

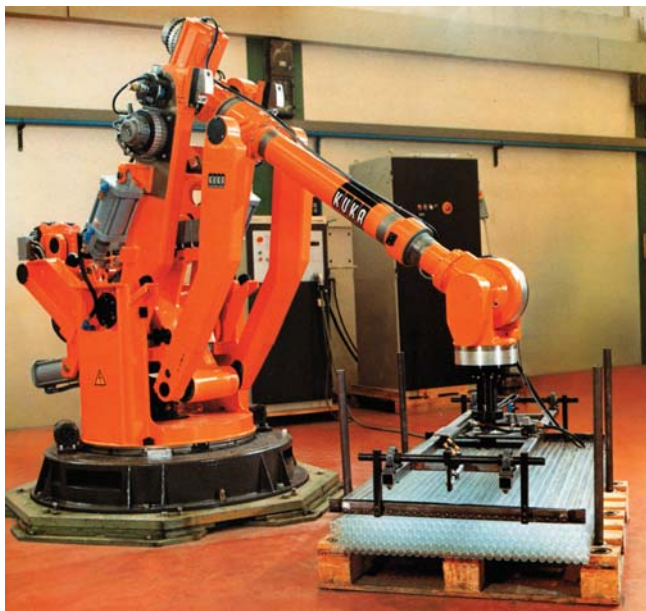
Tridsať rokov svetovej robotiky (9)

Václav Kalaš

Aplikácie robotov v technologických procesoch

15. Rozvoj robotizácie vo vybraných technológiách

Možno konštatovať, že v posledných troch desaťročiach sa robotika výrazne presadila v rade významných technologických procesov, ako sú procesy elektrického odporového a oblúkového zvarovania, v obsluhu obrábacích strojov, v povrchových úpravách, ako je čistenie a farbenie, v procesoch paletizácie a depaletizácie (obr. 53), v mnohých montážnych procesoch, a to veľmi výrazne napr. v automobilovom priemysle, vo výrobe stavebných dielcov, v technológiách delenia materiálov, v technológiách výroby gumy, textilu, skla, v drevárskom priemysle, v potravinárstve atď.



Obr.53 Paletizácia sklenených trubíc robotom KUKA IR601/60 CP na výrobu žiaroviek

Prítom však robotika postupne a presvedčivo preniká aj do netradičných oblastí, ako sú napr. laboratórne technológie, vojenská technika, stavebníctvo, zdravotníctvo, procesy merania a kontroly, energetika, úspešne sa rozvíja problematika podmorskej a kozmickej robotiky atď. Rozvíjajú sa robotizované služby, napr. vonkajšie i vnútorné čistenie lietadiel, obsluha čerpadiel pohonných hmôt, vyšávanie, kosenie trávy a pod. Na ilustráciu je z hľadiska služieb na obr. 54 uvedený japonský robot AP-921M na automatickú výmenu oleja v automobiloch [69]. Cez otvor merania hladiny oleja v motore je starý olej vysatý a následne napustený nový.



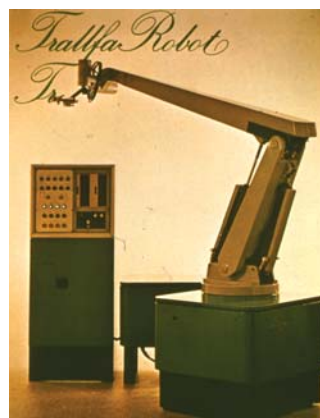
Obr.54 Japonský robot slúžiaci na automatizovanú výmenu motorového oleja

pre roky 2005 až 2010 plánujú spustiť projekt LIGHTHOUSE (Maják), ktorý má koordinovať možnosti priemyslu spolu s aktivitami výskumných centier a predstaviteľov politických špičiek, zameraný na problematiku robotizovanej obsluhy vodíkových plničiek a to systémov súvisiacich s perspektívnym rozvojom automobilov s palivovými článkami, resp. priamo s aplikáciou vodíka na pohon automobilov [70].

V súvislosti s rozvojom robotiky sa výrazne rozvíja aj problematika ďalšej identifikácie technologických procesov, razantne sa rozvíja aj problematika tvorby matematických modelov týchto procesov a ich algoritimizácie. Výrazne sa rozširujú aj oblasti aplikácie teórie automatického riadenia diskrétnych systémov a časovej, resp. energetickej a ekonomickej optimalizácie. Nastal hlboký prienik riadiacej výpočtovej techniky a informatiky, ako aj senzoričky do robotiky vyšších rádov. Neobyčajne sa v robotike rozvinuli adaptívne prístupy v riadení procesov, ktoré znamenajú novú kvalitu [71]. Ďalej sa obmedzíme iba na niektoré vybrané procesy, pričom robotizácii technologických procesov pre tretie tisícročie sa budeme venovať neskôr.

