

Tridsať rokov svetovej robotiky (5)

Václav Kalaš

Technické faktory, ktoré umožnili grandiózny rozvoj svetovej robotiky

10. Nové konštrukčné materiály

Medzi významné technické faktory rozvoja robotiky možno zaradiť rad nových kovových i nekovových materiálov, ktoré postupne prenikajú z kozmických technológií cez letecký a automobilový priemysel aj do konštrukcie robotov. Aj keď ide zatiaľ o ich aplikácie najmä v špeciálnych robotoch, ako sú kozmické a podmorské roboty, roboty v kontaminovaných a zamorených prostrediach, roboty pracujúce v ťažkých klimatických podmienkach a pod. Z týchto materiálov možno uviesť napr. materiálové systémy z uhlíkovými vláknami. Na obr. 25 je uvedený robot univerzity Minnesota v USA, ktorého ramená z nízkou hmotnosťou sú zhotovené z takýchto materiálov.



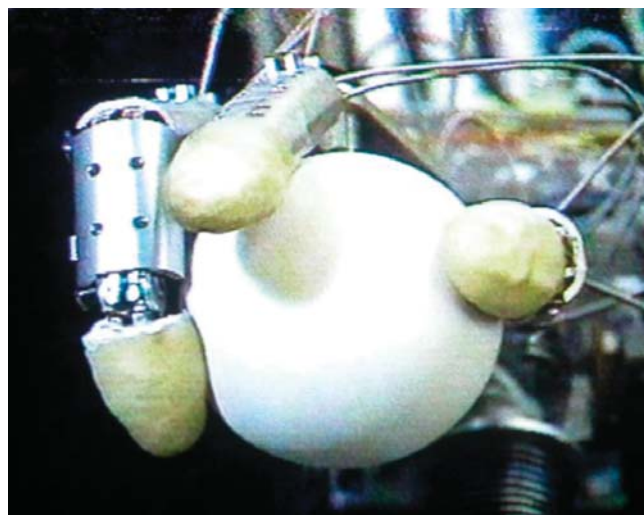
Obr.25 Robot univerzity Minnesota v USA so superdynamickými vlastnosťami s ramenami z uhlíkovými vláknami a s motormi megatorque

Tento robot spolu so statickým vyvážením ramien, s kompenzáciou Coriolisového zrýchlenia, gravitácie a odstredivosti spolu s tzv. motormi megatorque (pozri ďalej), dosahoval

superextrémne zrýchlenie a rýchlosť aj nad 10 m/s. Takéto materiály sú 4- až 5-krát ľahšie ako oceľ a disponujú pevnosťou v ťahu od 700 N/mm² a modulom pružnosti viac ako 4000 N/mm². Ďalej možno uviesť amorfné kovové materiály s vysokou pevnosťou, odolnosťou proti oteru, korózii a dobrými ďalšími mechanickými a magnetickými vlastnosťami a pod. Perspektívne pôjde taktiež o generáciu funkčne gradientových materiálov, kde ide o zmes s pozvolna premenlivým zložením v svojej priečnej štruktúre, napr. kov – keramika. V historickom vývoji robotov sa takisto dobre zvládla problematika tvorby nových legovaných hliníkových zliatin na konštrukciu robotov. Ďalej sem možno zaradiť aj niektoré tekutinové materiály, ktoré menia svoju viskozitu pod vplyvom intenzity magnetického, resp. elektrického poľa. Tieto materiály umožňujú napr. automaticky riadiť tlmiace vlastnosti tlmičov robotov, hydraulických a niektorých elektrických pohonných jednotiek, oddeliť dve prostredia a pod [19].

