

# AZ AUTOMATIZÁLT MIG/MAG HEGESZTÉS VALÓS IDEJŰ MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEI

## REAL TIME QUALITY ASSURANCE POTENTIALS IN AUTOMATED MIG/MAG WELDING PROCESSES

Kis Dávid<sup>\*\*</sup>, Weltsch Zoltán<sup>1</sup>, Dugár Zsolt<sup>1</sup>, Klam Kitti<sup>1</sup>, Béres Gábor<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Anyagtechnológia Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola, Magyarország

---

### **Kulcsszavak:**

Hegesztés felügyelet  
Varratkövetés  
Fénymetszet szenzor  
Ívszenzor

### **Keywords:**

Arc welding control  
Seam tracking  
Structured light vision sensor  
Through the arc sensor

### **Cikktörténet:**

Beérkezett 2015. október 20.  
Átdolgozva 2015. november 11.  
Elfogadva 2015. november 15.

---

### **Összefoglalás**

Az automatizált ívhegesztő eljárások során fellépő zavarjelenségek már a gyártás során észlelhető hibákat okoznak. A hegesztési hibák nagy része visszavezethető a programozott robotpálya és a valós varratvonal közti eltérésre, a helytelen fémátviteli módra és az ívhosszra. A hegesztett szerkezetek minőségének utólagos ellenőrzésére számos anyagvizsgálati módszer létezik. Ezek a módszerek nem váltják ki egymást, így számos vizsgálat szükséges, amelyek időigényessége lelassítja a termelést. Egy fejlett, valós idejű hegesztés felügyeleti rendszer képes a bemenő jelek alapján a hegesztési folyamat szabályozására. Cikkünkben bemutatjuk az automatizált ívhegesztés szabályozási lehetőségeit, és az érzékelő rendszereket.

### **Abstract**

The noise phenomenon of automated arc welding processes can cause noticeable imperfections during the manufacturing. Most of these imperfections can be derived from the difference of the pre-programmed robot path and the actual joint, incorrect metal transfer or arc. Many post-welding material test method exist to ensure the quality of the joint. One test accompanies the other, thus many tests have to be executed for a correct conclusion. This takes time that can build up high costs for the companies. A real time arc welding system is able to control the welding process. In this article the control possibilities of automated arc welding and the sensing systems are presented.

---

## 1. Bevezetés

Cikkünkben az automatizált, azon belül a robotokkal végzett fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés minőségbiztosítási lehetőségeit mutatjuk be. A gépesített hegesztő berendezések között egyre nagyobb térhódítással bírnak a hegesztő robotok. Az ívhegesztő módszerek közül a fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés a legelterjedtebben robotosított eljárás.

A legfejlettebb szenzoros vezérléssel ellátott robotok ma már a változó körülményekhez adaptálódó hegesztésre is alkalmasak, miközben az ilyen berendezések használatával a termelékenység is javul. Köztudott, hogy a selejtgyártás, a vevői reklamációk kivizsgálása és az esetleges termékviSSzahívások jelentős kieséseket okozhatnak a cégek bevételeiben. A hegesztés

