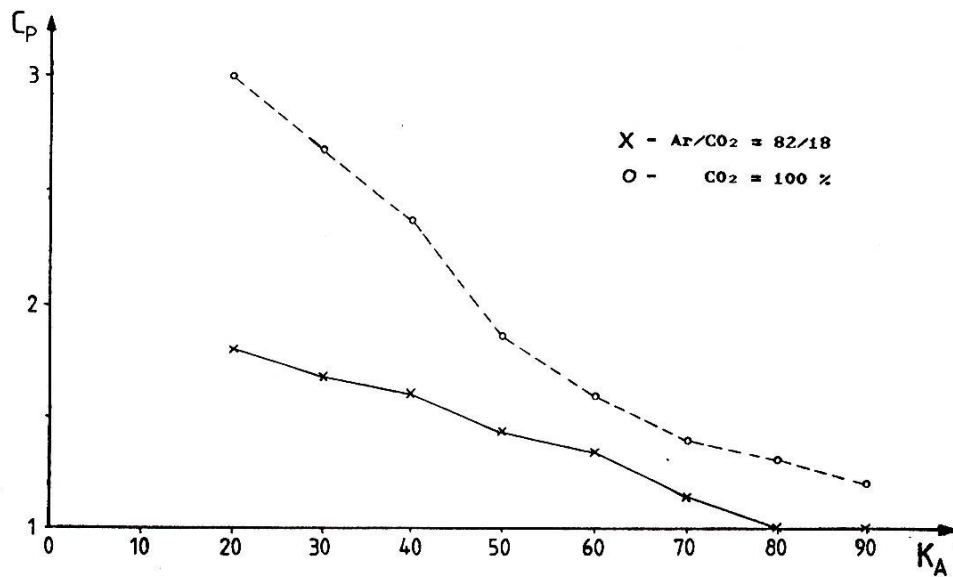
ahol I_p - a jellemző tranziens áramerősségcsúcs értéke

I_a - a hegesztő áramerősség átlagos értéke

⁷² A varratkövető ívszenzor alkalmazási területe mindazonáltal nem a vékony lemezek rövidzárlatos technikával készült hegesztési varratainak követése. Ebben az esetben ugyanis a kis varratméret és a hőbevitel lehető legkisebb értéken tartása miatt eleve nem célszerű vagy nem is lehetséges a hegesztőfej lengetése. Ha mégis alkalmazható, akkor annak amplitúdóját meglehetősen szűk határon belül kell tartani, ami viszont nem biztos, hogy elegendő nagyságú jelet fog képezni a stabil varratkövetéshez.

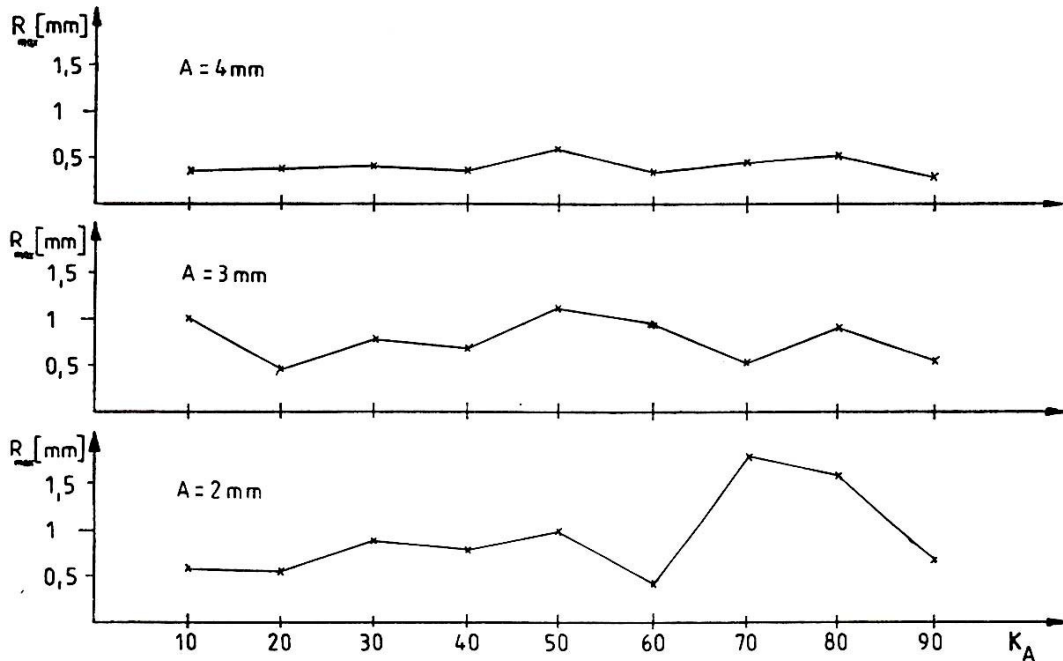
⁷³ Saját szerkesztésű ábra

Alumínium hegesztése esetén viszont nem volt kimutatható változás a varratgyenetlenség nagyságában a hegesztési teljesítmény függvényében (51. ábra), mivel a hegesztőberendezés szinergikus görbéje a cseppátmeneti módot a teljes beállítható teljesítmény-tartományban a szóróívű anyagátmeneti mód tartományában tartotta a mérések szerint. Ennek megfelelően nem alakultak ki a szenzor számára zavaró hegesztő áramerősség tranziensek.



50. ábra. Az áramcsúcs-tényező (C_p) a hegesztési teljesítmény (K_A) függvényében, ötvözetlen szénacél hegesztése esetén⁷⁴

⁷⁴ Saját szerkesztésű ábra

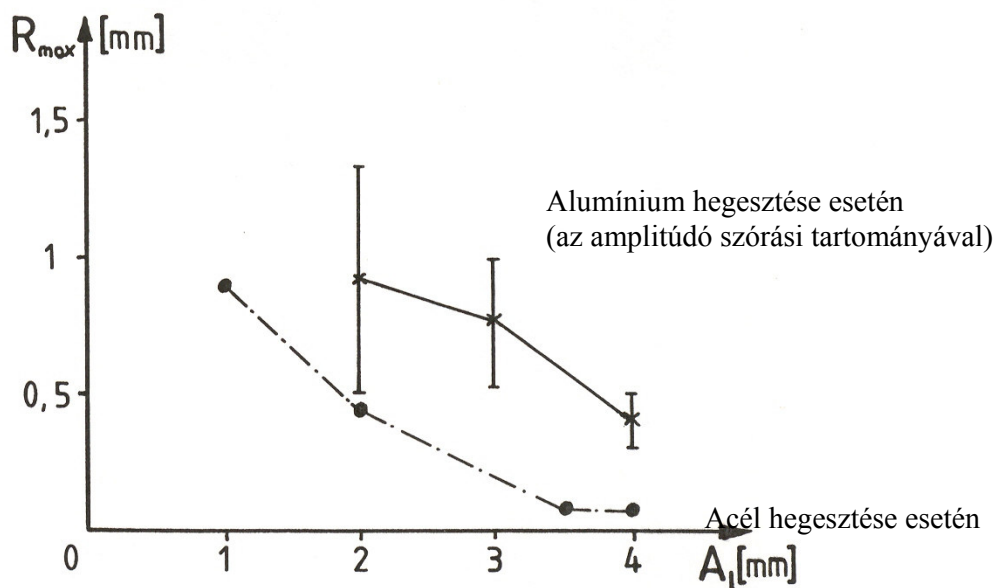


51. ábra. A varratgyenetlenség (R_{max}) a hegesztési teljesítmény (K_A) függvényében, alumínium hegesztése esetén (A – a hegesztőfej lengetési amplitúdója)⁷⁵

2.3.2. A hegesztőfej lengetési amplitúdójának varratgyenetlenségre gyakorolt hatása

Már az 51. ábrából is jól látható a hegesztőfej lengetési amplitúdójának varratgyenetlenségre, a varratkövetési folyamat stabilitására gyakorolt jótékony hatása. Ugyanilyen jellegű hatást tapasztaltam acél hegesztése esetén is, melyet az 52. ábra pontvonala szemléltet. Ugyanebben az ábrában tüntettem fel a szemléletesség kedvéért folyamatos vonallal az 51. ábra összesített adatait, bejelölve a varratgyenetlenség szórási tartományát a lengetési amplitúdó függvényében.

⁷⁵ Saját szerkesztésű ábra



52. ábra. A varrat egyenetlenség (R_{max}) a hegesztőfej lengetési amplitúdója (A) függvényében⁷⁶

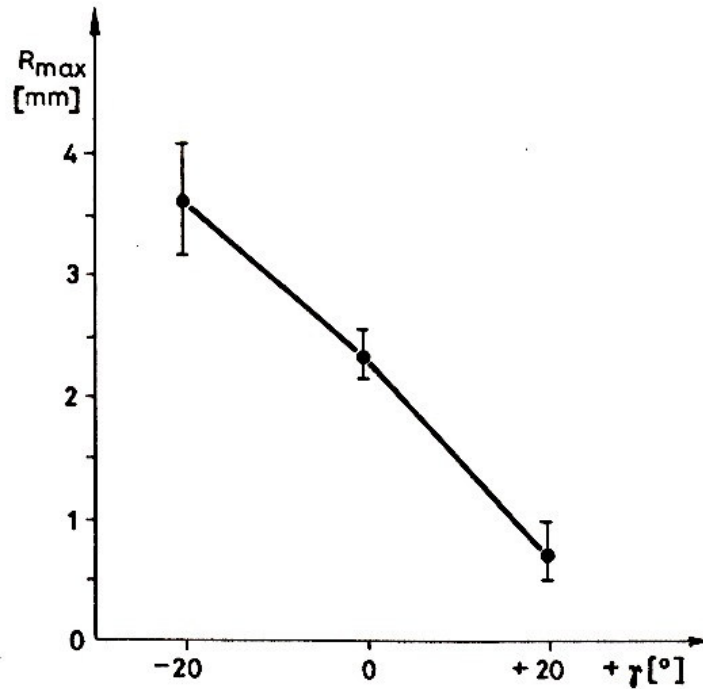
A hegesztőfej lengetési amplitúdójának növelésével az 51. és 52. ábrának megfelelően csökkenthető az ívszenzorral hegesztett varrat egyenetlensége, javítható a szenzor működési stabilitása. Figyelembe kell azonban venni, hogy a lengetési amplitúdó növelésével

- nő a szegélykiolvadás veszélye (különösen álló sarokvarratok esetén - PB hegesztési helyzetben hegesztve);
- csökken a beállítható hegesztőfej lengetési frekvencia felső határa a robot fizikai képességei miatt, ami korlátozza a beállítható hegesztési sebességet is.

2.3.3. A hegesztőfej előredöntési szögének varrat egyenetlenségre gyakorolt hatása

A hegesztőfej (γ) előredöntési szögének (l. 48. ábra) hatását a varrat egyenetlenségre az **53. ábra** szemlélteti.

⁷⁶ Saját szerkesztésű ábra



53. ábra. A varrat egyenetlenség (R_{max}) a hegesztőfej (γ) előredöntési szögének függvényében.⁷⁷

A hegesztőfej (γ) előredöntési szögének növelésével - amint azt a 64. ábra mutatja - csökken a varrat egyenetlensége. Ennek a kedvező hatásnak a magyarázata véleményem szerint az, hogy a hegesztőfej előredöntésével a hegesztőív a még meg nem olvasztott alapanyag felé irányul, az varratömladék előrefolyásának kisebb az esélye. E miatt karakterisztikusabban érvényesülhet a hegesztőfej-munkadarab távolság változása a hegesztő áramerősség változásában. Ezt kedvező hatást azonban annak hegesztéstechnológiai vonatkozásaival együtt kell értékelnünk, és ennek megfelelően élni vele a gyakorlatban. Ezzel kapcsolatban főként a következőket célszerű figyelembe venni.

A hegesztőfej előredöntésével:

- csökken a beolvadási mélység;
- a varrat domborulat csökken (külső formatényező kedvezőbb);
- szélsőséges esetben romolhat a gázvédelem;

⁷⁷ Saját szerkesztésű ábra

- alumínium hegesztése esetén előnyben részesített fejtartás a kedvezőbb oxid-bontó hatás és különösen Mg-ötvetetek hegesztésekor a kisebb felületi koromképződés miatt.

2.4. Tervező rendszer, a varratkövető ívszenzor alkalmazástechnikai paramétereinek meghatározására

A 2.1-2.3. pontokban bemutatott kísérleti eredmények felhasználásával kidolgoztam egy technológiai tervező rendszer elvét, melynek segítségével a varratkövető ívszenzor működését befolyásoló paraméterek tervezhetők a következők szerint (**54. ábra**).

1. Miután eldöntöttük a szenzor alkalmazásának szükségességét, célszerű először megvizsgálni, hogy a technológiai előírásokban szereplő hegesztő áramerősség (a hegesztőanyag és védőgáz figyelembe vételével) a szenzor stabil működési tartományába esik-e⁷⁸. Határesetben - amennyiben az egyéb feltételek lehetővé teszik - a hegesztő áramerősség kismértékű növelésével javíthatjuk a szenzor működési stabilitását. Tisztán rövidzárlatos anyagátmenet mellett - különösen ha nagy korrekciós sebességre van szükség a varratkövetéshez - célszerű inkább más típusú szenzorral (pl. indukciós, vagy optikai szenzorral, esetleg több helyen programozott kontakt elektromos szenzoros varratkereséssel) megoldani a feladatot. A szenzor kiválasztásához segítséget nyújthat az 1. fejezetben található összeállítás.

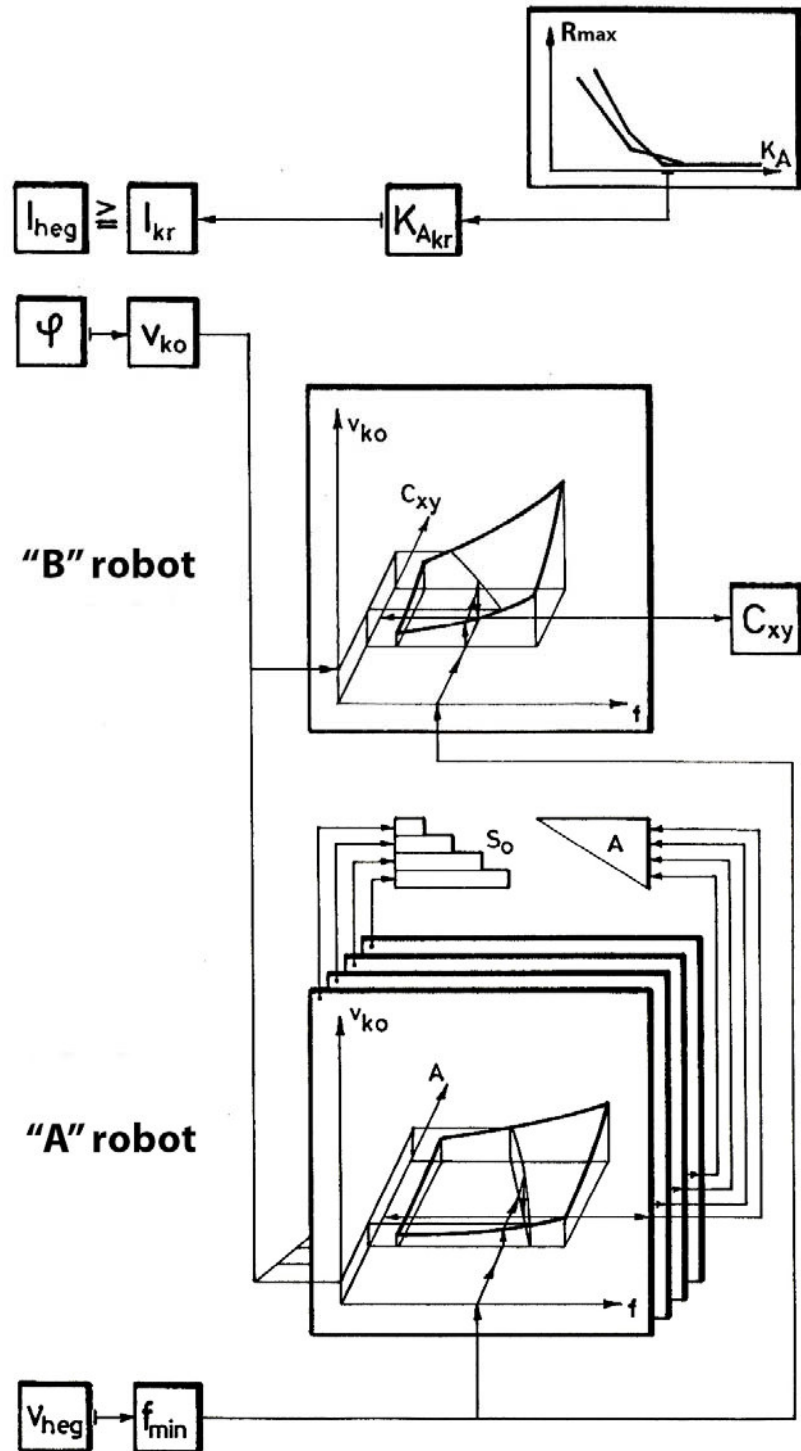
2. A szükséges korrekciós sebesség nagyságának meghatározásához meg kell becsülni, hogy az adott hegesztési feladat esetén mekkora lehet az eredetileg programozott és a tényleges varratirány legnagyobb helyi (φ) szögeltérése. Ezután az adott típusú robot ívszenzorának kinematikai jellemzőit (szenzor vektorábra) figyelembe véve a hegesztési sebesség alapján kell meghatározni az ebből a szükséges minimális korrekciós sebességet.

