

Nanos snovi z lakirnim robotom

mag. Rok Koren univ. dipl. inž. el.

ABB d.o.o.

Toplarniška 19, Ljubljana

rok.koren@si.abb.com

Robotic gel coat spraying

Abstract: *The purpose of this paper is to present a special branch of robots i.e. paint robots and the painting procedure demands with their strict conditions which have to be fulfilled. Application of a painting robot cell, its problems and their solutions are described in the last part of the paper.*

1. Uvod

Uporaba robotov se je do danes razmahnila v vse večje veje industrije, v nekatere manjše pa vztrajno prodira in si utira pot. V splošnem je aplikacija robotov smiselna v industrijah z visokimi zahtevami po točnosti, ponovljivosti, zanesljivosti in hkrati veliki fleksibilnosti proizvodnje ter v industrijah s kratkimi časi obdelave na kos izdelka ali z dolgimi, kjer je človeški faktor obdelave prevelik oz. kritičen za kvaliteto izdelka.

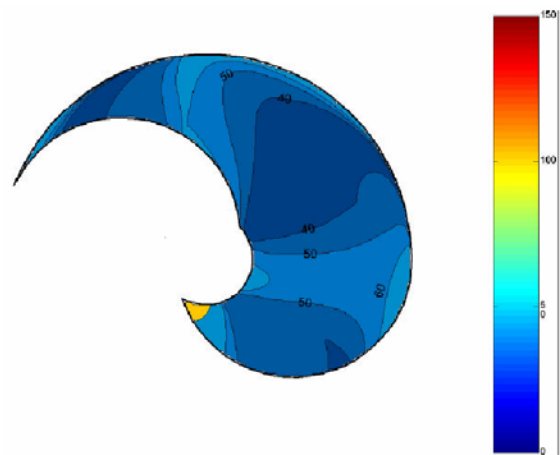
Upravičenost robotov v industrijah, kjer je potreben nanos najrazličnejših materialov, je zelo visoka. Robot zagotavlja ponovljivo in konstantno kvaliteto procesa in tako prinaša podjetju večjo produktivnost in konkurenčnost. Ob tem pa se seveda podjetje na določen način izogne izpostavitvi človeških virov (zaposlenih) nevarnim ali celo strupenim delovnim okoljem.

2. Lakirni roboti

V lakirni tehniki, kjer je pomembno, da ima robot čim večji delovni prostor, da lahko obdela velike predmete ali več majhnih skupaj, se navadno uporabljajo roboti brez paralelograma. Poleg velikosti delovnega prostora je pomembna še dosegljivost, zmožnost hitrega pospeševanja in pojemanja ter velika hitrost gibanja (v %/s) po danih trajektorijah. Nekateri

roboti so izdelani v posebni izvedbi, saj imajo drugo os prirejeno tako, da se vrtenje okrog nje poveča za dodatnih 60°. To je pomembno predvsem v aplikacijah, kjer mora robot izvajati visoke vertikalne gibe.

Roboti so zaradi svojih dinamičnih lastnosti in kar se da optimalnega gibanja opremljeni s protiuteži, vzmetmi in pnevmatskimi cilindri oz. plinskimi vzmetmi ali kombinacijo le-teh. Pri lakirnih robotih je predvsem zaradi potrebe po kompaktnem in zaprtem ohišju rešitev z vzmetmi primernejša. Balansirne vzmeti omogočajo robotu večjo nosilnost, višje hitrosti, in večje pospeške in kar je pri lakiranju pomembno: bolj homogeno gibanje in manjšo porabo električne energije.



Slika 1: Prikaz delovnega prostora lakirnega robota ter razdalje v mm, v kateri robot doseže hitrost 1 m/s

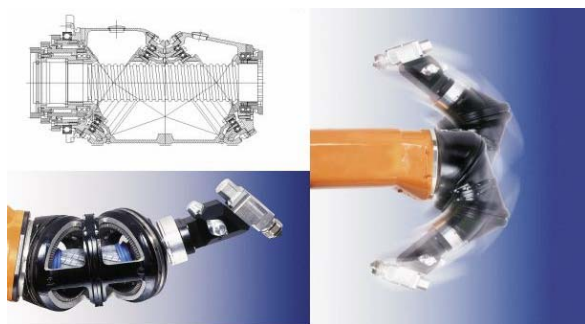
Da robot lahko deluje avtonomno je poleg glavnih aplikatorjev (lakirna pištola, prijemalo, varilna pištola ...) potrebna še spremljajoča oprema: ventilski otok, podajalec žice s paketom žice, pogon, vir svetlobe ali izvor plazme, črpalke, ventili ali izmenjevalniki barv. Ta dodatna oprema mora biti največkrat iz tehničnih razlogov nameščena čim bliže

glavnemu aplikatorju. Zato so robotske roke večinoma vnaprej pripravljene za montažo te opreme na vertikalno in horizontalno roko.