15.1 Robotizácia povrchových úprav striekaním

Z hľadiska aplikácií robotov v technologických procesoch v ich historickom vývoji boli jednou z najvýznamnejších technológií povrchové úpravy, a to striekanie farieb, pričom robot je aplikovaný vo funkcii automatizovaného nosiča, príp. i viacfarebnej striekacej pištole. V Európe bola jednou z priekopníckych firiem v tejto oblasti nórska firma TRALLFA, ktorá začínala so striekaním smaltovaných kúpeľňových vaní. Firma TRALLFA robila prvé pokusy s touto technológiou už v r. 1965 s modelom hydraulického robota TR 3000-S (obr. 55). Robot mal päť stupňov voľnosti, maximálnu rýchlosť koncového bodu 1,7 m/s, nosnosť 15 kg



Obr.55 Hydraulický striekací robot nórskej firmy TRALLFA

a presnosť ± 2 mm. Riadiaci program robota sa získaval metódou TEACH IN pomocou ručného prvotného vedenia robota za zápalu silou približne 5 N pri vypnutej hydraulike.

Program dráhového riadenia ČP, resp. riadenia z bodu do bodu PTP sa nahrával na špeciálnu audiokazetu. Programovacia kapacita mohla byť do 2 hod. reálneho času. Efektívnosť týchto robotizovaných pracovísk bola enormná a investície sa vracali do jedného roka. Uvedený striekací robot

vyrábalo v licencií aj Japonsko. Neskôr sa modifikovaný model tohto robota s označením TR 3000-W používal aj pri robotizácii zvaracích procesov oblúkového elektrického zvarovania v ochranných atmosférach plynov.

V robotizácii technológií povrchových úprav výrazne vynikol začiatkom 80-tych rokov chobotový robot SPINEA švédskej inžinierskej firmy ROBOTICS AB (obr. 56), pričom základná kinematická koncepcia tohto robota vznikla na Chalmersovej univerzite. Ide o netradičnú konštrukciu založenú na aplikácii diskov – ovoidov, vyrobených z membránového oceľového plechu, ktoré sú v strede diskov stabilizované pružným prútom alebo

upravenými guľovými vodičmi na diskoch. Robot sa vyznačoval manipulačným, takmer guľovým priestorom 50 m³. Tvarovanie chobota je zabezpečené štyrmi predpätými ťahovými lankami, ktoré idú v bowdenoch dierkami umiestnenými na obvode ovoidov a sú napájané hydraulickými lineárnymi motormi. Ťahové lanky sú pevne ukotvené v poslednom ovoidovej sekcii. Robot má 7 stupňov voľnosti a má dve ovoidové sekcie. Robot môže byť



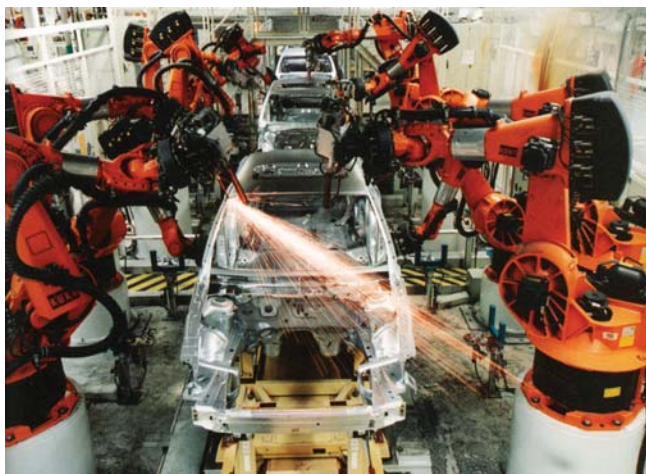
Obr.56 Chobotový striekač mimoriadne flexibilný robot SPINEA firmy ROBOTICS AB pri striekaní vnútorných častí automobilovej karosérie (polovica 80-tych rokov)

pripevnený na stene alebo na strope objektu. Obe ovoidové sekcie sú oddelené tzv. laktom. Program sa môže vytvárať metódou učenia (TEACH IN) so silou na zápästí do 5 N. Robot má CP dráhové riadenie. Riadiaca časť robota aplikovala multiprocesorový systém na báze hardvéru firmy DIGITAL EQUIPMENT COMPONENT. Každá ovoidová sekcia robota má 11 polohových senzorických systémov na riadenie okamžitého tvaru chobota. Robot SPINEA bol vystavený prvýkrát pre verejnosť v Južnej Amerike v r. 1983 a v r. 1984 v Götteborgu.