3. A hegesztőfej lengetési frekvenciájának minimális értékét célszerű a hegesztési sebességhez úgy hozzáállítani, hogy a varrat egyéb jellemzői mellett ne okozzon egyenetlen varratszélet.

⁷⁸ A szenzor stabil munkatartományáról nyilatkozhat maga a gyártó is, de a 2.3.1 pont szerinti mérést célszerű végezni a leginkább használatos technológiai paraméter-tartományban.

4. A hegesztőfej lengetési amplitúdójának és követési érzékenységének beállítása attól függ, hogy a szóban forgó robot esetén a korrekciós sebességre mely paraméterek vannak hatással. Az általam vizsgált robotok esetén a beállítás eltérő módot igényel a következők szerint:

Az „A” típusú robot esetén - mivel a lengetési amplitúdó növeli a korrekciós sebességet - a 41-44. ábrák segítségével a lengetési amplitúdót (A_1) a korrekciós érzékenységgel (S_0) összhangban kell beállítani az egyes szintfelületek lengetési frekvencia által (melyet az előző pontban határoztunk meg) meghatározott metszésvonalai mentén. A 2. pontban meghatározott korrekciós sebességet a minél stabilabb varratkövetési folyamat megvalósítása érdekében úgy célszerű beállítani, hogy a lehetséges kombinációk közül azt válasszuk, amelyikhez a legnagyobb megengedhető lengetési amplitúdó és a legkisebb korrekciós érzékenység tartozik.



54. ábra. Az ívszenzoros varratkövetés paraméter-meghatározási folyamata.⁷⁹

⁷⁹ Saját szerkesztésű ábra

A „B” típusú robot esetén - mivel a lengetési amplitúdó nem befolyásolja a korrekciós sebességet - a minél nagyobb varratkövetési stabilitás biztosítása érdekében célszerű az adott varrat hegesztéséhez még megfelelő legnagyobb lengetési amplitúdót beállítani. Az iránykorrekciós paramétert (C_{xy}) pedig a lengetési amplitúdó értékétől függetlenül a 45. ábra felhasználásával az előző pontban meghatározott lengetési frekvencia által megszabott felületi metszévonalon, a szükséges korrekciós sebesség eléréséhez kell beállítani.

5. Miután az adott varratkövetési feladathoz szükséges paraméterek irányértékeit az 1-4. pont alapján meghatároztuk, elkészíthetjük a varratkövetési programot. A programozás során a hegesztőfej pozicionálásakor célszerű figyelembe venni, hogy a hegesztőfej kismértékű előretartásával (balra hegesztés) javítani lehet az ívszenzoros varratkövetési folyamat stabilitását. A programozásnál kerülni kell az ömledékre irányuló hegesztőfej beállítást.

2.5. A 2. fejezet összefoglalása

Ebben a fejezetben bemutattam egy általam bevezetett vizsgálati módszert, mellyel varratkövető ívszenzorok alkalmazástechnikai jellemzőit lehet meghatározni. A vizsgálati módszer univerzális, bármilyen típusú, gyártmányú ívszenzor ezzel a módszerrel vizsgálható. A 2.4 fejezetben 2 robot példáján keresztül bemutattam egy olyan tervező rendszert, mely az alkalmazástechnikai vizsgálatokból nyert információk alapján lehetővé teszi a technológiai paraméterek tervezését, előírását. Ezzel egy adott termék gyártási hegesztési utasítását lehet kiegészíteni az ívszenzor használatára vonatkozó adatokkal.

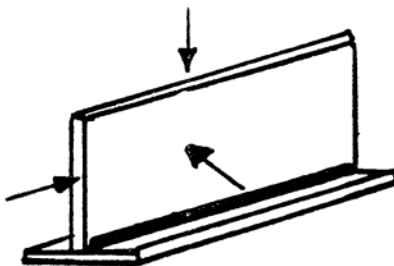
A varratkövető ívszenzort nagyon gyakran varratkereső szenzorral együtt használjuk, mely alkalmas a hegesztés kezdőpontjának meghatározására a varratkövetés (hegesztés) megkezdése előtt minden olyan varratnál, melynek folyamatos követésére az ívszenzor alkalmas.

3. FEJEZET
GEOMETRIAÉRZÉKELŐ ÉRINTÉSES ELEKTROMOS SZENZOR
ALKALMAZÁSÁNAK VIZSGÁLATA TOMPAVARRATOK KERESÉSÉRE

3.1. Hagyományos keresési módszerek

Az 1.3.2.4.4 pontban ismertetett szenzorok közül tehát leggyakrabban a 20. ábrán szereplő érintéses elektromos szenzort használjuk. A robot gyártójától függően az érzékelő test lehet az ábrán szereplő hegesztőhuzal helyett a hegesztőfej gázfúvókája, vagy egy külön erre a célra készült, a hegesztőrobot karra szerelt érzékelő test. Kísérleteim során hegesztőhuzal érzékelő testet használtam, különös tekintettel arra, hogy az általam tesztelni kívánt új keresési technológia megvalósítására csak ez az érzékelő test alkalmas.

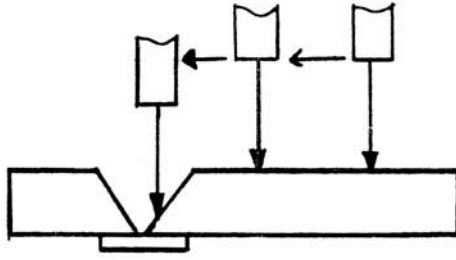
Ez a keresőszenzor a programozástól függően igen sokféle keresési módszer megvalósítására alkalmas. Erre számos példa található [105]-ben. Ezek közül sarokvarratok hegesztési kezdőpontjának megkeresésére használjuk a szenzort leggyakrabban, mely állhat két vagy 3 egymásra merőleges keresésből (55. ábra).



55. ábra. Sarokvarrat 3D-s keresőjáratai⁸⁰

Tompavarrat (V-varrat), illetve szélek keresésére alkalmazott ilyen jellegű keresési metódus a léptetéses technika (56. ábra [105]), azonban ennek használata meglehetősen körülményes és időigényes: ha kicsi a lépésköz, akkor túl sok keresőmozgás szükséges, ha nagy a lépésköz, akkor az a keresési pontosságra lesz negatív hatással.

⁸⁰ [105]-ből átvett ábra



56. ábra. V-varrat keresése léptetéses módszerrel⁸¹

Közös jellemzője ezeknek a keresési módszereknek, hogy érintési pontokat használnak keresési referencia pontként.

3.2. Az új keresési módszer elve

Az új keresési módszer alapelve, hogy szélek keresése esetén nem a rövidzárlat (mely az érzékelő test és a keresett felület között alakul ki) bekövetkezését figyelgetjük a robot vezérlésével, hanem a rövidzárlat megszűnését úgy, hogy az érzékelő testet a lemez széle felé húzzuk folyamatosan a rövidzárlat megszűnéséig. Ekkor méretünk referencia pozíciót a robottal. V-varratok keresése esetén a keresést mindkét irányból elvégeztetve a vályúközép a mért értékek különbségével az aktuális helyzetnek megfelelően módosítható. Ezzel ráadásul az egymással szemben végzett keresőmozgások hibája is kivonódik egymásból. Feltételezésem szerint ez a módszer egyrészt alkalmas keresésre, illetve kellő pontossággal alkalmas V-varratok középpontjának meghatározására (sőt ez a módszer V-varratok szélességének meghatározására is képes).

3.3. A kísérletek célja

A kísérletek célja, hogy megvizsgáljam, megfelelő pontossággal lehetséges-e a fenti elv szerinti keresést elvégezni, és felmérjem a keresés pontosságát befolyásoló alapvető paraméterek hatását.

⁸¹ [105]-ből átvett ábra

3.4. A kísérletek leírása

3.4.1 A kísérletekhez használt berendezések:

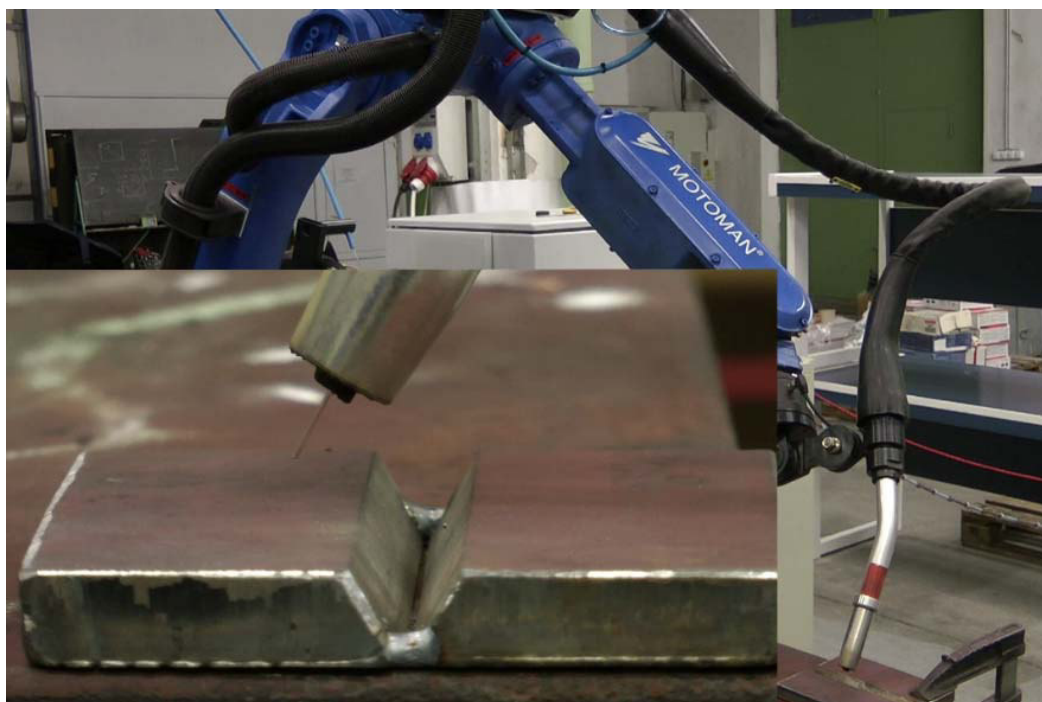
- Robotkar: Yaskawa-Motoman gyártmányú HP6 típusú MIG/MAG hegesztésre felszerelt ipari robot.
- Robotvezérlés: Yaskawa-Motoman NX100.
- Szenzor típusa: Yaskawa, 200V-os érintéses keresőszenzor (érzékelő test a hegesztőhuzal)
- Pozíciómérés: a robot útmérő rendszerével (robotkar statikus visszaállási pontosság: $\pm 0,08$ mm).

3.4.2 Kísérleti munkadarab:

- 2 db 60 x 120 mm-es, S=20 mm vastag acéllemez, V-leélezéssel, összefordítva, fűzve.

3.4.3 A kísérletek végzésének helye:

- Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, G. épület.



68. ábra. A kísérleti elrendezés⁸²

⁸² Saját fényképfelvétel

3.4.4 A robotprogram, a keresőmozgások működésének leírása:

A robotprogram:

```
000 NOP
001 MOVJ C00000 VJ=25.00
002 MOVJ C00001 VJ=25.00
003 IMOV P010 V=8.3 SRCH RIN#(1)=ON T=0.01 DIS=10.0
004 IMOV P015 V=8.3
005 IMOV P016 V=4.2 SRCH RIN#(1)=OFF T=1.00 DIS=50.0
006 GETS PX020 $PX002
007 CNVRT PX020 PX020 RF
008 MOVL C00002 V=8.3
009 MOVL C00003 V=8.3
010 IMOV P010 V=8.3 SRCH RIN#(1)=ON T=0.01 DIS=10.0
011 IMOV P015 V=8.3
012 IMOV P017 V=4.2 SRCH RIN#(1)=OFF T=1.00 DIS=50.0
013 GETS PX021 $PX002
014 CNVRT PX021 PX021 RF
015 MOVL C00004 V=8.3
016 GETE D001 P021 (2)
017 GETE D000 P020 (2)
018 SUB D001 D000
019 DIV D001 2
020 ADD D000 D001
021 GETS PX022 $PX000
022 CNVRT PX022 PX022 RF
023 SETE P022 (2) D000
```

024 MOVL P022 V=16.7

025 MOVJ C00005 VJ=25.00

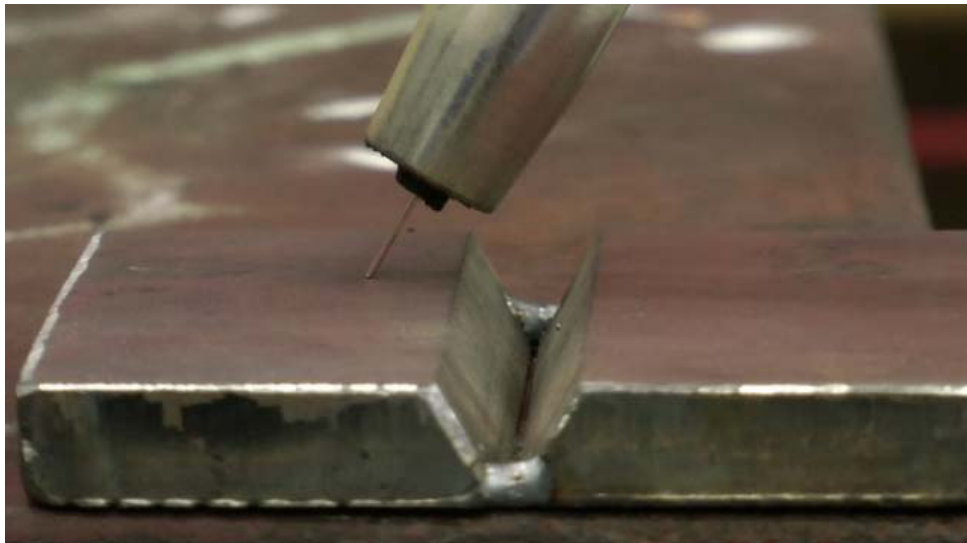
026 END

A programban a „VJ” jelű sebességek pontvezérlésű mozgások %-os sebességei (a robot maximális sebességének %-ában)

A „V” jelű sebességek pályavezérelt mozgások sebességei, mm/s mértékegységben.

A program működésének leírása:

- A keresőprogram első fázisában a program hagyományos keresőmozgással indul (000-003), mely során függőleges irányú keresőjárattal magasságirányú keresést végez a robot. A huzallal a munkadarabot a függőlegeshez képest 30° -os szögben érintjük (**58. ábra**).
- A 004 lépésnél a P015-ös számú pozícióváltzóban rögzített nagyságú (és irányú) további lefelé irányuló mozgást végez a robot annak érdekében, hogy a huzal előfeszített állapotba kerüljön a szélkereséshez.