Vodi morajo biti trdno pritrjeni na robot, saj se ne smejo prosto gibati v prostoru in s tem ogrožati že nanese snovi na obdelovalni površini. Pri lakirnem procesu je pomembno, da se snov, ki se ne prime na obdelovalno površino in je razpršena v prostoru, ne prime na robot ali njegove vode. Če vode vgradimo v robotsko roko, elegantno rešimo dva problema. Tako srečamo dva tipa robotov, opremljena z:

- vitko roko (ang.: slim arm),
- procesno roko (ang.: process arm).

Roboti z vitko roko imajo dodatno opremo vgrajeno samo na vertikalni roki robota ali pa poleg robota (največkrat tudi izven lakirne komore). Pri procesni roki pa je dodatna oprema varno skrita tudi v horizontalni roki. Največkrat se v procesno roko vgradi mešalnik in izmenjevalnik barv, redkeje pa črpalka ali merilnik pretoka. Na vertikalno roko pa se največkrat vgradijo elektropnevmatski ventili, črpalke, zobniški merilniki pretokov in tudi mešalniki in izmenjevalniki barv. Z montažo mešalnika in izmenjevalnika barv čim bližje brizgalni pištoli zmanjšamo količino odpadne snovi.



Slika 2: Struktura in fleksibilnost votlega zapestja ter prikaz vodov skozi votlo zapestje

Za učinkovito nanašanje snovi na razgibane površine (npr.: vbočene, izbočene, luknje, zareze, utore) potrebujemo poleg velikega dosega tudi zelo prilagodljivo zapestje. Votlo zapestje (ang.: hollow wrist) in fleksibilno zapestje (ang.: flexi wrist) sta namenjena ravno

izboljšanju dosega težko dostopnih mest na obdelovancu.

Votlo zapestje je sestavljeno iz treh klinastih rotacijskih členov, ki so gnani z motorji, pritrjenimi na zadnjem delu horizontalne roke. Glavna značilnost votlega zapestja je ta, da omogoča namestitev vseh vodov (snov, zrak, signali) znotraj zapestja, kar posledično omogoča, da vode namestimo tudi znotraj horizontalne roke. Na drugi strani je fleksibilno zapestje sestavljeno iz treh poševnih prestavnih rotacijskih členov, uporabniški vodi pa so pritrjeni izven fleksibilnega zapestja in horizontalne roke.

Pomemben element v lakirni robotski celici je čistilna enota. Je del robotskega sistema, ki je priključen med krmilnik in manipulator izven lakirne komore. Skrbi za nadtlak v bazi, vertikalni roki in v zadnjem delu horizontalne roke robotskega manipulatorja in je namenjena predvsem robotom v eksplozijsko potencialnih atmosferah.

Pomemben del predstavlja tudi programska oprema, ki skrbi za gibanje robota, krmiljenje ventilov ter točno in ponovljivo sinhronizacijo. Dinamični model robota bistveno prispeva k uporabi celotne razpoložljive moči, s tem pa k zmanjšanju časa ciklov, k enakomernim nanosom, k lažjemu optimiranju programov in k zmanjšanju preobremenitev motorjev. Velik izziv za programske opremo predstavlja tudi shranjevanje in upravljanje lakirnega procesa. Že pri preprostem enokomponentnem lakirnem procesu z eno lakirno pištolo potrebujemo najmanj naslednje parametre: tlak barve, tlak pogojskega zraka, tlak zraka za pripravo vzorca in barvo.

Primer programske opreme, ki nadzoruje delovanje podsklopov lakirnega procesa in je s svojimi elektronskimi komponentami vgrajena v robotski krmilnik, je IPS (Integrated Process System). IPS je sistem odprte arhitekture in lahko krmili različne sisteme različnih dobaviteljev in s tem omogoča široko področje

uporabe. Omogoča tudi enostavno uporabo in spremljanje parametrov lakirnega procesa.

