

Szakértői rendszer hegesztőrobotok alkalmazhatóságának vizsgálatára

Paszternák Gergely*, dr. Farkas Attila**, dr. Palotás Béla***

* gépészmérnök, p.gergely.84@gmail.com

** ügyvezető igazgató, FLEXMAN ROBOTICS Kft., farkas.attila@flexmanrobotics.hu

*** egyetemi docens, Dunaújvárosi Főiskola, palotasb@mail.duf.hu

Absztrakt: A mai világban a robotika fejlődésének sebessége olyan mértékű, hogy a hegesztő robotok alkalmazása minden cég részére elérhetővé vált. Azt eldönteni azonban, hogy mikor gazdaságos és indokolt egy alkatrész hegesztésének robotosítása, csak alapos megfontolások alapján lehetséges. Ennek eldöntésére csak szakértők képesek, így hasznos lehet a gyakorlatban egy olyan rendszer megalkotása, amely segíti a szakembereket abban, hogy eldöntsék adott alkatrész esetében, hogy annak robotos hegesztése jó megoldás-e vagy sem. Az előadás célja egy olyan szakértői rendszer bemutatása, amely adott alkatrésznél kérdések alapján segít eldönteni, hogy a robotosított hegesztés alkalmazható-e. A szakértő rendszer célja, hogy az ívhegesztő robotok iránti egyre növekvő keresletben a szakemberek munkáját segítse. A program egzaktsága és eredményeinek dokumentálhatósága miatt döntések előkészítésében is hasznos segítség lehet.

Kulcsszavak: Hegesztés, ívhegesztő robot, robot alkalmazhatóság feltételei, szakértői rendszer

1. Bevezetés

A robottechnika, a robotosított gyártás napjainkban egyre nagyobb szerepet kap nem csak a világ, de hazánk iparában is. Egyre több vállalat dönt úgy, hogy megfelelő darabszám esetében, illetve a minőség javítása érdekében átállnak kézi hegesztésről a sokkal modernebb, gazdaságosabb és gyorsabb robotosított hegesztésre.

A robot alkalmazásának azonban feltételei vannak. Egyedi termékek gyártása esetén gazdaságosság szempontjából többnyire a kézi gyártás jöhet szóba. Egyszerű termékek tömeggyártása esetén kimondottan az adott munkadarab gyártására

kifejlesztett automata célgépek alkalmazhatók általában a leggazdaságosabban. Nagy sorozatszámú, de bonyolult termékek, valamint kis és közepes sorozatszámú munkadarabok gyártásánál azonban kiválóan alkalmazható a szabadon programozható ipari robot. Változó, de gyakran ismétlődő termékstruktúra esetén is ez utóbbi megoldás javasolt.

A robotok iránti megnövekedett érdeklődés természetesen egyre több munkát ad a robotokat gyártó és forgalmazó cégeknek. Így van ez a hazai robotforgalmazók esetében is, így merült fel a szakemberekben az az ötlet, hogy a hegesztőrobotok alkalmazhatóságának vizsgálatára egy számítógépi szoftver, egy szakértői rendszer szülessen. Egy ilyen program nagyban megkönnyítené mind a robotizálás szakmai részleteiben kevésbé jártas kereskedő munkatársak, mind a robotos hegesztés területén dolgozó szakértő kollégák munkáját.

Jelen dolgozatban egy ilyen szakértői rendszer algoritmusának megalkotását, és az algoritmus alapján készített, egy ipari gyakorlatban praktikusán használható számítógépi rendszert mutatunk be.

2. A hegesztés robotosításnak feltételei

Magyarországon a hegesztés robotizálása egyre több területen látszik elengedhetetlennek. Ennek egyik oka a munkaerőhiány, ugyanis a képzett hegesztők közül a magasabb bérek miatt egyre többen vállalnak munkát külföldön. Ezen kívül még lényeges okok lehetnek, hogy a megrendelők egyre magasabb, és állandó minőséget várnak el, továbbá növekszik a darabszám, a gyártás költségeinek csökkentése előtérbe került, és cél az újabb piaci részesedés megszerzése [1].