Problematike robotov na povrchové úpravy sa venoval rad ďalších svetových firiem, ako HITACHI, KAWASAKI, KOMPARM, UNIMATE a iné. V bývalom Československu sa vyrábali tri typy striekačích robotov, a to SPR-05, SPR-10 s IRIS-14 v SAM Myjava.

15.2 Robotizácia odporového bodového zvarovania

Odporové bodové zvarovanie (OBZ) patrí v historickom vývoji robotiky k najstarším robotizovaným technológiám a predstavuje jednu z najproduktívnejších technológií spájania kovových materiálov (plechov). Táto technológia sa však neustále zdokonaľuje, rastie jej význam, výkonnosť, kvalita spojov (zvarových šošoviek), najmä presnosťou časového priebehu dávkovania energie do zvarov. Mimoriadnu úlohu pri skvalitňovaní tejto technológie zohrali najmä tieto okolnosti: mikroelektronické riadiace a senzorické systémy, ako aj riadenie celého zvaracieho procesu, výkonová elektronika s možnosťou vysokého stupňa automatizácie a robotizácie tejto technológie. OBZ má neobyčajný význam najmä v priemysle s aplikáciou plechov s hrúbkou od 0,5 do 2,5 mm, ako je napr. výroba karosérií automobilov (obr. 57), kde sa realizuje aj niekoľko tisíc bodových zvarov na jedinej karosérii z bežne niekoľko stoviek výliskov; v technológiách výroby bielej techniky;



Obr.57 Skupinové nasadenie robotov KUKA vo výrobe automobilových karosérií technológiou odporového bodového zvarovania



Obr.58 Zváracie kliešte spolu s hydraulickým servopohonom a so zvaracím transformátorom na odporové bodové zvarovanie

pri produkcii lietadiel, pričom pri výrobe veľkých dopravných lietadiel sa realizuje aj niekoľko miliónov bodových zvarov a pod.

Samotný zvarací proces prebieha pri presne definovanom časovom priebehu tlaku spravidla dvojice proti sebe ležiacich vodou chladených dutých elektród valcovo-kužeľového tvaru zo zliatiny Cu-Cr. Tie sa nachádzajú v tzv. zvaracích kliešťoch (obr. 58) zvieraných silou vyvolanou servopohonom, ktorá je niekoľko kN a počas zvarovania sa mení podľa tlakového diagramu.

Okrem takýchto robotizovateľných dvojstranných systémov sa používajú aj prakticky ťažko robotizovateľné jednostranné systémy s elektricky dobre vodivou podložkou a tiež mnohobodové systémy, realizované inými strojovými zariadeniami. Zvárané plechy sú dva, resp. je ich viac. Medzi elektródami tečie presne definovaný časový priebeh prúdu, fázovo synchronizovaný s tlakovým diagramom, čím vzniká na premenlivom odpore (spravidla niekoľko $\mu\Omega$, resp. desiatok $\mu\Omega$) vplyvom odporu zvarová šošovka. Miesto spoja sa maximálne zohrieva v zóne styku zvarovaných dielcov. Charakteristickým znakom procesu je rýchla plastická deformácia spojená s čiastočným vniknutím elektród do materiálu, počas ktorej sa sformuje zvarový spoj (šošovka), ktorého tvorba trvá približne 0,1 až 0,2 sekundy. Maximálna hodnota zvaracieho prúdu sa pohybuje podľa zvarovaných materiálov v intervale hodnôt 1 až 500 kA, pričom napätie medzi hrotmi zvaracích elektród je 1 až 12 V. Takýmito parametrami musí disponovať jednofázový zvarací transformátor, ktorý je na primárnej strane spravidla riadený cez antiparalelne zapojené tyristory, resp. výkonové triaky. Zvarací transformátor a zvaracie kliešte sú ako jeden celok mechanicky napojené na koncový bod zvaracieho robota ťažkého radu, pretože ich hmotnosť môže byť 80 až 120 kg aj viac. Na zmenšenie tejto hmotnosti používajú niektoré firmy v obvodech výkonovej elektroniky prechod na zvýšenú frekvenciu [71], [72], [73].

