

Tridsať rokov svetovej robotiky (10)

Václav Kalaš

Robotizované technológie pre tretie tisícročie

15.4 Robotizácia montážnych procesov

Montážne procesy (MP) ako také predstavujú spájanie jednotlivých dielcov – (súčiastok, komponentov) do súborov, ktoré reprezentujú funkčné celky. Ide najmä o montáž mechanických, elektrických, elektronických a kombinovaných súborov. Z hľadiska technologického procesu montáž reprezentuje realizáciu množiny elementárnych montážnych operácií nad množinou súčiastok. Zmontovaný výrobok je teda konštrukčne a funkčne ucelená sústava navzájom spojených súčiastok – elementov, ako sú: skrutky, matice, odpory, integrované obvody a pod., ktoré predstavujú montážnu skupinu 0-tého rádu. Zo súčiastok vzniká montážna skupina 1. rádu, napr. osadená a precínovaná doska plošných spojov. Zo skupín 1. rádu vznikajú montážne skupiny 2. rádu, pričom ide o funkčný podblok atď., až vznikne výrobok ako montážna skupina n-tého rádu, ako napr. práčka, televízor, počítač, automobil a pod.

MP je ovplyvnený tým, že komponenty procesu sa vyrábajú na rôznych miestach a v rôznom čase. Ďalej je to oblasť, kde sú ručné úkony dominujúce a ich štruktúra je veľmi rozmanitá. V MP sa kladú vysoké požiadavky na činnosť ľudských zmyslových orgánov, najmä pri identifikácii dielcov, ich polohovaní, orientácii a usadzovaní.

Postupne sa v tomto technologickom procese vyvinula automatizácia MP zavádzaním univerzálnych montážnych automatov, neskôr jednoúčelových montážnych automatov, čo prerástlo do robotizácie MP. Mnohé MP stále však ešte odolávajú robotizácii pre svoju zložitosť, potrebnú veľkú flexibilitu, montážnu rýchlosť a vysokú presnosť, nedostatočnú imunitu robotických systémov z hľadiska elektroniky, optiky snímacích kamier a niektorých materiálov proti žiareniam, napr. v jadrových elektrárnach, v koz-

mickom priestore a pod. V MP sa vyžaduje často extrémna presnosť, a to z intervalu hodnôt od 0,1 až do 0,001 mm [71], [80].

Na obr. 61 je uvedený špeciálny vizuálny systém automatického testovania robota z hľadiska statickej i dynamickej presnosti, ktorá sa postupne najmä vplyvom mechanických opotrebovaní zhoršuje. Pritom je však už dve desaťročia napr. v automobilovom priemysle výrazne rozvinutá robotizácia MP, napr. montáž podskupín motorov, prevodoviek a pod., nasadenie náprav, kolies a ich momentové utiahnutie, nastavenie geometrie prednej nápravy, montáž dverí, osadenie akumulátorov, nasadenie prístrojovej dosky, sedadiel atď. Pritom však MP ako také sú v súčasnosti potenciálne najväčším zdrojom ďalšieho rastu nasadzovania robotov do technologických procesov. Je to tým, že montáž v porovnaní s inými výrobnými technológiami zaznamenala najmenšie zmeny, aj keď znamená v niektorých prípadoch 30 až 50 % nákladov na výrobu.

Zámerom robotizácie MP je postupné vylúčenie subjektívneho činiteľa z tohto nehumánneho monotónneho procesu, pretože robotizáciou stúpa humanizácia procesu, kvalita MP, produktivita práce a výrazne rastie (aj o 30 %) spoľahlivosť montovaných celkov a zvyšuje sa aj bezpečnosť práce.



