

MODERN MACHINING SYSTEMS AND TECHNOLOGIES

SUVREMENI OBRADNI SUSTAVI I TEHNOLOGIJE

UDILJAK, Toma; CIGLAR, Damir; SKORIC, Stephan; STAROVESKI, Tomislav & MULC, Tihomir

Abstract: *To be successful on ever demanding global market, it is necessary to fulfill the customers requests by solving their needs. The requests on products are easy of modification, growing complexity, the shorter delivery times, while the product lifetime on the market is getting shorter. Therefore the production companies very often deal with need of developing the new product or innovation of existing one, variable amounts and combinations of product, new materials, new regulations, and new technologies. In order to stay competitive on global market, the production companies must implement modern production systems and technologies that can fulfill that requests.*

Key words: *Machining Systems, Development Trends, Modern Technologies*

Sažetak: *Za uspješno poslovanje na sve zahtjevnijem globalnom tržištu, potrebno je zadovoljiti zahtjeve kupaca, rješavajući njihove potrebe i/ili probleme. Od proizvoda se zahtijeva sve veća mogućnost izmjena, sve veća kompleksnost, sve kraće vrijeme isporuke, a njihov životni vijek na tržištu je također sve kraći. Stoga se proizvodne tvrtke vrlo često suočavaju s potrebom uvođenja novih proizvoda i inovacijama postojećih, promjenjivim količinama i kombinacijama proizvoda, novim materijalima, novim zakonskim regulativama i novim tehnologijama. Kako bi ostale, ili postale, kompetitivne na globalnom tržištu moraju primjenjivati suvremene proizvodne sustave i tehnologije koje mogu ispuniti takve zahtjeve.*

Ključne riječi: *obradni sustavi, trendovi razvoja, suvremene tehnologije*



Authors' data: Toma **Udiljak**, prof.dr.sc., Fakultet Strojарstva i Brodogradnje, Zagreb, toma.udiljak@fsb.hr; Damir **Ciglar**, prof.dr.sc., Fakultet Strojарstva i Brodogradnje, Zagreb, damir.ciglar@fsb.hr; Stephan **Škorić**, doc.dr.sc., Fakultet Strojарstva i Brodogradnje, Zagreb, stephan.skoric@fsb.hr; Tomislav **Staroveški**, dipl.ing, Fakultet Strojарstva i Brodogradnje, Zagreb, tstaroveski@gmail.com; Tihomir **Mulc**, mr.sc, SAS Strojogradnja, Zadar, tihomir@sas-strojogradnja.hr

1. Uvod

Na život čovjeka i razvoj cjelokupnog društva jedan od najvećih utjecaja ima privredna grana pod nazivom industrijska proizvodnja. Ona donosi kapital i njen razvoj je uzrokovao naglo jačanje i razvoj, kako obradnih sustava, tako i jednog od najraširenijih i najzastupljenijih postupaka obrade dijelova – obrade odvajanjem čestica. Obrada odvajanjem čestica sastoji se od niza različitih postupaka kod kojih se od početnog volumena sirovog materijala odvaja tj. odstranjuje određena količina materijala u obliku odvojenih čestica, a sve u svrhu izrade odnosno formiranja gotovog konačnog izradka. U postupku formiranju izradka i proizvodnom sustavu najznačajniji čimbenici su materijal obradka, rezni alat i obradni stroj ili sustav. Danas je prisutan intenzivan razvoj svakog od ovih čimbenika, jer zbog velike i nemilosrdne konkurencije na tržištu, suvremeni proizvodi moraju imati puno bolje karakteristike i trajnost. Zbog toga se često izrađuju od novih materijala koji se puno teže obrađuju postupcima obrade odvajanjem čestica. Jasno je da i materijali reznog alata i obradni sustavi moraju pratiti suvremene trendove, a pored toga su prisutni i slijedeći zahtjevi i razlozi njihovog intenzivnog razvoja:

- Zahtjevi za većom produktivnošću
- Zahtjevi za kraćim vremenima obrade
- Zahtjevi za većim iskorištenjem obradnih sustava
- Zahtjevi za stalnim povećanjem kvalitete obrade
- Zahtjevi očuvanja okoliša