Priekopníckou firmou v tejto oblasti robotizácie bola v Európe ako prvá firma VOLVO, ktorá už v polovici 70-tych rokov prechodom na zvýšenú frekvenciu, a to 600 až 1 000 Hz znížila hmotnosť zvaracieho transformátora takmer o 70 %. V tomto prípade však musí zvarací proces aplikovať jednosmerný prúd, preto je k transformátoru potrebný diódový usmerňovač. Okrem už uvedenej výhody tento systém nespôsobuje nesymetrické zaťaženie elektrickej siete. Existujú však aj systémy OBZ s jednosmerným, resp. impulzným prúdom so šírkovou moduláciou impulzov (BWM). Nasadenie robotov do procesov OBZ patrí v súčasnosti k najširším aplikáciám robotov, pričom vyhovujúca presnosť týchto robotov je spravidla $\pm 0,5$ až ± 1 mm.

Roboty musia pre OBZ disponovať aj týmito parametrami: bezpečnostnou konzolou, 6 až 7 stupňami voľnosti (spolu s polohovadlom), PTP a CP riadením (na premiestňovanie veľkej hmotnosti), tvrdo aperiodickými responziami, schopnosťou prijímať riadiace signály z nadradenej počítačovej siete, adaptačnými schopnosťami, vysokou imunitou (EMC) voči silným parazitným elektromagnetickým poliam, nízkou produkciou rušivých signá-

lov (napr. aplikáciou číslcových hrebeňových filtrov [74]), schopnosťou súčinnosti so súborom robotov, prenosnou programovacou riadiacou konzolou, musia mať kadenciu aspoň 30 až 50 zvarov/min. Z európskych výrobcov systémov OBZ možno uviesť napr. firmy KUKA, FATA, COMAU, VOLVO, BOSCH, SCIACHI BISIACH&CARROU a ďalšie. Štruktúry OBZ majú rad náročných regulačných obvodov, ako aj senzorických systémov, napr. regulačný obvod prítlačnej sily elektród, regulačný obvod zväracieho napätia, regulačný obvod zväracieho prúdu, obvod energie dodávanej do zvaru a pod., pričom rad senzorických systémov pre túto technológiu je veľmi náročný [61], [71], [75].

Tvorba zvarovej šošovky má rad fáz, zabezpečovaných riadiacim systémom robota, ako je zvieranie zväracích klieští, prvý a druhý prítlak, prvý prúdový program, tzv. predohrev budúceho spoja, druhý prúdový program s nárastom zväracieho prúdu (proces zvárania), tretí prítlak – doohrev zvaru, štvrtý diagram prúdu, tzv. žihanie zvarovej šošovky a otvorenie klieští. Riadiaci systém robota riadi aj celé systémové okolie, musí rešpektovať napr. polohy jednotlivých zvarov z hľadiska meniacich sa prúdových polí v zváraných materiáloch, šuntovanie prúdov v okolí zvarov a pod [71], [78].

V bývalom Československu bola problematika OBZ, a to v teoretickej aj v praktickej rovine na svetovej úrovni hlavne vďaka VÚZ Bratislava, VÚSTE Praha, VÚSE Běchovice, ČKD, BEZ, ZŤS, VÚKOV a ďalším organizáciám. Napr. vo VÚSTE Praha bol v spolupráci s organizáciou VÚKOV a VVZ ZEZ vyvinutý úspešný adaptívny robot pre OBZ, typ APR 40 s nosnosťou do 80 kg, vo VÚKOV pojazdný robot AM 80 s nosnosťou do 160 kg s pracovným priestorom 1,4 x 4 x 8 m. Vo VÚZ bol napr. vyvinutý aj úspešný adaptívny systém OBZ AUTOSSET-R s riadiacim systémom M1, ktorý zabezpečoval kvalitné bodové zvary aj pri meniacich sa podmienkach, ako sú zmeny povrchu plechov (korózie, masnoty), zmeny hrúbky a počtu zváraných plechov, zmeny v homogenite materiálov, výšková korekcia v smere osi Z, zmeny v nastavení dielcov, zlý dosad výliskov, zmeny v šuntovaní, deformácie v dôsledku ohrevu, zmeny v chladiacom systéme elektród a pod. Tento adaptívny systém bol založený na využití minima a maxima v časovom priebehu odporu medzi elektródami pri tvorbe zvarovej šošovky [71].

Možno konštatovať, že problematika robotizácie OBZ, aj keď je v súčasnosti vysoko rozvinutá, sa bude i naďalej zdokonaľovať a že táto problematika bude pozitívne vplývať aj na príbuzné odvetvia robotizácie technologických procesov.