Obr.61 Testovanie presnosti robota pomocou vizuálneho systému a PC



Obr.62 Precízny montážny kartézsky robot ACCUSEMBLER TM japonských firiem SEIKO-EPSON

Spravidla najväčšiu dlhodobú presnosť zaručujú kinematické štruktúry robotov kartézskeho typu – obr. 62, kde je uvedený precízny kartézsky robot ACCUSEMBLER TM SEIKO-EPSON určený na montáž mikroelektronických súborov, náramkových hodín a pod. Má rýchlosť 2,9 m/s, presnosť $\pm 0,02$ mm, DC servopohony, programovací jazyk SPEL, pamäť C-MOS RAM, ako aj program vlastného testovania. Celkovo ide o rodinu 7 robotov série SSR-H s nosnosťou od 1,5 do 6 kg [81]. Menej presné sú cylindrické kinematické systémy a najnepriaznivejšie sférické štruktúry, kde sa chyby v jednotlivých kinematických dvojiciach sčítavajú. Triedenie kinematických štruktúr robotov podľa IFR (International Federation of Robotics) je uvedené napr. v [82]. V Japonsku sa prvé montážne roboty aplikovali už v prvej polovici 70-tych rokov, a to typy Hi-Hand EXPERT 2, resp. 4, ktoré boli schopné napodobňovať mechanické a hmatové funkcie ľudských prstov. V historickom vývoji montážnych robotov znamenalo veľký pokrok v r. 1980 uvedenie japonských systémov typu

SCARA (prof. MAKINE), pričom išlo o myšlienku tzv. selektívneho lícovania s aplikáciou adaptívnych metód.

Jednou z priekopníckych európskych firiem v oblasti MP bola talianska firma OLIVETTI, ktorá už v r. 1979 mala montážny model SIGMA, ktorý pracoval v kartézskych súradniciach s presnosťou $\pm 0,1$ mm, s maximálnou rýchlosťou 0,53 m/s a so záťažou 10 kg. Ďalší úspešný taliansky robot PRAGMA MPR 3000 bol od firmy DEA Turín. Tento kartézsky robot v licencií s názvom ALLEGRO vyrábala aj americká firma GENERAL ELECTRIC a Japonsko. Robot dosahoval presnosť $\pm 0,025$ mm, mal rýchlosť 1,1 m/s s hmotnosťou do 7,5 kg. V USA najúspešnejší montážny robot v 80-tych rokoch bol robot firmy UNIMATION, typ PUMA (NOKIA) – obr. 63. Robot mal 6 stupňov voľnosti, programovací systém VAL, DC servopohony, takmer guľový pracovný priestor, disponoval montážnou silou do 58 N, mal presnosť $\pm 0,05$ mm, nosnosť 0,9 kg a maximálnu rýchlosť 1 m/s. Postupne vznikli v USA ďalšie vynikajúce montážne roboty, napr. ADEPT ONE na elektronickú montáž. Robot mal kinematiku typu SCARA, rýchlosť do 5 m/s a presnosť $\pm 0,007$ mm.

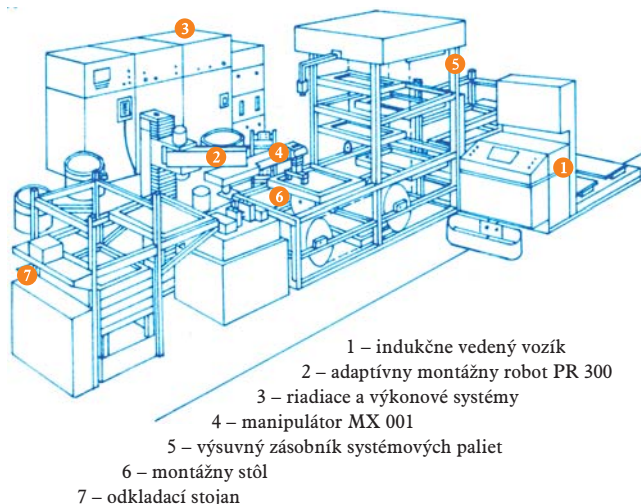
V bývalom Československu možno z montážnych robotov uviesť napr. roboty ZTS: PR 300, OJ 10; VÚKOV: APR 2,5, MX 01, PR 04; TESLA VRUSE-KAR EF: ROTES 02-1; PRIM Chronotechna Šternberg; České závody motocyklové Strakonice: PROB 10, PROB 20 a ďalšie.



