

» Makino Aerospace Forum – Predstavitev obdelovalnih strojev

dr. Janez Kopač Makino Milling Machine Co. Ltd. je vodilni proizvajalec obdelovalnih strojev s sedežem v Tokiu in po vsem svetu zaposluje 4200 ljudi. Letnega prometa imajo 1,236 milijarde dolarjev.

Makino Milling Machine Co. Ltd. je vodilni proizvajalec obdelovalnih strojev s sedežem v Tokiu in po vsem svetu zaposluje 4200 ljudi. Letnega prometa imajo 1,236 milijarde dolarjev. Podjetje je bilo ustanovljeno 1. maja 1937. Izdelujejo obdelovalne centre v najvišjem kakovostnem razredu za obdelavo mehkih in trdih materialov. Njihovo področje so tudi obdelovalni stroji za orodjarstvo za obdelavo 3D-orodij. Širok spekter izdelkov je namenjen letalski in avtomobilski industriji, orodjarstvu, mikrotehnologiji itn. Podjetje ima po Evropi zaposlenih 250 ljudi v tehnoloških, prodajnih in servisnih centrih.

V Kircheimu pri Stuttgartu sta bili 2. julija delavnica »Makino Aerospace Forum« in demopredstavitev strojev in tehnologij MAKINO. Na novinarski konferenci so predstavili podjetje ter razložili značilnosti delovanja in tehnične prednosti 3-, 4- in 5-osnih frezalnih strojev, kar je bilo nato tudi predstavljeno na obdelovalnih strojih. Cilj delavnice je bilo geslo »Kako učinkovito in fleksibilno zmanjšati stroške odrezovanja na kos«. Ob tem so bili podani naslednji poudarki:

- zmanjšanje stroškov izdelave;
- tudi najučinkovitejši obdelovalni stroj sam od sebe ne more optimizirati izdelovalnega procesa, zato je potrebno znanje in sodelovanje strokovnjaka, tehnika, inženirja – tako da so stroj orodje, tehnologija in človek celota;
- velikega pomena so tudi poznavanje procesa, inteligentno programiranje in najsodobnejša odrezovalna orodja, ki so integrirana v proces.

V letalski industriji je pogosta obdelava izdelkov iz aluminijevih in titanovih zlitin. Pri aluminijevih zlitinah je osnovni cilj velik odvzem materiala v časovni enoti Q [cm^3/min], pri titanovih pa prehod na učinkovitejšo obdelavo, saj je znano, da je ta material zelo težko obdelovalen. Zato je obraba orodij velika, čas obdelave pa sorazmerno dolg, saj so rezalne hitrosti še vedno precej majhne. Njihova uporaba se zelo povečuje, v nekaj letih s 5 na 17 odstotkov vseh materialov, vgrajenih v sodobna letala.

Pri obdelavi delov za letala so naslednje zahteve:

Za ogrodje letala

- visoka stopnja odvzema materiala
- obdelava zelo velikih kosov iz enega dela
- visoka kompleksnost geometrije izdelkov (petosno frezanje)

Za pogonski agregat letala:

- večji volumni odjema pri obdelavi strateških materialov
- obdelava zahtevnih oblik izdelkov
- CNC-obdelava materialov, kot so inconel, titan, titanove in

aluminijeve zlitine itd.

- več operacij na enem izdelku: frezanje, struženje, brušenje itd.

Pri vseh teh zahtevah je poleg popolne kakovosti, ki zajema ozke tolerance in majhno hrapavost, pomembno zmanjševanje stroškov izdelave, da se stroji uspešno tržijo.

Petosni horizontalni obdelovalni center Makino T1

Na dogodku Makino Aerospace Forum je bil predstavljen nov obdelovalni center Makino T1, ki združuje karakteristike predhodnih strojev Makino T2 in T4 (Slika 1). T1 je petosni horizontalni obdelovalni center, ki ga odlikujejo inovativna tehnologija glavnega vretena s konstantno močjo, strukturna togost, odlična dinamika obdelave, aktivno odvisni sistem, visok navor rotacijskih osi ter kakovosten menedžment natančnosti; vse to ga naredi primerne za široko možnost uporabe. Predvsem je primeren za obdelavo zelo težko obdelovalnih materialov, kot sta titan in inconel. Zaradi vretena, ki zmore 12 000 vrtljajev na minuto, je primeren tudi za obdelavo aluminijevih zlitin in drugih mehkih kovin, kjer zahtevamo velik odvzem materiala, da povečamo produktivnost.