15.3 Robotizácia elektrického oblúkového zvárania v ochranných atmosférach plynov taviacou elektródou

Táto technológia označovaná ako GMAW (Gas Metal Arc Welding), resp. MIG/MAG, ktorú budeme ďalej označovať skratkou EOZ, je vysoko rozvinutou, veľmi efektívnou a jednou z rozhodujúcich bezodpadových nerozoberateľných technológií. Ide o technológiu spájania dielcov (zvarencov), pri ktorej sa spojitou tvorí tzv. zvarová húsenica lokálnym roztavovaním okrajov zvarovej drážky s pridávaním roztaveného kovu drôtovej plnej alebo rúrkovej elektródy s priemerom 0,6 až 1,8 mm, resp. pri rúrkovej elektróde 2 až 2,6 mm s legúrami v dutine elektródy, ktoré sú umiestnené na veľkorozmerových bubnoch (aj 100 kg). EOZ predstavuje mimoriadne zložitý tepelno-metalurgicko-chemický proces vyvolaný prítomnosťou elektrického oblúka. Tento proces z hľadiska subjektu výrobnéj technológie patrí medzi fyzicky a hygienicky najnáročnejšie procesy. Ide predovšetkým o tieto dehumanizujúce faktory: produkovaný hluk (75 až 90 dB), spaliny - plynné produkty (pri ochrannej atmosfére CO₂ vzniká CO), ozón, radiácia, poškodzovanie zraku – zápaly spojiviek, stres z neopraviteľnosti produktu, UV žiarenie, prehriatie, monotónna činnosť a ďalšie faktory. Z uvedených dôvodov nastáva veľká únava zväračov, ktorí musia robiť časté oddychové prestávky, čím sa tzv. koeficient

horenia oblúka redukuje približne, a to aj u najskúsenejších zväračov, na 0,18 z celkovej hodnoty pracovnej zmeny. Robotizáciou tohto procesu ide najmä o oddialenie subjektu od tohto procesu. Robotizáciou EOZ sa však navyiac mnohonásobne zvyšuje produktivita práce (uvažovaný koeficient horenia oblúka môže dosahovať hodnotu aj 0,95), zvyšuje sa kvalita produktov a zaťraktívňuje sa profesia zväračov – operátorov procesu.

Hlavné oblasti EOZ sú: dopravné prostriedky, ako automobily, vagóny, lokomotívy, lode, lietadlá, žeriavy, zemné a poľnohospodárske stroje, stavebné stroje, oceľové mosty a konštrukcie, frémy obrábacích strojov, jadrové reaktory, stožiare elektrických vedení, plynové, vodovodné a ropovodné potrubia a rad ďalších oblastí [76].

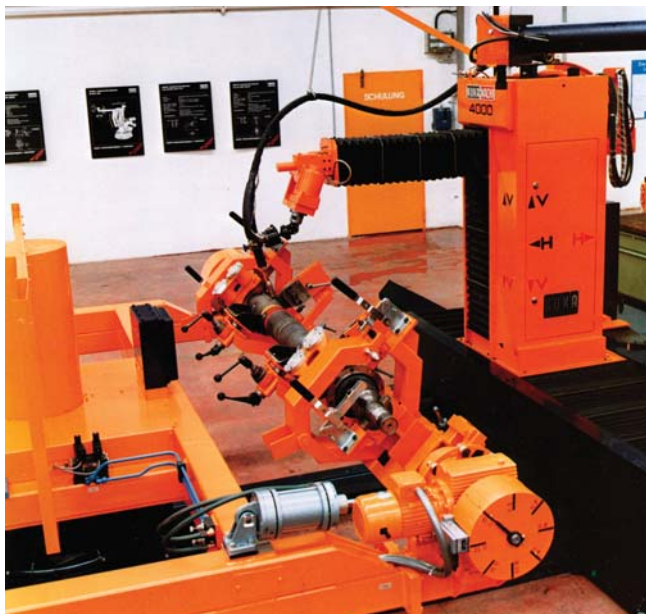
EOZ je možné aj pod vodou do hĺbok približne 300 m a v kozme, kde v bývalom ZSSR realizovali prvé kozmické zvary v r. 1969 na lodi SOJUZ 6. Nie je nezaujímavé, že v SR bol metódou EOZ vyrobený v r. 1996 v SES Tlmače stator najväčšieho synchronného elektromotora sveta s výkonom približne 400 MW s vonkajším priemerom 19,8 m pre firmu FKM TECHNOLOGY CONTROL. Motor bol určený pre Mexiko na pohon drviča rúd [77].