Jedan od načina da se ispune ti zahtjevi su različiti trendovi razvoja suvremenih obradnih sustava i proizvodnih tehnologija koje se na njima ostvaruju. Prije su se obradni strojevi specijalizirali u pojedinačnim procesima: tokarenje, glodanje, bušenje itd., dok jedan od prisutnih trendova razvoja ide u smjeru integriranja sve više različitih obradnih procesa u jednom stroju, odnosno sustavu. Današnji obradni centri, bilo tokarski ili glodači, imaju koncentraciju različitih operacija obrade u jednom stezanju, tj. mogu obrađivati obradak s više strana, a cilj je potpuna obrada izradka na jednom obradnom sustavu i u jednom stezanju. To je i razlog zašto nije uvijek jednostavno reći kojeg je tipa konkretni obradni stroj, pa se takvi strojevi često nazivaju višenamjenski obradni strojevi. Njima se ujedno reducira i broj potrebnih različitih alatnih strojeva za obradu, te se skraćuje vrijeme čekanja i transporta dijelova među njima. Naravno, zbog toga suvremeni obradni sustavi postaju fleksibilniji i produktivniji jer se skraćuje i vrijeme izrade i vrijeme obrade proizvoda. Drugi trend razvoja suvremenih obradnih sustava je prema visokobrzinskim i visokodinamičkim obradnim sustavima. Njihova osnovna karakteristika je da su projektirani modularno, tako da u obradi i izvan nje omogućuju ostvarivanje znatno većih brzina glavnih i pomoćnih gibanja. Visokobrzinski strojevi na kojima se ostvaruju suvremene visokobrzinske obrade daju bolji odnos količine odvajanja čestica po jedinici potrošene energije, a ujedno se postiže kraće vrijeme izrade i vrijeme obrade proizvoda. Modularna koncepcija suvremenih obradnih sustava omogućuje i potiče nezavisan razvoj i usavršavanje pojedinih modula, ali nedovoljno razvijeni principi rekonfigurabilnosti i visoki troškovi ograničavaju njihovu primjenu.

Naime, zbog niže cijene i jednostavnije ugradnje, intenzivnije je korištenje kotrljajućih kugličnih vodilica iako rezultati ispitivanja pokazuju da se primjenom kliznih hidrostatskih vodilica postiže približno dva puta bolja kvaliteta obrade površina i da je postojanost reznog alata povećana za 38% , (Soroka, 2004). Prema istraživanju od strane firme KENNAMETAL, američka industrija odabire ispravno rezni alat u manje od 50% slučajeva, a upotreba alata u predviđenim reznim brzinama je 58% radnog vremena. Iz ova dva podatka proizlazi da je vremenska iskoristivost reznog alata svega 29%, što je također poražavajući rezultat. Nadalje, ako modul za prihvat reznog alata na obradni sustav nije adekvatno izveden, može doći do poremećaja procesa obrade, a shodno tome i do pojave vibracija pa čak i do loma oštrice alata. Zbog toga cijeli sustav za prihvat reznog alata mora imati visoku krutost jer jedino tako kvaliteta i učinkovitost alata mogu doći do izražaja. König ukazuje da smanjena krutost utječe na povećanje amplituda sila rezanja kao i na veće amplitude vibracija alata. Prema (Soroka, 2004), ako bi se povećala krutost obradnog sustava, trajnost reznog alata bi se mogla povećati i nekoliko puta. Težnja i cilj kod projektiranja suvremenog obradnog sustava trebao bi biti reduciranje njegove složenosti tako da sustav bude robustan i pouzdan i da u što dužem vremenskom razdoblju osigurava stabilnost obrade uz minimalne troškove (Suh, 2005). Dakle, suvremeni obradni sustavi moraju imati module povećane krutosti, visokih brzina i ubrzanja, visoke preciznosti i velikih snaga, što omogućuje da se na njima izvode suvremene proizvodne tehnologije kao visokobrzinske obrade, obrade bez hlađenja ili suhe obrade te obrade otvrdnutih materijala.