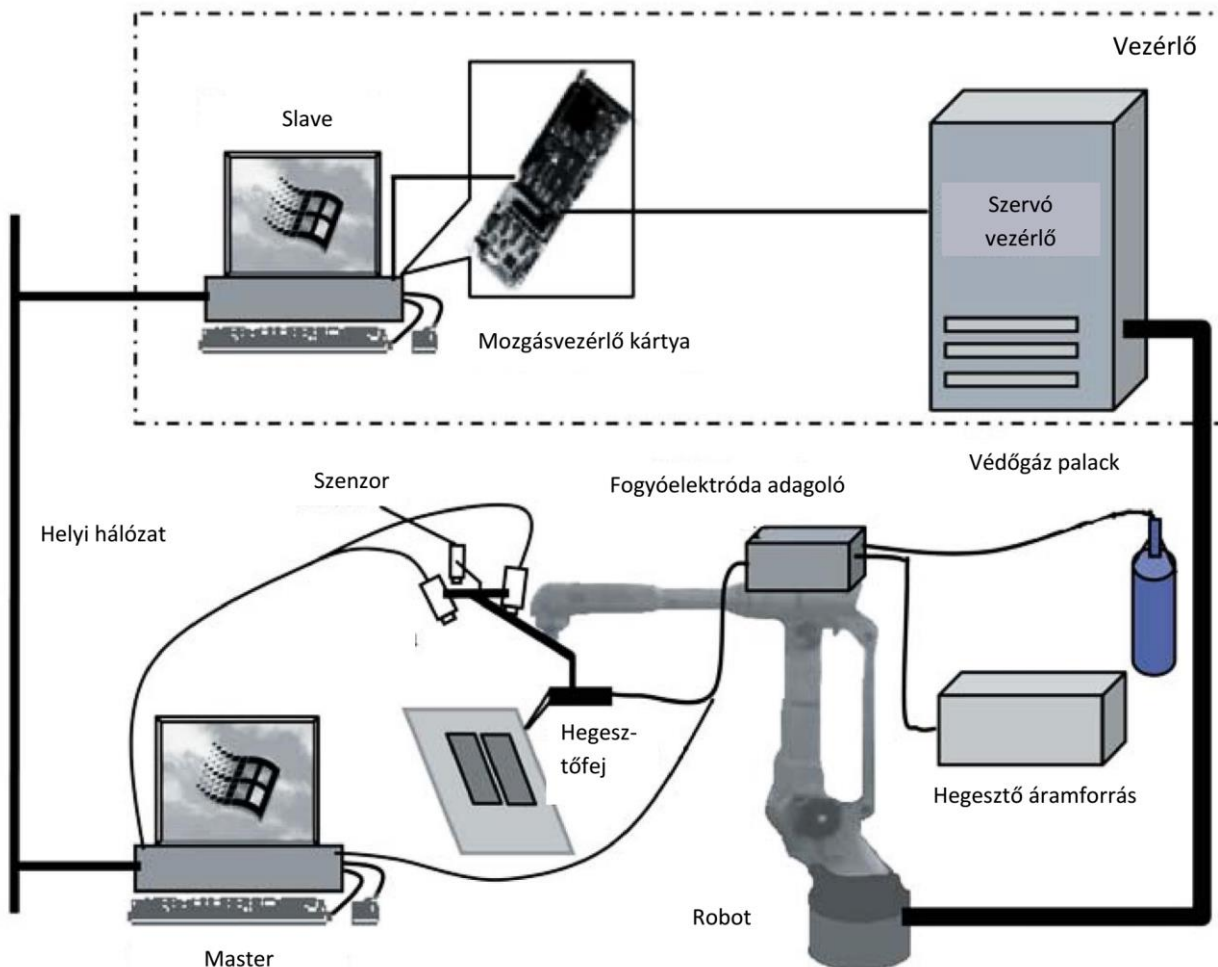
---

\* Kapcsolattartó szerző. e-mail cím: kis.david@gamf.kefo.hu

technológiában ezért kifejezetten nagy jelentősége van a minőségbiztosítási módszerek folyamatos korszerűsítésének. A XX. század végén dolgozták ki az első olyan hegesztés felügyeleti rendszerrel ellátott hegesztőrobotokat, amelyek alkalmasak voltak a hegesztés villamos paramétereinek rögzítésére. Az adatok alapján következtetni lehetett a kész varrat minőségére, és ez alapján módosíthatták a hegesztési folyamatot. A legújabb rendszerek feladata ma már nem kizárólag a megfigyelés, hanem a bemenő paraméterek alapján történő szabályozás is. A szabályozás kiterjedhet a robot mozgatásáért felelős rendszerre, a hegesztő áramforrásra és a huzaladagoló berendezésre. A hegesztés villamos paramétere mellett lehetséges még pl. a varratvályú geometria, az ívhossz, és az elektróda pozíciójának mérése is. A következőkben bemutatjuk a hegesztés minőségét befolyásoló fő paramétereket, illetve áttekintjük a különböző érzékelő rendszerek működését.