Zdrojom tepla pri EOZ je elektrický oblúk, ktorý horí spravidla medzi elektródou a zvarencami väčšinou v ochrannej atmosfére plynov, pričom sa používa najmä CO₂. Elektrický oblúk predstavuje ionizovanú atmosféru plynov a pár. Elektrický oblúk je v tomto procese nestacionárnou mnohoparametrovou nelineárnou regulovanou sústavou v regulačnom obvode zväracieho napätia a prúdu. Elektrický oblúk je vysokokoncentrovaný zdroj tepla. V jadre oblúka je teplota 6 000 až 7 000 °C. Elektrický oblúk ako regulovaná sústava nemá dosiaľ vypracovaný exaktný matematický model. Napätie na oblúku pri EOZ je spravidla pri zváraní oceľových konštrukcií v intervale 14 až 24 V pri dĺžke oblúka niekoľko milimetrov (spravidla 3 až 8 mm). Zvärací prúd dosahuje hodnoty do niekoľko 100 A. Zdroje zväracieho prúdu so špeciálnou prevodovou charakteristikou s napätím naprázdno približne 75 V sú s polovodičovým riadením a musia mať veľmi dobrú dynamiku. Jednosmerný zvärací prúd zabezpečuje dobré zapáľovanie oblúka, jeho stabilitu a dáva možnosť zvárania v rôznych polohách (vodorovne, šikmo, zvisle, nad hlavou).

Pri robotizovanom EOZ je zvärací robot nosičom zväracieho horáka (zvärače hubice), cez ktorý je transportovaná elektróda do zväracieho procesu pomocou rýchlostného servopohonu s veľkými zmenami zaťaženia, pričom rýchlosť podávania elektród je z intervalu hodnôt od 0,1 do 20 m/min. V zväracom horáku sa môže nachádzať tzv. mimoriadne náročná kontaktná špička, ktorou sa privádza elektrický prúd do transportovanej drôtovej elektródy. Druhý pól zdroja je napojený cez polohovadlo na zvarence systému. Do zväracieho horáka sa privádza aj plyn, ktorý zabezpečuje vysoký stupeň ochrany zväracieho kúpeľa od negatívnych účinkov vzduchu, plyn ďalej dáva možnosť vizuálneho sledovania procesu a jeho regulácie cez snímaciu kameru. Ďalej plyn zabezpečuje vyššiu produktivitu a kvalitu procesu, nízke náklady na plyn (CO₂), možnosť hlbokého prievaru, ako aj ľahkú dopravu plynu na miesto zvaru. Ide o vynikajúcu technológiu na zváranie konštrukčných uhlíkových a nízkoalloyovaných ocelí.

EOZ predstavuje z hľadiska robotizácie a automatizácie veľmi zložitý a náročný mnohoparametrový neautonómny nelineárny komplexný systém s radom regulačných obvodov s rôznymi senzorickými systémami, ktorých syntéza je mimoriadne náročná [71]. Ide najmä o regulačné obvody zväracieho napätia, prúdu, dĺžky oblúka, riadenie transportu zvärače elektródy, polohovanie a orientácia zväracieho horáka, polohovanie a orientáciu zvarencov, čistenie horáka od kondenzovaných kovových pár a výtrusov, kontrolu začiatku a konca zvarov, obchádzanie prekážok a pod.





Obr.59 Elektrické oblúkové zváranie valcových zvarencov robotom KUKA 4000 v ochrannej atmosfére plynov