Obr.63 Špičkový montážny robot americkej firmy UNIMATION (NOKIA) z 80-tych rokov

Z hľadiska automatizácie a robotizácie možno MP charakterizovať ako zložitý mnohorozmerný neautonómny proces diskretného charakteru. V tomto procese je vysoká intenzita materiálového a informačného toku s cieľom získať najvýznamnejšie ukazovatele kvality, presnosti a rýchlosti montáže, čo je výťažnosť tohto procesu s tendenciou minimalizovať zásoby – metóda JIT (Just In Time), pričom tento proces môže mať stochastický charakter. Ak MP vykonáva človek, jeho operácie sa javia ako pomerne jednoduché, čo je dané obrovskými logickými schopnosťami ľudského mozgu a veľkými kinematickými schopnosťami pohybových orgánov človeka. Pri robotizácii MP nie je spravidla vhodné kopírovať činnosť človeka, ale riešenie úlohy zabezpečiť inými dômyselnými systémami a technologickosťou konštrukčných návrhov dielov z hľadiska ich budúcej robotizácie. Z toho vyplýva, že už pri návrhu komponentov aj celkov treba uvažovať s optimálnymi možnosťami robotizovaných operácií. Pritom v MP je vysoká závislosť kvality a produktivity montáže od predchádzajúcich fáz výroby, napr. dodržiavanie tzv. montážnej kvality komponentov, čo treba zabezpečiť ich zodpovednou automatickou kontrolou pred ich vstupom do MP. MP sú realizované niekoľkými možnými montážnymi systémami, ako sú synchronne, asynchronne, hniezdové, resp. skupinové montážne systémy [83]. Úspešnosť robotizovanej montáže závisí aj od montážnej kvality komponentov a ich vzájomnej presnosti, polohovania a orientácie vo vlastnom MP, čo možno riešiť použitím extrémne presných montážnych robotov a polohovadiel, adaptívnymi prostriedkami s použitím menej presných robotov alebo aplikáciou inteligentných robotov. V súčasnosti možno za optimálne považovať použitie adaptívnych prístupov, ktoré si však vyžadujú pomerne zložitú senzorickú štruktúru, napr. 6-zložkové silovo-momentové systémy [84], [85], ktoré sme stručne uviedli v kapitole (8).

V vybraných jednoduchších MP možno úspešne riešiť tzv. pasívnu adaptívnu montáž, napr. „mäkkými“ priečnymi pohybmi



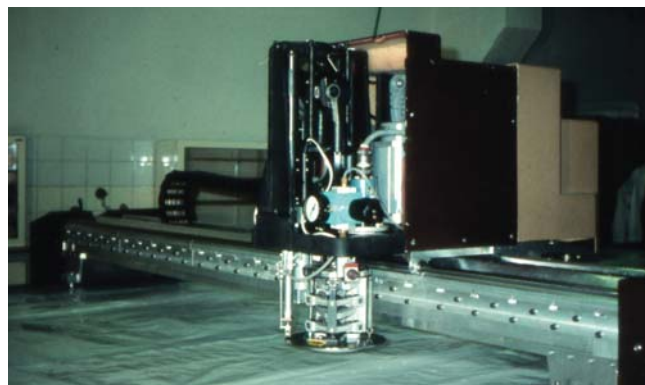
Obr.64 Stavebnica robotizovaných montážnych komplexov ZTS (r. 1989)

montovaného elementu vzhľadom na základ, resp. kruhovými, vlnovitými, osmičkovými, špirálovými, hypocykloidovými a pod. pohybmi. Iný spôsob je napr. využitie nízkofrekvenčných aerodynamických účinkov stlačeného vzduchu za súčasného pôsobenia montážnej sily. Prípadne môže ísť o systémy, ktoré aplikujú mechanické poddajné členy v chápadle robota, ktoré umožňujú realizovať v určitom rozsahu, napr. osového vybočenia vkladaneho elementu lícovací proces. Aktívny adaptívny proces napr. so 6-zložkovými silovo-momentovými systémami umožňuje pri vsúvaní elementu do skladaného súboru riešiť automaticky minimálnu montážnu silu, resp. moment systému, ktorý kladie najmenší montážny odpor spájaných komponentov [86], [87].

