

## » Napredna programska oprema in orodja za grobo rezkanje

**Mag. Teun van Asten**

Proizvajalci nenehno iščejo načine za povečanje hitrosti, kakovosti in stroškovne učinkovitosti postopkov strojne obdelave. Da bi zadostili tem potrebam, dobavitelji strojnih orodij, programske opreme CAM in orodij nenehno razvijajo nove izdelke in aplikacijske strategije. Kombinirani izdelki in strategije so prilagojeni specifičnim vrstam strojne obdelave za najvišjo stopnjo produktivnosti. Najnovejši dosežki na področju grobega rezkanja na celosten način pričajo o prednostih uporabe naprednih tehnologij obdelave kovin.

### Elementi postopka

Temelj postopka rezkanja je strojno orodje. Za učinkovito grobo rezkanje mora biti stroj dovolj tog, da je odporen proti rezalnim silam, hkrati pa mora biti zmožen pospešiti in upočasniti osi na hitrost, ki pospešuje odvzem materiala in skrajša izgubljeni čas med hodi rezanja. Poleg tega zmogljivo vreteno omogoča visoke hitrosti rezanja in agresivne parametre aplikacij. Ne nazadnje pa mora biti sistem CNC-stroja dovolj računalniško zmogljiv za nenehno načrtovanje in zadovoljevanje hitro spreminjajočih se potreb po močni strojni obdelavi in gibanju linearnih in rotacijskih osi.

Programska oprema CAM določa, kakšne bodo te potrebe. Pri ustvarjanju poti orodij za rezkanje morajo razvijalci programske opreme upoštevati tako preproste kot tudi kompleksnejše postopke rezkanja. Temeljni postopek rezkanja je stransko rezkanje, kjer čelni rezkar vprime obdelovanca z bočno stranjo orodja pri določenih aksialnih (ap) in radialnih (ae) globinah reza. Enostaven postopek stranskega rezkanja vključuje minimalne spremembe radialnega vprijetja ali stičnega loka orodja med posameznim hodom. Operater lahko posledično prilagaja stični lok in tako v celoti izkoristi učinkovite funkcije zasnove čelnega rezkarja, vključno z večjim številom vijačnic in debelimi ojačenimi jedri. Večje število vijačnic omogoča višje hitrosti pomika, trdna jedra orodja pa lahko zdržijo obremenitve pri težki strojni obdelavi.

Pri utornem rezkanju pa je situacija drugačna. Pri utornem rezkanju je celotni premer čelnega rezkarja vprijet v rez in ustvarja 180-stopinjski stični lok. Obremenitev rezkarja je veliko večja kot pri stranskem rezkanju, odrezke pa je težje odvajati, zaradi česar se lahko znova zrežejo in povzročijo zastoj ter posledično okvaro rezkarja.

Če je obdelovanec za rezkanje iz materiala s slabo toplotno prevodnostjo, kot so nerjavno jeklo, titan in zlitine na osnovi niklja, se težava še poveča, saj to povzroča nabiranje toplote v rezalnem orodju, kar lahko privede do okvare orodja. Zaradi tega morda ne bo mogoče izbrati vseh aksialnih globin rezov orodja. Posledično bo za dokončanje dela treba izvesti več korakov za povečanje aksialnih globin, kar bo podaljšalo obdelovalni čas. Uturno rezkanje običajno zahteva tudi nastavitve nižjih hitrosti rezanja in pomika, kar še dodatno zmanjša produktivnost.

Napredna programska oprema CAM omogoča izdelavo utorov, saj lahko uporabniki izvajajo kompleksne strategije rezkanja, kot je trohoidno rezkanje. Na trohoidni poti orodja programska oprema usmerja orodje s premerom, ki je manjši od zelenega utora, v ponavljajočih se krožnih gibih po oseh x in y. Radialni vprijet orodja meri manj kot pol njegovega premera, krožna pot orodja pa utorno rezkanje spremeni v stransko rezkanje. Stični lok orodja se močno zmanjša, kar omogoča uporabo čelnih rezkarjev z več vijačnicami in daljših aksialnih dolžin rezov za večji odvzem materiala in krajši čas obdelave.