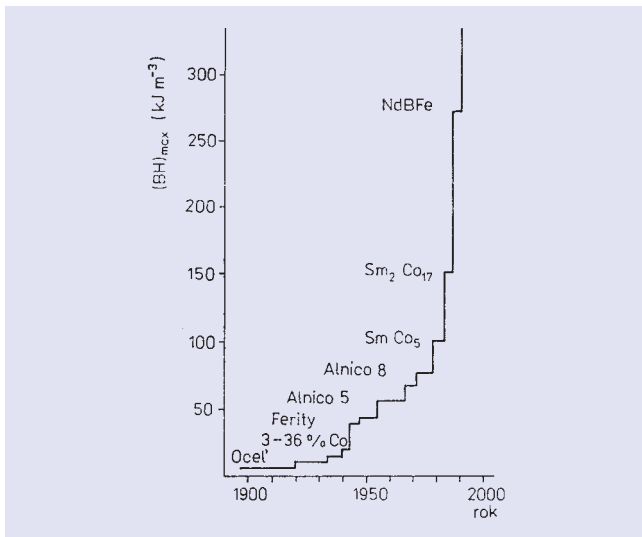
Zo širokej škály ďalších materiálov uvedme aspoň materiály s tzv. tvarovou pamäťou [20], [21] a materiály permanentných magnetov, ktoré mimoriadnou mierou ovplyvnili vývoj robotov. Zliatiny s tvarovou pamäťou označované ako SMA (Shape Memory Alloy) menia tepelnú energiu na mechanickú. História týchto materiálov mala prvopočiatky v r. 1932, keď bol prvý takýto materiál (Au-Cd) objavený švédskym fyzikom Arne Olanderom. Verejne sa materiály SMA predvážali na svetovej výstave v Bruseli v r. 1958. Podstatným prínosom bol v r. 1961 objav zliatiny SMA na báze

niklu a titánu, tzv. NITINOL v U. S. Naval Ordnance. Zliatiny SMA vykazujú tvarovú pamäť založenú na termoelasticko-martenzitickej transformácii. Keď sa tieto zliatiny zdeformujú a následne zahrejú, znovu nadobudnú svoj pôvodný tvar. Pamäťové vlastnosti vykazujú však aj zliatiny na báze Cu-Al-Ni, Cu-Zn-Al a iné. Zliatinu NITINOL začala v r. 1982 priemyselne vyrábať japonská firma FUKURAWA v tvare drôtov s priemerom 0,2 až 2 mm. Revolučný skok v tejto oblasti z hľadiska robotiky urobila firma HITACHI, ktorá už v r. 1984 demonštrovala neobyčajne flexibilné chápadlo robota SMAROBOT-HAND z pamäťovými materiálmi typu NITINOL vo funkcii pohybových systémov (obr. 26).



Obr.26 Prvé robotické chápadlo sveta na báze materiálov s tvarovou pamäťou so 14 stupňami voľnosti firmy HITACHI z roku 1984

Chápadlo pripomína ľudskú ruku s palcom, ukazovák a prostredníkom. Každý prst má 4 nezávislé kĺby. V zápästí chápadla sú ešte kĺby na vertikálny a horizontálny pohyb, takže chápadlo má celkom 14 stupňov voľnosti. Chápadlo je široké 80 mm a dlhé 400 mm, má hmotnosť 4,5 kg a nosnosť 2 kg. Ako pamäťové elementy sa použilo 54 drôtikov s priemerom 0,2 mm na pohyb prstov a 8 drôtikov s priemerom 0,35 mm na pohyb zápastia. Pohyby sa realizovali odporovým ohrevom drôtikov SMA a pružinami, pričom predĺženie drôtikov bolo asi o 4 %. Pri klasickom riešení pohonov ekvivalentného chápadla by bola jeho hmotnosť minimálne 50 kg. Nižšia dynamika týchto systémov (chápadlo robota HITACHI sa v zápästí otočilo o 90° za 1 s; čas od úplného otvorenia chápadla do úplného zatvorenia bol však niekoľko desiatok sekúnd) sa už v súčasnosti podstatne zlepšila aplikáciou upravených materiálov SMA a špeciálnych chladiacich systémov v oblasti pamäťových prvkov. V súčasnosti už existujú roboty, v ktorých nie sú žiadne klasické motory. Všetky pohybové funkcie robota sú zabezpečené na báze prvkov SMA. Prvé takéto experimentálne roboty realizovala spoločnosť HONDA SEIKO Co. Ltd. spolu s univerzitou TOHOKU. Problematike priemyselnej výroby zliatin SMA sa v Japonsku v posledných rokoch venuje napr. firma TOKY Nippon Osaka a v USA TOKY America Technologic Inc., Irvine, California. Predpokladá sa, že razantný