» Slika 1: Petosni horizontalni obdelovalni center Makino T1

Osnovne tehnične karakteristike stroja Makino T1:

- obdelovalno območje v smeri x, y in z: 1500 mm, 1300 mm, 2000 mm
- pomik A rotacijske osi: $155^\circ (-110^\circ \sim +45^\circ)$
- pomik B rotacijske osi (vrtljiva miza): 360° (neskončno)
- največji možni obdelovanec: premera 1500 mm in višine 1500 mm

- velikost vpenjalne palete: 1000 mm x 1000 mm
- navor rotacijske osi: 29 000 Nm (os A), 21000 Nm (os B)
- dovoljena obremenitev obdelovalne mize: 3000 kg
- vreteno: HSK-A 100 je vreteno z 12 000 vrt./min ter moči 56 kW (S1), 95 kW (S6)
- zalogovnik orodij s 60 pozicijami (možnost tudi 97 in 137 pozicij)

Na delavnici so demonstrirali obdelavo težko obdelovalnega materiala, tako imenovana Hard Machining – HM, in sicer Inconela 718 na opisanem stroju Makino T1. Obdeloval se je ulitek ohišja motorja, kar je razvidno s Slike 2. Tehnologija obdelave je temeljila na visokohitrostnem frezanju ($v = 1130$ m/min, $f_z = 0,14$ mm/zob, $a_e = 24$ mm, $a_p = 1$ mm, $Q = 100\text{--}150$ cm³/min). Ob tem je zanesljivo zelo pomemben podatek količina odvzetega materiala v časovni enoti, ko posredno pove tudi končni čas obdelave.



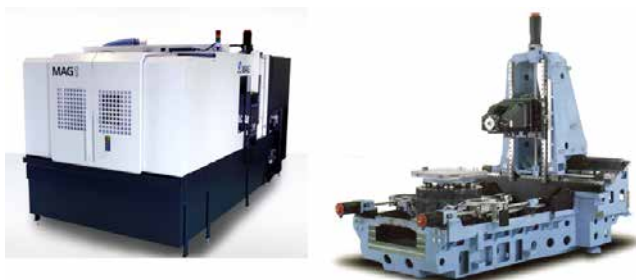
» Slika 2: Demonstracija obdelave litega ohišja iz inconela na stroju Makino T1

Petosni horizontalni obdelovalni center Makino MAG1

Petosni obdelovalni center je namenjen visokoproduktivni obdelavi zelo velikih aluminijastih izdelkov za letalsko industrijo (Slika 3). Združuje hitrost in moč glavnega vretena s platformo stroja, ki omogoča hitre ter precizne konturne obdelave in hkrati v čim večji meri večji odstotek časa od celotne obdelave, ko orodje odvzema material. Število spremenljivk procesa, ki se navezujejo na izdelavo in število nastavitvev, je minimizirano. Obdelovalni center MAG1 ima patentirano vreteno, ki zagotavlja zelo visoko stopnjo odvzema materiala, dolgo življenjsko dobo ležajev v vretenu, kar posredno vpliva na dinamiko procesa odrezavanja in na zmanjšano obrabo rezalnega orodja. MAG1 je mogoče nadgraditi tudi z avtomatskim paletnim podajalnim in shranjevalnim sistemom v zelo fleksibilen MMC-sistem, ki omogoča daljši čas delovanja stroja brez posredovanja operaterja.

Osnovne tehnične karakteristike stroja Makino MAG1:

- obdelovalno območje v smeri x, y in z: 1520 mm, 1100 mm, 1350 mm
- pomik A rotacijske osi: 210° (–110° ~ +100°)



» Slika 3: Levo – obdelovalni center Makino MAG1, desno – zgradba obdelovalnega centra Makino MAG1

- pomik B rotacijske osi (vrtljiva miza): 360° (neskončno)
- največji možni obdelovanec: premera 1500 mm in višine 1500 mm
- velikost vpenjalne palete: 800 mm x 1000 mm
- obremenitev: 1300 kg
- vreteno: 33000 vrt./min ter moči 80 kW
- zalogovnik orodij s 120 pozicijami (možnost tudi 241 pozicij)

Na tem obdelovalnem centru so demonstrirali obdelavo mehkih materialov, tako imenovani Soft Machining – SM. Obdelovali so aluminijevo zlitino. Stroj omogoča izredno visoke odvzeme materiala, med obdelavo so dosegli stopnjo odvzema $Q = 4536$ cm³/min, kar je razvidno s Slike 4. Šlo je za visokohitrostno obdelavo v mehko. Surovec je tehtal 200 kg, masni delež odvzetega materiala (odrezki) pa je znašal kar 90 odstotkov. Za pojasnilo bralcu povem, da v letalski industriji nekateri elementi ne smejo biti varjeni, ampak izdelani iz celega. Surovec je velik, stene končnega izdelka pa tanke in prepredene z ojačitvenimi rebri tako, da daje oblika videz žepov; gre za obdelavo s strokovnim imenom »pocket milling«. Končni izdelek je prikazan na Sliki 4 desno.