Med dvema skrajnostma – enostavnim stranskim rezkanjem in obdelavo utorov s popolnim vprijetom – so postopki rezkanja, ki vključujejo strojno obdelavo različnih konkavnih in konveksnih kontur. Te situacije so vse pogostejše, saj postajajo zahteve končnih uporabnikov glede delov kompleksnejše, zaradi česar se povečujejo tudi potrebe po učinkovitem spopadanju s spreminjajočimi se konturami.

Glavna težava je nadzorovanje stičnega loka orodja z obdelovancem. Pri rezkanju konkavnega elementa se stični lok orodja povečuje, hkrati pa se povečujejo tudi obremenitve elementa in strojnega orodja. Pri rezkanju konveksnega elementa pa velja nasprotno: stični lok se zmanjša, kar negativno vpliva na učinkovitost rezanja.

Dobavitelji programske opreme so razvili in izpopolnili algoritme poti orodja, ki v realnem času nadzorujejo vpetje orodja in



**Mag. Teun van Asten** ■ inženirske in tržne storitve programa rezkarjev iz karbidne trdine, Seco Tools, [www.secotools.com](http://www.secotools.com).

tako omogočajo zelo produktivno in zanesljivo grobo obdelavo tako enostavnih kot kompleksnih kontur. Te poti orodij običajno združujejo velike aksialne globine reza ( $ap$ ) z majhnimi radialnimi globinami reza ( $ae$ ), velike pomike na zob ( $fz$ ) in visoke hitrosti rezanja ( $vc$ ), ki občutno skrajšajo čas rezanja in izboljšajo odvzem materiala. Te napredne strategije grobe obdelave povečajo produktivnost, poleg tega pa z gladko rezalno potjo brez hitrega spreminjanja smeri ali rezalnih parametrov zmanjšujejo obremenitev orodja, kar vodi do daljše obstojnosti orodja.

Pri najnovejših strategijah programske opreme za poti orodja pri grobem rezkanju naletimo na dva osnovna načina. Pri prvem načinu ima orodje pri rezkanju konkavnega ali konveksnega dela konstantno hitrost pomika in stični lok, razdalja med hodoma pa se med hodi spreminja, kar zagotavlja najvišjo stopnjo odvzema materiala. Pri drugem načinu pa je razdalja med hodoma konstantna, spreminja pa se hitrost pomika in stični lok orodja za vzdrževanje konstantne debeline odrezka. Pri drugem načinu lahko stični lok orodja meri do 80 stopinj ali celo 140 stopinj, odvisno od tega, katera znamka programske opreme se uporablja.

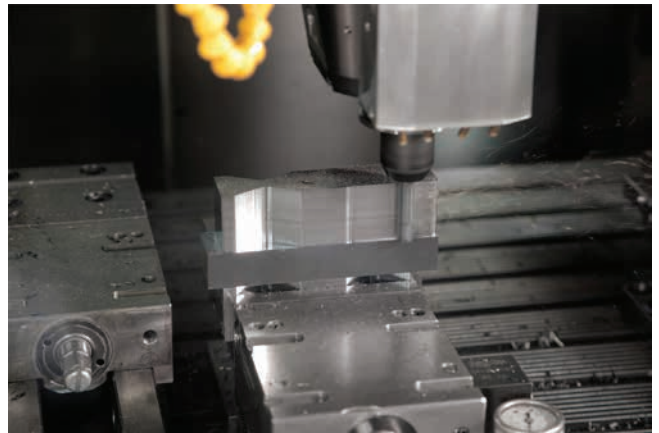
### Orodja za napredno grobo obdelavo

Razlike med dvema načinoma grobe obdelave zahtevajo uporabo različnih zasnov orodja. V številnih primerih prvi način dovoljuje uporabo rezalnih orodij z več vijačnicami in dvojnimi/ojačenimi jedri. Uporabniki pa lahko uporabljajo tudi visoka razmerja med aksialno in radialno globino reza.

