

ROBOTSKO VODENO MIKROKOVANJE PO STANDARDU SAE AMS-2432

Matej MIKLAVČIČ
Ferročrtalič d.o.o.

POVZETEK

Kontroliran postopek mikrokovanja (angl: Shot Peening) je že dlje časa znana površinska obdelava v hladnem, uporabljena predvsem pri izdelavi dinamično obremenjenih mehanskih komponent. Mikrokovanje je v bistvu močno kontrolirana obdelovalna operacija s ciljem povečanja trajne dinamične trdnosti in korozijske odpornosti obremenjenih površin elementov.

Za doseganje želene produktivnosti, učinkovitosti, ponovljivosti in praktične uporabnosti obdelanih izdelkov, je pri samem postopku potrebno spremljati procesne parametre, ki opisujejo obdelovanec ter parametre same obdelave. Tovrstni sistemi so za aplikacije v letalski industriji strogo specifikirani po aktualnem SAE AMS-2432 standardu.

Uporaba računalniško vodenega robotskega mikrokovanja omogoča proizvajalcem komponent doseganje strogih zahtev, ki jih narekuje ta proces. To še posebej velja za področje izdelave visoko učinkovitih turbo-reaktivnih motorjev, kjer se zaradi kompleksnih geometrij in vse strožjih zahtev klasične metode ne uporabljajo več.

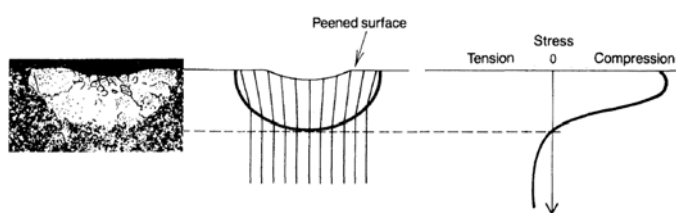
Uporabnost računalniško vodenega robotskega mikrokovanja so omogočili sodobni procesni sistemi, ki prenašajo procese iz laboratorijskih pogojev v proizvodne pogone. Referat se bo osredotočil na predstavitev področij, kjer so dosežene pomembne aplikativne izboljšave:

1. Zaprtostančna regulacija robotske manipulacije
 - Kvaliteta, ponovljivost in izboljšave
 - Fleksibilnost in učinkovitost opreme
2. Zaprtostančne regulacije procesnih parametrov
 - Zajem procesnih parametrov in beleženje zgodovine
 - Parametrično programiranje

1. UVOD

Proces obstreljevanja površine s sferičnimi delci (angl: Shot Peening) je pomembna in že dolgo poznana površinska obdelava v hladnem. Osnova procesa shot-peening je obstreljevanje površine obdelovancev s sferičnimi delci z visoko hitrostjo. Vsak strel, ki zadane predmet, ima za posledico plastično deformacijo površinskega sloja, podobno kot udarec majhnega kladiva. Intenzivnost posameznega udarca je funkcija kinetične energije delca in kota, pod katerim delec prileti na obdelovano površino. Posledično na površinski plasti obdelovanca prihaja do povečanja trdote, nastajanja kompresijskih zaostalih napetosti, spremembe površinske topografije in v nekaterih primerih do možnosti strukturnih sprememb (razpad zaostalega avstenita). Vse to vodi k povečanju dinamične trdnosti elementov, ki so bili obdelani s postopkom shot-peeninga. Vpliv prej omenjenih učinkov na povečanje dinamične trdnosti ni

odvisna samo od trdnosti izpostavljenega materiala, ampak tudi od procesnih pogojev samega postopka.



Slika 1: Plastična deformacija površinske plasti

Za razliko od klasičnega peskanja, ki se uporablja za čiščenje površine obdelovancev s curkom drobnih abrazivnih delcev, pa se shot-peening uporablja za učvrstitev oz. izboljšanje površine. To se izvaja z reguliranim curkom majhnih krogelnih delcev, ki so lahko iz jekla, litega železa, stekla in keramike. Obvladovanje procesa SP obdelave je vse prej kot enostavna tehnologija, saj je za doseganje ustrezne produktivnosti, učinkovitosti, ponovljivosti in

praktične uporabnosti obdelanih izdelkov, pri samem postopku potrebno natančno regulirati procesne parametre, ki opisujejo obdelovanec in obdelavo [1].