Obr.27 Historický vývoj priemyselne dosiahnutých hodnôt energetického súčiniteľa permanentných magnetov $(BH)_{max}$ v 20. storočí

rozvoj zliatin SMA v robotike nastane najmä v súvislosti s rozvojom kozmickej robotiky.

Do rozvoja robotiky mimoriadnou mierou zasiahli nové materiály permanentných magnetov. Historický vývoj priemyselne dosiahnutých hodnôt, tzv. energetického súčiniteľa permanentných magnetov $(BH)_{max}$ v 20. storočí dokumentuje graf na obr. 27 [22], [23]. Uvedený energetický súčiniteľ má bezprostredný vplyv na veľkosť krútiaceho momentu elektromotorov.

Od feritov s $(BH)_{max} = 40 \text{ kJ/m}^3$ cez magnety typu ALNICO s $(BH)_{max} = 80 \text{ kJ/m}^3$ sa tento súčiniteľ v lantanidových systémoch SAMÁRIUM-COBALT dostal na hodnotu približne 150 kJ/m^3 . V servomotoroch aplikovaných v robotoch prevládajú v súčasnosti feritové magnety, resp. drahšie magnety na báze vzácnych zemín – lantanidov. V poslednom období sa začali aplikovať magnetické systémy na báze prvku NEODYM zo skupiny vzácnych zemín, ktoré v zliatine so železom a stopovo s bórom (Ne-Fe-B) vytvárajú najenergetickejšie magnetické materiály s teoretickou hodnotou $(BH)_{max} = 340 \text{ kJ/m}^3$. Na čele svetového vývoja v tejto oblasti je japonská firma SUMITOMO. V Európe okrem iných produkuje magnety typu Ne-Fe-B firma VAKUUM-SCHMELZE pod ochrannou známkou VACODYM. Rovnako firma KRUPP WIDIA Essen produkuje neodýmové magnety KOERDYM 240 s praktickou hodnotou $(BH)_{max} = 210 - 270 \text{ kJ/m}^3$ s koercivitou 1600 kA/m , resp. KOERDYM 260 s $(BH)_{max} = 240 - 290 \text{ kJ/m}^3$ s koercivitou 1100 kA/m . Okrem toho možno uviesť firmu THYSSSEN MAGNETTHICS GmbH so svojím širokým programom NEOLIT, kde napr. magnetická zliatina NEOLIT O3-E dosahuje $(BH)_{max} = 285 \text{ kJ/m}^3$ s koercivitou 1640 kA/m , pričom Curieho teplota je $T_c = 370 \text{ }^\circ\text{C}$. Podľa teoretickej fyziky je dosiahnuteľná teoretická horná hranica $(BH)_{max} \hat{=} 1000 \text{ kJ/m}^3$, o čom svedčia i najnovšie výskumy v tejto oblasti.

11. Nové mechanické komponenty

V rámci tejto state sa obmedzíme iba na niektoré vybrané mechanické komponenty, ktoré mali na rozvoj robotiky značný vplyv. Najmä v robotoch s kinematickou štruktúrou kartézského typu a štruktúrou SCARA zohrali významnú úlohu ozubené remene na prenos síl a momentov. Zmeny geometrických parametrov týchto remeňov vplyvom teploty, zataženia a starnutia majú rozhodujúci vplyv na presnosť polohovania v činnosti robota. Pozitívnu rolu z tohto hľadiska zohrali ozubené remene so špeciálnou pozdĺžnou kovovou výstužou s označením SF (Servis Free). Kovové jadrá remeňov súčasne automaticky reagujú na mechanické

namáhanie a teplotu, čím silne potláčajú aj mechanickú hysteréziu, preto netreba tak často kontrolovať referenčný bod robota.