58. ábra. A magassági keresés érintési pontja⁸³

- A 005 lépésnél a robot a varratszél irányában keresőmozgást végez addig, míg a rövidzárlat a hegesztőhuzal és a munkadarab között meg nem szűnik (**59. ábra**).

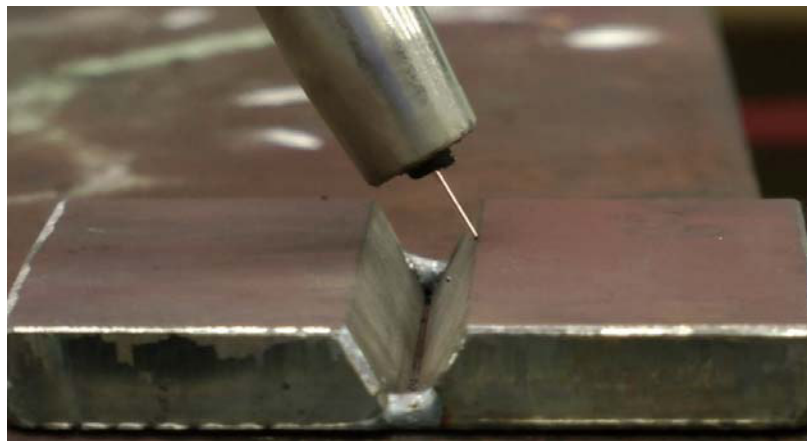
⁸³ Saját készítésű fényképfelvétel

Ekkor a mért pozíció adatokat a P020 számú pozíció változóba rögzíti (006), majd robot koordináta rendszerbe transzformálja (007).



59. ábra. A lemezszél elhagyási pont (rövidzár megszűnik)⁸⁴

- Ezt követően ugyanilyen módszerrel, csak szemben a másik lemezszél keresését végzi a program (008-014) (60. ábra), itt a mért pozíció adatokat a P021 pozíció változóba tárolja (013), majd konvertálja robot koordináta rendszerbe (014).
- A 015 lépésben a robot az eredeti középvonalra áll
- A 016 lépésben a P021 pozíció változóban tárolt koordináták Y komponensét (keresőmozgás iránya volt) rögzíti a D001 dupla pontos bináris tárolóba (2. keresőmozgás adata).



60. ábra. A lemezszél elhagyási pont a másik oldalon (rövidzár megszűnik)⁸⁵

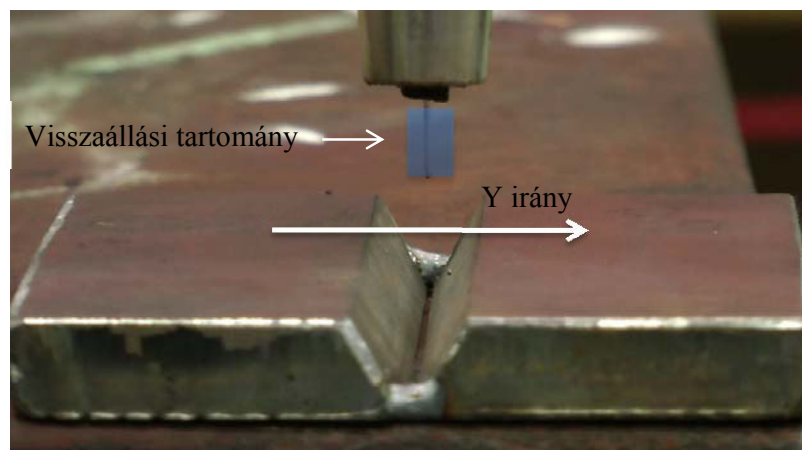
⁸⁴ Saját készítésű fényképfelvétel

⁸⁵ Saját készítésű fényképfelvétel

- A 017 lépésben a P020 pozíció változóban tárolt koordináták Y komponensét (keresőmozgás iránya volt) rögzíti a D000 dupla pontos bináris tárolóba (1. keresőmozgás adata)
- A 018 lépésben D000 és D001 különbségét képezi, majd
- a 019 lépésben D001 értékét elosztja kettővel.
- A 020 lépésben a D000 bináris tároló értékéhez hozzáadja a D001 értékét
- A 021 lépésben a 015 lépésnél tanított robothelyzet értékeit rögzíti a P022 pozíció változóban.
- A 022 lépésben P022 adatait robot koordináta rendszerbe átkonvertálja
- A 023 lépésben P022 pozíció változó második elemét (Y irány, a keresés iránya) kicseréli a D000 értékére
- A 024 lépésben a robotot a vezérlés a P022 pozíció változóban tárol értékre küldi (**61. ábra**). Ez lesz a mérési pozíció.
- A 025 lépésben a robot visszatér a kiindulási pozícióba.

A keresési pontosság változását vizsgáltam különböző keresési sebességek és különböző huzal-előfeszítések alkalmazása esetén. Az előfeszítés mértékét a függőleges keresési pont utáni, a P015 számú pozíció változóba programozott további lefelé irányuló mozgással állítja be a program.

Minden egyes beállításban 10-szer került a program lefuttatásra, leolvasva a robot pillanatnyi helyzetének Y-komponensét.



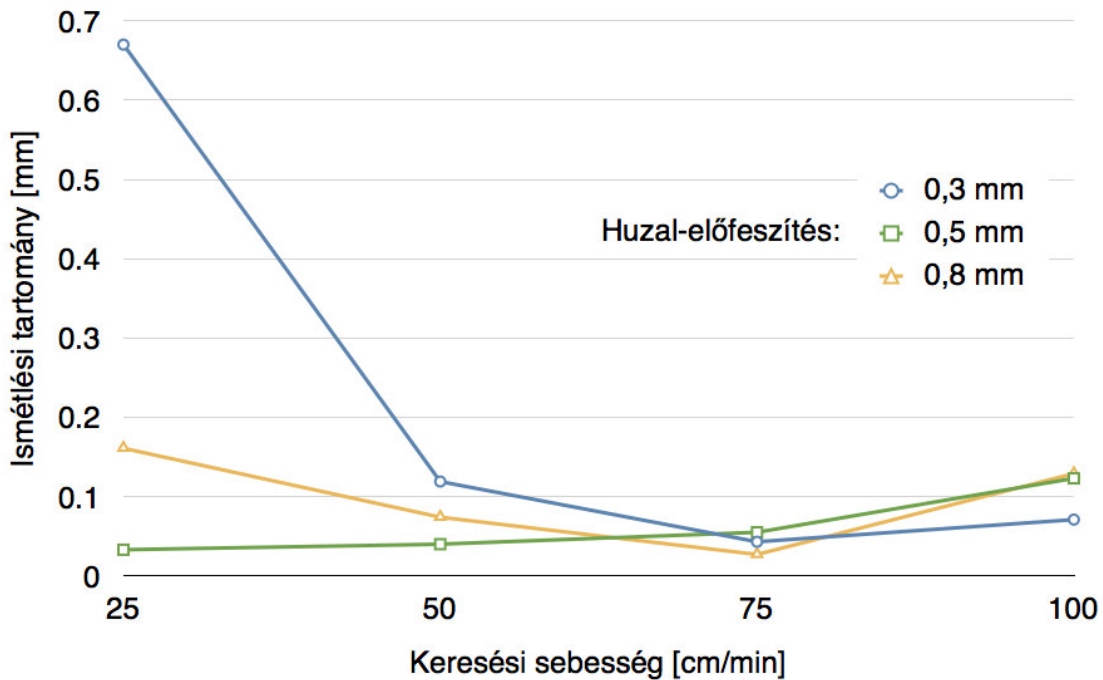
61. ábra. Középvonalra állás (mérési pozíció)⁸⁶

⁸⁶ Saját szerkesztésű ábra

A keresési pontosságot azzal az Y-irányú ismétlési tartománnyal jellemeztem, melyen belül ismételni volt képes a robot ugyanazt a keresési programot.

3.5. A mérési eredmények ismertetése és értékelése

A mérések eredménye a **62. ábrán** grafikus formában látható. Az ábrában tehát minden egyes ábrázolt pont 10 mérésre vonatkozó tartományt jelöl.



62. ábra. A keresési pontosságot jellemző ismétlési tartomány a keresési sebesség és a huzal-előfeszítés függvényében (Yaskawa 200V-os keresőszenzor, V-varrat kétoldali keresés)⁸⁷

A 62. ábra szemléletesen mutatja, hogy a kis huzal-előfeszítés esetén a kisebb keresési sebességeknél bizonytalanná válik a lemezszél-keresés.

A huzal-előfeszítés növelése jelentősen javítja a keresés pontosságát, azonban a 0,5 és 0,8 mm-es előfeszítés között csak kis keresési sebességnél van jelentősebb különbség. Ennél nagyobb előfeszítésnek nincs értelme, hiszen ennek a jelentősége csak abban áll, hogy a felületen való mozgás során a kontaktus a huzal és a munkadarab között biztosan fennálljon, és ne következzen be esetleges téves érzékelés a rövidzárlat átmeneti megszűnése miatt még a lemezszél elérése előtt.

⁸⁷ Saját szerkesztésű ábra

Jól megfigyelhető, hogy a bizonytalan lemezszél-érzékelés a kis sebességtartományban következik be, illetve a keresési pontosság a kísérletben kimért 50 cm/min felett kismértékben újra növekszik. A keresési sebesség szempontjából természetesen az a kedvező, ha azt minél magasabbra állíthatjuk, mert ezzel a szenzor működési ideje csökkenthető, ami közvetlenül csökkenti a robot mellékidejét, javítja a robot termelékenységét. A mérések szerint a keresés sebességét 75 cm/min körüli értéken érdemes tartani. A szokásos keresési hosszakat figyelembe véve (10-20 mm) ez mindössze néhány másodperces keresési időt fog jelenteni. Ha még ez is számít, mert pl. az adott munkadarabon sok keresést kell végrehajtani és a ciklusidő megkívánt csökkentésében már nincs más lehetőség, akkor inkább a keresési úthosszakat kell rövidíteni a még biztonságos minimális értékre.

Figyelembe véve, hogy a robot statikus visszaállási pontossága $\pm 0,08$ mm a gépkönyvi adatok szerint [145], az ebből adódó pontossági tartományt (0,16 mm) viszonyítva a szenzor által megvalósítható keresési pontosság mért értékeivel, egyértelműen megállapíthatjuk, hogy a szenzor ezzel a keresési módszerrel alkalmas tompavarratok keresésére.

Ennek az eredménynek a gyakorlati jelentőségét az is aláhúzza, hogy a gyakorlatból és a szakirodalomból nyert információk alapján ilyen jellegű varratkeresési feladatokra eddig csak optikai szenzorokat használtak, ami jóval költségesebb megoldás, ráadásul a robotra helyezett optikai szenzor kedvezőtlen lehet a robot hozzáférési tulajdonságai szempontjából.

További kísérleteket érdemes még végezni a hegesztőfej dőlésszögének változtatásával, illetve különböző huzalkinyúlásokkal is. Ennek a kísérlet-sorozatnak azonban nem az volt a célja, hogy részletes technológiát adjon, hanem annak vizsgálata, hogy működik-e megbízhatóan, illetve lehet-e kielégítő pontossággal ilyen keresési módszert alkalmazni ezzel a szenzortípussal V-varratok keresésére. Mindazonáltal így is sikerült alapvető irányértékeket meghatározni a fentiek alapján a szenzor megfelelő beállításához.

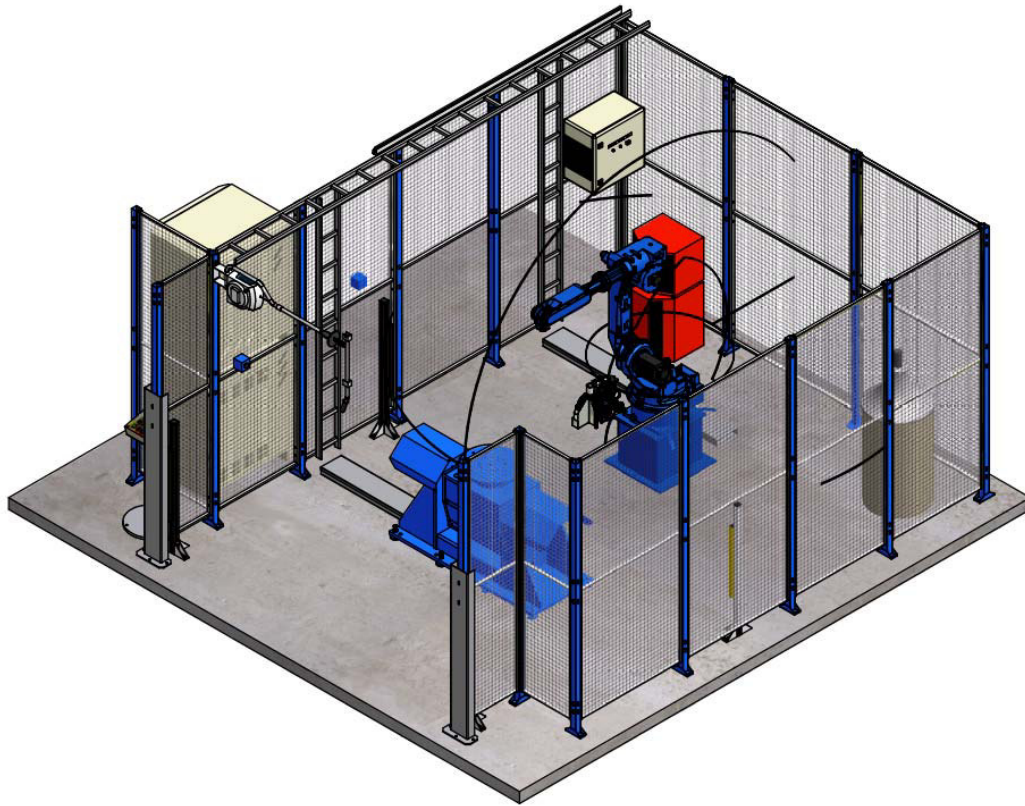
3.6 Javaslat a szenzor gyakorlati alkalmazására a katonai járműgyártásban

Cégünket⁸⁸ megkereste a Rába Jármű Kft., hogy működjünk együtt a HM felkérése alapján indított „Terrorcselekmények elleni, speciális kompozit technológia kidolgozása gépjárművek ballisztikai védelmére” megnevezésű projektben.

⁸⁸ A Flexman Robotics Kft., melynek tulajdonos-ügyvezetője vagyok

A projektben többek között az összeállításra kerülő védett zárt felépítményeinek (VZF) padló és tetőlemezeit kell toldó hegesztéssel, tompavarratokkal összehegeszteni.

Annak érdekében, hogy a hegesztés a lehető legjobb minőségben készüljön a Rába Jármű Kft. szakemberei robothegesztés mellett döntöttek. A hegesztéshez a Rába Futómű Kft. által korábban vásárolt Yaskawa-Motoman ívhegesztő robotrendszere⁸⁹ kerül alkalmazásra, melyen ezeknek a daraboknak a hegesztéséhez átalakításokat kell végezni. Az eredeti robotrendszer kialakítása a **63. ábrán** látható.