A robotosított gyártás bevezetése előtt meg kell vizsgálni néhány lényeges tényezőt. Fontos az *előgyártmány pontossága*, illetve az állandó minőségű alapanyag. A robot még szenzorokkal is nagyon nehezen tudja a pontatlan előkészítésből, vagy a váltakozó anyagminőségből adódó problémákat korrigálni, így ezeket a hibákat mindenképpen orvosolni kell a robotos gyártás bevezetése előtt precíz darabolási eljárások bevezetésével, állandó minőségű alapanyag beszerzésével. Általános tapasztalat, hogy a *változó réssel* illeszkedő munkadarabok hegesztése nehézségeket jelent a robothegesztés szempontjából. Ilyen feladat megoldása nagyon összetett érzékelési és adatfeldolgozási feladatot állítana a robot elé. Ezért lényeges a gyártmányoknál a változó résméret kerülése. A *gyártandó munkadarabok száma* is nagyon fontos a robotosított gyártás szempontjából. Általánosan kimondhatjuk, hogy robotizálás szempontjából a *közepes, és nagy sorozatú gyártás* az optimális. Kis sorozatnál és egyedi gyártásnál nem minden esetben gazdaságos, a beruházás esetleg túl hosszú idő alatt térül meg. Tömeggyártás esetében lehet jó választás a robot, de ilyen körülmények között mindig érdemes megvizsgálni a célgép alkalmazhatóságát is.

Meglévő, *kézzel* hegesztett gyártmány esetén érdemes megvizsgálni azt, hogy a *mellékidők* hogy viszonyulnak a főidőkhöz. Nagyméretű, bonyolult munkadarab esetén sok időbe kerül a munkadarab forgatása, pozicionálása. Ilyen esetben a

gyártás robotizálásával a mellékidő látványosan csökkenthető. Erre szemléletes példa a Terkimpex Kft-nél 2006-ban üzembe helyezett robotállomás, ahol egy munkadarab gyártási ideje 48 percről robotizálás után 16 percre csökkent [1].

2.1. Gyakorlati ívhegesztő robotalkalmazások elemzése

Öt ívhegesztő robotállomást alkalmazó cégnél elemeztük a robot alkalmazásának feltételeit, illetve a gyártási tapasztalatokat.

Az egyik fő alkalmazási szempontnak, a darabszám és az állandó minőség bizonyult.

Egy másik szempont az előgyártmányok pontosságának igénye (minél kisebb méretszórás).

A robotizálás szempontjából lényeges tényezőnek bizonyult a ciklusidő is. A termékek jellegéből adódóan ez átlagosan 25-180 s időintervallumba esik. Kicsi méretű alkatrészekre az átlagos 30 s a jellemző, míg nagyobb termékekre gyártási ideje 120 s. A ciklusidőben a gépi főidők általában 50-90%-ot tesznek ki, a maradék időrész a forgatóasztalok átfordulási idejéből, ráközelítési időkből és a hegesztő pisztoly tisztításából áll össze.

Fontosnak bizonyult az elkészült munkadarabok pontossága is, ezért az alkatrészek előkészítésére nagy gondot fordítanak. Mivel a robotos mozgásokkal százados pontosságot is meg lehetne valósítani, általában egy nagyságrenddel pontatlanabban dolgoznak, ennek megfelelően az előgyártmányok tizedes pontosságúak. A hegesztendő felületeknek reve- és olajmentesnek, a csatlakozó éleknek sorjamentesnek és merőlegesnek kell lenni. Robotizált gyártásnál az előgyártmányok méretazonossága a lehető legfontosabb a termék minősége szempontjából.