2. STANDARD SAE AMS-2432

Današnji SP obdelovalni stroji temeljijo na večosnih avtomatiziranih CNC ali robotiziranih sistemih, ki morajo zadoščati strogim kriterijem industrije specifičnih standardov, kontroli, regulaciji, ponovljivosti in natančnosti sicer težko obvladljivega obdelovalnega postopka. Tovrstni sistemi so za aplikacije v letalski industriji strogo specificirani po aktualnem SAE AMS-2432 standardu.

Ta specifikacija določa zahteve za računalniško vodeno mikrokovanje obdelovanih površin, obstreljevanih z jeklenimi, steklenimi in keramičnimi delci. Računalniško vodenje se uporablja za zagotovitev kontrole postopka, ki zagotavlja ponovljivo doseganje zelene intenzivnosti postopka in pokritosti obdelovanih področij. Mikrokovanje po standardu SAE AMS2432 dosega ali presega zahteve podrejenega standarda SAE AMS 2430, ki ureja klasično avtomatsko mikrokovanje [2].

V svojih tehničnih zahtevah se standard poleg vseh ostalih definiranih področij, posebej orientira na opremo oz. obdelovalne stroje in specificira, da mora oprema za mikrokovanje delovati samodejno in biti računalniško nadzorovana oz. vodena. Obdelovalni stroj mora biti opremljen z računalnikom za nenehno spremljanje in beleženje specificiranih parametrov prikazanih v Tabeli 1, ki morajo biti ves čas procesa v navedenih tolerančnih mejah. Sistem shranjevanja in arhiviranja podatkov mora biti v tiskani formi (*angl: hard copy*) ali alternativni obliki zapisa, ki je odobrena s strani odgovorne inženirske organizacije. Stroj mora omogočiti regulirano pospeševanje sferičnih delcev s komprimiranim zrakom proti obdelovancu in hkrati zagotoviti nadzorovano enakomerno gibanje bodisi obdelovanca skozi curek delcev, bodisi curka delcev preko obdelovanca, gibanje pa naj bi bilo translatorno,

rotacijsko ali kombinirano. Obdelovanec med procesom ne sme biti podvržen kakršnem koli poljubnemu in nekontroliranemu gibanju. Stroj mora imeti sposobnost nenehnega reproduciranja zelene intenziteto obdelave.

Tabela 1: Tabela specificiranih parametrov

Parameter	Enota	Procesna Toleranca
		Plus ali Minus Meja Izklopa
Pretok medija (za vsako šobo posebej)	Pound/min (kg/min)	10%
Zračni tlak (za vsako šobo posebej)	psi (kPa)	>20 psi 10% <20 psi 20%
Hitrost centrifugalnega kolesa	rpm	>2000 1% <2000 20rpm
Hitrost pomika šobe ali centrifugalnega kolesa	Inch/min (mm/min)	10%
Hitrost pomika deflektorja	Inch/min (mm/min)	10%
Čas izklopa šobe ali kolesa	s	1
Hitrost vrtiljive mize	rpm	10%
Hitrost obdelovanca	rpm/Inch/min (mm/min)	10%
Hitrost transportne proge	Inch/min (mm/min)	10%
Čas obdelovalnega cikla	s	1
Pozicija šobe ali kolesa	Inch/degree (mm/degree)	0.062 Inch (1.57mm) / 5deg
Pozicija vrtiljive mize ali kosa	Inch/degree (mm/degree)	0.062 Inch (1.57mm) / 5deg

Obdelovalni sistem mora imeti sposobnost prekiniti cikel v času manj kot ene sekunde, v primeru, da kateri od parametrov gibanja, zračnega tlaka ali masnega pretoka medija ni več v tolerančni meji. Sistem mora imeti sposobnost shraniti v spomin in izpisati pogoje prekinitve za parametre iz Tabele 1, ter imeti zmožnost nadaljevanja operacije za dokončanje procesnega cikla od točke zaustavitve dalje. Med prekinitvijo mora biti procesirani obdelovanec identificiran na poročilu operacije ali računalniškem izpisu.

Poleg navedenih parametrov in zahtev, ki so omejeni na nadzor, regulacijo, ponovljivost in arhiviranje postopkov, standard opredeljuje še vrsto zahtev iz področja opremljenosti, verifikacije in specifičnih lastnosti postopka mikrokovanja. Prispevek se bo osredotočil na zagotavljanje parametrov povezanih z gibanji, zračnim tlakom in masnim pretokom obdelovalnega sredstva.