## 2. Az ívhegesztett kötés minőségét befolyásoló jelenségek

A fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés során az ív az alapanyag és egy leolvadó elektróda között jön létre. A védőgáz fajtájától függően beszélhetünk semleges (MIG – metal inert gas welding) vagy aktív védőgázos (MAG – metal active gas welding) fogyóelektródás ívhegesztésről. A fő különbség, hogy az utóbbi eljárás védőgáza  $\text{CO}_2$  és vagy  $\text{O}_2$  formájában oxigént tartalmaz.



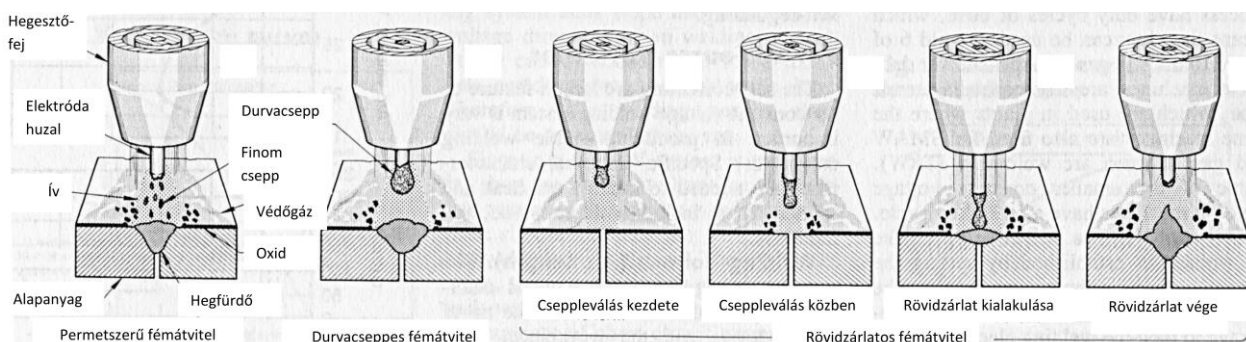
1. ábra Egy optikai varratkövető szenzorral ellátott fogyóelektródás ívhegesztő robot, és az azt kiszolgáló alrendszerek\*

\* [5] alapján saját fordítású ábra.

Az (1. ábra)-n egy optikai varratkövető rendszerrel ellátott aktív védőgázás fogyóelektródás ívhegesztő robot elvi elrendezését láthatjuk. A fogyóelektródás védőgázás ívhegesztés alapvetően félig gépesített eljárás, mivel a huzaladagolás automatikus, azonban a hegesztőpisztolyt kézzel mozgatják. A gépesített eljárásokban a hegesztőfej mozgatása is géppel vezérelt. Egy automatizált hegesztést végző robot mozgásának vezérlése önmagában nem elegendő egy hegesztési varrat elkészítéséhez. Szükséges az áramforrás, a huzalelőtoló rendszer és a gázellátás vezérlése is. Ha ezek összehangoltan működnek, esztétikus és szilárdságilag megfelelő varrat hozható létre. Ebben nyújthatnak segítséget a hegesztés felügyeleti rendszerek.

Ahhoz, hogy jobban megértsük, hogyan befolyásolhatók a hegesztési varrat tulajdonságai, meg kell ismerni, milyen módon jut a hozaganyag a hegfürdőbe. Fogyóelektródás hegesztéskor a beolvadó elektróda megolvadt cseppek formájában jut az ív talpában kialakuló olvadékfürdőbe. A fémátvitelt jellemzően befolyásolják a hegesztő áramerősség és ívfeszültség értékek, az anyagminőség, a védőgáz összetétele és az áramsűrűség (ezek kölcsönösen egymást is befolyásolhatják). A leggyakoribb fémátviteli módok lehetnek:

- permetszerű-,
- durvacseppes-,
- rövidzárlatos- és
- impulzusíves fémátvitel.