A cégvezetők véleményei szerint a robotosított hegesztésnek a legnagyobb előnyei a következők voltak:

- Mivel több pozícióban lehet hegeszteni, kevesebb készülék szükséges, így kevesebb részegységre kell szétbontani a gyártmányt,
- A kevesebb készülék miatt kisebb a gyártás helyigénye,
- Csökken a gyártási idő,
- Csökken a gyártási költség,
- A hegesztett kötések minősége nem függ a kezelőtől, illetve sokkal kisebb a szakképzett hegesztő iránti igény (az emberi erőforrás szükséglet a negyedére csökkent),
- Nagyon jó, ha a robotok megtérülési ideje kevesebb, mint egy év (egyéb-ként általában 1-3 év közötti időtartam elfogadhatónak számít).

2.1. Az ívhegesztő robotalkalmazás feltételei

A szakirodalmakból és a hegesztő robotokat üzemeltető cégekről szóló esettanulmányok alapján levonhatjuk a következőket a robotok alkalmazhatóságáról. Egyértelmű, hogy a robotosított gyártás szempontjából legfontosabb tényezők:

- a darabszám,
- az előkészítési pontosság mint darabolás, mint illesztés tekintetében.
- A tapasztalatok és a cégek beszámolóai alapján a közép-, és nagy sorozat a legmegfelelőbb a robotos gyártás szempontjából. Az esettanulmányok alapján kimondható, hogy tömeggyártás esetén is alkalmazható hegesztőrobot. A munkadarab geometriáján, varratainak számán, méretén, tömegén is múlik, hogy tömeggyártás esetén célgép, vagy hegesztőrobot a megfelelőbb megoldás.
- Az előkészítés pontossága a másik lényeges tényező. Kimondható, hogy a munkadarab alkatrészei minél pontosabb eljárással készültek el (akár darabolás, akár hajlítás, akár egyéb technológiák tekintetében), annál nagyobb az esély a hegesztőrobotok alkalmazására.

3. Szakértői rendszer készítése

A szakértői rendszerek a számítógépi rendszerek egyik legmagasabb fokát képviselik. A szakértői rendszereket a mesterséges intelligencia csoportjába sorolják.

A Brit Számítástechnikai Társaság Szakértői Rendszerek Bizottsága a következő definíciót használja a szakértői rendszerre:

„Szakértői ismeretanyag egy komponensének tudásbázissal történő reprezentálása számítógépen olyan formában, hogy lehetőséget nyújtson intelligens tanácsadásra, vagy egy folyamattal kapcsolatos intelligens döntéshozatalra. Egy további kívánatos jellemző, amelyet sokan alapvetőnek tartanak: a rendszer képes legyen az alkalmazó számára megindokolni saját döntéseit. A felsorolt jellemzőknek megfelelő programozási eszköz a szabály alapú programozás” [2].

3.1. Szakértői rendszer az ívhegesztő robot alkalmazhatóságának eldöntésére

A hegesztőrobotos gyártás alkalmazhatóságának eldöntése komoly szaktudást és tapasztalatot igényel. Lényeges, hogy a feladattal megbízott szakember mind műszakilag, mind gazdasági szempontból tisztában legyen a robotosított gyártás lehetőségeivel és korlátaival. A gyárthatóság elemzése esetén több fontos problémával is szembe kell nézni az első, legáltalánosabb vizsgálatoktól kezdve egészen a konkrét robot, robotcella kiválasztásáig. Ennek a folyamatnak bizonyos elemei

már annyira bonyolultak, annyira összetett tudást igényelnek, hogy nem lehet kiiktatni az emberi tényezőt, más részei viszont számszerűsíthetők, így egy szakirányú program megalkotásával ezeket a műveleteket el lehet venni a szakemberektől. Célunk egy ilyen rendszer megalkotása volt, ami nagymértékben megkönnyíti a robotosított gyártás vizsgálatát.