Lakirni roboti spadajo med robote, ki so izpostavljeni agresivnemu okolju. Ti so izdelani iz materiala, ki ne iskri v primeru naleta ali kolizije ob obdelovanec ali zaščito. Pri montaži, vzdrževanju in posegih v komori so zahtevani posebni varnostni ukrepi, ki zmanjšajo možnost pojava vzroka eksplozije. Lakirni roboti za eksplozijsko potencialne atmosfere ustrezajo mednarodnim standardom, ki so naštetih v nadaljevanju.

3. Lakirna celica

Robot je sam po sebi zaključena celota, a kljub temu še nima dokončne funkcionalne vrednosti. Le-to pridobi z nadgradnjo podsklopov, kateri mu tudi določijo funkcijo in namen.

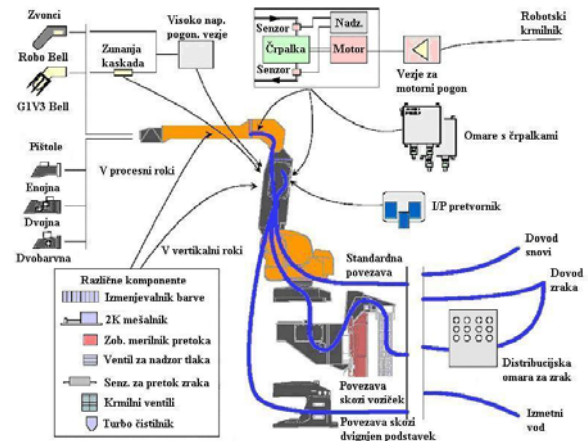
Črpalke so pomemben del lakirnega procesa, saj morajo ves čas zagotavljati zadosten tlak snovi in zraka v sistemu. Za povečanje tlaka snovi se največkrat uporablja membranske, zobniške ali batne črpalke.

Pri polikormatskih oz. večbarvnih sistemih potrebujemo izmenjevalnik barv. Njegov namen je menjava snovi za nanos z različnimi barvami, poleg tega pa vsebuje tudi čistilni modul. Zaradi različnega števila barv so izmenjevalniki modularne zasnove in tako lahko poljubno vgradimo do 32 dodatnih modulov. Vse izvrtine, po katerih se pretaka snov, morajo biti zaradi čiščenja pravilno izvedene in ne smejo vsebovati "mrtvih kotov", kjer bi se lahko snov zadrževala in je med čiščenjem ne bi bilo moč izprati.

Kjer se uporabljajo dvokomponentne snovi za nanašanje, potrebujemo mešalnik, ki poskrbi, da sta obe komponenti dobro premešani. Tako lahko snovi reagirata homogeno po celotnem volumnu. Tako kot ostali elementi so tudi mešalniki izdelani iz nerjavnega jekla ustrežne kvalitete in morajo biti izvedeni brez "mrtvih kotov".

Za hitrejše in učinkovitejše čiščenje vodov in opreme, se uporabljajo turbo čistilniki. Njihova funkcija je ustvariti impulzno sekvenco mešanice topila in zraka namenjeno čiščenju, ki jo spustijo skozi vod.

Proporcionalni ventili so tokovno/tlačni pretvorniki, ki so potrebni v sistemih, kjer lahko s spremembo tlaka zraka vplivamo na količino in hitrost brizganja snovi ter na obliko snopa. Njihov izhod so običajno ventili za nadzor tlaka v snovi in so namenjeni za točno in dosledno regulacijo tlaka v vod. Pri tem je pomembna širina histereze in občutljivost na vhodne signale, saj lahko le z ustreznimi izvedbami zadovoljimo potrebe po točnosti nanosov.



Slika 3: Shematski prikaz fizične razporeditve podsklopov

Izbiro aplikatorja (razpršilne pištole) pogojuje uporabljena snov za nanašanje in metoda, s katero želimo snov nanašati. Na splošno jih delimo po namembnosti na aplikatorje za tekoče procese (s pomočjo zraka ali brez, z mešanjem v mešalcu ali z mešanjem izven pištole – v zraku), prašne in rotacijske procese. Procesni pa so lahko hkrati elektrostatični ali pa ne.

Pri lakirnem procesu ne smemo pozabiti na periferno opremo, ki zagotovi delovanje sistema v skladu z željami investitorja in ostalimi zahtevami, kot sta varnost in okoljska ustreznost.