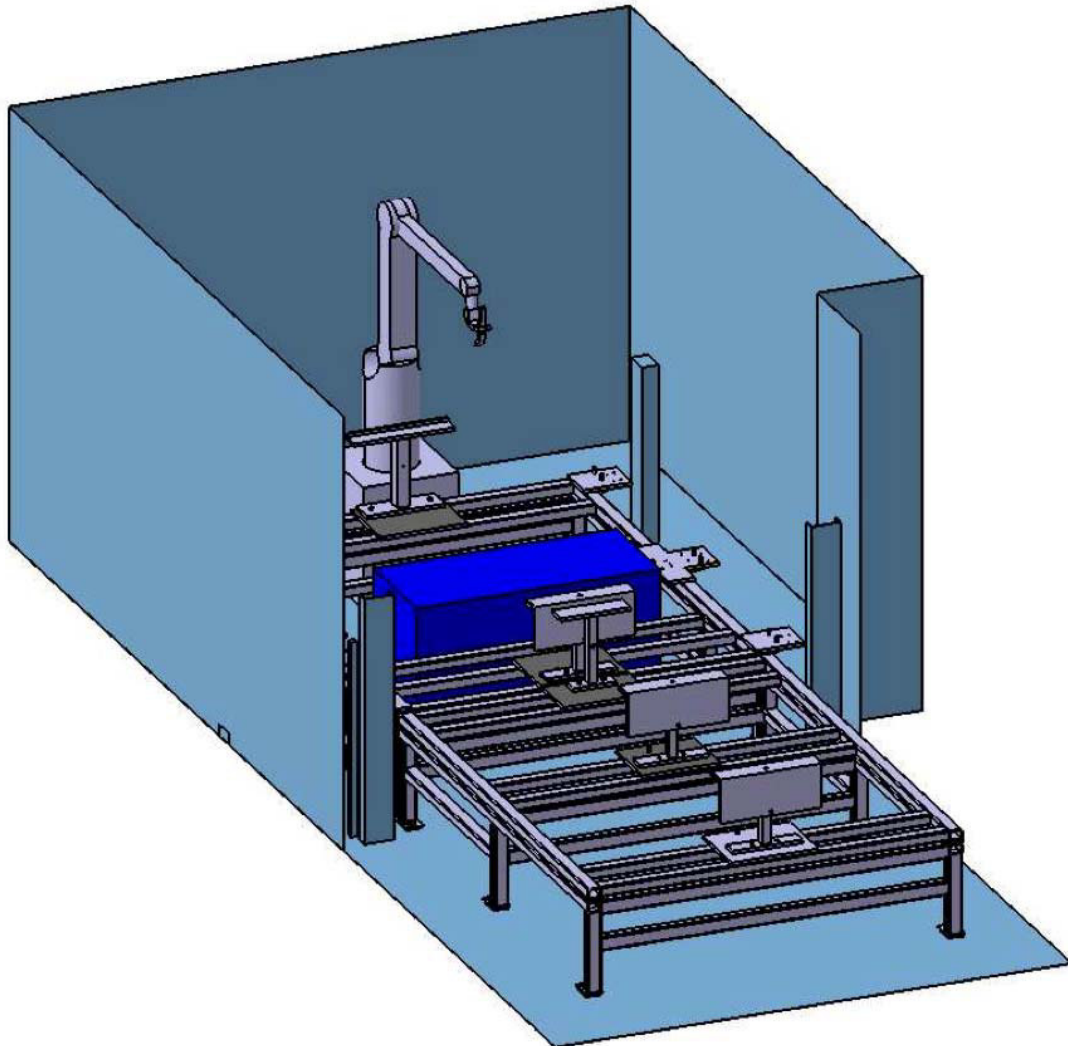


63. ábra. Hídház hegesztő robotcella⁹⁰

⁸⁹ A robotokat többek között M-H futómű hídházak hegesztésére vásárolta a cég. Akkor a szállító cég képviseletében vettem részt a projektben. A hídház hegesztéséhez ugyancsak használtunk szenzortechnikát: sarokvarratok kereséséhez használtunk 200V-os keresőszenzort, illetve varratkövető ívszenzor használatára is történtek kísérletek, azonban a karima mentén körbefutó varratok nem a teljes hosszon voltak alkalmasak ívszenzoros varratkövetésre. A keresőszenzor használata végül elegendő volt a megfelelő varratminőség biztosításához.

⁹⁰ Yaskawa-Motoman telepítési rajzról átvéve

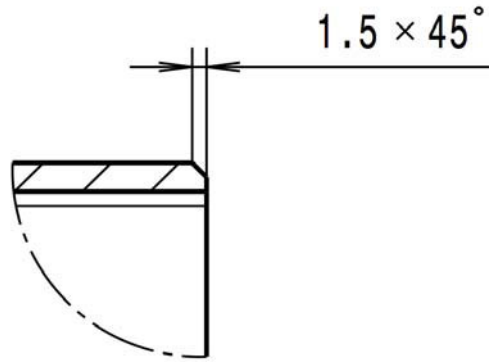
A robotrendszer átalakítása során a 63. ábrán szereplő cellába bekerül egy speciális, a **64. ábra** szerinti hegesztőkészülék, melyre lesznek elhelyezve a toldásra kerülő lemezek.



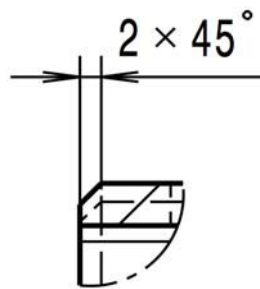
64. ábra. A robotcella átalakításának terve⁹¹

A lemezek toldása a **65.a-c ábrák** szerinti élélőkészítéssel, „V”-varratokkal fog készülni.

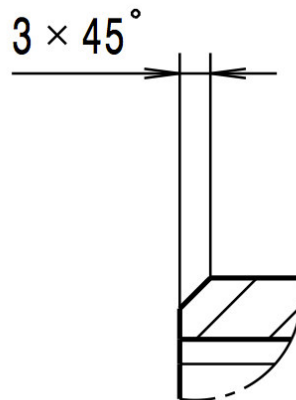
⁹¹ Rába Jármű Kft. átépítési koncepció



65/a. ábra. A tetőlemez élélőkészítése ($S=3\text{ mm}$)



65/b. ábra. A taposólemez élélőkészítése ($S=4\text{ mm}$)



65/c. ábra. A haslemez élélőkészítése ($S=6\text{ mm}$)

A lemezek méretei, a kézi tájolás pontatlansága és a megkövetelt minőség szükségessé teszi, hogy a ágens képességekkel (adaptivitással) rendelkező robottal történjen a hegesztés. Az ilyen jellegű („V”-) varratok adaptív robothegeztéséhez jellemzően optikai szenzorokat szokásos alkalmazni. Az ebben a fejezetben bemutatott új módszerrel azonban a gyártáshoz rendelkezésre álló robottal, mely rendelkezik 200V-os érintéses geometriaérzékelő szenzorral,

a 3.4-3.5 pontokban bemutatott mérések szerint kellő pontossággal meg lehet oldani ezeknek a varratoknak a keresését. Ez jelentős költség- és időmegtakarítást jelent a projekt megvalósítása során.

3.7 A 3. fejezet összefoglalása

Ebben a fejezetben bemutattam egy általam bevezetett új varratkeresési módszert, mellyel geometriaérzékelő érintéses elektromos szenzor alkalmazási területe terjeszthető ki tompavarratok hatékony keresésére olyan esetekben, mikor érzékelő testként a robot hegesztőfejében lévő hegesztőhuzalt használjuk. A módszer elve szerint a rövidzár keletkezését annak megszűnésének figyelésével kombinálva használtam a szenzort varratkeresésre. A szenzor működésének pontossága a mérések szerint megfelelő a fogyóelektródás védőgázos hegesztés robotosításához. A fejezet 3.6. pontjában javaslatot tettem ennek a szenzor-technikának a Rába Jármű Kft. katonai járműgyártási projektjében való alkalmazására. Ennek várható előnyei a költség és időmegtakarítás, mivel a Rába meglévő technikáját lehet ezzel az új módszerrel kiterjeszteni az olyan alkalmazási területre, melyet az új járműgyártási projektben használni szükséges.

4. FEJEZET

KOMPLEX ROBOTTECHNIKAI SZAKÉRTŐI RENDSZER-MODELL ÍVHEGESZTÉS ROBOTOSÍTÁSÁHOZ

Ebben a fejezetben egy olyan komplex rendszermodell megalkotására teszek kísérletet, mely az ívhegesztés robotosításának felvetődésétől egészen annak lehetséges megvalósításának a támogatásáig bemutatja a főbb lépéseket. A rendszer kialakításában, a szerzőtársaimmal korábban kidolgozott szakértői rendszerből indulok ki [46]. Ezt nevezem a következőkben alap-rendszernek, melyet a 4.1 pontban mutatok be. A komplex rendszer kidolgozásában pedig alapozok a 2. és 3. fejezetben bemutatott saját kutatási eredményeimre és az ívhegesztés robotosításával kapcsolatos több, mint 25 éves szakmai gyakorlatom általános tapasztalataira.

4.1 Az alap-rendszer működésének bemutatása

A kifejlesztett rendszer feladata, hogy az adott munkadarab és gyártási körülmények figyelembe vételével javaslatot tegyen arra, hogy várhatóan sikerrel megvalósítható lesz-e az adott alkatrész hegesztésének robotosítása.

A rendszer szoftveres változata a gyártás feltételei, a robotosítás előtti lehetőségek, valamint az előkészítési technológiák körében kérdéseket tesz fel a bemeneti oldalon feleletválasztós felhasználói felületen. Ezekre a kérdésekre kettő, illetve három lehetséges válasz van, attól függően, hogy az adott opció a robotok alkalmazását elősegíti, semleges befolyásolja vagy gátolja. A válaszokat a tudásbázis, illetve eset-specifikus adatok alapján a következtetőmotor pontszámokkal értékeli.

A rendszer bemenő adatai a következők:

1. A gyártás típusa (K_1)
2. Bonyolultsági fok (K_2)
3. Munkadarabon dolgozó hegesztők száma (K_3)
4. Műszakok száma (K_4)
5. Hozzáférhetetlen varrat (K_5)
6. Változó résméret (K_6)
7. Meghatározó varratípus (K_7)
8. Előgyártási eljárás (K_8)

A következtetőmotor a pontokat összeadással és összeszorzással értékeli. Az összeadással azt vizsgálja meg a rendszer, hogy mennyire közelíti meg az adott gyártás pontértéke (S_K) az

elméleti maximumot, a 16-os értéket. Az összeszorzás során a 0 pontértékűek lenullázzák a végeredményt, jelezve azt, hogy ezek a tényezők alapvetően akadályozzák az ívhegesztés robotosításának sikeres megvalósítását.

$$S_K = \sum_{i=1}^8 K_i \quad (33)$$

$$P = \prod_{i=1}^8 K_i \quad (34)$$

Az adott gyártmány hegesztésének robotosíthatósága annál jobb, S_K értéke minél közelebb áll 16-hoz, illetve P értéke pedig ezzel egyidejűleg nem nulla. A hegesztés robotosíthatóságának ennek megfelelően komolyabb akadálya nagy valószínűséggel nincs, amennyiben a következő feltétel teljesül:

$$P > 0 \wedge (0 < S_K \leq 16)$$

A bemenő adatok értékelése a következők szerint történik:

K_1 – a gyártás típusa

- Egyedi gyártás: 0 pont
- Sorozat gyártás: 1 pont
- Tömeggyártás: 2 pont

Megjegyzés: A válaszlehetőségek az egyedi-, sorozat-, ill. tömeggyártás. Konkrét számadat megadására itt nincs lehetőség, ugyanis a munkadarab méretétől, bonyolultságától, összetettségétől függően már akár 80 - 100 darab is minősülhet sorozatgyártásnak, más esetben - egyszerű munkadarab esetében - ez többeszes, több tízezres nagyságrend is lehet. Az egyedi gyártás pontértéke nulla. Ilyen esetben a legkisebb a valószínűsége az ívhegesztő robot gazdaságos alkalmazhatóságának. Sorozatgyártás esetében már megfelelő lehet a robotosított gyártás, ezért erre egy pont jár. Tömeggyártás is megfelelő a hegesztőrobotok szempontjából, itt ki tudják használni minden előnyüket. Erre a válaszra kettő pont jár. Itt megjegyzem, hogy ennek a bemeneti adatnak a megválaszolása a felhasználó részéről megfelelő tapasztalatot és belátást igényel. Ebből a szempontból ugyanis nem csak a sorozatnagyság, hanem az egy munkadarabon hegesztendő varratok mennyisége is számít [146]. Továbbá ennek a pontnak a súlyát a programozás módja is képes befolyásolni: off-line programozási módszerrel az ívhegesztő robotok gazdaságos alkalmazhatósága eltolódhat a kis sorozat, az automatikus robotpálya generálási képességgel rendelkező szoftverek alkalmazása esetén pedig akár az egyedi gyártás felé is. Ezen a ponton tehát érdemes lenne még tovább finomítani a rendszert.

K₂ – a bonyolultsági fok

- Bonyolult, összetett munkadarab, egymásra épülő alkatrészekkel: 1 pont
- Közepesen bonyolult alkatrész, helyenként nehezebben hozzáférhető varratokkal: 1,5 pont
- Egyszerű alkatrész, jól hozzáférhető varratokkal: 2 pont

Megjegyzés: A munkadarab bonyolultságának megadása viszonylag szubjektív tényező. E miatt minták alapján segíti a rendszer ennek a bemeneti adatnak a megfelelő kiértékelhetőségét. A következtetőmotor itt nem alkalmaz 0 értékelést egyik válasz esetén sem. A robotosítás sikerét nem lehet az alkatrész bonyolultsága alapján, legalább is ilyen egyszerű kérdéssel kizárni, ezért itt csak azt vizsgáljuk, hogy mennyire segíti elő a munkadarab geometriájából, összetettségéből, méretéből adódó bonyolultság a robotosított gyártást.

K₃ – a munkadarabon dolgozó hegesztők száma:

- A gyártás egy hegesztőt igényel: 0 pont.
- A gyártás két hegesztőt igényel: 1 pont.
- A gyártás három vagy több hegesztőt igényel: 2 pont.

K₄ – a műszakok száma:

- Egy műszak: 1 pont
- Két műszak: 1,5 pont
- Három műszak: 2 pont

Megjegyzés: A K₃ és K₄ kérdései közvetetten arra irányulnak, hogy amennyiben a jelenlegi kézi hegesztés robotosításra kerül (vagy egyszerűen csak a kézi hegesztés alternatíváját vizsgáljuk), hány hegesztő munkáját lesz lehetőség elvégezni robottal, ami a beruházás megtérülési idejét befolyásolja.

K₅ – robot hegesztőfejjel hozzáférhetetlen varrat:

- nincs: 2 pont;
- van, de nem jelentős mennyiségben: 1 pont;
- jelentős számban fordul elő az vizsgált alkatrészen: 0 pont.

Megjegyzés: a hegesztő robotokhoz használatos hegesztőfejek a kézi hegesztéshez képesti nagyobb bekapcsolási idő és sok esetben nagyobb hegesztési teljesítmény miatt általában nagyobb méretűek. Ez jelenthet hozzáférési, elérhetőségi problémát bizonyos ilyen jellegű varratoknál. Ha az ilyen varratoknak az aránya az össze varratokhoz képest nem jelentős, akkor még a robotos hegesztést nem szükséges elvetni (viszont nagyobb figyelmet kell fordítani a kézi varratok ellenőrzésére). Ha ezeknek a varratoknak az aránya viszont jelentős a robottal hegesztendő munkadarabon, akkor az alapvetően nehezíti a robotosíthatóságot, mert vagy speciális hegesztőfej alkalmazását igényli, vagy túl sok lesz a kézi hegesztés a munkadarabon.

K₆ – változó résméret

- nincs: 2 pont;
- van, de nem jelentős mennyiségben: 1 pont;
- jelentős mennyiségben fordulhat elő az vizsgált alkatrészen: 0 pont.

Megjegyzés: a változó résméret nem kedvező a robothegeztés szempontjából. Az ehhez való alkalmazkodó képesség általában optikai szenzorokkal oldható meg bizonyos határok között. Amennyire lehet, az előgyártás tűréseinek szigorításával el kell kerülni, illetve a robothegeztés előtt kézzel be kell hegeszteni a kritikus részeket.