Pri drugem načinu lahko odvajanje materiala potencialno poteka hitreje, vendar morajo v tem primeru rezalna orodja odvajati večje količine odrezkov. Orodja, ki so zasnovana za drugi način, imajo običajno manj vijačnic in odprto jedro za večji tok odrezkov ali se uporabljajo z definiranimi oblikami vijačnic (visokozmogljiva orodja).

Orodja, zasnovana za velike globine in širine reza ter visoke obremenitve, so na splošno primerna za oba načina. Vendar pa bodo imela orodja z več vijačnicami in orodja z ojačenimi jedri pri drugem načinu težave z odvajanjem odrezkov pri večjih stičnih lokih pri velikih aksialnih globinah. Uporabna razmerja med aksialno in radialno globino rezov so bolj omejena.

V nekaterih primerih se lahko zmogljivost orodja izboljša z dodajanjem določenih funkcij geometrije orodja. Seco je na primer na rezalne robove čelnih rezkarjev Jabro JS554-3C dodal cepilnike odrezkov. Ti cepilniki odrezkov so majhne zareze oziroma brazde na vijačnicah, ki so med seboj oddaljene za eno razdaljo premera orodja.



» Jabro-Solid2 JS554-3C z dvojnimi jedrom

Cepilniki odrezkov ne glede na aksialno globino reza zlomijo odrezke, še preden ti postanejo dovolj dolgi, da lahko vplivajo na tok odvajanja odrezkov. Posledično lahko čelni rezkarji delujejo z aksialnimi globinami rezov od 3,5- do 4-kratne dolžine premera orodja. Pri uporabi z napredno programsko opremo CAM za grobo obdelavo lahko ta orodja v primerjavi s tradicionalnimi metodami skrajšajo čas obdelave od 60 do 70 %. Do krajšega časa obdelave pripomore večji odvzem materiala in učinkovitejši cikli poti orodja.

Pri orodjih, ki so zasnovana za drugi način napredne grobe obdelave (z različnimi stičnimi loki in hitrostmi pomika), so za vrhunsko zmogljivost potrebne različne geometrijske podrobnosti. Orodja morajo imeti dovolj prostora za oblikovanje in odvajanje odrezkov. Takšen primer je čelni rezkar Seco Jabro JS554-2C z jedrom, ki se oži od sprednjega dela proti zadnjemu. Ta zasnova zagotavlja več prostora za tok odrezkov v luknjah vijačnic. Konusno jedro nekoliko zmanjša moč orodja, zato ta orodja niso primerna za obdelavo utorov s celotnim premerom. Po drugi strani pa imajo čelni rezkarji prilagojene konice, ki z vijačnim interpoliranjem pod naklonom izboljšajo zmogljivost. Ta izbor orodij lahko na primer izvaja grobo rezkanje z do 2,5-kratnim premerom orodja.

Napredna programska oprema za grobo obdelavo skupaj z orodji, ki optimizirajo njene prednosti, povečuje odrez na posamezen rezkalni hod in pospešuje čas obdelave. Primer je orodjarska aplikacija, ki je vključevala strojno obdelavo aluminijastega pokrova motorja motornega kolesa. Proizvajalec je želel skrajšati 15-urni čas obdelave pri načinu grobe obdelave z velikim pomikom.



» Definirana oblika vijačnic Jabro HPM JHP951



» Univerzalna programska oprema CAM za Jabro-Solid2 JS554-2C s konusnim jedrom

Za izboljšanje postopka je bil uporabljen rezkar Seco Jabro JS554-3C z napredno programsko opremo za grobo obdelavo, ki je s spreminjanjem razdalje med hodoma vzdrževala enakomeren stični lok. S to metodo je bil večji del postopka grobe obdelave končan v malo več kot 2,5 ure. Odstranjenega je bilo dovolj materiala, da so bile za dokončanje naslednje operacije grobe obdelave z velikim pomikom potrebne samo 4 ure. Na splošno se je čas, potreben za grobo obdelavo, skrajšal za 55 odstotkov.