2. Visokobrzinska obrada

Osnovna karakteristika visokobrzinskih obrada (high speed machining) je korištenje brzina rezanja koje su nekoliko puta veće od klasičnih (Matthew & Schmitz, 2008). Jedan od značajnih centara za istraživanja u području VBO je i Engineering Research Center at The Ohio State University. Na temelju provedenih istraživanja koja traju i dalje, dao je preporuke kod primjene VBO, a to su odabrati simetričnu konstrukciju reznog alata i obratiti pozornost na njegov prihvat te u samoj obradi presjek odvojene čestice držati što jednoličnijim jer je to vrlo važno za stabilnost procesa rezanja. Naime, jednoliki presjek odvojene čestice znači jednoliko opterećenje i naprezanje, pa se na taj način sprečava nepoželjno i nedopušteno nastajanje vibracija. Ostale karakteristike visokobrzinske obrade su da stvorena toplina u procesu odlazi odvojenom česticom pa je obradak relativno hladan, a to je pogodno za obradu materijala osjetljivih na toplinu. Zbog korištenja malih posmaka visoka je kvaliteta obrađene površine pa nisu potrebne dodatne završne obrade. Time je sama izrada dijelova znatno brža i kvalitetnija, a to i jesu zahtjevi suvremene proizvodnje.

3. Obrada bez hlađenja

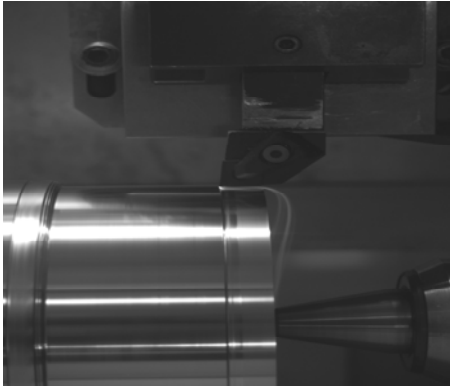
Kod velikoserijske i masovne proizvodnje, pretežno u automobilskoj i avionskoj industriji, koristile su se velike količine sredstva za hlađenje ispiranje i podmazivanje (SHIP-a), s ciljem povećanja produktivnosti, točnosti i postojanosti reznog alata.

Prema Mercedes Benzu, troškovi SHIP-a u ukupnom udjelu troškova proizvodnje iznose visokih 16%. Vidljivo je da su opravdano naglašeni zahtjevi za smanjenjem primjene SHIP-a, prvenstveno zbog visokih troškova primjene ali i zbog štetnog djelovanja na čovjeka, a također i u svrhu zaštite okoliša. Djelovanje SHIP-a na čovjeka smatra se štetnim jer izaziva teška oboljenja kože. Prema istraživanjima provedenim u Njemačkoj, 50% operatera imalo je ili ima problema s kožnim bolestima uslijed rada na obradnim sustavima koji su u primjeni imali SHIP. Procjenjuje se da se zbog tih oboljenja godišnje izgubi preko milijun smjena što je veliki gubitak. Zaštita okoliša je postala obaveza svih zemalja, a pogotovo onih industrijski razvijenijih i uvedene su vrlo rigorozne mjere. To znači da su troškovi skladištenja i zbrinjavanja SHIP-a te zaštite okoliša značajni i naplaćuju se unaprijed te se zbog svih navedenih troškova sve više teži primjeni obrade bez hlađenja odnosno suhoj obradi odvajanjem čestica. Kod obrade bez hlađenja (dry machining), temperatura rezanja je visoka što može olakšati proces rezanja jer time dolazi do omekšanja obradnog materijala ali, obrada je izvediva jedino ispravnim odabirom reznog materijala alata koji je postojan na tako visokim radnim temperaturama (Zhangiang & Xing, 2005). To su prvenstveno rezni alati od sitnozrnatog tvrdog metala, keramike i kubičnog borovog nitrida, te razne prevlake kojima se alatima od tvrdog metala dodatno produžuje postojanost oštrice. Ušteda energije i smanjenje troškova koji se ostvaruju suhom obradom je znatna i pridonosi očuvanju čistoće okoliša, pa ova tehnologija postaje sve popularnija.