Požiadavky kladené na súčasné roboty pre EOZ sú: nosnosť 6 až 10 kg, 5 až 6 stupňov voľnosti okrem polohovadiel, možnosť činnosti na zvislej stene a na strope, prípadný pojazd robota, presnosť $\pm 0,5$ mm s tendenciou $\pm 0,2$ mm, minimálna rýchlosť premiestňovania 1 m/s, vysoká spoľahlivosť a dlhá prevádzková životnosť, plazivá rýchlosť aj pod 1 mm/s, možnosť programovania metódou TEACH IN, joystick na prenosnej riadiacej konzole, lineárna a kruhová interpolácia, riadenie CP a PTP, vysoká imunita (EMC) riadiaceho systému, pamäť minimálne na 30-minútové cykly, možnosť 3D posunu trajektórií pri viacvrstvových zvaroch, podprogram na rôzne časové priebehy pendlovania (napr. priečne periodické kmity zváracieho horáka s amplitúdou do niekoľko mm a s frekvenciou do 2 Hz, bezpečnostná konzola, automatické testovanie a hľadanie porúch cez internet v servisných centrách, zrkadlové programovanie (preklopenie programu pri symetrických zvaroch) a ďalšie požiadavky. Tvorba programov a ich testovanie pre robotizované EOZ je spravidla veľmi zdĺhavá a náročná najmä na technologické vedomosti a schopnosti. Program zvarovej trajektórie sa tvorí pomalými pohybmi zváracieho horáka po trase budúceho zvaru, a to bez elektrického oblúka. Robot sa spravidla riadi z prenosnej ovládacej konzoly, a to vrátane všetkých naklonení horáka vzhľadom na normálu zvaru. Programovo sa zabezpečujú aj koordináty začiatku a konca zvaru, ako aj koordináty a spôsob obchádzania prekážok, časový priebeh zváracieho prúdu, a to aj nábeh a dobeh, vzdialenosť horáka od zvarencov, dĺžka oblúka, spôsob zapalovania a zhasňania oblúka, prietok a skladba ochranných plynov, optimálne naklonenie zvarencov na polohovadle, automatické čistenie horáka, program odsávania plynných spalín, chladenie horáka a ďalšie faktory. Niektoré z týchto požiadaviek môžu byť riešené v pomocných zariadeniach, ako je napr. jednotka programovania parametrov oblúka (JPPO). Na ilustráciu je na obr. 59 uvedené pracovisko EOZ s robotom KUKA 4000 aj s otočným polohovadlom na zváranie valcových zvarencov.

Zváracie pracovisko EOZ s jediným robotom a spravidla s otočnými polohovadlami je schopné nahradiť 6 až 8 kvalifikovaných zvaračov, čo umožnilo v posledných dvoch desaťročiach premiestniť v Európe do iných technológií niekoľko stotisíc zvaračov.

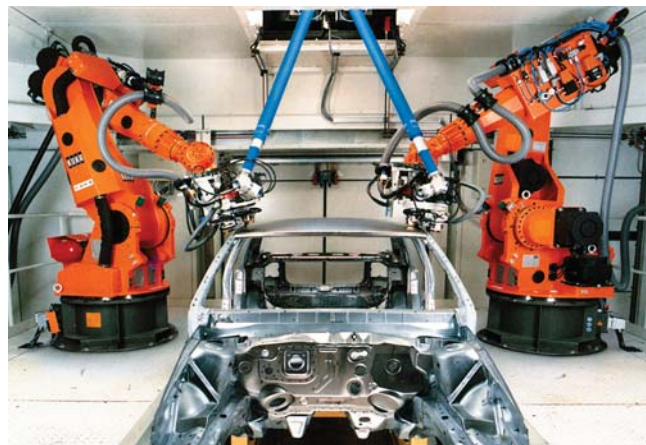
V historickom vývoji robotizácie EOZ v 80-tych rokoch zohrala mimoriadnu úlohu adaptivita týchto procesov, a to polohová adaptivita, kde je adaptívny robot schopný rešpektovať nie celkom presné upnutie zvarencov do polohovadiel, nie celkom presnú výrobu zvarencov a takisto skutočnosť, že v dôsledku silných

tepelných polí môže nastať výrazná deformácia zvarencov, čo by znamenalo, že zvar bude kladený tvrdým programom na nesprávne miesto. Vyššou formou adaptivity je tzv. procesová adaptivita, ktorá má zabezpečiť automatické správne realizovanie zvarov, napr. ak dochádza k zmene hrúbky materiálu v procese tvorby zvarovej húsenice, ak sa treba rozhodnúť pre viacvrstvové zvary, ak jej povrchová štruktúra (ktorá nesie významné informácie o kvalite zvaru) nie je uspokojivá a pod. Jednu z metód polohovej adaptivity začiatkom 80-tych rokov vyvinul ÚTK SAV, pričom boli aplikované taktilné silovo-momentové senzorické systémy, mechanicky vedené pred zváracím horákom, ktoré zabezpečovali v 3D podmienkach okrem iného príslušnú polohovú korekciu zvarovej hubice od tepelných deformácií. Neskôr sa špeciálnou stereo-kamerou vyvinul systém na sledovanie polohy tvorenej zvarovej húsenice v relácii k zvarovej drážke, čo predložila firma IGM so systémom ISIP (IGM-Stereo-Image-Processing) [79]. Prvou firmou, ktorá upriamila pozornosť iným smerom na riešenie polohovej adaptivity bola firma ESAB, ktorá v roku 1981 realizovala takéto systémy na báze externého vychyľovania elektrického oblúka magnetickým poľom. V súčasnosti v tejto oblasti dominujú napr. systémy, kde je samotný elektrický oblúk pri technologickom procese nad zvarovou drážkou vychyľovaný periodicky s amplitúdou niekoľko milimetrov a s frekvenciou napr. 1 až 2 Hz. Môže ísť o taký časový priebeh periodického vychyľovania horáka, ktorý zabezpečí optimálnu dodávku tepelnej energie napr. do koreňa zvaru. Tieto periodické pohyby menia dĺžku elektrického oblúka, a teda aj jeho elektrické parametre. Prípadná nesymetria „impedancie“ oblúka je automaticky vyhodnocovaná a z hľadiska strednej hodnoty prúdu je zabezpečovaná jej symetria, čím je zabezpečené aj správne vedenie horáka po osi zvarovej drážky.