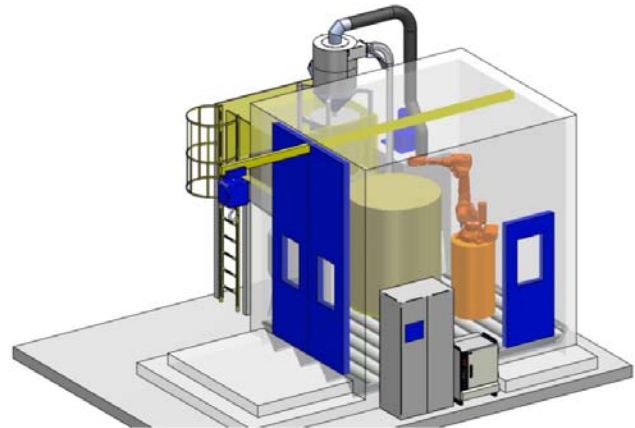
3. VLOGA ROBOTIKE V RAČUNALNIŠKO VODENEM MIKROKOVANJU

Uporaba računalniško vodenih večosnih robotov je proizvajalcem opreme omogočila sledenje vse strožjim zahtevam in standardom kot npr SAE AMS 2432, ki jih narekuje proces mikrokovanja. Pred vzponom robotov in večosnih CNC manipulatorjev se je postopek zanašal zgolj na »trdo avtomatiko«, največkrat samo z enosno manipulacijo obdelovalnih šob. To se je rezultiralo v preintenzivni obdelavi enega področja obdelovanca za doseganje ustrezne pokritosti preostalega dela, ali v nezadostni obdelavi težje dostopih področij. V najboljšem primeru so bile specifikacije mikrokovanja mnogih kritičnih komponent ogrožene, saj konvencionalne metode niso mogle zagotoviti enakomerne plasti tlačnih napetosti po celotni obdelovalni površini. [3]

Posledično je zaradi visokega zanašanja na operaterjev občutek in izkušnje pri nastavitvi obdelovalnih šob klasičnih sistemov, večji del procesnega časa porabljen za pripravo stroja kot za samo obdelavo. Poleg problema nadzora kakovosti, pri katerem dva operaterja nista nikoli popolnoma enako nastavila šob, je veliko podjetij bilo prisiljenih v nabavo nekaj enakih strojev za obdelavo enakih kosov, saj je dejanski aktivni čas strojev bil zelo nizek. Za namestitev vseh potrebnih kotov obstreljevanja za zagotovitev polne pokritosti obdelovancev, so klasični sistemi potrebovali vsaj eno šobo za vsak kot, kar pa je posledično pomenilo zelo okorno, nefleksibilno in kompleksno gručo le te.

Robotska manipulacija obdelovalnih šob je proizvajalcem omogočila obravnavo postopka mikrokovanja podobno kot vsak drugi CNC nadzorovan postopek, z absolutno predvidljivimi časi obdelovalnih ciklov, rezultati in stroški na posamezni cikel. S tipično ponovljivostjo postopka od $\pm 0,05$ mm na linearnih oseh in $\pm 0,5^\circ$ na rotacijskih oseh, robot zlahka s samo eno šobo v programu sledi zunanjim konturam velikih in

kompleksnih obdelovancev in v drugem programu pozicionira majhne rotirajoče šobe v zahtevne tehnološke odprtine



Slika 2: 3D model sodobne robotske obdelovalne celice

Robotsko mikrokovanje je moč programirati »off line« oz. s pomočjo CAD orodij za simulacijo ter nato prenesti program v robotski kontroler. Vseeno pa večina operaterjev oz. programerjev najraje vidi dejanski relativni položaj šobe glede na obdelovanec, zato se večina programov razvija preko pozicioniranja robota vzdolž zelene poti gibanja s pomočjo ročnih upravljalnih panelov (angl: *Teach Pendant*). Daljinski ročni panel programerju omogoča vnos podatkov iz notranjosti obdelovalne celice kot so npr. oddaljenost šobe od obdelovanca, vpadni kot in hitrost pomika direktno v robotski kontroler, ki je pozicioniran zunaj celice. Tako pripravljen program se lahko hrani v spominu robotskega kontrolerja, lahko se ga shrani na poljubni spominski medij ali preko povezane naloži na gostiteljski računalnik.

Poznejši klic posameznega obdelovalnega programa se lahko opravi preko ročnega vnosa serijske številke obdelovanca na nadzornem računalniku ali enostavnega odčitavanja črtnih kode s katero je izdelek opremljen.

Čeprav na tržišču obstaja veliko število različnih robotskih manipulatorjev, je zelo malo tistih, ki so ustrezno prilagojeni zahtevnemu in neprizanesljivemu procesu mikrokovanja.