A Rehm Hegesztéstechnika Kft. szakembereinek tapasztalatai alapján problémát jelentett, hogy egy adott ügyfél jelentkezése esetén minden alkalommal robottechnikában komoly ismeretekkel rendelkező szakembert kellett kiküldeni, hogy az ügyfél igényeit elemezze. Sok esetben azonban gyorsan kiderült, hogy a partner igényei – műszaki, vagy gazdasági szempontból – teljesíthetetlenek. Ilyen esetben a szakértő munkatárs útja felesleges volt. Az általunk készített rendszer egyik feladata így, ennek az „üresjáratnak” az elkerülése, segítségével egy robottechnikában kevésbé jártas, pusztán kellő műszaki tapasztalattal rendelkező üzletkötő is el tudja dönteni, hogy reálisak-e az adott partner igényei, lehetséges-e a gyártásra szánt alkatrészt robotokkal előállítani, vagy sem.

A rendszer teljesen nem helyettesíti az emberi szakértői véleményt. Nem ad választ a robotizálás kérdésére, viszont a szakemberek munkáját konkrét iránymutatásokkal segíti az adott alkatrész gyárthatóságával kapcsolatban. Segítségével a robottechnikai szaktudású munkatársaknak csak azokhoz a partnerekhez kell ellátogatni, ahol már komoly esély van az elképzelt gyártás megvalósítására.

Ezekon túlmenően a szakértői rendszer hasznos lehet közvetlenül végfelhasználók számára is, mikor egy-egy saját gyártmány hegesztésének, vagy ajánlati stádiumban lévő projekt robotosíthatóságának alapvető kérdéseit szeretnék rövid idő alatt megvizsgálni.

A megalkotott rendszer lényege, hogy a gyártás feltételei, a robotosítás előtti lehetőségek, valamint az előkészítési technológiák körében kérdéseket tesz fel. Ezekre a kérdésekre kettő, illetve három lehetséges válasz van, az alapján, hogy az adott opció a robotok alkalmazását elősegíti, semlegesén befolyásolja vagy gátolja. A válaszok értéke egy pontrendszerben van megadva, az előző felsorolás alapján érnek ezek 2, 1, ill. 0 pontot.

Bemenő adatok:

- Gyártás típusa,
- Bonyolultsági fok,
- Munkadarabon dolgozó hegesztők száma,
- Műszakok száma,
- Hozzáférhetetlen varrat,
- Változó résméret,
- Meghatározó varratípus,
- Darabolási eljárás,
- Egyéb eljárások vizsgálata: forgácsolás, hajlítás, öntés, kovácsolás.

A lista végén a rendszer a pontokat összeadással és összeszorzással értékeli. Összeadásra azért van szükség, hogy az összpontszámból kiderüljön, mennyire közelíti meg az adott gyártás pontértéke az elméleti maximumot. Az összeszorzás során a 0 pontértékűek lenullázzák a végeredményt, jelezve azt, hogy amíg ezek a tényezők nincsenek megváltoztatva, addig a robotizált gyártás nem megvalósítha-

tó. Ez nem azt jelenti, hogy az ötlet teljesen elvetendő, pusztán arra mutat rá, hogy milyen tényezőket kell módosítani ahhoz, hogy a robotosított gyártás bevezethető legyen.

3.2. A szakértői rendszer felépítése

A rendszer összesen 12 kérdést tesz fel. A rendszer az utolsó öt kérdést – az előkészítéssel kapcsolatosakat – egyként kezeli, így a maximális összpontszám $(7+1)*2=16$. Az összeadott pontérték annál jobb, minél inkább megközelíti ezt a 16-os értéket, az összeszorított eredmény pedig akkor megfelelő, ha nem nulla. A következőkben a lista kérdéseinek részletes elemzése következik.