## Zaključek

Kot pri mnogih operacijah strojne obdelave je treba specifična orodja in strategije uporabljati z upoštevanjem vseh vidikov proizvodnega procesa. Na primer, če dolžina rezanja orodja presega 4-kratno dolžino premera orodja ali če se orodja uporabljajo z dolgimi izpetji ali na nestabilnih strojih ali obdelovancih, je morda

rezkanje z velikimi pomiki boljše izbira kot napredni načini grobe obdelave, opisani v tem članku. S kombinacijo majhnih globin rezov in velikih pomikov na zob metode rezkanja z velikimi pomiki usmerjajo rezalne sile aksialno proti vretenu stroja, zaradi česar je postopek strojne obdelave stabilnejši.

Drugačne aplikacijske strategije so primerne za druge proizvodne procese. V nekaterih primerih bo najboljša izbira strojna obdelava pri velikih hitrostih, za katero so značilni lahki hodi pri visokih hitrostih vretena in pomika, ali visoko zmogljiva obdelava z običajnimi pomiki in hitrostmi v kombinaciji z zelo velikimi aksialnimi in radialnimi globinami reza (za več informacij o različnih oblikah orodij glejte stransko vrstico). V vseh primerih kombinacija naprednih strategij rezkanja in programske opreme in visoko zmogljivih orodij za te parametre prinaša najboljše rezultate z vidika odvzema materiala, obstojnosti orodja in stroškovne učinkovitosti.

## Strategije strojne obdelave usmerjajo zasnovano orodje

Prilagajanje zasnove orodij glede na specifične strategije strojne obdelave in proizvodne procese zagotavlja največjo stopnjo produktivnosti. Kot je opisano v glavnem delu besedila, je Seco razvil napredna orodja za grobo obdelavo v različicah z dvojnimi jedrom in konusnim jedrom, vsaka od teh različic pa zagotavlja najboljše možno zmogljivost ob uporabi v različnih naprednih strategijah grobe obdelave s programsko opremo CAM. Orodja so kot del ponudbe podjetja čelnih rezkarjev Jabro iz karbidne trdine zasnovana za srednje do velike pomike in visoke hitrosti rezanja. Priporočajo se radialne globine reza 0,15-kratne dolžine premera orodja ali manj, možna pa je tudi uporaba aksialnih globin reza od 2 do 4-kratne dolžine premera orodja, odvisno od uporabljene programske opreme CAM. Vrednosti rezalnih sil in porabe moči so zmerne. Vijačnice orodja imajo neenakomeren razdelek za zmanjševanje vibracij in že omenjene cepilnike odrezkov za neoviran tok odrezkov. Rezalni del čelnih rezkarjev je zasnovan za nadzor vijačnega interpoliranja pod naklonom, najboljši rezultati pa so doseženi z uporabo vpenjal Weldon ali vpenjal stročnic z izjemno natančnostjo. Orodja so združljiva z velikim številom običajnih materialov obdelovanca.

Po drugi strani pa so čelni rezkarji Jabro Diamond in Tornado zasnovani za delovanje pri visokih hitrostih rezanja in pomika pri obdelavi kaljenega jekla in grafitu, orodja pa ustvarjajo relativno majhne rezalne sile in zmanjšujejo porabo moči. Za ta orodja običajne aksialne globine reza merijo enkratno dolžino premera orodja, radialne globine reza pa merijo manj.

Orodja za visoke hitrosti imajo majhne kote vijačnice, kratke dolžine rezanja in velike premere jedra za večjo stabilnost pri visokih hitrostih. Na voljo so s plastenji PVD, za strojno obdelavo grafitu pa tudi z diamantnimi plastenji. Priporočajo se tesno vpenjanje ali uporaba vpenjal stročnic z izjemno natančnostjo za varnost orodja in natančno strojno obdelavo pri visokih hitrostih.