Lakirna celica ne sme vplivati na okolje v večji meri, kot to dovoljujejo zakoni in uredbe. V primeru, da bi prišlo do tega, se proizvajalci lakirnih komor poslužujejo čiščenja odvečnega izbrizganega materiala na več načinov. Načini se med seboj razlikujejo in so učinkoviti za različne vrste lakiranja in materialov. Ti so: odsesavanje in filtriranje zraka, dovajanje svežega zraka, zgorevanje odpadnih snovi v zraku, vodna zavesa s čistilno napravo, odsesavanje prahu in vračanje le-tega nazaj v proces,... V robotskih celicah kjer lahko nastane potencialno eksplozivna atmosfera, se moramo poslužiti certificiranja opreme pri ustreznih akreditiranih inštitucijah.

4. Projekt

Cilj projekta je bil izdelati avtomatizirano lakirno komoro, ki bo zvišala kvaliteto nanosa zaščitne snovi "gel coat" na trup, strop in palubo vseh modelov jadrnic. Z novo lakirnico je želel investitor izključiti človeški faktor pri nanosu ter v ekološkem smislu izboljšati delovno okolje, s tem pa zaposlenim in okolici izboljšati delovne razmere.

Plovila so izpostavljena raznim vplivom okolja in je zato je njihova zaščita nadvse pomembna. Pri plovilih, izdelanih iz laminatnih struktur, je zunanji sloj uporabljen za preprečevanje prehajanja vode v laminat iz steklenih vlaken s čimer podaljšuje trdoto plovila skozi čas.

Za zunanji sloj se uporablja predvsem "gel coat", ki izhaja iz skupine kemijsko obstojnejših poliestrov oz. skupine specialnih poliestrov. Kvaliteten "gel coat" mora biti v svojem končnem trdnem stanju še vedno dovolj elastičen in hkrati dovolj trden, kar pa se zagotovi z enakomernim in ravno prav debelim nanosom.

Sama izdelava jadrnice se začne z "gel coat" nanosom v kalup jadrnice. Kalup se najprej grobo pozicionira in nagne v končno

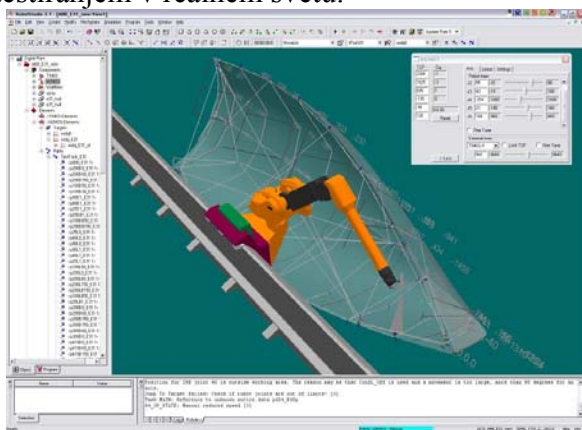


Slika 4: Nanos snovi "gel coat"

lego v lakirni komori. Ko se vrata komore zapro, operater začne postopek z vnosom modela jadrnice ter z izbiro barve. Začne se točnejše pozicioniranje kalupa. Vsak kalup je opremljen s štirimi kovinskimi ploščicami, ki jih robot detektira z induktivno sondo in tako za vsako ploščico posebej določi njeno središče (± 1 cm) ter orientira celoten kalup v prostoru in določi odmike od osnovnega programa. Program za nanos se začne izvajati. Z nanosom slojev začne na sprednjem spodnjem delu kalupa, saj se tako zavaruje spodnji del pred prahom, ki bi se lahko nabral na površini kalupa med brizganjem zgornje površine. Če prah pade na že nanešen sloj snovi "gel coat", se to ne pozna na zunanji strani plovila. "Gel coat" se nanaša na kalup v dveh korakih, vsakič po 0,3 do 0,4 μm debeline. Med prvim in drugim prehodom je trajektorija zaradi boljšega prekrivanja zamaknjena za polovico širine snopa. Pri programiranju in nanašanju je potrebno nameniti posebno pozornost robovom ter ostalim mehansko najbolj občutljivim delom (prednji vertikalni rob, odprtina za krmilo). Pri robotskem nanašanju je predvsem pomembno, da robot zagotavlja vzporednost lakirne trajektorije z obdelovalno površino in pravokotnost brizgalne pištole s površino kalupa. Menjava smeri, vklopi in izklopi pištole morajo biti časovno minimalni, saj s tem vplivamo tudi na prebrizg. Med nanašanjem je moč spremljati porabo "gel coat" materiala in

zapisovati ostale parametre, tako da ima vsako plovilo svoj spremni list.