K₇ – meghatározó varratípus:

- Sarokvarrat: 2 pont
- Tompavarrat: 1 pont
- Peremvarrat: 1 pont

Megjegyzés: A jó robothegeztetőség szempontjából a legkedvezőbb a sarokvarrat, melynél általában kevésbé jellemző a változó résméret, gyártási eltérések esetén viszonylag egyszerű szenzortechnikával jól kereshető (olyanokkal, melyek nem igénylik külön szenzortest felszerelését a hegesztőfej mellé), illetve szükség esetén ívszenzoros varratkövetés is általában alkalmazható. A robotosíthatóságot a további két említett varratípus sem zárja ki, azonban éppen az előző pontban említett változó résméret kialakulása miatti problémákra jobban érzékenyek, adaptív rendszerek alkalmazása pedig többnyire speciális szenzortechnikát igényel, mely lehet költségesebb is, illetve ronthatja a robot rugalmas hozzáférési tulajdonságait.

K₈ – az előgyártási eljárás

Ezt a rendszer összetett bemenetként használja. A bemenetek a vizsgált alkatrészen szereplő jellemző eljárás alapján kerülnek kiválasztásra, akár több megadási lehetőséggel is a következők közül:

- K₈₁ - Lemezalkatrész vágása
- K₈₂ - Rúdanyag vágása
- K₈₃ - Forgácsolás
- K₈₄ - Hajlítás
- K₈₅ - Öntés
- K₈₆ - Kovácsolás

Ezeket a következtetőmotor olyan szempontból értékeli, hogy az adott eljárással általában elérhető pontosság mennyire biztosítja a robothegesztéshez szükséges munkadarab-előkészítési pontosságot. Ebből a szempontból pl. a gépi adaptív vágások, a CNC hajlítás, forgácsolás a legkedvezőbbek.

A következtetőmotor ezt a bemenetet, mint egy alrendszert értékeli ki, átlagolva az egyes eljárásokra kapott pontértéket. Ha pedig ezek közül bármelyik 0 értékelést kap, akkor a végeredmény (K₈, illetve ennek következtében P értéke) is 0 lesz. Ez utóbbi esetben a rendszer problémásnak ítéli az adott termék hegesztésének robotosítását. Ebben a magyarázó alrendszer információkat szolgáltat a döntés okáról, mely a felhasználót segíti abban, hogy rámutasson azokra a problémákra, melyek megoldása (amennyiben lehetséges) a későbbiekben mégis lehetővé teheti az adott termék ívhegesztésének robotosítását.

4.2. A kiterjesztett rendszer működésének bemutatása

A szakértői rendszermodell felépítése a **66. ábrán**⁹² látható. A következőkben az ábra alapján ismertetem a rendszer működését.

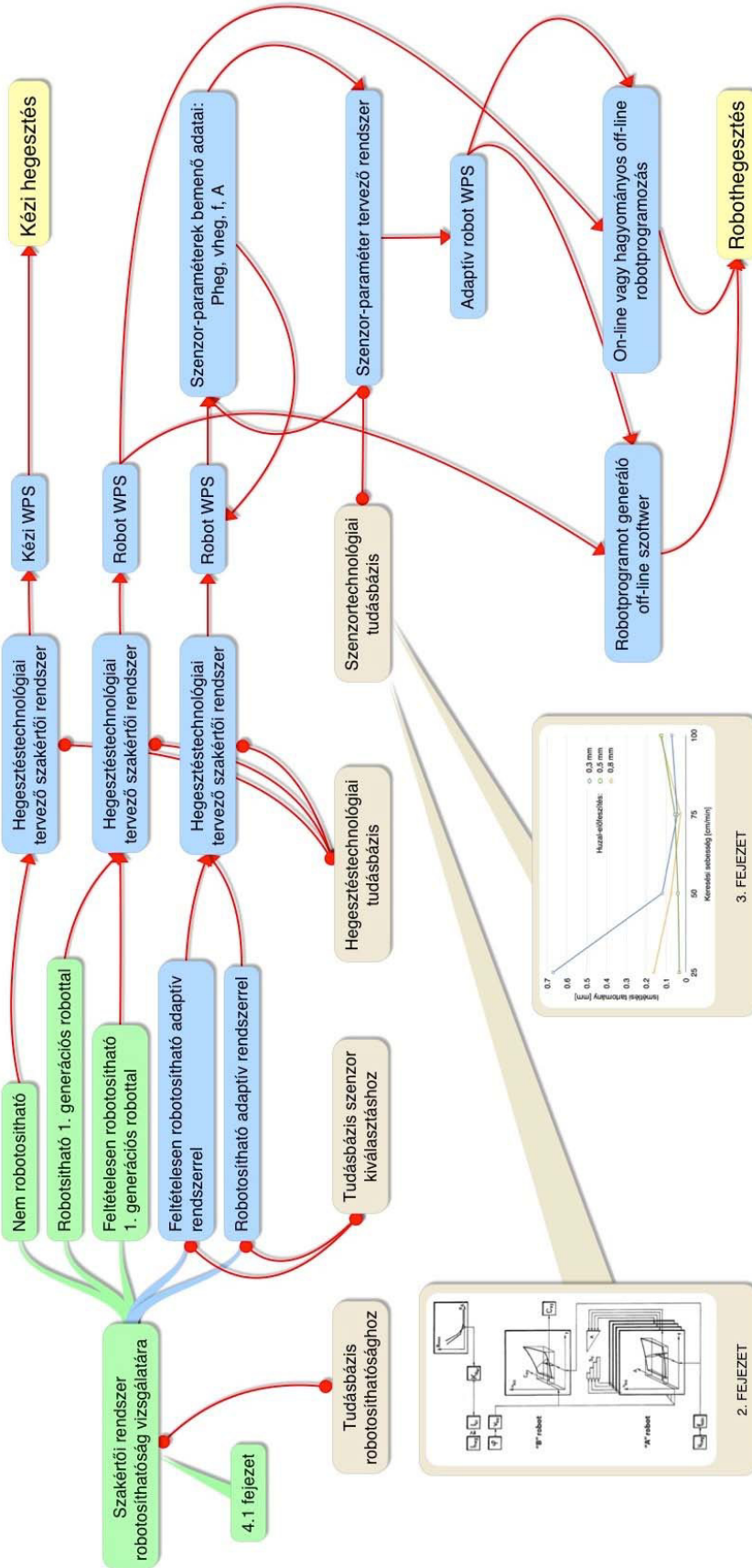
A rendszer kiindulási alapja tehát a 4.1 pontban bemutatott szakértői rendszer, mely működésének lényege az, hogy gyártmány és gyártási információk alapján tesz döntési javaslatot arról, hogy egy adott gyártmány ívhegesztése az adott gyártási körülmények között robothegesztéssel megvalósítható-e. A rendszer azonban nem foglalkozott azzal a kérdéssel,

⁹² Saját szerkesztésű ábra

hogy az adott feladat megoldása ágens képességekkel rendelkező robottal milyen módon befolyásolhatja a döntést. Ennek megfelelően a rendszer bővítése ebben az irányban kívánatos. A teljesség kedvéért azonban a rendszernek azt a döntési ágát is felvázoltam, ami a nem robotos hegesztéshez tartozik (amennyiben már a kiindulási rendszerénél kiderül, hogy az adott gyártmány nem alkalmas robotos hegesztésre).

Az ágens képességgel rendelkező, adaptív rendszerek vizsgálata esetén is a rendszer elágazást tartalmaz annak függvényében, hogy a robotosítás adaptív rendszer alkalmazása esetén feltételesen, vagy a rendelkezésre álló feltételekkel alkalmasnak ítéli a gyártmányt robohegesztésre. A feltételes alkalmazás a gyakorlatban tipikusan azt jelenti, hogy az előgyártás feltételeit szigorítani kell annak érdekében, hogy a gyártmány még ágens képességekkel rendelkező robotokkal is hegeszthető legyen (pl. a kézi vágások, leszabások helyett CNC lézer vagy plazmavágó berendezést kell alkalmazni, vagy a kézi összeállítást kell magasabb szinten készülékezni). ugyanez az elv érvényesül az 1. generációs robotokat (1. 1.3.2.1. fejezet) tartalmazó döntési ágakban is, azonban ott a feltételek teljesülése esetén olyan pontosak a gyártmányok, hogy nem szükséges azok hegesztéséhez ágens képességekkel rendelkező hegesztő robotokat alkalmazni.

Amennyiben ágens képességekkel rendelkező robottal a rendszer alkalmasnak ítéli a robotosítást, akkor itt kell, hogy javaslatot tegyen arra, hogy milyen típusú szenzor/szenzorok alkalmazását igényli az adott hegesztési feladat megoldása. Itt tehát építeni kell egy olyan tudásbázisra, mely a szenzorok kiválasztásához nyújt megfelelő információkat. Ehhez a ponthoz jelentenek újdonságot a 3. fejezetben bemutatott eredmények, mely szerint az érintéses keresőszenzor alkalmazási területét sikerült kibővíteni olyan varratípusokra, melyek eddig csak optikai szenzorokkal voltak eredményesen és hatékonyan kereshetők.



66. ábra. Komplex szakértői rendszer-modell ivhegesztés robotosításához

A komplex rendszer részét képezik azok a hegesztéstechnológiai tervező szakértői rendszerek, melyek a szóban forgó eljárás hegesztéstechnológiai paramétereinek tervezésére szolgálnak. Erre találunk példát az 1.3.1.1. fejezetben (pl. [32], [33]).

Az ilyen szakértői rendszerek a hegesztési technológia tervezésében általában a kézi hegesztést veszik alapul. A hegesztés gépesítése azonban az alaptermészetét nem befolyásolja jelentősen, kivéve az olyan eljárások vagy eljárás-változatok esetét, amikor az kézzel eleve nem is valósítható meg (pl. nagyteljesítményű, vagy nagy hegesztési sebességgel működő speciális eljárások). Az eredetileg kézi megvalósításra kerülő hegesztés robotosítása esetén azonban célszerű már ezeknek a tervező rendszereknek is figyelembe venni a robotosítás tényét, és ennek megfelelő kimenő adatokat szolgáltatni.⁹³ A hegesztési technológia tervező rendszerek kimenő adata lehet a WPS⁹⁴, mely a jóváhagyott hegesztési technológiát tartalmazza.

Amennyiben a robothegeztés ágens képességekkel rendelkező robotokkal történik, és különösen, ha az ívszenzorral működik, akkor a szenzor paraméterek befolyással lehetnek az eredeti hegesztési technológiára (pl. lehet, hogy az eredeti technológia miatt nem, csak az ívszenzor alkalmazása miatt kell a hegesztőfejet lengetni). Ennek megfelelően a szenzortechnológiai tudásbázis alapján a szenzor-paraméter tervező rendszernek visszahatása lehet magára a robot WPS-re is. Az adaptív robot WPS pedig annyival több, mint a robot WPS, hogy tartalmazza a szenzor-specifikus paramétereket is.

A 2. és 3. fejezetben ismertetett szenzor-alkalmazástechnikai kísérletek eredményei beintegrálhatók a szenzortechnológiai tudásbázisba, illetve magának a szenzor-paraméter tervező rendszernek is közvetlen részét képezhetik ezeknek a szenzoroknak az alkalmazása esetén.

A robot WPS és adaptív robot WPS tervező rendszer tulajdonképpen egy technológiai off-line programozó rendszernek is tekinthető, ami hegesztéstechnológiai adatokat szolgáltat a mozgásprogram kiegészítéséhez. A mozgásprogram készítése történhet on-line, off-line módban betanításos módszerrel, vagy off-line módban robotpálya generáló szoftver

⁹³ A gépi/robotos hegesztés esetén szűkebb tartományban adhatók meg a hegesztési paraméterek a technológiai javaslatban, mivel a hegesztés sebessége nem változik a hegesztés során (speciális helyzeteket kivéve: pl. robotok esetén hirtelen irányváltáskor, de erre is van megfelelő adaptív rendszer [136]) és annak értéke számszerűen beállítható.

⁹⁴ WPS (Welding Procedure Specification) – gyártói hegesztési utasítás. Az ehhez szükséges előzetes technológia jóváhagyási eljárásával nem foglalkozom részletesen, de természetesen ez ebbe beleértendő.

segítségével (l. az 1.3.1.1. fejezetet). Az off-line módban készült mozgásprogramot ezt követően be kell tölteni a robotvezérlésbe, és mozgásteszt során kell a programot a tényleges munkadarab-helyzethez igazítani. A szenzortechnika, a robotok intelligens működésének fejlődésével a jövőben minden bizonnyal megvalósulhat az is, hogy az off-line programokat nem kell majd manuálisan tesztelni, mert a robot érzékelői segítségével képes az off-line modellt automatikusan a tényleges munkadarab-helyzethez adaptálni. Már a manapság rendelkezésre álló technika is segíti ezt az adaptációt bizonyos szinten, azonban még nem tartunk ott, hogy a kézi ellenőrzés teljes egészében kiküszöbölhető legyen. Ilyen módon tehát a fentieket figyelembe véve megállapíthatjuk, hogy a teljes technológiai off-line programozás megvalósítása már közelebb van a realitáshoz, ami azt eredményezi, hogy a kész munkadarabon nem szükséges roncsolásos vizsgálatokat végezni a minőség ellenőrzése és dokumentálása céljából, hacsak nincsenek az adott gyártmánynál kifejezetten erre vonatkozó előírások.

4.3. Megjegyzések

Korábban ([148]) bemutattam a robotika és a szakértői rendszerek lehetséges összekapcsolódását ívhegesztési alkalmazásban, mely gondolatot ebben a fejezetben részletesebben kifejtettem. Az előző pontban leírt rendszer azonban nem feltétlenül kell, hogy egy platformon működjön, vagy egy komplett szoftver legyen (bár természetesen ez sok előnyt hordozna magában). Működőképes önálló egységekből is állhat a rendszer, melyek egy része ténylegesen szoftver, más elemei összehangolt intézkedésekből, dokumentált technológiai folyamatokból állnak. Ettől még a rendszer lehet működőképes, a gyakorlatban jól használható.

A rendszer több megközelítésben is hasznosítható:

- lehet alkalmazni arra is, hogy egy adott gyártmány hegesztésénél eldöntsük (egy újabb projekt vállalása esetén), érdemes-e annak gyártásához robotot beszerezni, és az milyen generációs szinthez tartozzon. Ebből a szempontból ez a rendszer alapvetően a műszaki-technikai megvalósíthatósághoz nyújt segítséget. Új berendezések beszerzésénél természetesen a gazdaságossági szempontokat is nagy súllyal kell figyelembe venni (elérhető termelékenység, kihasználtság, megtérülési idő stb.);
- a másik alkalmazási mód pedig az, hogy meglévő technikát adott alkalmazásra hasznosítunk. Ebben az esetben lehet igazán kihasználni a rendszerben rejlő lehetőségeket, mert a saját gyártási feltételek és tapasztalatok alapján a rendszer

tudásbázisát fel lehet tölteni, és újabb gyártmányok hegesztéséhez, a robotosíthatóság megítéléséhez, majd a robot hatékony működtetéséhez nyújt segítséget.

A rendszer kiindulási részét nem csak úgy lehet értelmezni, hogy egy adott gyártmányhoz milyen generációs szintű robotot kell beszerezni, hanem hogy a meglévőt az adott feladatra milyen üzemmódban kell alkalmazni (ha ágens képességekkel is rendelkező technika áll rendelkezésre). Sőt egy adott gyártmány robotosításánál az elemzést varratonként is lehet értelmezni. Előfordulhat olyan eset, amikor bizonyos varratokat kézzel szükséges hegeszteni, mert vagy hozzáférési problémák miatt, vagy előkészítési pontatlanságok miatt nem lehetséges, vagy nem gazdaságos (mert speciális, drága rendszerkialakítás, komplexebb érzékelési technika alkalmazásával lenne lehetséges) annak robohegesztése. Ha a teljes gyártmányon nem ezek a varratok dominálnak, az ilyen varratok mennyisége (varrathossz és szám szerint a teljes mennyiséghez képest) csekély, akkor ezek miatt nem kell elvetni a gyártmány robohegesztését. Ugyanúgy a robot ágens képességét nem feltétlenül használjuk ki minden varrat esetén, csak ott, ahol ez szükséges. Ennek különösen a kereső szenzorok használata során van jelentősége, mert ezek használata a mellékidőket növeli.