Gyártás típusa (1. ábra)

A válaszlehetőségek az egyedi-, sorozat-, ill. tömeggyártás. Konkrét számadat megadása felesleges, ugyanis a munkadarab méretétől, bonyolultságától, összetettségétől függően már akár 80-100 darab is minősülhet sorozatgyártásnak, más esetben – egyszerű munkadarab esetében – ez többeszes, többtízezres nagyságrend is lehet. Az egyedi gyártás pontértéke nulla. Ilyen esetben teljesen felesleges komoly összeget fordítani egy robotrendszerre, egyszerűen nem fogja kitermelni a berendezés költségét. 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.

Bonyolultsági fok (1. ábra)

A munkadarab bonyolultságát meghatározó, részben szubjektív tényező, a felhasználó feladata, hogy becsülje meg képek segítségével, hogy az adott alkatrész mennyire bonyolult. A válasz egy szám 1-3 között (1= egyszerű, 3= bonyolult). Jelen esetben nincs 0 értékű válasz, nem lehet egy alkatrészt a szubjektív bonyolultsága miatt kizárni, itt csak azt vizsgáljuk, hogy mennyire segíti elő a munkadarab geometriájából, összetettségéből, méretéből adódó bonyolultság a robotizált gyártást.

A munkadarabon dolgozó hegesztők száma (1. ábra)

Munkadarabon dolgozó hegesztők száma a következő, amelyhez a „tooltip”: „Ez a kérdés a robotizálás előtti állapotra kérdez rá. Azt kell eldönteni, hogy amíg kézzel hegesztik össze a munkadarabot, addig a gyártás az adott határidőt figyelembe véve hány hegesztőmunkást igényel”. Műszakok száma kérdéshez tartozó segítség: „Hány műszakban használnák a robotokat?”

A következő kérdésben a robotosítást gátló tényezőket vizsgáljuk (2. ábra). Hozzáférhetetlen varrat esetén a segítség: „Van-e a munkadarabon olyan varrat, amit kézi hegesztő el tud érní, de robot nem?”

Változó résméret kérdésnél a segítség: „Van-e a munkadarabon pontatlan összeállításból vagy pontatlan vágásból adódó változó méretű rés?”

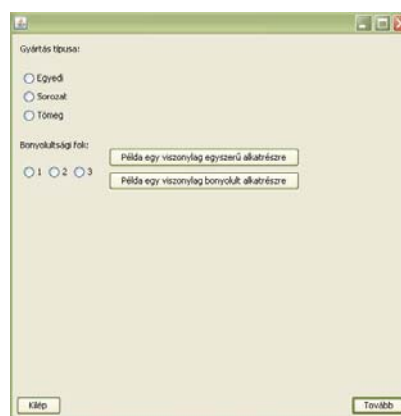
A meghatározó varratípus a következő kérdés (2. ábra). Hozzá tartozó tooltip: „Kérjük, válassza ki, hogy milyen típusú varrat dominál a munkadarabon.”

A következő kérdéssel az alkatrészek darabolásának technológiáját lehet kiválasztani (2. ábra). A rendszer csak akkor engedélyezi a választadást, ha a kérdés ki van jelölve. Ezzel lehet jelezni, hogy az adott technológia a munkadarab egyes alkatrészeire jellemző. Darabolás „tooltipje”: „Csak azt az opciót jelölje meg, ami a munkadarab valamely alkatrészére dominánsan jellemző!”

Az „Egyéb technológiák” lapon (2. ábra) az alkatrészekeken hegesztés előtt esetlegesen alkalmazott más technológiák jelölhetők. A HELP gombra kattintva előugrik egy ablak, amiben rövid segédlet olvashatunk az oldalon feltett kérdések megválaszolására (3. ábra).