V robotizovaných MP ide spravidla o montážne komplexy so zložitým systémovým okolím, prípadne aj so súčinnosťou viacerých robotov. Na obr. 64 je na ilustráciu uvedené experimentálne robotizované montážne pracovisko ZTS s konca 80-tych rokov na báze modulárnej stavebnice na montáž uzlov diesellových motorov. V uvedenom montážnom komplexe sa okrem komponentov označených v obr. 64 nachádzajú ešte vibračné zásobníky, skrutkovacie jednotky, súbor montážnych nástrojov a ďalšie komponenty. Adaptívny robot PR 300 mal v zápästí zabudovaný 6-zložkový silovo-momentový senzorický, ako aj vizuálny systém. Vývoj tohto komplexu zabezpečoval ZTS UTAR Bratislava so spoluúčasťou VVÚ Zvolen, EVÚ Nová Dubnica, ÚTK SAV, VÚNAR Nové Zámky a ZTS Martin [88]. K problematike MP sa ešte vrátíme neskôr v súvislosti s umelou inteligenciou a vizuálnymi systémami.

15.5 Robotizované technológie delenia materiálov

Jeden z možných fyzikálnych princípov delenia (rezania) materiálov je aplikácia kmitajúceho ozubeného noža. Na obr. 65 je uvedený takýto súradnicový rezací adaptívny systém s aktívnou plochou obrábacieho masívneho oceľového CNC stola s rozmermi

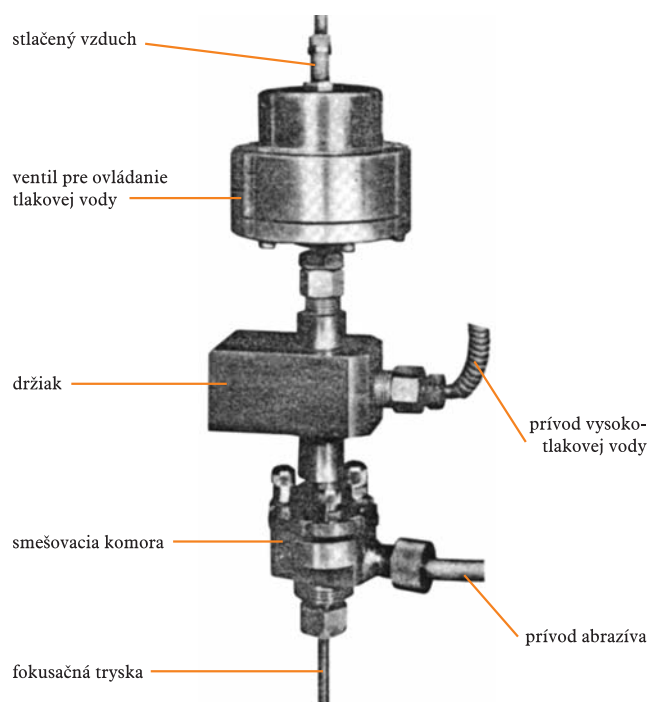


Obr.65 Technologický súradnicový stôl pre textilný priemysel – ŠVUT, KAR EF SVŠT, UK Bratislava (r. 1986)

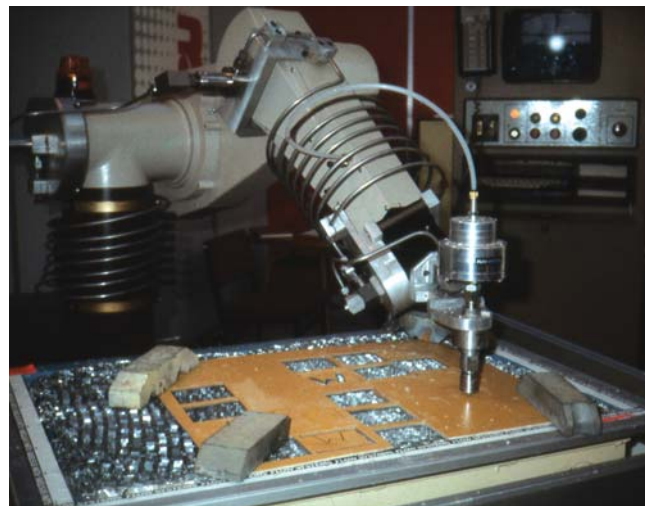
9 000 x 1 950 mm, so štyrmi stupňami voľnosti (x, y, z, ϕ), ktorý bol produktom medzinárodného výskumného programu ŠVÚT Bratislava za bezprostrednej, aktívnej spolupráce s KAR EF SVŠT a UK Bratislava.