Slika 3: Zaščita robota in notranjosti celice

Zaradi krutosti okolja, v katerem mora robot preživeti, sta vzdržljivost in zanesljivost glavni merili pri izbiri robotske opreme. Vsi gibljivi deli, tako znotraj kot tudi zunaj obdelovalne celice, morajo biti dobro zaščiteni pred abrazivnim delovanjem značilnim za mikrokovanje, kot je to prikazano na sliki 3.

Poleg dejstva da je robot primeren za mikrokovanje vzdržljiv in zanesljiv, ustrezen robot mora biti tudi zelo natančen, ponovljiv in enostaven za programiranje. Robot mora zagotavljati široko območje delovanja in svobodo gibanja zadostno, da sledi konturi celotnega obdelovanca, še posebej v primeru obdelave reaktivnih motorjev, kjer se zahteva obdelava velikih zunanjih in majhnih notranjih radijev. Po drugi strani pa se večina obdelovancev rotira ali premika pred obdelovalnimi šobami, zato se zahteva velika hitrost manipulacije le teh. Običajno zadoščajo linearne hitrosti od 4-5 m/min in rotacije okoli 720°/min.

4. ZAPRTOZANČNA REGULACIJA PROCESNIH PARAMETROV

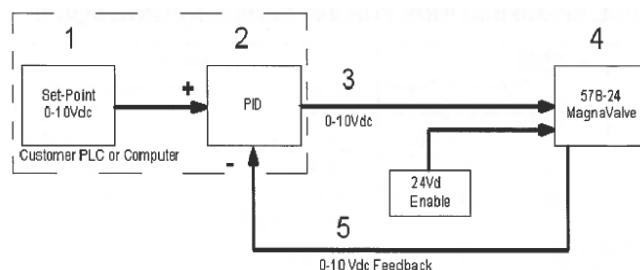
Ne samo da so robotski manipulatorji omogočili superiorno metodo manipulacije obdelovalnih šob v primerjavi s klasično avtomatiko, bili so ključnega pomena pri izboljšanju celotnega postopka mikrokovanja. Z natančnostjo in ponovljivostjo, ki jo nudijo roboti, so proizvajalci opreme bili prepričani v pokritost intenzitete in nasičenosti, ki jih zahteva postopek.

Z uporabo inkrementalnih dajalnikov na servo pogonih vseh robotovih osi, je omogočena zaprtozančna povratna zveza, ki jo ves čas nadzira robotski kontroler.

Zaprtozančna kontrola in regulacija doziranja medija, komprimiranega zraka in masnega pretoka medija je ravnotako pripomogla k zagotovitvi zanesljivega sistema mikrokovanja, ki ga je moč pustiti brez nadzora cikel za ciklom.

Slika 4: Regulacija masnega pretoka medija

Danes so na trgu prisotne različne tehnološke rešitve za regulacijo omenjenih veličin. Naj samo



omenimo zaprtozančno regulacijo masnega pretoka feritnega obdelovalnega medija (slika 4), ki temelji na magnetnih lastnostih le tega. Tovrstna regulacija se izvaja z magnetnimi ventili ti. MgnaValvi.

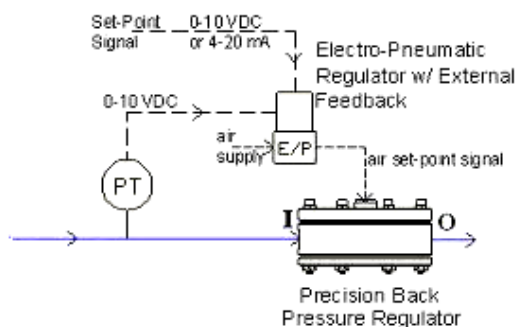
MagnaValve, prikazan na sliki 5, je normalno zaprt magnetni ventil, ki regulira pretok jeklenega granulata ali žičnih sekancev v sistemih zračnega mikrokovanja. Vgrajeno tipalo meri masni pretok skozi magnetni ventil in skupaj z ločenim kontrolerjem zagotavlja natančen in ponovljiv pretok.



Slika 5: Magnetni ventili in krmilniki za regulacijo medija

Enostavna konstrukcija ventila vsebuje močan in stabilen permanentni magnet za normalno zaprto stanje in elektromagnet, ki služi za neposredno regulacijo pretoka. Tovrstni magnetni ventili so lahko tovarniško kalibrirani za različne vrste in velikosti medijev [4].