2. ábra Néhány fémátviteli forma ismertetése \*

A permetszerű, a durvacseppes és a rövidzárlatos fémátvitelt ismerteti a (2.ábra). Permetszerű fémátvitel esetén az elektróda átmérőnél kisebb méretű cseppek egymást érve esnek a hegfürdőbe. Nagy leolvasztási teljesítmény mellett, semleges vagy közel semleges védőgázban alakul ki. Durvacseppes fémátvitelnél az előzőnél kisebb áramsűrűségű ívben jönnek létre a cseppek, melyek rövidzárlat nélkül az ívben szabadon repülve jutnak a hegfürdőbe a gravitációs vonzás hatására. Rövidzárlatos cseppátmenet során a cseppek villamos rövidzárlat közben jutnak át a hegfürdőbe. A huzalelektroda villamos ív által felhevített vége beleütközik a hegfürdőbe, ennek eredményeként rövidzárlat keletkezik. Az elektródavégen megnövekedett áramsűrűség cseppleválást eredményez, így a rövidzárlat megszűnik. Az elektróda újbóli közeledésével a cseppleválási ciklus előről kezdődik. Ez a cseppátmenet az eddigieknél alacsonyabb villamos teljesítmény mellett lép fel. Az impulzus ívű hegesztésnél a hegesztő berendezés szabályozott teljesítmény-impulzusokkal mesterségesen választja le a cseppeket a hegesztőhuzal végéről, mely irányított cseppátmenetet biztosít. Ezzel a fröcskölés gyakorlatilag kiküszöbölhető. Az impulzushegesztés bizonyos változataival a hegesztési hőbevitel csökkenthető.

A fogyóelektródás védőgázás ívhegesztő áramforrásokban beállítható karakterisztika görbén az ívhossz változásból adódó munkapont eltolódást szűk korlátok között kell tartani, hogy a varratképzésben ne jöjjenek létre zavarok. A keletkező zavarok kompenzálására az ívhosszat kell szabályozni. A MIG/MAG eljárásoknál ezt szolgálja az áramforrás úgynevezett belső szabályozása. Fogyóelektródás ívhegesztés esetén feszültségtartó jelleggörbéjű áramforrásokat alkalmaznak, ami biztosítja az elektróda leolvadási sebesség és a huzalelőtolási sebesség egyensúlya mellett a stabil ívet. A belső szabályozás során az ívhossz csökkenésekor, az

\* [1] alapján saját fordítású ábra.

áramerősség megnő, ennek következtében nő a leolvadási teljesítmény. Állandó huzalelőtölési sebesség mellett a leolvadási sebesség nagyobb lesz, mint a huzalelőtölési sebesség, így az ívhossz az eredeti értékre nő vissza. Ezzel visszaáll az egyensúlyi állapot. A megfelelő minőségű varratok esetén az ívhossz stabilizálódás reakcióideje maximum 0,1 s [2]. Belső szabályozást többnyire a leolvadó elektródás, részben gépesített és gépesített, automatizált eljárások esetében alkalmaznak.

### 3. A robotosított ívhegesztő rendszerek felépítése

#### 3.1. Az ívhegesztő robotok

Az iparban alkalmazott robotok nagy része nem rendelkezik ágens\* képességekkel. Az ív dinamikai jelenségei, a nem megfelelő él-előkészítés, vagy a hőtágulás okozta vetemedés miatt azonban ágens robotok alkalmazása lehet szükséges a zavartalan hegesztés fenntartásához. Az ívhegesztő eljárások robotosításának térhódítását nagymértékben segíti elő az intelligens működésű robotok fejlődése [2]. A következő fejezetben néhány olyan érzékelő eljárást ismertetek, amelyek számottevően előfordulnak az intelligens ívhegesztő robotok szabályozásában.