Nyitó képernyő



A gyártás típusa



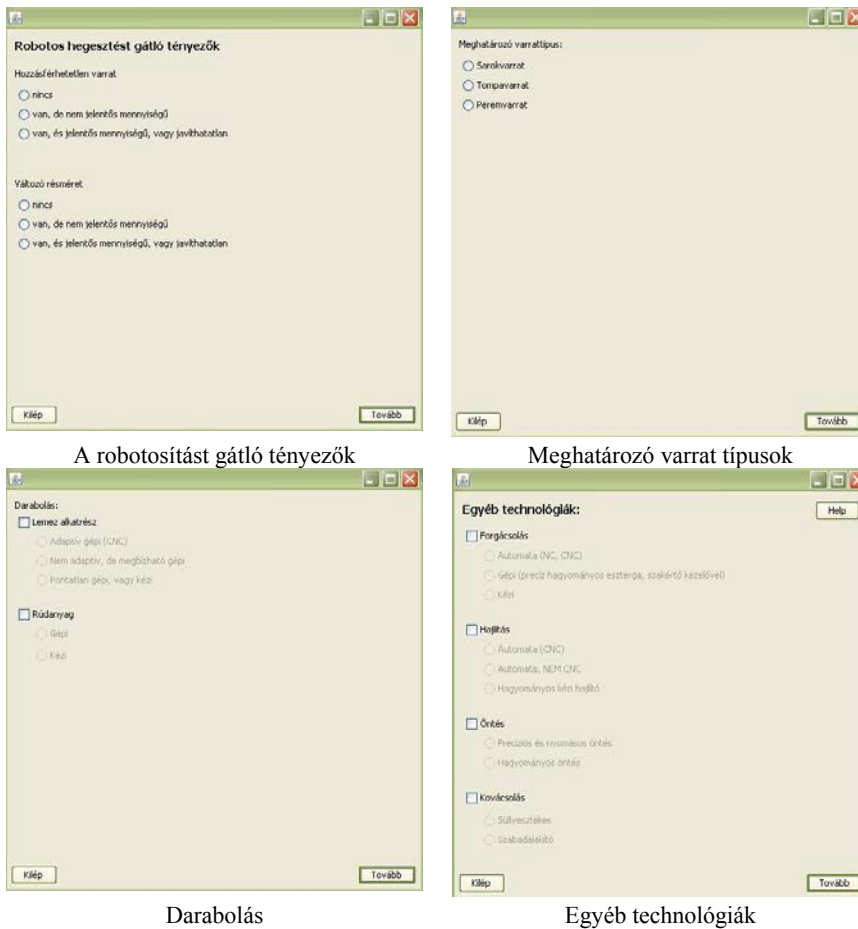
A gyártás típusa



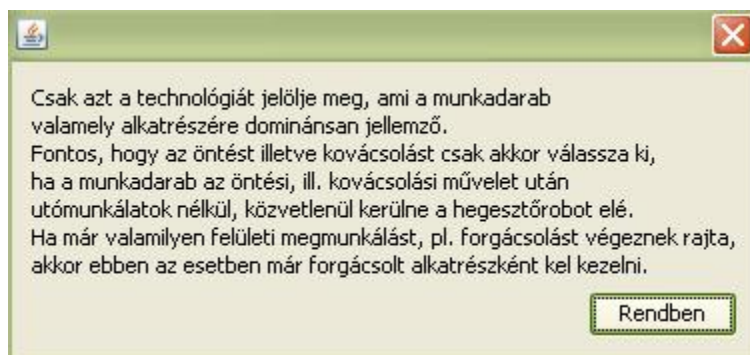
A darabon dolgozó hegesztők száma

1. ábra Adatbeviteli képernyők1

Paszternák Gergely et al.: Szakértői rendszer hegesztőrobotok alkalmazhatóságának vizsgálatára