Nad uvedeným pracovným poľom jazdí v smere osi x portál, na ktorom sa nachádza technologická deliaca hlavica s kmitajúcim nožom v osi z a s uhlom natočenia prístroja ϕ , pričom rezacia hlava sa pohybuje v osi y. Amplitúda a frekvencia kmitov rezacieho nástroja je nastaviteľná. Na technologický stôl je meandrovito naskladaný textil (aj do 100 vrstiev), ktorý je pomocou vrchnej fólie a podtlakového systému prisávaný zospodu k dierkovanému stolu, čím celý systém textilných vrstiev výrazne stvrdne. Kmitajúci ozubený nástroj vykrajuje naraz zo všetkých vrstiev textilu diely oblekov, ktoré majú svoje matematické modely uložené v riadiacom počítači. Presnosť systému v celom rezacom poli bola $\pm 0,5$ mm, rýchlosť naprázdno bola 0,45 m/s. Portál bol lepený leteckými technológiami a mal spolu s rezacou hlavou hmotnosť 130 kg. Všetky servopohony boli s krokovými motormi s drobným krokom. Systémy boli s pružnou spätnou väzbou a s regulačným obvodom polohy s procesormi I8748. Systém si automaticky vykoná rezací plán tak, aby bol minimálny odpad textilu. Systém možno použiť aj v iných technológiách, napr. pri spracovaní dreva a kože. Tento systém, ktorý znamenal revolúciu v oblasti automatizácie textilného priemyslu, je uvedený na obr. 65.

Jednou z najmodernejších, mimoriadne úspešných a perspektívnych metód delenia kovových aj nekovových materiálov je rezanie vysokoenergetickým tenkým vodným lúčom. Túto technológiu vyvinuli americké firmy FLOWSYSTEMS a INGERSOLL-RAND v r. 1980 v súvislosti s požiadavkami NASA na delenie keramických materiálov určených na tepelnú ochranu vonkajšieho pláštá raketoplánov. Firma INGERSOLL-RAND zabezpečuje aj v súčasnosti takmer polovicu svetovej produkcie systémov na delenie materiálov touto technológiou. Tieto systémy pracujú s tlakom vody do 300 MPa, pričom rýchlosť vodného lúča dosahuje hodnoty do 2 M. Priemer fokusačnej diamantovej dýzy je 0,1 až 0,4 mm. Kinetickú energiu vodného lúča možno navyše podstatne zvýšiť aplikáciou abrazív, t. j. napr. vhodného ostrého kremičitého piesku. Rezacia hlava má hmotnosť približne 2,5 kg, čo umožňuje dobrú robotizáciu tohto technologického procesu. Prívod tlakovej vody je riešený tenkou vysokotla-



Obr.66 Konštrukčné usporiadanie technologickej hlavice rezania materiálov vodným lúčom



Obr.67 Robotizované rezanie materiálov metódou vysokotlakového vodného lúča



Obr.68 Produkty rezania vodným lúčom

kovou oceľovou trubičkou, pričom táto trubička musí mať pružné vlastnosti, resp. stočenie do špirály. Generátor tlakovej vody, ktorý je dominantnou časťou zariadenia, obnáša v primárnom hydraulickom okruhu hlavnú olejovú pumpu poháňanú 20 až 40 kW motorom. Systém má ďalej cylindrické vodné multiplikátory v sekundárnom hydraulickom okruhu. Spotreba zmäkčenej vody je pri rezaní v uzavretom cykle približne 4 l/min. Touto technológiou možno rezať ocel do hrúbky 80 mm a železobetón do hrúbky 300 mm. Rýchlosť rezania pri aplikácii abrazív a hrúbke materiálov 10 mm je takáto: nehrdzavejúca ocel – 230 mm/min., titán – 270 mm/min., hliník – 700 mm/min., mramor – 800 mm/min., sklo – 600 mm/min. [89]

Na obr. 66 je uvedené konštrukčné usporiadanie technologickej hlavice rezacieho systému vodným lúčom.