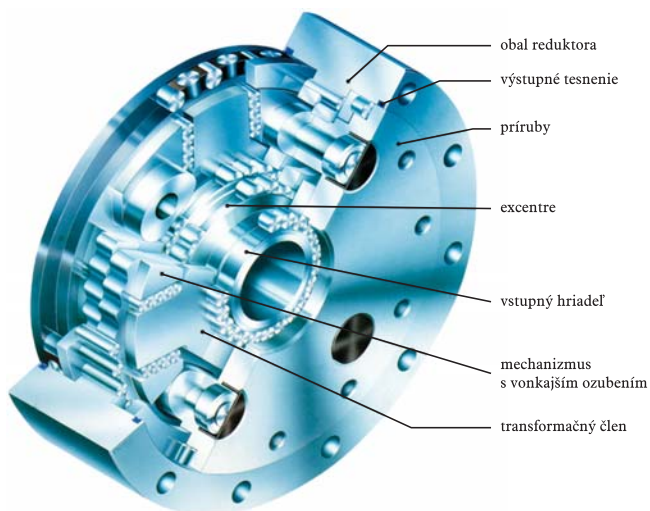
Jedným z ďalších významných mechanických komponentov sú guľôčkové skrutky, ktoré slúžia v robotoch (podobne ako v NC a CNC obrábacích strojoch) na konverziu rotačných pohybov na translačné. Tieto komponenty dosahujú v súčasnosti účinnosť 98 %. Veľmi nízku axiálnu hysteréziu v jednodimenzionálnych systémoch sa podarilo ďalej znížiť pomocou dvoch predpätých guľôčkových matíc, resp. „rozrezaním“ a nastaviteľným mechanickým predopnutím jednej matice. Maximálna translačná rýchlosť v robotike je $0,5 \text{ m/s}$, výnimočne 2 m/s . Maximálne osové zataženie vo veľkorozmerových systémoch je do 250 kN a dĺžka do 5 m . V súčasnosti sa presadzujú už aj viacschodové guľôčkové skrutky, ktoré majú translačnú rýchlosť do $1,2 \text{ m/s}$ a zrýchlenie do 6 m/s^2 . Presnosť polohovania v jednej osi sa dá docieľiť v rozsahu $\pm 2 \text{ } \mu\text{m}$ (i lepšia). Súčtové chyby sa pohybujú v rozsahu $\pm 6 \text{ } \mu\text{m}$. Z valivých systémov možno pre robotiku uviesť i rad ďalších elementov, napr. významné radiálne nastaviteľné lineárne valivé uloženia.

Neobyčajne významnými mechanickými komponentmi robotov sú reduktory, ktoré patria medzi najnáročnejšie subsystemy robotov. Do veľkej dokonalosti boli v poslednom období dopracované napr. cykloidné a planétové reduktory, ktoré nachádzajú široké uplatnenie aj v náročných kozmických programoch, ako boli napr. pohony kolies marsochodu SOJOURNER. V historickom vývoji robotov zohral významnú úlohu napr. harmonický reduktor, ktorý vo frikčnom vyhotovení (guma, resp. koža) vznikol v USA vo firme U. S. N. v r. 1954. Tento reduktor, ako sme už uviedli, významne zdokonalili Japonci v r. 1959 špeciálnymi oceľovými materiálmi s vysokou húževnatosťou a zavedením ozubenia. Vyznačuje sa vysokými nárokmi na kvalitu materiálov, veľkopriemerových guľôčkových ložísk a veľmi náročnými strojárskymi technológiami. Výhodami tohto reduktora sú súosovosť vstupu a výstupu, malé rozmery, malá hmotnosť, malá mechanická hysterézia (niekoľko uhlových minút), dobré tlmiace vlastnosti, vysoká účinnosť (do 90 %), vysoké vstupné otáčky (do 6000 ot./min.), prevodové pomery v intervale do 320, tichý chod, prenos veľkých krútiacich momentov a reverzibilita. Na ilustráciu je na obr. 28 uvedený rozložený harmonický reduktor vyrobený v bývalom Československu vo VVÚ ZŤS Zvolen v roku 1983.