Nižje, običajne hitrosti rezanja in pomiki v kombinaciji z velikimi radialnimi in aksialnimi globinami reza omogočajo, da lahko paleta visokozmogljivih orodij Seco zagotavlja večji odvzem materiala. Visokozmogljiv način uporablja zmerne hitrosti pomika in rezanja, ki ustvarjajo produktivno visoke rezalne sile in zagotavljajo učinkovito uporabo moči stroja. Mogoča je uporaba aksialnih globin reza do 1,5-kratne dolžine premera orodja in radialnih globin reza dolžine premera orodja ali manj. Orodja dobro delujejo pri visokih hitrostih pomika na zob, njihovi neenakomerni razdelki pa zmanjšujejo vibracije. Honani rezalni rob in polirano plastenje PVD izboljšata delovanje pri obdelavi mehkega, srednje trdega in trdega jekla, nerjavnega jekla, superzlitin in titana. Priporočljiva je uporaba vpenjal Weldon ali Safelock.

Orodja z velikim pomikom Seco zagotavljajo tudi odvajanje nadpovprečno visokih količin materiala, hkrati pa delujejo pri zmernih hitrostih rezanja in velikih hitrostih pomikov. Z geometrijami vijačnic lahko orodja ustvarjajo majhne rezalne sile in zagotavljajo nizko porabo moči. Orodja z velikim pomikom rezalne sile usmerjajo aksialno proti vretenu stroja in so uporabna za rezkanje pri dolgem izpetju orodja in za manj stabilne obdelovance in strojna orodja. Geometrije za zmanjševanje odrezkov optimizirajo hitrosti pomika. Radialne globine reza običajno merijo

polovico premera orodja, aksialne globine reza pa merijo manj kot radij orodja. Za večjo varnost orodja priporočamo tesno vpenjanje ali uporabo vpenjal stročnic z izjemno natančnostjo.

Vsak obrat ali operacija seveda ne zahteva uporabe orodij, ki so zasnovani samo za določene aplikacije ali za aplikacije s programsko opremo CAM. Čelni rezkarji, namenjeni splošnim postopkom strojne obdelave, so za manjše delavnice ali celo za občasno uporabo v obsežnejših proizvodnih postopkih popolnoma zadovoljiva in stroškovno učinkovita rešitev. Orodja Seco Solid za splošno uporabo imajo zasnovano z dvojnimi jedrom za stabilnost, velike kote vijačnic za lažjo obdelavo, neenakomeren razdelek za zmanjševanje vibracij in rezalne robove, ojačene s honanjem. Orodja delujejo pri zmernih hitrostih rezanja in pomikih ter ustvarjajo povprečne rezalne sile in porabo moči. Radialne in aksialne globine reza so običajno enake premeru orodja ali manjše.



Jabro-Solid2 JS554 z zasnovano z dvojnimi jedrom

## » Seco je izpopolnil digitalni portal My Pages s funkcijo »Suggest«

Tehnična kompetentnost in izboljšave postopkov so bistvenega pomena za uspeh v današnji industriji obdelave kovin, zaradi česar je uvedba Secove funkcije za predlaganje Suggest še toliko pomembnejša. Kot del digitalnega portala My Pages pomaga funkcija Suggest proizvajalcem v vseh panogah na trgu poiskati rešitve za proizvodnjo svojih edinstvenih delov na področju rezkanja, struženja, vrtnanja ali rezanja navojev.

Suggest vsebuje celovit nabor rezalnih parametrov o več tisoč Secovih izdelkih na podlagi več kot 80-letnih izkušenj na področju aplikacijskega inženiringa in razvoja postopkov. Ta napredna zbirka podatkov omogoča funkciji Suggest hitro in enostavno predlaganje rezalnih orodij in strategij strojne obdelave za proizvodnjo delov z enostavnimi in zahtevnimi lastnostmi. Z napredkom v tehnologiji in uvajanjem novih izdelkov ter postopkov Secov strokovni oddelek za tehnologijo rezanja kovin neprenehoma posodablja funkcijo Suggest, s čimer skrbi, da imajo uporabniki vedno dostop do najnovejših podatkov.