Na obr. 67 je robot PM-01 ako nosič rezacej hlavice, kde dobre vidieť špirálový prívod tlakovej vody, ako aj celú rezaciu hlavu s vysokotlakovým ventilom. Rez je mimoriadne kvalitný a spravidla ho už netreba ďalej upravovať – obr. 68. Na Slovensku produkuje pre túto technológiu technologické digitálne CNC súradnicové stoly firma MICROSTEP Group Bratislava, napr. obr. 23 v kapitole (4) nášho seriálu.

Súčasným svetovým boomom v oblasti delenia materiálov je aplikácia plazmových technológií. Plazma vzniká v špeciálnom plazmovom horáku (dýze) disociáciou a ionizáciou plazmového plynu (Ar, H) pri prechode elektrického jednosmerného prúdu, a to aj niekoľko sto A. Výstupná rýchlosť plazmy sa pohybuje okolo

1 000 m/s a teplota pri zmesi plynov Ar + H môže dosahovať až 16 000 °C. Tento proces je sprevádzaný radom zdravotných rizík a je jedným z dôvodov automatizácie tohto procesu. Delenie kovových materiálov uvedeným plazmovým oblúkom sa vyznačuje mimoriadne čistým rezom, ktorý spravidla už netreba ďalej upravovať. Na Slovensku sa tejto problematike z hľadiska výroby technologických zariadení venuje Prvá zväračská, a. s., (bývalý VÚZ Bratislava) a MICROSTEP GROUP Bratislava. Na obr. 69



Obr.69 Šikmé plazmové rezanie ocele s hrúbkou 13 mm – MICROSTEP GROUP (r. 1999)

sú výrobky rezané plazmovým argónovým oblúkom, pričom ide o šikmé rezanie ocele s hrúbkou 13 mm. Rezanie sa realizovalo na CNC zariadení MICRO-CUT-P v súradnicovom systéme MICROSTEP GROUP Bratislava [90].

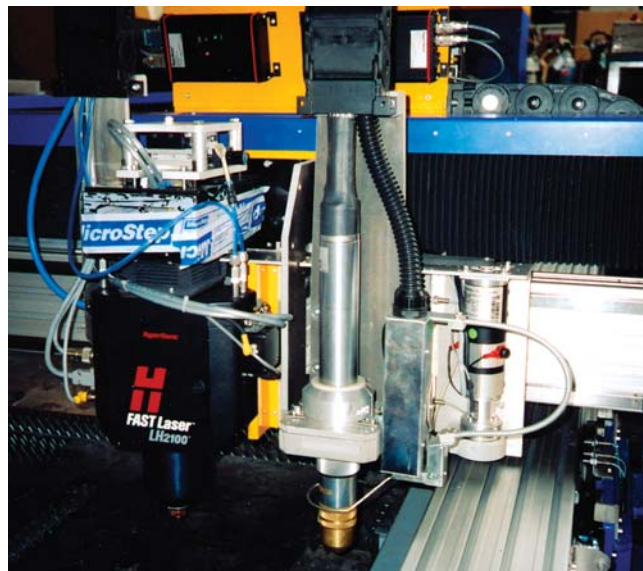
Za mimoriadne perspektívne systémy delenia materiálov možno ďalej označiť laserové systémy, a to najmä s výkonovými lasermi CO₂. Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) je zdroj dokonale ovládateľného žiarenia,

ktorého objav možno pokladať za jeden z najväčších úspechov vedy a techniky v 20. storočí. Vyznačuje sa monochromatickosťou (len jednou vlnovou dĺžkou), koherenciou (rovnakým fázovým stavom všetkých lúčov) a malou divergenciou (rozbíhaním). Laserový lúč je zdrojom sústredeného zväzku fotónov. Pri delení materiálov ide o aplikáciu kontinuálnych laserov. Laserové delenie kovových aj nekovových materiálov umožňuje zvýšiť produktivitu práce, presnosť delenia a čistotu rezu. Napr. 1 kW CO₂ laser môže rezať oceľ do hrúbky 12 mm. Proces rezania laserom je bezkontaktný, na materiál nepôsobia prakticky žiadne sily, čo znižuje požiadavky na upínacie zariadenia. Laserový lúč môže byť zaoštrovaný na priemer aj 0,2 mm, čo dáva hustotu výkonového toku pri 1 kW CO₂ laseri 3,5 MW/cm². Výsledkom môže byť veľmi čistý a úzky rez s minimálnym tepelným ovplyvnením okolia rezu a s minimálnymi požiadavkami na dokončovacie práce. Delenie materiálu sa realizuje vyparovaním materiálu alebo tavením s vyfukovaním taveniny z oblasti rezu pomocou inertného plynu. Rýchlosť rezania je pomerne vysoká.