Problematicku robotizácie EOZ významne pozdvihli firmy ESAB-ASEA, CLOS, REIS, KUKA, IGM, TORSTEKNIK, ARCOS, FRONIUS, PRAB, CINCINATI, CYCLOMATIC, TOSHIBA, MITSUBISHI, HITACHI a rad ďalších.

V bývalom Československu to boli najmä organizácie: VÚZ (napr. aj so svojím kapacitným adaptívnym systémom pre kútové zvary), ZTS, ČKD, TZS, ÚTK SAV, ŠKODA, VÚSE, BEZ a ďalšie.

Možno konštatovať, že táto nesmierne významná robotická technológia sa bude ďalej zdokonaľovať, napr. aplikáciou laserového zvarovania, ktoré prináša do tejto oblasti novú kvalitu aj v tom, že umožňuje zvarovanie aj z veľkej vzdialenosti na inak robotom nedostupných miestach. Na obr. 60 je uvedený súbor laserových robotov KUKA-CO₂ pri privarovaní strechy automobilovej karosérie ku skeletu, pričom výkonové lasery sú umiestnené nad stropom objektu. Laserové lúče sú vedené ochranným potrubím a polohované pomocou laserových zrkadiel spolu s koncovým bodom robota.



Obr.60 Laserové roboty KUKA-CO₂ pri oblúkovom privarovaní strešnej časti automobilovej karosérie

Na inom mieste tohto čísla AT&P journalu sa uvádzajú ďalšie parametre a aplikácie zvaracích robotov, problematika ich programovania, ako aj robotizované technológie.

Literatúra

[69] WESTERLUND, L.: The Extended Arm of Man. Informationsförlaget, Stockholm, 2000.

[70] LEŠINSKÝ, J.: Inú šancu ako vodík nemáme. In: Pravda, 5. 10. 2004, s. 23.

[71] KALAŠ, V.: Robototechnika. Skriptum pre postgraduálne štúdium, EF SVŠT, Bratislava 1989 a prednášky z disciplíny Robototechnika pre študijné zameranie Robotika.

[72] MATÚŠ, V. a kol.: Meničové zdroje zvarovacieho prúdu pre odporové zvarovanie. In: Zváranie, 1990, č. 2, s. 50 – 51.

[73] KOŽÍŠEK, J.: Automatizace a robotizace na výstavě Essen '90. Strojářenská výroba, 1990, č. 10, s. 46 – 64.

[74] MIŠEK, J.: Sieťové rušenie a možnosti zvýšenia statickej presnosti A/D prevodníkov. In: AT&P journal 1996, č. 6, s. 15 – 16.

[75] VÚZ Bratislava – Informácia o číslicovom senzore – systéme WPM 200 k snímaniu zvarovacieho prúdu z intervalu 20 až 200 kA.

[76] SAMEK, E., STRINKA, R.: Zváranie v ochrannnej atmosfére taviacou elektródou. Bratislava: ALFA 1982.

[77] Referát v časopise Elektrotechnika a energetika, 1996, č. 4, s. 27.

[78] ŠTEPÁŘ, V., URICH, A.: Řídící systém průmyslových robotů OB2 – tlakový a proudový diagram. In: Elektrovýskum VÚSE Běchovice 1984, č. 3 – 4, s. 43 – 49.

[79] Firemné materiály firmy IGM o kamerovom stereosystéme na snímanie polohy zvarovej húsenice.

prof. Ing. Václav Kalaš, DrSc.

**Slovenská technická univerzita
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava
e-mail: vaclav.kalas@stuba.sk**

21