Podobni zaprtozračni sistemi sestavljeni iz proporcionalnega ventila oz. regulatorja in pilot-ventila, kot je prikazano na sliki 6, se uporabljajo za natančno in ponovljivo regulacijo zračnega tlaka.



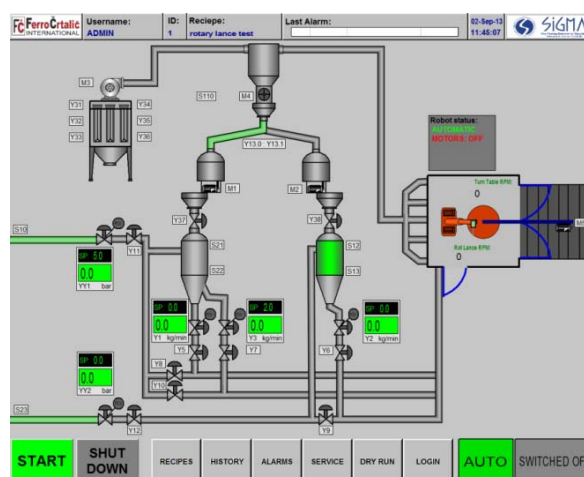
Slika 6: Regулacija zračnega tlaka

V kolikor pride do okvare katerega od nadzorovanih sistemov, se izvajanje programa nemudoma ustavi in tako prepreči morebitno poškodbo obdelovanca. Ko je neželena situacija ali okvara odpravljena, se proces lahko nadaljuje

od točke zaustavitve dalje in tako nadaljuje obdelava kosa v skladu s specifikacijo.

Postopki mikrokovanja tehnično zahtevnih letalskih komponent narekujejo posebne zahteve težko obvladljivega obdelovalnega postopka. Iz navedenih zahtev postopka je edina logična in sprejemljiva rešitev, uporaba robotske tehnologije za manipulacijo peskalnih šob in naj sodobnejših sistemov za zaprto-zračno regulacijo masnega pretoka medija ter delovnega zračnega tlaka.

Celoten cikel obdelave je podprt s sistemom za reciklažo in upravljanje jeklenega obdelovalnega medija, ki vsebuje čiščenje, klasifikacijo velikosti in avtomatsko polnjenje tlačnih posod. Sodobni sistemi so zasnovani tako, da omogočajo delovanje z dvema ali več različnima velikostima obdelovalnega medija.



Slika 7: SCADA vizualizacija robotske obdelovalne celice

Za nadzor nad celotnim obdelovalnim procesom skrbijo sodobni PLC kontrolerji z namensko izdelanim programskim paketom, ki je podprt s SCADA sistemom za vizualizacijo procesa baziranim na industrijskem PC računalniku (slika 7). Sama zasnova sodobnih SCADA sistemov uporabnikom omogoča različne funkcionalnosti kot so to:

- vizualizacija procesa,
- spremljanje parametrov v realnem času,

- parametrično programiranje in klicanje programov,
- beleženje zgodovine in tiskanje poročil,
- fleksibilnost servisnih manipulacij in simulacij obratovanja.

Med njimi pa najdemo prav tiste iz zahtev standarda SAE AMS 2432, ki se nanašajo na shranjevanje in arhiviranje procesnih parametrov ter njihovo poznejšo obdelavo.

5. ZAKLJUČEK

Z nenehnim razvojem procesne tehnike in avtomatizacije oz. robotike, je tehnologija mikrokovanja dobila svoje aplikacije pri proizvodnji in vzdrževanju mnogih strojnih komponent avtomobilske, letalske, procesne in ostale industrije. Z vse večjimi prizadevanji letalske in avtomobilske industrije za razvoj izdelkov z daljšo življenjsko dobo, se pojavljajo strožje in natančnejše zahteve za mikrokovanje. Robotska oprema je tako pomemben in bistven korak k pripravi bodočih procesnih potreb površinskega učvrščevanja s tehnologijo mikrokovanja .

Literatura

- [1] Miklavčič, Matej: Uporaba Shot Peening postopka za podaljšanje dobe trajanja varjenih spojev. Avtomatizacija in robotizacija v varilni tehniki : zbornik predavanj (2014)
- [2] SEA AMS 2430 Rev D. Shot peening, Computer monitored. 2012
- [3] De Clark, Bruce: The Role of Robotics in Computerized Shot peening, Shot Peening Theory and Appl., IIT Intl., 1991
- [4] Electronics Inc: 24 Vdc Series MagnaValves, URL: <http://www.electronics-inc.com/24vdcseries.html>