Aplikácia robotov pri laserovom delení materiálov náleží do tzv. energolúčových robotechnológií, kde sú v podstate možné 4 konfigurácie spojenia robota a laserovej hlavice, a to: 1. laserová hlavica je pevná a robot polohuje delený materiál, 2. robot má na koncovom člene prichytenú laserovú hlavicu, pričom laserový lúč zo stabilného lasera je transportovaný do hlavice pomocou sústavy laserových zrkadiel a ich pohyb je synchronizovaný s pohybom robota, 3. konfigurácia podobná ako v bode 2, ale laser je nesený robotom spravidla na prvom ramene, 4. pri menšom výkone lasera (asi do 500 W) sa môže laserový lúč transportovať z lasera do hlavice špeciálnym zväzkom optoelektronických vlákien.

Laserová hlavica pozostáva z fokusačnej šošovky, prívodu aktívneho, resp. inertného plynu, vlastnej laserovej dýzy, chladiaceho a odsávacieho systému, senzorického systému polohy atď. Môže ísť o pomerne veľmi zložitú zariadenie (obr. 70 – laserová hlavica), pričom ide o deliaci kombinovaný systém laser – plazma MICROLAS s CNC stolom 3 000 x 1 500 mm firmy MICROSTEP GROUP Bratislava s konfiguráciou (2x-2y-2z) s dvoma hlavami na rezanie kovových materiálov, s 2,5 kW laserom nemeckej firmy ROFIN s rýchlym prúdením plynov, s Cu zrkadlami chladenými vodou.

V tomto zariadení možno laserom deliť kovové materiály do hrúbky 15 mm a plazmou do hrúbky 40 mm. Laserový lúč je sil-



Obr.70 Rezacie hlavice systému laser – plazma MICROLAS-P MICROSTEP GROUP (r. 2004)

ne fokusovaný a je polarizovaný. Prúd plazmy je do 300 A; môže ísť o 3D aj úkosové šikmé rezanie. Zariadenie má 6 stupňov voľnosti, presnosť na celej pracovnej ploche ±0,1 mm, DC servopohon s neodýmovými magnetmi firmy MAXON [90]. Problematike laserových technológií sa na Slovensku venuje aj Prvá zväračská, a. s. (VÚZ Bratislava).

Literatúra

- [80] Pyramída 208, október, 1988
- [81] Firemné materiály fy EPSON
- [82] HAJDUK, M., ČOP, V. a kol.: Pohľad na súčasný stav rozvoja robotiky. In: AT&P journal, 2003, č. 2, s. 60 – 61.
- [83] SLANINA, F. a kol.: Montáž v strojárnských a elektrotechnických výrobách. Bratislava: Alfa 1990.
- [84] HAVLIK, S.: A three axis tactile sensor – Probe for robotic use. In: Robotica, 1985, Vol. 0.
- [85] KOLIBIAR, Z., KARPIŠEK, Z.: Posuvně adaptivní zápěstí výstupní hlavice průmyslového robota. Zborník II, Konferencia Robot '90, s. 95 – 101, Pardubice 1990.
- [86] HAVLIK, S.: Multicomponent force sensing. In: Precise manipulation Assembly Tasks Symposium IFAC (LCA'91, Vienna 1992).
- [87] UCHIYAMA, M., KONNO, A.: Laser optical measurement of robots structural deflections. Conf. on Advanced Mechatronics, Tokyo, 1989.
- [88] Firemné materiály ZŤS
- [89] Internet: <http://www.ingersoll-rand.com>
- [90] Internet: www.microstep-group.com

Pokračovanie v budúcom čísle.

prof. Ing. Václav Kalaš, DrSc.

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

48