#### 3.2. A robotosított eljárások során alkalmazható szenzorok

A robotosított ívhegesztést szabályozó rendszerekkel szemben támasztott fő elvárásokat [3] foglalta össze az alábbi szempontok szerint:

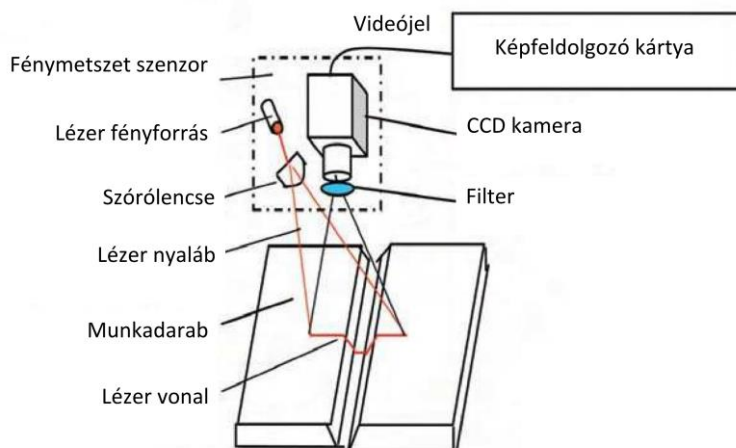
- Egy eszköz különböző varratgeometriákra is kompatibilis legyen.
- Ipari felhasználhatóság jellemezze.
- Az eszközök különböző hegesztő eljárásokban is alkalmazhatók legyenek.
- Valós idejű működés jellemezze.
- A hegesztési varrat képzéséről legyenek térbeli információk.
- Az eszközök mérete ne akadályozza a munkadarabhoz való hozzáférhetőséget.
- Az érzékelő rendszer ára legyen minél kedvezőbb.

Általánosságban elmondható, hogy a különböző alkalmazások más megoldásokat nyújtanak, így nincs olyan univerzális robot konfiguráció, ami minden hegesztéshez használható. Ebből kifolyólag, az előbb említett tulajdonságok keverten jelennek meg a különböző hegesztés felügyeleti eszközökben. Ezek közül a legfontosabbakat ismertetjük az alábbiakban.

Számos szerkezet hegesztésénél okoz problémát, hogy az on-line vagy off-line programozási módszerekkel létrehozott robot mozgáspályák eltérnek a valódi illesztések helyétől. A varrat nem megfelelő helyen jön létre, így a varratgeometria és a kötés minősége is alacsonyabb lesz a vártnál. Ezt eredményezhetik például az előgyártási pontatlanságok és a pontatlan készülékezés. Ez a probléma varratkereső szenzorok alkalmazásával kiküszöbölhető [2]. A pályagörbe szisztematikus eltérései legegyszerűbben mechanikus elven működő érintéses érzékelőkkel mérhetők fel. A fogyóelektródás ívhegesztő robotoknál leggyakrabban mégis a kontakt elektromos szenzorokat alkalmazzák [2, 3]. Az egyszerűségüket jelzi, hogy ilyenkor az érzékelő szerepét az elektróda és a gázfúvóka is betöltheti. A hegesztő vályú véletlenszerű helyi változásait azonban nem lehet tapintós szenzorokkal megfelelően kezelni. Ilyen esetekben valós idejű varratkövető szenzorokat lehet alkalmazni [3].

Az optikai elven működő varratkövető szenzorok fényforrásai keskeny hullámhossz spektrumúak, így a megfelelő szűrők alkalmazásával zavarmentes képek hozhatók létre. Kompakt felépítésük és hosszú élettartamuk miatt a lézerdiodák a legmegfelelőbb fényforrások a feladatra [2]. Az alábbiakban ilyen optikai szenzorokat mutatunk be.

\* Az általunk taglalt téma szempontjából ágens az lehet, ami emberi beavatkozás nélkül képes a környezetében végbemenő változásokat érzékelni, és azokra megfelelő mértékű beavatkozással reagálni [2].