Slika 4: Levo: demonstracija obdelave z visoko stopno odvzema materiala, desno: obdelan kos velikih dimenzij na stroju Makino MAG1.

Petosni horizontalni obdelovalni center Makino a61nx-5E

Predstavljen je bil tudi visokozmogljiv frezalni center a61nx-5E, ki ga prikazuje Slika 5. Tudi ta stroj je namenjen visokoučinkoviti obdelavi aluminija majhnih in srednjih velikosti izdelkov zapletenih oblik, ki morajo biti obdelani petosno – zaradi značilnih oblik (negativni nakloni) in letalskih delov, ki so narejeni iz enega kosa. Dizajn stroja temelji na že znani in uspešni seriji strojev Makino nx. Center a61nx-5E omogoča povečanje produktivnosti z dodanimi dvojnimi direktno gnanimi rotacijskimi osmi za tako imenovano 'eno in opravljeno' (angl. one-and-done) učinkovitost. Inovativni avtomatski izmenjevalnik palet omogoča direktno namestitev palete na petosno rotacijsko mizo, medtem ko zagotavlja ravno površino za ergonomsko nakladanje obdelovanca. Možne različice so od standardnega vretena z veliko močjo, ki doseže 14 000 vrt./min, do vretena, ki doseže 24 000 vrt./min in moč 80 kW za obdelavo aluminija za letalsko industrijo. Stroj ima tudi zagotovljeno napredno mazanje ležajev vretena (angl. under-race-lubricated) ter hlajenje jedra vretena, kar omogoča stopnjo odvzema materiala do



» Slika 5: Petosni horizontalni obdelovalni center Makino a61nx-5E

300 cm³/min pri obdelavi aluminija.

Osnovne tehnične karakteristike stroja Makino a61nx-5E:

- obdelovalno območje v smeri x, y in z: 730 mm, 730 mm, 680 mm
- pomik B rotacijske osi: 290° (-110° ~ +180°)
- pomik C rotacijske osi (vrtljiva miza): 360° (neskončno) direktno gnana
- največji možni obdelovanec: premera 700 mm in višine 400 mm
- velikost vpenjalne palete: 400 mm x 400 mm
- obremenitev: 150 kg
- vreteno: 14 000 vrt./min ali 24 000 vrt./min
- zalogovnik orodij s 60 pozicijami (možnost tudi 133 ali 218 ali 313 pozicij)

Na tem stroju je bila demonstrirana obdelava FF-Ti na osnovi trohoidne poti rezalnega orodja. Obdeloval se je Ti-6Al-4V. Čas obdelave celotnega žepa izdelka je 48,5 minute, pri čemer je bila povprečna stopnja odvzema materiala 33,3 cm³/min. Uporabljalo se je frezalo premera d = 16 mm 5FI EM. Vrtilna hitrost glavnega vretena je bila 3071 vrt./min, rezalna hitrost 154 m/min, podajanje na zob 0,1 mm/zob, aksialna globina (a_p) 68 mm ter radialna globina (a_e) 1,0 mm. S krmiljenjem poti orodja po trohoidi se pri odrezovanju zmanjšajo rezalne sile, ker je radialna globina rezanja majhna, ob tem pa je aksialna globina izredno velika. To pripomore k enakomerni obrabi frezala po celotni dolžini in ne samo na spodnjem delu kot pri klasični obdelavi. Majhna radialna globina omogoča rezalno hitrost več kot 100 m/min. Zahteve pri tem pa so, da je frezalo za globoko potopitev, hlajenje skozi držalo frezala, spiralna in trohoidna pot orodja.