Seco je razvil funkcijo Suggest za resnično reševanje težav in je mnogo več kot le tradicionalno orodje za izbiro izdelkov. Predlaga lahko produktivne rešitve z materialnega ali aplikacijskega vidika, na podlagi uporabniško določenih informacij, na primer materialov obdelovancev in pogojev za strojno obdelavo – vse v nekaj minutah v nasprotju z več urami, ki jih lahko porabite pri brskanju po katalogih izdelkov. V okviru funkcije Suggest so navedene cene in razpoložljivost zalog za vsa priporočena rezilna orodja.

Suggest lahko ponudi zanesljive predloge na podlagi minimalnih

podatkov. Za vsako polje za vnos podatkov ima določene privzete vrednosti, kar koristi tudi uporabnikom z omejenim znanjem na področju rezanja kovin. To je še posebej pomembno v primerih, ko ni na voljo dovolj usposobljenega osebja. Uporabniki lahko tudi pregledujejo in urejajo rezalne parametre za vsak korak v postopku, poleg tega pa omogoča tudi filtriranje, razvrščanje in primerjanje alternativnih predlogov. Vsak predlagan izbor orodja je mogoče shraniti, deliti z drugimi uporabniki v elektronski obliki ali natisniti za enostavno distribucijo.

Po besedah Bena Alexandra, vodje projekta My Pages pri družbi Seco, se vedno več proizvajalcev povezuje z dobavitelji rezilnih orodij z namenom širjenja tehničnega znanja in pomoči pri optimizaciji procesov. »To je tudi zelo smotno, saj je usposobljenost zaposlenih prava redkost in je hitrost inovacij na področju obdelovanja kovin dosegla raven, na kateri ima vedno več delavnic težave, da bi lahko v celoti samostojno izkoristile svoj potencial. Pri družbi Seco lahko na najboljši možen način pomagamo svojim strankam tako, da jim nudimo integrirane podporne storitve, na primer funkcijo Suggest, in napredna rezilna orodja, v koraku z napredkom na področju materialov in smernicami na trgu.«

Proizvajalcu tako na primer pomagamo poiskati pravo orodje za novo opravilo ali pomagamo pri raziskovanju možnosti za obstoječe aplikacije. Suggest vam 24 ur na dan in sedem dni v tednu pomaga pri načrtovanju procesov. Proizvajalci lahko dostopijo do funkcije Suggest v oblaku prek portala My Pages, ki ga lahko odprejo v spletnem brskalniku na računalnikih, tablicah in pametnih telefonih. Digitalni portal My Pages deluje povsem gladko in omogoča polno funkcionalnost, združljiv pogled in enostavno krmarjenje na vseh napravah.

» [www.secotools.com/mypages](http://www.secotools.com/mypages).

**RENISHAW**  
apply innovation™

Zmanjšajte  
stroške  
merjenja



## Nihče se ne more meriti z merilom Equator™

Renishaw Equator™ je vsestranska alternativa za merilne sisteme po meri in omogoča kontrolo raznovrstnih izdelkov, kot je do zdaj še ni bilo. Equator so družina meril iz Renishawa, razvita in preizkušena pa je bila v proizvodnji v sodelovanju z vodilnimi uporabniki meril iz različnih industrij in na različnih aplikacijah.

Uradni distributer za izdelke Renishaw v Sloveniji, na Hrvaškem, v Bosni in Hercegovini, Srbiji, Črni Gori in Makedoniji:

**RLS**

RLS d.o.o. Poslovna cona Žeje pri Komendi, Pod vrbami 2, 1218 Komenda  
T 01 527 2100 F 01 527 2129 E mail@rls.si www.rls.si

[www.renishaw.si/equator](http://www.renishaw.si/equator)