4.4 A 4. fejezet összefoglalása

Ebben a fejezetben bemutatam egy általam létrehozott komplex szakértői rendszer-modellt, mely az ívhegesztés robotosítását vizsgáló alap szakértői rendszert bővíti ki ágens képességekkel rendelkező ívhegesztő robotok alkalmazásának területére. A rendszer magába integrálja a 2. fejezetben ismertetett ívszenzor és a 3. fejezetben leírt kereső szenzor technológiai off-line tudásbázist. Ez által a mesterséges intelligencia két területét, a robotikát (intelligens képességekkel rendelkező robotok) és a szakértői rendszereket kapcsolom össze annak érdekében, hogy az ívhegesztés robotosításának hatékonyságát elősegítsem. Ez a katonai járműgyártásban azért hasznosítható kifejezetten jól, mert ott a gyártmányok jellegéből adódóan jellemzően szükség van intelligens képességekkel rendelkező hegesztő robotokra.

ÖSSZEGZÉS

Kutatómunkám célkitűzéseit a megfelelő kutatási módszerek alkalmazásával teljesítettem. Áttekintettem a téma szakirodalmát a mesterséges intelligencia területei közül az ívhegesztés robotosításával kapcsolatos szakértői rendszerekre és a robotikára koncentrálva. Ezen belül külön részletesebben vizsgáltam a robotok ágens lépcségeit lehetővé tevő szenzortechnika területét. Kísérletekkel vizsgáltam az ívhegesztő robotokhoz gyakran alkalmazott varratkövető ívszenzor alkalmazástechnikai jellemzőit. A vizsgálati eredmények alapján kidolgozott rendszer megteremti a szenzor technológiai off-line programozásának lehetőségét. Egy aktuális katonai járműgyártási projekt kapcsán új módszert vezettem be a geometriaérzékelő érintéses elektromos szenzor használatára, mellyel tompavarratok hatékony és pontos keresésére is lehetőség nyílt ezzel a szenzortípussal. A két szenzortípussal végzett kísérleti eredményeket felhasználva létrehoztam egy komplex szakértő rendszermodellt, mely ívhegesztőrobotok technológiai off-line programozását segíti elő ágens képességű robotok alkalmazása esetén is. Ennek a katonai járműgyártásban azért van jelentősége, mert a katonai járművek hegesztési műveleteinek robotosítását a szerkezet jellegéből adódóan a legtöbb esetben csak ágens képességekkel, vagyis megfelelő szenzortechnikával rendelkező robotokkal lehet megvalósítani. A katonai járműgyártásban ezek az eredmények közvetlenül hasznosíthatók, mert jól illeszkednek a katonai minőségirányítási rendszer fejlesztéséhez. Ez pedig még jobb minőségű eszközök hatékonyabb gyártását teszi lehetővé. A minőségi eszközök használata pedig a magas szintű NATO védelmi képességek biztosításának elengedhetetlen része.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Az értekezésben a célkitűzések megvalósítása során elért tudományos eredmények tekintem a következőket:

1. Megállapítottam, hogy a varratkövető ívszenzor alkalmazástechnikai jellemzőit alapvetően a következők határozzák meg:
 - az ívszenzor kinematikai jellemzői
 - a varratkövetéshez szükséges korrekciós sebesség és az ívszenzor alkalmazástechnikai paramétereinek kapcsolata
 - a stabil varratkövetési folyamat megvalósulásának feltételei
2. Kidolgoztam a varratkövető ívszenzor alkalmazástechnikai vizsgálatának módszerét, mely az előző pontban meghatározott jellemzők vizsgálatára épül. A módszer segítségével az ívszenzorok paraméterezése tervezhetővé vált, mely a technológiai off-line programozás lehetőségét terjeszti ki az ívszenzorokkal hegesztett varratokra.
3. Új módszert vezettem be a geometriaérzékelő érintéses elektromos szenzorok használatára, mellyel a szenzor alkalmazási területe kibővíthető a tompavarratok keresésére is.
4. Kidolgoztam egy komplex robottechnikai szakértői rendszer-modellt ívhegesztés robotosításához, melyben a mesterséges intelligencia két területét, a szakértői rendszereket és a robotok ágens képességeit biztosító szenzortechnikát kapcsoltam össze egy rendszerré.

AJÁNLÁSOK

Ajánlom hasznosításra azon szakemberek számára, akik hegesztett szerkezetek gyártása területén a katonai minőségirányítási rendszerek bevezetésének, működtetésének technikai feltételeinek biztosításával foglalkoznak.

Ajánlom felhasználásra minden olyan vállalkozás részére, melyek az ívhegesztés gépesítésének, robotosításának lehetőségét kívánják megvizsgálni.

A kutatási eredményeket azok számára is ajánlom, akik egy adott gyártmány robohegeszthetőségének lehetőségét kívánják felmérni.

Az irodalmi összeállítást és a kutatási eredményeket ajánlom a mérnökképzésben, mérnöktovábbképzésben felhasználni, elsősorban alkalmazott robottechnikai területen.

JAVASLAT A KUTATÁSI TÉMA FOLYTATÁSÁRA

A kutatási téma folytatásaként ajánlom a szakértő rendszerekkel foglalkozó szakemberek számára, hogy az általam kidolgozott elméleti rendszer-modell minél több szegmense konkrét segédlet/szoftver formájában állhasson rendelkezésre a felhasználók számára.

A rendszer további fejlesztéséhez fontos nyomon követni és hasznosítani a szenzortechnika megújuló fejlesztéseit, melyek a szakértő rendszer tudásbázisának bővítésével aktualizálják és teljesebbé teszik a rendszer hasznosíthatóságát.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Először is témavezetőmnek, Dr. Sipos Jenő mk. ezredes úrnak szeretném kifejezni köszönetemet, aki munkámat mindvégig segítette és támogatta.

Köszönöm az értekezés műhelyvitáján aktívan közreműködő valamennyi résztvevő észrevételeit, melyek igen hasznos segítségül szolgáltak az értekezés végleges változatának kidolgozásához.

Szeretném megköszönni segítségét kollégáimnak, többek között Terék Gábor mérnök úrnak, aki a gyakorlati robotprogramozásban volt segítségemre a kísérletek egy részének végzésénél.

Köszönöm Dr. Palotás Béla tanár úr tanácsait, segítségét, aki többek között a szakértői rendszerek kapcsán volt segítségemre.

Köszönöm Dr. Bohács Gábor és Dr. Szalay Tibor tanár uraknak, akikkel a mesterséges intelligencia tárgykörében folytathattam hasznos konzultációkat.

Köszönöm Dr. Boza Pál tanár úrnak, aki kitartóan és lelkesen biztatott az értekezés megírására.

Köszönöm Balázs Istvánné Erikának, aki sokszor volt segítségemre a doktori iskola adminisztratív teendőinek végig vitelében.

Hálás vagyok családomnak, akik nagy türelemmel, szeretettel segítettek, bátorítottak, hogy témérdek egyéb teendőim mellett legyen erőm és időm az értekezés megírására.

Köszönöm minden barátomnak, kollégámnak akik terheket vállaltak át az elmúlt időszakban annak érdekében, hogy megírhassam ezt az értekezést.

IRODALOM

- [1] FÜREDI, L.: Gondolatok a „Minőség a biztonságért” a magyar katonai beszállítók minőségirányításának gyakorlati kérdései című konferenciáról
Internet: www.quality-mmt.hu/adat/fajlok/letoltesek/.../02_08_09_mm.doc Letöltve: 2012. 09.01.
- [2] BUGYJÁS, J.: Quality management recommendations for suppliers to NATO
Kandó Konferencia 2006 ISBN 963 7154 426 (elektronikus kiadás)
- [3] NN: NATO AQAP Információs oldal: Változások a minősített NATO Beszállítói cím megszerzésében és megújításában.
Internet: <http://www.natoaqap.hu/?p=87> Letöltve: 2012. 09.01.
- [4] BUGYJÁS, J.: Autóipari beszállítók minőségirányítási rendszerei
Kandó Konferencia 2002 ISBN 963 7158 03 0
- [5] Magyar Szabványügyi Testület: Minőségirányítási rendszerek
Internet: <http://www.mszt.hu/tanusitas/mir.html> Letöltve 2012. 09. 02.
- [6] WARE, PAT: The World Encyclopedia of Military Vehicles
Hermes House, London 2010. ISBN-13: 978-1-84681-584-3 p.156.
- [7] VARGA J., A. BÁRDOS, A.: Magyar autógyárak katonai járművei
Maróti Könyvkereskedés és könyvkiadó, Budapest 2008 pp. 405-413.
- [8] FARKAS, A: CLOOS Romat 76 tip. ívhegesztő robot szenzoros vezérlésének vizsgálata - Diplomaterv Dt7/1985 - BME Mechanikai Technológia Tanszék. 1986.
- [9] TERMÉKEK - TECHNOLÓGIÁK – KATONAI JÁRMŰGYÁRTÁS - A Rába Járműipari Holding Nyrt. honlapja:
http://www.raba.hu/jarmu/katonai_jarmugyartas.html Letöltve: 2011. május 28.
- [10] RÁBA ÉVES BESZÁMOLÓ 2004 -
http://www.raba.hu/sajtokozypon/sajtokozypon.raba.hu/doctar/eves_jelentesek/raba_ev_es_beszamolo_2004.pdf Letöltve: 2011. 05. 29.
- [11] BRENNER, A.: A hegesztett szerkezetek gyártása / A gépesített hegesztés kötésminősége a technológia és az ellenőrzés függvényében
BME Mérnöktoábbképző Intézet (jegyzet:5318), 1990.

- [12] J STENKE, V.: Quality Assurance in Fully Mechanized MAG Welding
IIW Doc. XII-1281-92. pp.185-194.
- [13] HELM L.: Ipari robotok,
M.K.Budapest, 1983 ISBN: 9631047407
- [14] NOMURA, H szerk.: Sensors and Control Systems in Arc Welding – Chapman &
Hall, London 1994. ISBN 412 4749`5 pp. 48/51.
- [15] A LISP programozási nyelv <http://hu.wikipedia.org/wiki/Lisp> Letöltve: 2011.06.05.
- [16] SIMONS, G. L. ford.: Döry Anna: Szakértői rendszerek és mikrók
MK Budapest, 1987. ISBN 963 10 7228 2 p. 20.
- [17] PUSZTAI F. szerk: Magyar értelmező kéziszótár, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2003
ISBN: 963 05 7874 3 p. 571.
- [18] CAWSEY, A. Ford: Rózsa T.: Mesterséges intelligencia alapismeretek, Panem
Könyvkiadó, 2002. ISBN 963 545 285 3 pp. 11-12.
- [19] RUSSEL, S. J. , NORVIG, P.. Ford: Antal P.: Mesterséges intelligencia modern
megközelítésben, Panem Könyvkiadó, 2000 ISBN: 963 545 241 1 pp. 33-34.
- [20] SZALAY, T.: A mesterséges intelligencia alapjai - egyetemi jegyzet, Gábor Dénes
Főiskola 2002. p 6. p.11.
- [21] Seebauer M.: Intelligens ágensek – Dunaújvárosi Főiskola, Informatikai Intézet pp. 7-
8 Internet: hazam.eu/s9y/plugin/dlfile_199 - Letöltve: 2011. 06. 14.
- [22] RUSSEL, S. J. , NORVIG, P.. Ford: Antal P.: Mesterséges intelligencia modern
megközelítésben Panem Könyvkiadó, 2000 ISBN: 963 545 241 1 pp. 73-39.
- [23] DOBROWIECKI, T., MÉSZÁROS T.: A mesterséges intelligencia új területei:
intelligens ágensek – Egyetemi jegyzet (tervezet) 1998. BME Méréstechnika és
Információs Rendszerek Tanszék Internet:
http://home.mit.bme.hu/~meszaros/me/pubs/agensjegyzet_1999.pdf Letöltve: 2011.
06. 14. p. 7.
- [24] RUSSEL, S. J. , NORVIG, P.. Ford: Antal P.: Mesterséges intelligencia modern
megközelítésben, Panem Könyvkiadó, 2000 ISBN: 963 545 241 1 p. 68.
- [25] NAKASHIMA et al. Multilayer welding, United Stated Patent, 4,742,207 May 3,
1988.

- [26] SIMONS, G. L. ford.: Dóry Anna: Szakértői rendszerek és mikrók
MK Budapest, 1987. ISBN 963 10 7228 2 p. 103.
- [27] CAWSEY, A. Ford: Rózsa T.: Mesterséges intelligencia alapismeretek, Panem
Könyvkiadó, 2002. ISBN 963 545 285 3 p. 51.
- [28] NOF, Shimon Y, A: Handbook of Industrial Robots, John Wiley & Sons, Inc, 1999.
ISBN 0-471-17783-0 pp. 22-23.
- [29] PALOTÁS, B., FARKAS, A.: CAD/CAM rendszerek a hegesztésben. Modulfüzet.
Dunaújvárosi Főiskola, Műszaki Intézet 2011.
- [30] CAWSEY, A. Ford: Rózsa T.: Mesterséges intelligencia alapismeretek, Panem
Könyvkiadó, 2002. ISBN 963 545 285 3 pp. 55-56.
- [31] SEYFFARTH, P.; SCHARFF, A.: Schweißtechnische Software - Versuch einer
Übersicht. DVS-Bd. 198, Düsseldorf, 1999.
<http://www.slv-rostock.de/pdf/software.pdf> - Letöltve 2012.04.08.
- [32] A DVS médiatár honlapja: Internet: <http://www.dvs-media.eu> – Letöltve: 2012.04.08.
- [33] A WELDDWARE szoftver ismertető honlapja: http://www.dvs-media.eu/index.php?idcon=10&mod_shop_detailview=1132&mod_shop_pcat=1003&id_parent=1003 – Letöltve: 2012.04.08.
- [34] Braña I. V.: Simulation of a Work Cell in the IGRIP Program. Master's Thesis. Luleå
University of Technology, 2006:224 CIV • ISSN: 1402 p. 43.
- [35] SAS, I.: Ívhegesztő robotok alkalmazásának és off-line programozásának gyakorlati
tapasztalatai az Aprítógépgyár Rt.-ben. Gépgyártás 43. évf. 4-5. sz. 2003. (Ívhegesztő
robotok ipari alkalmazása konferencia) ISSN 1587-4648 pp. 7-14.
- [36] MAEKAWA, H: Motion generation in an off-line programming system for an arc-
welding robot. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Edited by Hirokazu
NomuraChapmann & Hall, London 1994. pp. 333-341
- [37] A RobotMaster céges honlapja: Internet: <http://www.robotmaster.com> Letöltve:
2012.04.08.
- [38] JELENCSIK, M.: CNC Média Interjú: Dr. Farkas A.: Szoborfelületek robotokkal
Internet: <http://www.cnc.hu/2012/02/szoborfeluletek-robotokkal> Letöltve 2012.04.08.

- [39] MUELLER, R.: Getting close to remote laser welding - Research reveals that the technology is a reasonable alternative to resistance spot welding. June 26, 2009
Internet: <http://www.thefabricator.com/article/laserwelding/getting-close-to-remote-laser-welding> Letöltve: 2012.08.18.
- [40] REINHART, G., MUNZERT, U., VOGL, W.: A programming system for robot-based remote-laser-welding with conventional optics. CIRP Annals – Manufacturing Technology 57 (2008) pp. 37-40.
- [41] BUZGA, V.: Műveleti sorrendtervezés az autóiipari lézerhegesztés területén. Önálló laboratóriumi jegyzőkönyv 2011/12 II. félév
Internet: http://aigroup.mit.bme.hu/system/files/buzga_viktor_zjk.pdf - Letöltve: 2012.08.18.
- [42] BHATIA, P., THIRUNARAYANAN, J., DAVE, N.: An expert system-based design of SCARA robot, Expert systems with Application 1998. Elsevier Science Ltd. pp. 99-109.
- [43] TIMOSENKO, V. A. et. al.: Ocenka Technolgiesnosztyi Szvarnuh Konsztrukcij Kak Obektov Robotizirovannoj Duguvoj Szvarki. Automaticseszkaja Szvarka 1985. Nr. 5 pp. 29-39.
- [44] BRENNER, A.: Szerkezetek robothegesztésre való alkalmasságának számszerű jellemzése. GD Műszaki tájékoztató 1986/4 pp. 53-67.
- [45] BARABÁS, P., FARKAS, A., NAGY, F.: Autódaru gém merevítő lamelláinak robotos hegesztése a PYLON'94 Kft-nél. Acélszerkezetek 2009/2. szám ISSN 1785-4822 p. 68.
- [46] PASZTERNÁK, G., FARKAS, A., PALOTÁS, B.: Szakértői rendszer hegesztőrobotok alkalmasságának vizsgálatára, GTE 25. Jubileumi Hegesztési Konferencia, Budapest, 2010. május 19 – 21., ISBN 978-615-5018-00-8, pp. 379-389.
- [47] PASZTERNÁK, G.: Hegesztőrobotok alkalmazhatóságának vizsgálata. Szakdolgozat BMGE Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék Dt 08/2009
- [48] INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS Statistical Department: World Robotics 2011 Industrial Robots, ISBN 978-3-8163-0615-3 pp. 55-56.
- [49] INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS and UNITED NATIONS: World Robotics, 2005 Industrial Robots, ISBN 92-1-101100-0 p. 54.