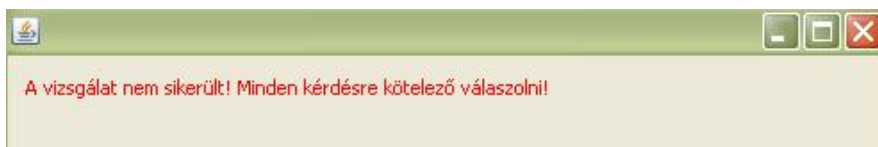
2. ábra Adatbeviteli képernyők 2



3. ábra. Technológiai adatbevitel helpje

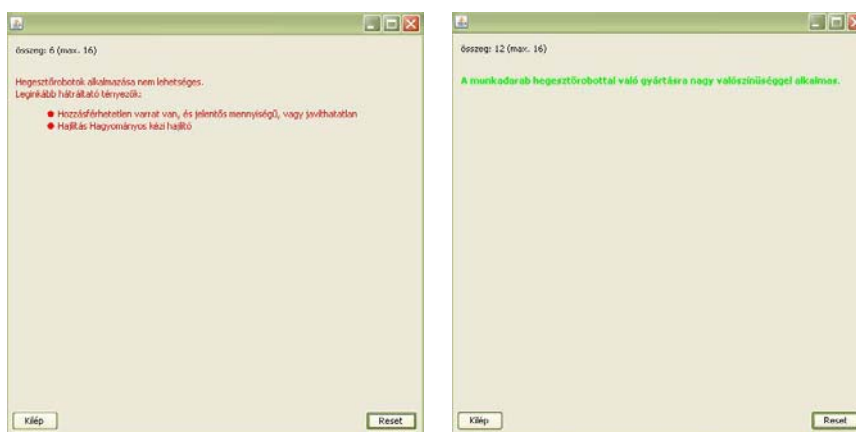
A „Tovább” gomb segítségével innen a kiértékelő oldalra lehet lépni. Ahogy azt már korábban leírtuk, a kérdések mindegyikét kötelező megválaszolni. Amennyiben úgy lett kitöltve a teszt, hogy nem mindegyik kérdés volt megválaszolva, a kiértékelés nem valósul meg. Ekkora az értékelő oldalon egy hibaüzenet jelenik meg (4. ábra) a következő felirattal:

„A vizsgálat nem sikerült! Minden kérdésre kötelező válaszolni!”



4. ábra. Hiba adatbevitel

A teljes adatbevitel esetén a kimeneti képernyőket láthatjuk (5. ábra).



Nem javasolt a robot alkalmazás

Javasolt a robot alkalmazása

5. ábra. Kimeneti képernyők

Ez vagy nem javasolja a robot alkalmazását, vagy javasolja a robotalkalmazást.

Feltűnő lehet, hogy bizonyos paraméterek, bizonyos tulajdonságok miatt maradtak ki az algoritmusból. Ez a rendszer csak azokat az értékeket veszi figyelembe, amik közvetlenül szerepet játszanak abban, hogy az adott alkatrész gyártása robotizálható-e, vagy sem. Olyan tényezők, amik esetleg már csak a későbbi robottípus, illetve cellatípus kiválasztásban játszanak szerepet nincsenek benne, mert ez messzire vezetne.

Ilyen tulajdonság például a munkadarab konkrét mérete. 30-40 méteres hídlemek gyártása is probléma nélkül robotizálható futópályák segítségével ugyanúgy, ahogy pár tíz centiméteres munkadaraboké. Egyértelműen ki lehet jelteni, méretbeli korlátja nincs a hegesztőrobotok alkalmazásának, ilyen szempontból nézve amit kézzel meg lehet hegeszteni, azt robottal is. Ezzel a tényezővel csak akkor érdemes már foglalkozni, ha a hegesztőrobotok alkalmazhatósága bebizonyosodott, és elérkezett az idő a konkrét robottípus, robotcella, és kiegészítő berendezések kiválasztására.