3. ábra Egy fénymetszet eljárással működő szenzor felépítése \*

A fénymetszet eljárás során egy fényforrás vonalat vetít a munkadarab felületére. A fénymetszet szenzorok gyakori felépítését mutatja be a (3. ábra). Ez alapján egy képfeldolgozó rendszer a kamera (vagy kamerák) és a fényforrás által bezárt szög ismeretében kirajzolja a varrat vályú valódi alakját [3]. Ezt a vezérlés a referencia értékkel összehasonlítja, és korrigálja a robotpályát. A szenzort általában egy lézer fényforrás, egy sík szóró lencse és egy szűrővel ellátott kamera alkotja [4].

Számos egyéb geometriaérzékelő optikai szenzor kialakítására látunk még példát a szakirodalomban [2, 3]. Általánosan elmondható erről a szenzorcsaládról, hogy hegesztés előtti (off-line) varratkeresésre és hegesztés közbeni (on-line) varratkövetésre is alkalmasak. Azonban méretükből és a hegesztőfejen való elhelyezésükből adódóan gátolhatják a munkadarab hozzáférhetőségét. A kompakt méretek kialakítására folyamatos a gyártók törekvése [2]. Alkalmazási lehetőségük így mégis eset specifikus.

A következő érzékelő eljárások célja nem csak a robotkar mozgásának vezérlése lehet, hanem a folyamatszabályozás is.

A folyamatérzékelő optikai szenzor a hegfürdőt figyeli. A feldolgozott képen kiértékelhető a hegesztőhuzal helyzete az olvadékban, a huzal hossza és az olvadék szélessége. Ezen értékek felhasználhatók a hegesztési paraméterek vezérlésére. A képfeldolgozás sebességének hatékony növelése kritikus a hegesztés közben végzett folyamatszabályozásban [2].

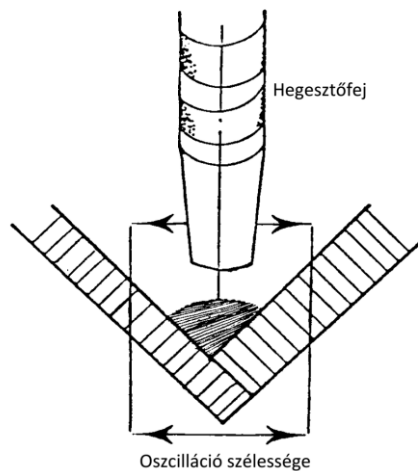
A leggyakoribb érintésmentesen érzékelő rendszerek az ívparaméterek változását használják visszacsatoló jelként. A lapos jellegű áramforrások belső szabályozásának köszönhetően a hegesztőáram fordítottan arányos az elektróda és a munkadarab közötti távolsággal. Az ezt felhasználó folyamatérzékelő, belső paramétereket mérő szenzorokat a szakirodalomban ívszenzorokként emlegetik [2]. Egyes ívszenzorok varratkövetési feladatokat látnak el, mások a hegesztési folyamatot szabályozzák. Közös jellemzőjük, hogy az érzékeléshez nincs szükség hegesztőfejre szerelt szenzorokra, így a munkadarabhoz való hozzáférés nem akadályozott. Az ívszenzorok csoportosításának egyik lehetséges módját [2] mutatja be az alapján, hogy a szabályozáshoz felhasznált jelet a természetes hegesztési folyamatból nyerik, vagy egy kiegészítő technológiai fogást alkalmaznak hozzá. Így megkülönböztetnek természetes és mesterséges érzékelőjel-képzés alapján működő ívszenzorokat.

A természetes érzékelőjel-képzés alapján működő ívszenzorok egyik példája a rövidzárlati frekvencia mérésen alapuló ívszenzor. Tulajdonképpen a rövidzárlati frekvencia és az optimális hegesztési sebesség kapcsolatát használják fel. A cél, hogy úgy szabályozzák a hegesztési sebességet, hogy a rövidzárlati frekvencia az optimális tartományban maradjon [2].