Pri pripravi programov je bil velik poudarek na izdelavi trajektorij, kjer je bila izbrana metoda zajema s pomočjo laserja. Pri vsakem od šestih zajemov je sistem generiral oblak točk, ki jih je nato na podlagi pozicij markerjev na kalupu združil v enoten oblak. Oblak točk je potrebno obdelati in ga prilagoditi za vnos v RobotStudio. Preseke se je iz oblaka točk določilo na podlagi širine snopa in izračunala se je povprečna vrednost točke na posameznem delu preseka. S povezavo povprečnih vrednosti je bila določena trajektorija, po kateri mora potovati vrh snopa. Pri trajektoriji je bilo potrebno paziti na vse realne probleme, kot npr.: prekrivanje, določitev hitrosti nanosa, odpiranje in zapiranje pištole. Te vrednosti pa so bile določene izkustveno in s testiranjem v realnem svetu.



Slika 5: Primer izgleda delovnega okolja v RobotStudiu

Kljub relativno velikemu investicijskemu vložku in količini dela zaradi specifičnosti aplikacije, so največje prednosti uporabe robota pri nanosu materiala "gel coat" dvig kvalitete zaščitnega sloja plovila, njegova enakomernost debeline, nadzor nad kvaliteto nanašanja, ekološko sprejemljiva proizvodnja ter večja varnost in boljše delovne razmere. Enakomernost in ustreznost debeline je z uporabo robotskega nanosa bistveno narasla. Pri zaključnih delih (korekcije, brušenje, poliranje) sedaj redko prihaja do popolne odstranitve

zaščitnega sloja, kar se je v preteklosti dogajalo pogosto.

5. Povzetek

Skupina lakirnih robotov je glede zgradbe in delovanja specifična veja industrijske robotike. Roboti delujejo največkrat v potencialno eksplozijskih atmosferah, agresivnih okoljih in več izmen na dan. Zato mora biti temu prilagojena tudi izvedba samega robota in vsa spremljajoča oprema.

Lakirni proces v ožjem smislu besede je domena kemijskih tehnologov, procesnih inženirjev in ostalih, ki se ukvarjajo z zaščito površin. Na področju robotike pa v lakirni proces običajno vključimo poleg robota še drugo opremo, ki nam omogoči izvedbo procesa in pot do končnega rezultata. Lakirni proces je zaradi svoje kompleksnosti in števila parametrov, ki jih je potrebno obvladovati, zahtevnejši od ostalih industrijskih robotskih aplikacij, saj moramo namreč poleg parametrov, ki neposredno vplivajo na lakirni proces v čim večji meri poskrbeti tudi za posredne parametre, kot so temperatura, vlažnost, prašnost okolice oz. lakirne komore. Poleg neposrednih in posrednih dejavnikov, ki vplivajo na lakirni proces, pa je potrebno v vsakem primeru izpolniti ustrezne varnostne zahteve.

6. Summary

Paint robots are considered a special branch of industrial robots because of their configuration and their characteristics (bigger working space, high axis acceleration demands, ...). They are used in explosive and aggressive environments, working more shifts per day. This is why the robots and their peripheral equipment have to be specially adopted for these circumstances.

The paint process in its basic is a domain of chemistry technology, proces engineering and other fields that deal with surface protection. In the field of robotics, painting comes into play using sophisticated equipment, which gives the robot and the paint chamber an applicable value.

The painting process itself is much more demanding than other industrial applications, because of the number of side parameters (temperature, humidity, dust ...) that have great influence on it. Regarding all these, we also have to think of safety standards, which are very strict because of a potentially explosive environment.

Usually all the differences between custom and paint robots are seen only during application itself and special and unique solution need to be provided during the process of engineering.

6. Literatura

- [1] Rok Koren: Robotska celica za nanos zašitne snovi; Magistrsko delo, Ljubljana, 2004
- [2] Product Management & Marketing Department at ABB Robotics Paint: Paint Manual, Bryne, Oktober 2003
- [3] Jadran Lenarčič, Tadej Bajd: Robotski mehanizmi; Univerza v Ljubljani, Založba FE in FRI, Ljubljana, 2003
- [4] Product Specification, Paint Automation (Publ.No.: 3HNT 00016-1 en Rev. 17); ABB Flexible Automation AS, Bryne, Norway, 1997-2003