Obr.28 Prvý harmonický reduktor vyrobený v bývalom Československu vo VVÚ ZŤS Zvolen v roku 1983

Na pravej strane je zobrazený tzv. generátor vln, čo je eliptický člen napojený na hriadeľ motora, na ktorom sa nachádza veľkopriemerové guľôčkové ložisko. Na toto ložisko je nasunutý „hrnček“ (na ľavej strane) s vonkajším ozubením. Ide o výstupný člen reduktora. Táto zostava je vsunutá do stojaceho ozubeného kolesa (v strede) s vnútorným ozubením. Kontakt ozubenia „hrnčeka“ a stojaceho kolesa je vplyvom eliptického generátora vln asi v 18 % zubov. Tento kontakt oboch ozubených kolies sa otáčaním vstupu postupne po obvode presúva. Výstupný element sa točí opačne ako motor. Harmonický reduktor možno použiť aj na oddelenie dvoch prostredí. V tomto prípade pružné koleso



Obr.29 Ložiskový reduktor s pôvodnou koncepciou slovenských firiem SPINEA – KIMEX

– „hrnček“ s vonkajším ozubením stojí a mechanický výstup je z ozubeného kolesa s vnútorným ozubením.

Z najnovších typov reduktorov možno uviesť tzv. ložiskový reduktor (TWINSPIN-BEARING REDUCER), ktorý môže tvoriť organický celok s pohonným motorom. Tento reduktor vzhľadom na veľkú náročnosť na materiály a technológie výroby produkujú iba 4 firmy na svete. Na Slovensku vyrába tento typ reduktora s pôvodnou koncepciou patentovanou v USA, Japonsku a európskych štátoch firma SPINEA v spolupráci s firmou KIMEX (obr. 29).

Tento mimoriadne štíhly reduktor má prevodový pomer v intervale hodnôt 31 až 191, účinnosť približne 96 % a mechanickú hys-

teréziu menšiu ako 1/2 uhlovej minúty. Reduktor je obojsmerný, aplikuje tuhé mazivo a nemá samosvornosť. Je určený do veľmi presných servopohonov, ako sú roboty, radary, polohovacie stoly, špičkové obrábacie stroje, zdravotnícka technika, letecký priemysel a pod.

Literatúra

[19] KALAŠ, V.: Použitie inteligentných kvapalín v automatizácii. In: AT&P journal 1994, č. 11, str. 6 – 8.

[20] VAŠINA, M., ŠOLC, F.: Pamäťové slitiny – pohony pro robotiku (1). In: AT&P journal 2003, č. 2, str. 65 – 66.

[21] DRAHOŠ, P.: Príspevok k syntéze aktuátora zliatiny s tvarovanou pamäťou, In: Dizertačná práca PhD, FEI STU Bratislava 2003.

[22] HRIVŇÁKOVÁ, D.: Vlastnosti, výroba a využitie permanentných magnetov. In: Strojárska ročenka, Alfa Bratislava, 1988.

[23] GIERAS, J. F., WING, M.: Permanent Magnet Motor Technology – Design and Applications, Marcel Dekker Inc. New York, 1997.

Pokračovanie v budúcom čísle.

prof. Ing. Václav Kalaš, DrSc.

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