Triosni obdelovalni center Makino iQ300



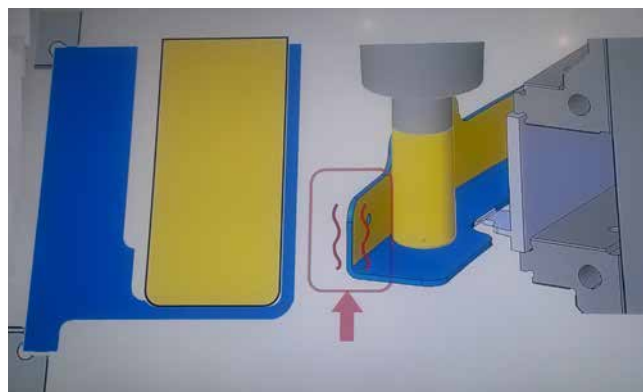
» Slika 6: Triosni obdelovalni center Makino iQ300

Namenjen je preciznemu mikrofrezanju za proizvajalce optičnih površin in drugih rezanih delov z visokim tolerančnim poljem (Slika 6). Stroj omogoča širok spekter zmožnosti obdelav od mi-

krometske natančnosti in ponovljivosti do aplikacij odrezavanja na makroskali. Center iQ300 spada med najsodobnejše stroje z linearnimi motorji, ki zagotavljajo povratno informacijo na 0,005 mikrometra natančno in nevzporeden temperaturni nadzor, kar zagotavlja precizne in predvidene rezultate odrezovanja. Stroj je zmožen učinkovito izmeriti dolžino orodja z natančnostjo in ponovljivostjo na podmikrometrski skali.

Na stroju iQ300 je bila predstavljena visokohitrostna obdelava v trdo, obdelovani material pa je bila karbidna trdina.

Kot posebnost sodobne in zahtevne obdelave je bila predstavljena tudi obdelava vitkih obdelovancev, kjer je problematika, ki se pojavi pri obdelavi, izkazana v obliki vibracij. Ob tem gre za majhno, a prilagojeno vpenjalno silo za obdelovanec, kar je razvidno s Slike 7. Gre za obdelavo izredno tankih sten, zato se je treba izogniti vibracijam na osnovi obdelave z majhnimi rezalnimi silami, in za pravilno porazdelitev rezov obdelav.



Slika 7: Strategija obdelave tankostenskih oblik, da zmanjšamo oziroma preprečimo vibracije

Makino poleg strojev MAG (Makino Aerospace Group), to so stroji, namenjeni letalski industriji, izdeluje tudi zelo precizne stroje, ki so namenjeni za izdelavo izdelkov za medicino, na primer pripomoček za spenjanje kože. Poleg strojev za obdelavo z odrezovanjem pa v Makinu izdelujejo še široko paleto strojev za potopno elektroerozijo in žično elektroerozijo.

Dogajanje na delavnici MAKINO je bilo izjemno strokovno. Poleg predstavitve njihovih najsodobnejših strojev so prikazali še najsodobnejše strategije obdelave, saj tudi najsodobnejši obdelovalni center ne more sam od sebe zmanjšati stroškov obdelave, kamor stremi celotna industrija, kjer uporabljajo postopke odrezovanja. Za zmanjšanje stroškov je poleg sodobnega odrezovalnega centra potreben še izobražen in izkušen kader, ki upravlja ta obdelovalni center in pripravi tehnološki načrt za izdelavo izdelka.

» Pogled v prihodnost do naslednje industrijske revolucije

Ko je bil leta 1712 v Angliji predstavljen prvi parni stroj, so mnogi zmajevali z glavo in trdili, da je v primerjavi z vodno energijo predrag in zato navadna izguba časa.

Skeptiki pa so utihnili, ko se je izkazalo, da je parni stroj – ta danes velja za izum, ki je sprožil prvo industrijsko revolucijo – fleksibilnejši in produktivnejši od vodne energije. Takrat in danes velja izrek: prilagodi se ali izgini.

Globalni proizvajalec orodij za kovinskopredelovalno industrijo Sandvik Coromant v tretji izdaji serije »Looking ahead« o izzivih prihodnosti za proizvodno tehnologijo, ki izhajajo iz tehnoloških,

demografskih in okoljskih sprememb, raziskuje robne pogoje za uspeh podjetij, povezane z uspešnim oz. neuspešnim sledenjem velikim tehnološkim premikom.

Po Sandvik Coromantovi beli knjigi »Manufacturing Intelligence« in filmu »Looking Ahead« smo danes na pragu četrte industrijske revolucije, ki jo uteleša prehod iz informacijskih tehnologij v pametno tehnologijo. Razmah visokotehnoloških povezav med proizvajalci, izdelki in njihovimi uporabniki tlakuje pot do večje varnosti, učinkovitosti in donosnosti za pripadnike vseh branž. Martin Helgson je v knjigi »Manufacturing Intelligence« zapisal: »To je le začetek nove ere analitike masivnih podatkov. Podjetja, ki bodo želela uspeti, se bodo morala posvetiti inovativnim procesom in razvoju pametnih izdelkov, tradicionalne naloge pa prepustiti avtomatizaciji.«

» www.sandvik.coromant.com/lookingahead