4. Obrada otvrdnutih materijala

Pod pojmom obrada otvrdnutih materijala ili materijala povišene tvrdoće (hard machining) podrazumijeva se obrada materijala čija se tvrdoća obično nalazi u rasponu 45-65HRC. Omogućena je razvitkom materijala reznih alata i prevlaka, čija je tvrdoća vrlo velika i postojani su na visokim temperaturama, a to su prvenstveno keramika i CBN. Glavna prednost obrade otvrdnutih materijala je mogućnost izbjegavanja procesa konvencionalnog brušenja, jer se tvrdim tokarenjem postiže kraći rok i niža cijena obrade. Prema (Klocke, et al., 2005), dimenzije oštrica kod brušenja su barem deset puta manje i uvijek je u zahvatu s obradkom nekoliko oštrica, dok je kod tokarenja samo jedna. Međutim, najveći dio proizvedene topline kod procesa tvrdog tokarenja se prenosi na odvojenu česticu dok se kod brušenja jedan dio topline prenosi na odvojenu česticu, a značajan dio topline ulazi u površinske slojeve obradka. Dakle, gledajući moguće nepoželjne promjene mikrostrukture površinskih slojeva obradka, može se reći da su one manje kod tvrdog tokarenja zbog manjeg unosa topline (Hashimoto, et al., 2006). Ispitivanje obrade otvrdnutih materijala u svrhu usporedbe dobivene hrapavosti, provedeno je u Laboratoriju katedre za alatne strojeve na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Korišten je tokarski obradni centar SBL 500 proizvođača Trens Trenčin-Slovačka, a obrađivan je visokolegirni alatni čelik s približno 12% kroma koji je prethodno kaljen u ulju te ima oznaku X 210 Cr 12 i prosječnu tvrdoću 63 HRC. Tvrdo tokarenje je provedeno tokarskim nožem s keramičkom pločicom oznake CNGA 120408 TIN 22 poduzeća Iscar. Slika 1 prikazuje postupak tvrdog tokarenja, a

izmjerena srednja aritmetička hrapavost površine, dobijena s brzinom rezanja 100m/min, dubinom rezanja 0,6mm i posmakom 0,08mm iznosi 0,4 μm . Istim ostalim režimima obrade ali smanjenjem dubine rezanja na 0,4 mm, ostvarena hrapavost površine je još manja i iznosi svega 0,23 μm . Potvrđeno je ispitivanjem da ovakve ostvarene hrapavosti mogu zamijeniti postupak konvencionalnog brušenja.



Slika 1. Zahvat alata i obratka pri tvrdom tokarenju

5. Zaključak

Diskretna proizvodnja je danas, početkom 21-og stoljeća, uvjetovana brzinom stjecanja, širenja i primjene znanja. Tržišni uvjeti i velika konkurencija zahtijevaju brzi razvoj i brzu izradu novih proizvoda, što je moguće samo uz primjenu suvremenih obradnih sustava i procesa. Primjenom virtualne i digitalne proizvodnje značajno se skraćuju i pojeftinjuju faze razvoja i projektiranja sustava. Modularnom koncepcijom ostvaruje se pretpostavka za rekonfigurabilnost, prilagodljivost i autonomnost čime se omogućuje veća produktivnost i veće iskorištenje obradnih sustava. Javljaju se nove proizvodne paradigme (inteligentni proizvodni sustavi, virtualni proizvodni sustavi, holonski proizvodni sustavi, rekonfigurabilni proizvodni sustavi, ...) kojima se nastoji dati odgovor na isto pitanje: kako omogućiti proizvodnim sustavima "preživljavanje" i prilagodbu brzim promjenama u okolini.

6. Literatura

- Hashimoto, F.; Guo, Y.B. & Warren, A.W. (2006). Surface Integrity Difference between Hard Turned and Ground Surfaces and Its Impact on Fatigue Life, *Annals of the CIRP*, 55/1/2006, p.81-84.
- Klocke, F.; Brinksmeier, E. & Weinert, K. (2005). Capability Profile of Hard Cutting and Grinding Processes, *Annals of the CIRP*, 54/2/2005, p.557-580.
- Matthew, A.D. & Schmitz, T.L. (2008). Dynamics of High-Speed Machining, *Dostupno na: <http://highspeedmachining.mae.ufl.edu/htmlsite/tutorials.html>*, *Pristup: 07-05-2008*
- Soroka, D.P. (2004). Hard Turning and the Machine Tool, *Dostupno na: <http://hardingeus.com/usr/pdf/hardturn/ASME.pdf>*, *Pristup: 14-04-2008*
- Suh, N. P. (2005). Complexity in Engineering, *Annals of the CIRP*, Vol 54/2
- Zhangiang, L. & Xing, A. (2005). Cutting Tool Materials for High Speed Machining, *Progress in Natural Science*, Volume 15, Issue 9, September