- [50] NN: Worldwide demand for welding robots, The Japan Welding News for the World, Summer Issue 2011., Vol.15.No. 56. p. 11.
- [51] ENGELBERGER, J.: Historical Perspective and Role in Automation in :NOF, S. Y: Handbook of Industrial Robotics, John Wiley and Sons 1999., ISBN 0-471-17783-0 p. 3.
- [52] Karel Čapek rövid életrajza: Internet: http://hu.wikipedia.org/wiki/Karel_Čapek Letöltve : 2012.05.06.
- [53] RUSSEL, S. J. , NORVIG, P.. Ford: Antal P.: Mesterséges intelligencia modern megközelítésben, Panem Könyvkiadó, 2000 ISBN: 963 545 241 1 p. 898
- [54] ROSEN, Charles A.: Robots and Machine Intelligence, Handbook of Industrial Robots, Second Edition 1999. John Wiley and Sons ISBN 0-471-17783-0 pp.20-21
- [55] INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS Statistical Department: World Robotics 2011 Service Robots, ISBN 978-3-8163-0616-0 p. 2.
- [56] INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS Statistical Department: World Robotics 2011 Industrial Robots, ISBN 978-3-8163-0615-3 p. 6.
- [57] INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS Statistical Department: World Robotics 2011 Industrial Robots, ISBN 978-3-8163-0615-3 p. 19.
- [58] INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS Statistical Department: World Robotics 2011 Industrial Robots, ISBN 978-3-8163-0615-3 p. 13.
- [59] INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS Statistical Department: World Robotics 2011 Industrial Robots, ISBN 978-3-8163-0615-3 p. 42.
- [60] FARKAS, A.: CLOOS Romat 76. típusú ívhegesztő robot szenzoros vezérlésének vizsgálata. Diplomaterv (Dt7/1985) BME Mechanikai Technológia és Anyagszerkezet-tani Intézet, Mechanikai Technológia Tanszék. 1986. p. 3.
- [61] Dr. FARKAS, A: A hegesztés gépesítése, automatizálása. In SZUNYOGH, L. Főszerk: Hegesztés és rokon technológiák kézikönyv. GTE 2007. p. 370.
- [62] JUHÁSZ, V: A rugalmas gyártórendszerek egyes aggregált termelés-szervezési és költségelemzési problémáinak vizsgálata. PhD értekezés 2007. BME Műszaki Menedzsment Gazdálkodás- és Szervezés-tudományi Doktori Iskola pp. 11-12.

- [63] MATSUNAVA, A., et al: Analysis of questionnaire results on sensor application to welding processes. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Welding Guide Book I. Technical Commission on Welding Processes – Japan Welding Society, 1991. pp. 55-63.
- [64] WAGNER, R., Optische Sensorsysteme für den Einsatz mit Handhabungssystemen unter besonderer Berücksichtigung des Lichtbogenschweißens. Technisch-wissenschaftlicher Bericht, Prozesssteuerung in der Schweißtechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen Nr. 16. 1990.
- [65] OOMEN, G. L., VERBEEK, W.J.P. A.: A real-time optical profile sensor for robot arc welding. Third International Conference on Robot Vision and Sensory Controls 1983. pp. 62-71.
- [66] NN: Seampilot Laser-sensorsystem für Cloos Romat Roboter 1985.
- [67] NN: IGM News: Eine Fachinformation der IGM Robotersysteme AG 2/91
- [68] BJÖRKELUND, M.: A True Seamtracker for Arcwelding. 8th International Conference on Industrial Robot Technology. 1986 Brussels pp. 697-706.
- [69] BAMBA, T.: An Arc-welding Robot with Compact Visual Sensor. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Welding Guide Book II. Technical Commission on Welding Processes – Japan Welding Society, 1991. pp. 23-27.
- [70] BÁCSI, Z., PÁLINKÁS, L: Lézeres érzékelő technikák tapasztalatai a CLOOS automatizált alkalmazásokban – 26. Hegesztési konferencia, Budapest 2012. ISBN 978-615-5018-28-2 p. 154.
- [71] BAMBA, T.: On-line Visual Sensor System for Arc-welding Robot. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Welding Guide Book II. Technical Commission on Welding Processes – Japan Welding Society, 1991. pp. 13-17.
- [72] HIRAI, A. et. al: Welding Robot with Visual Seam tracking Sensor. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Welding Guide Book II. Technical Commission on Welding Processes – Japan Welding Society, 1991. pp. 18-22.
- [73] WADA, H. et. al: Automatic Welding System with Optical Sensor for Heavy-wall Structures. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Welding Guide Book II. Technical Commission on Welding Processes – Japan Welding Society, 1991. pp. 54-58.

- [74] LOUGHLIN, C.: Line, Edge and Contour Following with Eye-in-hand Vision System. Robot Sensors. Vol. 1. Vision IFS Springer-Verlag 1986. pp. 95-102.
- [75] MORGAN, C. et al.: Visual Guidance Techniques for Robot Arc Welding. Robot Sensors. Vol. 1. Vision IFS Springer-Verlag 1986. pp. 255-266.
- [76] NN: ISIP (IGM-Stereo-Image-Processing) – Nahtfugensensor. technische Information Stand 01/1990.
- [77] FUJIYAMA, H.: Laser Sensing Methods for Groove Tracking Control. Edited by Hirokazu Nomura, Chapman & Hall, London 1994. pp. 92-93.
- [78] DREWS, P., CORDER, B.: Development of an Optical Sensor System for Seam Tracking and Welding Parameter Adaption. IIW Doc XII-1175-90 pp. 295-301.
- [79] ASUKA, T., et. al: Development of Robot for Three Dimensional Multi-Layer Welding with Vision Sensor. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Welding Guide Book II. Technical Commission on Welding Processes – Japan Welding Society, pp. 28-30.
- [80] IJAMA, G., et. al: Development of Automatic Multilayer Welding System, Applying Laser Sensing technique. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Welding Guide Book II. Technical Commission on Welding Processes – Japan Welding Society, pp. 7-12.
- [81] TARCZAY, GY.: Lézerforrások – prezentáció: Internet: www.chem.elte.hu/departments/altkem/tarczay/lasersp/lezersp3.ppt - Letöltve 2012.06.09.
- [82] ASUKA, T., et. al: A Robot with Visual Sensor for Three-dimensional Multilayer Welding. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Edited by Hirokazu Nomura Chapman & Hall, London 1994. p. 128
- [83] LMI Technologies Inc: Lasers. Internet: <http://www.lmi3d.com/education/lasers> - letöltve 2012.06.09.
- [84] SASOVITS. S.: Félvezető lézerek. Internet: <http://www.sasovits.hu/cnc/irodalom/lezer1.pdf> - Letöltve 2012.06.09.

- [85] BÁCSI, Z., PÁLINLKÁS, L: Lézeres érzékelő technikák tapasztalatai a CLOOS automatizált alkalmazásokban – 26. Hegesztési konferencia, Budapest 2012. ISBN 978-615-5018-28-2 p. 153.
- [86] FUJITA, K., ISHIDE, T: Adaptive Control of Welding Conditions Using Visual Sensing. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Edited by Hirokazu NomuraChapmann & Hall, London 1994. pp. 161-167
- [87] IJIMA, G., et. al: An Automatic Multilayer Welding System with Laser Sensing. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Edited by Hirokazu Nomura Chapmann & Hall, London 1994. pp. 95-103.
- [88] ENDO, M.: On-line Visual Sensor System for Ar-welding Robots. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Edited by Hirokazu Nomura Chapmann & Hall, London 1994. pp. 95-103.
- [89] OKUURA, S., NISHIKAWA, S.: Sensors and Control Systems in Arc Welding. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Welding Guide Book II. Technical Commission on Welding Processes – Japan Welding Society, 1991. pp. 31-34.
- [90] OSHIMA, K. et. al.: Image Orocessing and Control of Weld Pool in Short-arc Welding. The 5th International Symposium of the japan Welding Society. April 1990. Tokyo, pp. 483-494.
- [91] OKUMURA, S., NISHIKAWA, S.: A visual Arc Sensor System. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Edited by Hirokazu Nomura Chapmann & Hall, London 1994. pp. 132-136.
- [92] RIDER, G.: Control of the weld Pool Size and Position. Line, J.D.: Robotic Welding. IFS, Springer Verlag, 1987. pp. 217-227.
- [93] WADA, H., et. al.: Group-control System of Narrow-gap Welding. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Welding Guide Book II. Technical Commission on Welding Processes – Japan Welding Society, 1991. pp. 59-62.
- [94] WATANABE, H., et. al.: Automatic Control Technique for Narrow Gap GMA Welding. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Welding Guide Book II. Technical Commission on Welding Processes – Japan Welding Society, 1991. pp. 63-68.

- [95] BAUER, F., et. al.: Robottechnika (Hegesztőrobotok),. Jegyzet (5298) BME Mérnöktovábbképző Intézet. Budapest, 1988. pp. 67-70.
- [96] WILD. W., FIEDLER, O., LUSCHTINETZ, TH.: Sensorgeführte Translationachse zum Lichtbogenschweissen. Wissenschaftlicher Zeitschrift der WPU Rostock 34. jahrgang Heft 5. 1985. pp. 6-10.
- [97] FABER, W., LINDENAU, D.: Sensorentwicklungen für Lichtbogenschweisroboter und Automaten. Schweisstechnik, Berlin 37. 1987. 9. pp. 410-413.
- [98] WILD. W.: Sensorprüfstand für Sensoren von Schweissrobotern. Schweisstechnik, Berlin 38. 1988. 9. pp. 393-394.
- [99] WAKAMATSU, K., KONDO, Y.: Development of Ultra Heat-resistant Electromagnetic Sensing System for Automatic Tracking of Welding Joint. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Welding Guide Book II. Technical Commission on Welding Processes – Japan Welding Society, 1991. pp. 149-154.
- [100] DREWS. P., FUCHS, K., Wilms, K.: Einsatz von Sensorsystemen beim Roboterschweissen – Problemstellungen, Anforderungen und Applikationen. Roboter '89, International Konferenz, Fellbach, 1989. 9. pp. 36-39.
- [101] WILD. W., SCHAAR, T., FARKAS, A.: Werkstoffeinfluss auf das Führungsverhalten Induktiver Sensoren. Rostocker Schifftechnisches Symposium 1991.
- [102] NN: Cloos Informationsschrift Nr. E-CMS 1/4.85.
- [103] NOMURA, H., FUJIOKA, T.: Automatic Welding for LNG Corrugated Membrane. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Welding Guide Book II. Technical Commission on Welding Processes – Japan Welding Society, 1991. pp. 134-138.
- [104] FUKUOKA, H.: Application of a Touch Sensor to an Arc Welding Robot. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Edited by Hirokazu Nomura Chapman & Hall, London 1994. pp. 285-291.
- [105] TAKEUCHI, N.: Some Types of Wire Ground Sensors. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Edited by Hirokazu Nomura Chapman & Hall, London 1994. pp. 292-299.

- [106] NAKAJIMA, J., et. al.: Touch Sensor and Arc Sensor for Arc-Welding Robots. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Edited by Hirokazu Nomura Chapman & Hall, London 1994. pp. 199-208.
- [107] TAKENAVA, K., HIRANO, S., TAKIGUCHI, Y.: Development of Automatic Welding System with Flexible Data Base. The 5th International Symposium of the Japan Welding Society. April 1990. Tokyo pp. 571-576
- [108] NEERLAND, H.: Robotized Welding of Large Offshore Constructions. 8th International Conference on Industrial Robot Technology. 1986. Brussels pp. 708-717.
- [109] BARABÁS, P., FARKAS, A., NAGY, F.
Autódaru gém merevítő lamelláinak robotos hegesztése a Pylon-94 Kft-nél
Acélszerkezetek 2009. 2. szám ISSN 1785-4822 pp. 86-88.
- [110] COOK, G. E., ANDERSEN, K.
Arc Sensing for Robot Positioning Control
J.D.Lane: Robotic Welding. IFS, Springer Verlag, 1987. pp. 181-216.
- [111] SAKAI, E., FUJIMURA, H., IDE, E.: The Development of Weld Line Tracking Sensor IIW Doc. No. XIIC-085-84 p.1.
- [112] COOK, D.: Torch Height Control for Plasma Cutting
Internet: http://www.centricut.com/New_Lessons/lessons_10.html letöltve: 2012.06.10.
- [113] DILTHEY, U., EICHHORN, F., et.al: Fully Mechanised Two-wire Submerged-arc Welding of Curved Seams Without Path Programming. IIW-Doc. XII.-1182-90. pp. 343-356.
- [114] EICHHORN, F., OSTER, E.: SA-Twin-Arc Welding With Sensorless Seam Tracking IIW-Doc. XII-907-85 pp. 1-9.
- [115] KITAZAWA, Y.: Through-the-arc Sensing Control of Welding Speed for One-side Welding. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Welding Guide Book II., Technical Commission on Welding Processes Japan Welding Society, 1991. pp. 121-124.

- [116] PIRES, J. N., LOUREIRO, A., BÖLMSJO, G.: Welding Robots – Technology, System Issues and Application, Springer Verlag 2006. ISBN-13: 978-1-85233-953-1 pp. 84-85.
- [117] BARÁNSZKY-JÓB, I.: Hegesztési kézikönyv, MK. Budapest 1985. pp. 352-353.
- [118] MURAKAMI, E., KUGAI, K., YAMAMOTO, H.: Dynamic analysis of Arc Length and its Application to Arc Sensing. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Edited by Hirokazu Nomura Chapman & Hall, London 1994. pp. 216-227.
- [119] KRISTÓF, CS.: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés a '90-es években. Hegesztéstechnika, II.évfolyam 1.szám (1991/1.) pp.8-11.
- [120] IWAKI, S.: Application of Arc Sensor to Robotic Seam Tracking. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Welding Guide Book II., Technical Commission on Welding Processes Japan Welding Society, 1991. pp. 80-84.
- [121] SAIKAWA, S., IWAKI S., FUKUOKA, H.: Adaptive Control of weaving Amplitude and Welding Speed on robotic Groove Welding IIW-Doc. XII-1286-92. p.209-226.
- [122] NOMURA, H., SUGITANI, Y., TAMAOKI, N.: Automatic Seam Tracking and Bead Height Control by Arc Sensor. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Welding Guide Book II., Technical Commission on Welding Processes Japan Welding Society, 1991. pp. 114-120.
- [123] OTOGURO, M.: Groove Tracking Control by Arc Welding Current. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Welding Guide Book II., Technical Commission on Welding Processes Japan Welding Society, 1991. pp. 109-113.
- [124] SAKAI, E., FUJIMURA, H., Ide, E.: The Development of Weld Line Tracking Sensor IIW.Doc. XII-085-84
- [125] FUJIMURA. H., Ide, E., Inoue, H.: Robot Welding with Arc Sensing. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Edited by Hirokazu Nomura Chapman & Hall, London 1994. pp. 228-237.
- [126] BABA, N. et. al.: Development of Intelligent Machine for All-positional MAG Welding. The 5th International Symposium of the Japan Welding Society April, 1990. Tokyo pp. 501-506.