A mesterséges érzékelőjel-képzés alapján működő ívszenzorok működése során egy a hegesztési sebességre merőleges irányú lengetést hoznak létre. Az előzőek alapján a lengetésből adódó ívhossz változás szolgáltatja a jelet. Valójában ez csak olyan varratvályú geometria esetén lehetséges, ahol ez mérhető ívhossz változással is jár. A lengetés során a lehető legnagyobb

\* [4] alapján saját fordítású ábra.

amplitúdóra kell törekedni, hogy minél nagyobb áramerősség-különbséget generáljunk. A lengetés frekvenciája pedig nem lehet akármilyen nagy, mivel azt befolyásolja a belső szabályozó folyamat időszükséglete. A lengetés frekvenciája alapján két eljárás csoportot különböztetnek meg: a kvázi statikus és a dinamikus ívszenzorokat [2].



4. ábra A kvázistatikus eljárások során létrehozott lengőmozgás\*

A kvázistatikus ívszenzorok alacsony lengetési frekvencia tartományban működnek, így a hegesztő robotkarral lekövethető a lengetés (5. ábra). A [3] két eljárást különböztet meg: a mintamegefeleltetési módszer és a differenciál szabályozás módszere. Az utóbbi stratégiája, hogy minimalizálja a lengés szélső helyein mért jelek különbségét. E két módszer mellett továbbiakat mutat be [2], ahol felhasználják a hegesztési feszültség mellett a huzal előtolási sebességet is, vagy a hegesztőáram változás elemzésével generálnak jeleket.

A dinamikus ívszenzorokat főképp nagy sebességű hegesztések esetén alkalmazzák. Közös jellemzőjük a magas lengetési frekvencia. Ilyen frekvenciatartományban az oszcilláló mozgás nem hozható létre a robotkar rendszerrel, így ezt kétféleképpen valósították meg: elektromágnessel vagy egy nagy sebességű mechanikus elektródaforgatóval. A hegesztőfejre szerelt elektromágnes az ívet lengeti, míg a forgató megoldás egy excentrikus hajtáson keresztül az elektróda véget lengeti. Az elektródaforgató eljárás előnye, hogy magas körfrekvenciája tartományban a kvázi statikus eljárásoknál jóval nagyobb jelet generál. Emellett ez kifejezetten jó hatással van a varrat alakítványozására is [2].

## 4. Összefoglalás

A cikkben bemutatásra kerültek a fogyóelektródás védőgázos ívhegesztő eljárások minőségbiztosítási problémái, a varratkereső és varratkövető érzékelők főbb csoportjai. Kitértünk továbbá az ívben zajló fémátviteli jelenségekre, és az ívszabályozási lehetőségekre. Az univerzális, minden feladatra alkalmas szenzor még nem létezik. A szükséges érzékelő-konfiguráció alkalmazásonként egyedi, és több szenzor együttes alkalmazása is szükséges lehet az optimális ívhegesztés fenntartására.

## Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését a TÁMOP 4.2.1C-14/1/Konv számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## Acknowledgment

The theoretical work of the authors is financed by the TÁMOP 4.2.1C-14/1/Konv project with support by the European Union and the European Social Fund.

\* [3] alapján saját fordítású ábra.

## Irodalomjegyzék

- [1] ASM Metals Handbook, Volume 6: Welding Brazing and Soldering, ASM International, 1993
- [2] Dr. Farkas Attila: A mesterséges intelligencia alkalmazása az ívhegesztés robotosításában és annak gyakorlati hasznosítása a katonai járműgyártásban, doktori PhD értekezés, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztisképző Kar, Katonai Műszaki Doktori Iskola, 2012
- [3] F. B. Prinz, K. T. Gunnarsson: Robotic Seam Tracking, The Robotic Institute, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, 1984
- [4] De Xu, Min Tan and Yuan Li: Visual Control System for Robotic Welding, Industrial Robotics: Theory, Modelling and Control, 2006
- [5] De Xu, Min Tan, Xiaoguang Zhao, Zhiguo Tu: Seam tracking and Visual Control for Robotic Arc Welding Based on Structured Light Stereovision, International Journal of Automation and Computing 1, 2004