Hasonló tényező a főidő-mellékidő arány, illetve ezek pontos értéke. Gyakorlatilag elképzelhetetlen az a helyzet, amikor egy kézi hegesztő kevesebb mellékidővel, kevesebb átállási és pozicionálási idővel dolgozik, mint egy robot, teljesen életidegen az a szituáció, amikor ciklusidő vizsgálat szempontjából a kézi hegesztés előnyösebb lenne, mint a robotosított gyártás. Ezt a kérdést ezért figyelmen kívül lehet hagyni.

3.3. A szakértői rendszer működésének szemléltetése

Az ismertetett szakértői rendszer alkalmazását az 1. táblázat szerinti példák mutatjuk be.

Az egyik alkatrész egy kipufogócső elágazás, a másik alkatrész pedig egy tartóelem.

1. táblázat. Alkalmazási példa

Alkatrész			Alkatrész		
<i>Kipufogócső elágazás</i>			<i>AW 15 típusú tartóelem</i>		
					
Pont			Pont		
Gyártás típusa:	sorozat	1	Gyártás típusa:	tömeg	2
Bonyolultsági fok:	3	1	Bonyolultsági fok:	1	2
Munkadarabon dolgozó hegesztők száma:	2	1	Munkadarabon dolgozó hegesztők száma:	nincs adat	1
Műszakok száma:	2	1	Műszakok száma:	2	1
Hozzáférhetetlen varrat: van, jelentős	0		Hozzáférhetetlen varrat:	nincs	2
Változó résméret:	van, nem jelentős	1	Változó résméret:	nincs	2
Meghatározó varratípus:	tompa	1	Meghatározó varratípus:	sarok	2
Előkészítés:			Előkészítés:		
Rúdanyag darabolás:	gépi	2	Lemezalkatrész darabolás:		
			Adaptív gépi	2	
			adaptív gépi	2	
			Hajlítás:	CNC gépi	2
					2

Összesítés:		Összesítés:	
Összpontszám:	8	Összpontszám:	14
Van robotosított gyártást komolyan hátráltató tényező?	van	Van robotosított gyártást komolyan hátráltató tényező?	nincs

A hozzáférhetetlen varrat miatt a hegesztő robotos gyártás nem megvalósítható a kipufogócső elágazás esetében. Mivel az összpontszám is kevés (8/16), valószínű, hogy konstrukciós változtatások után se lesz az alkatrész gyártása megfelelő hegesztőrobotok számára.

A tartóelem esetében hegesztőrobot alkalmazását gátló tényező nincs, az összpontszám magas (14/16), a munkadarab gyártása jó eséllyel robotosítható. A [3] irodalomban további alkalmazási példák is láthatók.

Összefoglalás

A feladat célja egy olyan szakértői rendszer megalkotása volt, ami konkrét munkadarabok gyártásának ívhegesztési robotosításáról képes véleményt alkotni. A cél elérése érdekében szakirodalmi kutatásokat végeztünk mind a robotos hegesztés, a robotosított gyártás, mint a szakértői rendszerek és szakértői rendszervázak terén. A dolgozat megírásához elengedhetetlen volt, hogy alapszintű ismereteket szerezzünk a Java programozás területén. A vizsgált szakértői rendszervázakat ennek segítségével lehetett tanulmányozni, a megalkotott rendszert pedig ilyen programozói nyelven lehetett megírni.

A cél egy olyan program megalkotása volt, amely az ipar számára is hasznos segítség lehet, segít annak megítélésében, hogy adott feladat esetében a robotosítás műszakilag és gazdasági szempontok alapján indokolt-e vagy sem.

Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Farkas Attila, Barabás Péter: Hegesztőrobotok bevezetésének tapasztalatai Magyarországon, Hegesztéstechnika, 2008, **XIX évf.** 4. szám, 15-18. old.
- [2] G. L. Simons: Szakértői rendszerek és makrók, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1987, 103. old.
- [3] Paszternák Gergely: Hegesztőrobotok alkalmazhatóságának vizsgálata, BME, Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, Szakdolgozat, 2009