- [127] NAKAJIMA, J. et. al.: Arc Sensor for Welding Line Tracking Applied to Welding Robot IIW-Doc. XII-954-86.
- [128] NN.: YASKAWA-Motoman COMARC-II. Function Manual - TORSTEKNIK AB Sweden
- [129] DILTHEY, U., KAHRSTEDT, U., STEIN, L.: Advanced Arc Sensor Cuts Programming Time for Welding Robots. Automated Welding Systems in Manufacturing. Int.Conf.,Gateshead (UK) 1991. nov. 17-19. Paper 10.
- [130] DILTHEY, U., LÜTTMANN, U.: Automatic Bead Height Control During SA and MIG Welding. IIW-Doc. XII-1264-91 pp.137-146.
- [131] BAUER, F., et. al.: Robottechnika (Hegesztőrobotok),. Jegyzet (5298) BME Mérnöktovábbképző Intézet. Budapest, 1988. p. 61.
- [132] NOMURA, H. et. al.: Development and Application of Arc Sensor Control with High Speed Rotating Arc Process. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Welding Guide Book II., Technical Comission on Welding Processes Japan Welding Society, 1991. pp.103-108.
- [133] SUGITANI, J., TAMAOKI, N.: Development of Lattice Welding Robot. IIW-Doc. XII-1284-92 p.195-207.
- [134] SUGITANI, Y., NISHI, Y., Satoh, T.: An Intelligent Arc-Welding Robot with Simultaneous Control of Penetration Depth and Dead Height. Sensors and Control Systems in Arc Welding. Edited by Hirokazu Nomura Chapman & Hall, London 1994. pp. 390-399.
- [135] FUJITA, K. et. al.: Development of Profiling Sensor for the Multilayer GMA Welding Process. IIW-Doc. IIW-Doc. XII-1218-91. pp. 265-279.
- [136] FARKAS, A.: How Should We Use Arc Parameter Sensing. Automated Welding Systems in Manufacturing. Int.Conf., Gateshead (UK) 1991. nov. 17-19. Paper 13.
- [137] FARKAS, A.: Application of Arc-Sensor for Seam Tracking. MECHATRONINFO '94 Joint Hungarian-British International Mechatronics Conference, Budapest 21-23 September 1994.

- [138] FARKAS, A.: Quality Assurance in Robotic Welding With Application of Arc Sensor. Robotics in Alpe-Adria Region RAA '95 International Conference, Pörschach 6-8 July 1995
- [139] FARKAS, A.: Szenzoralkalmazás a gépsített ívhegesztésnél. Hegesztéstechnika V. évf. 1994/2 pp. 23-33. ISSN 1215-8372
- [140] FARKAS, A.: Investigation of Application-technics for Gas Metal Arc Welding. GÉP XLVII. Évf. 1996/9. pp. 37-41. ISSN 0016-8572
- [141] FARKAS, A.: Az ívhegesztés rugalmas automatizálásának lehetőségei. GÉP, LI. évfolyam 2000. 6. szám pp.67-69. . ISSN 0016-8572
- [142] FARKAS, A.: Hegesztett varratok minőségének biztosítása ívszenzorok alkalmazásával. Egyetemi Doktori Értekezés. 1993. BME Mechanikai Technológia és Anyagszerkezet-tani intézet, Mechanikai Technológia Tanszék.
- [143] FARKAS, A.: A varratkövető ívszenzor vizsgálata. Szakmérnöki diplomatervezés (Gépipari Technológia Szak, Hegesztő ágazat). 1993. BME Mechanikai Technológia és Anyagszerkezet-tani intézet, Mechanikai Technológia Tanszék. 1989. SzmDt 6/1988.
- [144] GYURA, L., FEHÉRVÁRI, G., BALOGH, D.: Szabályozott anyagátviteli fegyőelektródás védőgázos hegesztések vizsgálata. 25. Jubileumi hegesztési Konferencia. 20110. Budapest. ISBN: 978-615-5018-00-8 pp. 237-239.
- [145] MOTOMAN ROBOTICS EUROPE AB.: Telepítési útmutató HP6 típusú ipari robotra. MRS6203 p. 21.
- [146] FARKAS, A.: Robotosítás hatékony módszerei az acél- és gépszerkezetgyártásban, Acélszerkezetek 2009. 4. szám ISSN 1785-4822 pp. 23-27.
- [147] SKS-WELDING: Synchronweld: Internet: <http://www.sks-welding.com/fileadmin/swf/synchronweld/> Utoljára letöltve: 2012.06.16.
- [148] FARKAS, A.: A mesterséges intelligencia szerepe a hegesztés robotosításában. 26. Hegesztési Konferencia és Kiállítás, Budapest 2012. ISBN: 978-615-5018-28-2 pp. 45-51.

A ROBOTTECHNIKA TÉMAKÖRÉBEN KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓIM

Könyvrészletek, jegyzetek

1. Dr. Bauer F., Dr. Becker L., Farkas A., Dr. Palotás B., Tóth L.:
ROBOTTECHNIKA, HEGESZTŐROBOTOK
Jegyzet, BME Mérnöktovábbképző Intézet, Bp., 1988. ISBN 963-431-706-5
2. Dr. Farkas Attila:
„A hegesztés gépesítése, automatizálása” c. fejezet
„Hegesztés és rokon technológiák kézikönyv”
GTE 2007. p.370-384 ISBN 978-963-42-0910-2

Konferencia kiadványban megjelent előadások

3. Farkas A.:
HEGESZTŐROBOTOK SZENZORAI
Mechatroninfo `88 konferencia Eger, 1988. november 15-17. pp. 182-193.
4. Dr. Bauer F., Dr. Becker L., Farkas A.,
REKARD-IGM LIMAT RT280 TÍPUSÚ HEGESZTŐROBOT ÁLLOMÁS
ÜZEMELTETÉSÉVEL KAPCSOLATOS TAPASZTALATOK
Mechatroninfo `88 konferencia Eger, 1988. november 15-17. pp. 101-113
5. Dr. Becker L., Farkas A., Gyura L., Bagyinszki Gy.:
HEGESZTŐROBOT ALKALMAZÁSTECHNIKAI LABORATÓRIUM A BME
MECHANIKAI TECHNOLÓGIAI TANSZÉKÉN
VIII. Hegesztési Szeminárium, Sopron, 1990. okt.16-18. pp. 170-190.
6. Dr. Becker L., Farkas A.:
HEGESZTŐROBOT ALKALMAZÁSTECHNIKAI KUTATÁSOK A BUDAPESTI
MŰSZAKI EGYETEMEN
Mechatroninfo `90 Nemzetközi konferencia,
Kecskemét, 1990. nov. 13-16. pp. 221-228.
7. Wild W., Schaar T., Farkas A.:
A MUNKADARAB ANYAGÁNAK HATÁSA A VARRATKÖVETŐ INDUKTÍV
SZENZOR MŰKÖDÉSÉRE
Mechatroninfo `90 Nemzetközi konferencia
Kecskemét, 1990. nov. 13-16. pp. 385-394.

8. Dr. Palotás B., Dr. Becker L., Farkas A.:
FOGYÓELEKTRÓDÁS VÉDŐGÁZAS ÍVHEGESZTÉSEK HEGESZTÉSI
PARAMÉTEREINEK SZÁMÍTÁSA, ÉS AZ ELMÉLET ALKALMAZÁSA
ÍVHEGESZTŐ ROBOTOKHOZ
Mechatroninfo '90 Nemzetközi konferencia
Kecskemét, 1990. nov. 13-16. pp. 284-298.

9. Dr. Palotás B., Dr. Becker L., Farkas A.:
SOME ASPECTS OF FLEXIBLE AUTOMATISATION OF WELDING
TECHNOLOGY
INTERTECHNO '90 Nemzetközi konferencia, GTE
Budapest, 1990. pp. 56-70.

10. Becker L., Farkas A.:
PROBLEMS OF OFF-LINE PROGRAMMING OF WELDING PARAMETERS
FOR ARC-WELDING ROBOTS
Automated Welding Systems in Manufacturing. Int. Konf.
Gateshead (UK) 1991. nov. 17-19. Paper 14.

11. Farkas A.:
HOW SHOULD WE USE ARC PARAMETER SENSING?
Automated Welding Systems in Manufacturing. Int.Conf.,
Gateshead (UK) 1991. nov. 17-19. Paper 13.

12. Farkas A.:
APPLICATION OF ARC-SENSOR FOR SEAM TRACKING
MECHATRONINFO '94 Joint Hungarian-British International Mechatronics
Conference, Budapest 21-23 September 1994.

13. Farkas A.:
QUALITY ASSURANCE IN ROBOTIC WELDING WITH APPLICATION OF
ARC SENSOR
Robotics in Alpe-Adria Region RAA '95 International Conference,
Pörtlach 6-8 July 1995.

14. Dr. Farkas Attila, Meiszterics Zoltán:
ALUMÍNIUM FOGYÓELEKTRÓDÁS VÉDŐGÁZAS HEGESZTÉSE
KETTŐSIMPULZUS-TECHNIKA ALKALMAZÁSÁVAL
X. Országos Hegesztési Tanácskozás Siófok- Balatonszéplak-felső
1998. április 23-24. pp.125-129.
15. Farkas A.:
Hegesztőrobotok alkalmazásának biztonságtechnikai kérdései
XI. Országos Hegesztési Tanácskozás, Budapest, 2002. március 28-29.
16. Dr. Farkas Attila:
Többrobotos ívhegesztő rendszerek - új perspektívák a gazdaságos
robotalkalmazásban
XI. Nemzetközi és IV.GTE-MHtE-DVS Hegesztési konferencia Budapest, 2004.
augusztus 23-26. pp.92-98
17. Dr. Farkas Attila:
Hegesztő automaták és robotok alkalmazási tendenciái és gazdaságosságuk
26. Balatoni Ankét, 2005. október 27-29., Siófok pp.130-136
18. Dr. Farkas Attila – Barabás Péter
Hegesztőrobotok bevezetésének tapasztalatai Magyarországon
XII Nemzetközi Hegesztési Konferencia
GTE 2008. május 15-17. Budapest, pp. 135-141. ISBN 978-963-7154-71-3
19. Dr. Farkas Attila:
Hegesztő robotrendszerek biztonságtechnikája
GTE 25. Jubileumi Hegesztési Konferencia, Budapest, 2010. május 19 – 21.
pp.: 75-84. ISBN 978-615-5018-00-8
20. Dr. Farkas Attila
A robotosítás hatékony módszerei az acél- és gépszerkezetgyártásban
GTE 25. Jubileumi Hegesztési Konferencia, Budapest, 2010. május 19 – 21.
pp.: 367-377. ISBN 978-615-5018-00-8
21. Paszternák G. – Farkas A. – Palotás B.
Szakértői rendszer hegesztőrobotok alkalmazásának vizsgálatára,

GTE 25. Jubileumi Hegesztési Konferencia, Budapest, 2010. május 19 – 21.
pp.: 379-389. ISBN 978-615-5018-00-8

22. Dr. Farkas Attila: A mesterséges intelligencia szerepe a hegesztés robotosításában. 26. Hegesztési Konferencia és Kiállítás, Budapest 2012. ISBN: 978-615-5018-28-2 pp. 45-51.

Szakcikkek

23. Konkoly, T. - Bauer, F. - Becker, L. - Bödök, K. - Farkas, A. - Palotás, B.:
Tudományos kutatómunka a hegesztés területén
Budapest, Gép, 41, 1989/10. pp.: 390-397. ISSN 0016-8572
24. Farkas A.:
SZENZORALKALMAZÁS A GÉPESÍTETT ÍVHEGESZTÉS NÉL
Hegesztéstechnika V. évf. 1994/2 pp. 23-33. ISSN 1215-8372
25. Dr. Attila Farkas
Investigation of Application-technics for Gas Metal Arc Welding
GÉP XLVII. Évf. 1996/9. pp 37-41. ISSN 0016-8572
26. Dr. Farkas Attila:
AZ ÍVHEGESZTÉS RUGALMAS AUTOMATIZÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI
3. GTE-MhtE-DVS Közös Nemzetközi Hegesztési Konferencia
GÉP, LI. évfolyam 2000. 6. szám pp.67-69. . ISSN 0016-8572
27. Dr. Farkas Attila, Lénárt Attila
PRÉSSOR KISZOLGÁLÁSA ROBOTOKKAL
Műszaki Magazin, X. évf. 12./2000. ISSN 1417-0132
28. Dr. Farkas Attila:
Többrobotos ívhegesztő rendszerek.
Metalfórum III. évf. 53. szám (2004. szeptember 13.), pp14-15 ISSN 1588-4627
29. ifj. Győri Károly, dr. Farkas Attila
Készülék nélküli ívhegesztő robotrendszer alkalmazási tapasztalatai
Hegesztéstechnika, XVII. Évfolyam 2006/4. szám pp 5-8. ISSN 1215-8372

30. ifj. Győri Károly, dr. Farkas Attila
Készülék nélküli ívhegesztő robotrendszer alkalmazási tapasztalatai
GÉP, LVIII. Évfolyam 2007. 1. szám p 33-38. ISSN 0016-8572
31. Dr. Farkas Attila – Barabás Péter
Hegesztőrobotok bevezetésének tapasztalatai Magyarországon
Hegesztéstechnika XIX. Évfolyam, 2008. 4. szám pp. 15-18. ISSN 1215-8372
32. Dr. Farkas Attila – Barabás Péter
Hegesztőrobotok bevezetésének tapasztalatai Magyarországon
Gépgyártás XLVIII. Évfolyam, 2008. 5-6 szám pp. 43-47. ISSN 0016-8580
33. Dr. Farkas Attila, Terék Gábor
Utánfutó tengelyek hegesztése készülék nélküli robotrendszerekkel
Hegesztéstechnika XIX. Évf. 2008. 3. szám pp. 42-44. ISSN 1215-8372
34. Barabás Péter, Dr. Farkas Attila, Nagy Ferenc
Autódaru gém merevítő lamelláinak robotos hegesztése a Pylon-94 Kft-nél
Acélszerkezetek 2009. 2. szám pp.86-88. ISSN 1785-4822
35. Dr. Farkas Attila
Robotosítás hatékony módszerei az acél- és gépszerkezetgyártásban
Acélszerkezetek 2009. 4. szám pp.23-27. ISSN 1785-4822

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

AQAP	Allied Quality Assurance Publications – katonai minőségirányítási rendszer
CCD	Charge-coupled Device – töltés-csatolt eszköz: analóg jelek továbbítására szolgáló elektronikai alkatrész-lánc . Fényérzékeny alkatrésszel, fotodiódával kombinálva a fényt elektronikus jelekké alakítja
DVS	Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. – Német Hegesztés és Rokon Eljárásai Szövetség
FMS	Flexible Manufacturing System – rugalmas gyártórendszer
IFR	International Federation of Robotics – Nemzetközi Robottechnikai Szövetség
IR-LED	Infra Light Emitting Diode – Infra fényt kibocsátó dióda
ISO	International Organization for Standardization – Nemzetközi Szabványügyi Szervezet
LED	Light Emitting Diode – Világító dióda
LISP	List Processing – (listafeldolgozás) programozási nyelv
MOS	Metal Oxid Semiconductor – Fém-oxid – Félvezető: a félvezető belső rétegeinek sorrendjére utaló rövidítés
MTA	Magyar Tudományos Akadémia
NATO	North Atlantic Treaty Organisation – Észak-atlanti Szerződés Szervezete
PSD	Position Sensitive Device – pozíció érzékeny eszköz: olyan fényérzékelő szenzor, mely egy vagy két dimenzióban képes érzékelni a ráeső fénypont helyzetét
SCARA	Selective Compliant Assembly Robot Arm or Selective Compliant Articulated Robot Arm – szelektív alkalmazkodó összeállító robotkar vagy szelektív csuklós összeállító robotkar. Több párhuzamos csuklótengelyt tartalmazó gyors mozgásokra képes robotkar típus. Főleg kisebb tömegű alkatrészek gyors mozgására, szerelésre használatos.