

APPLICATION OF SPOT COOLING TOOLS AT TURNING HARD MATERIALS

PRIMJENA TOČKASTOG HLAĐENJA ALATA PRI TOKARENJU TVRDIH MATERIJALA

BOSNJAKOVIC, Mladen & MOSKUN, Dragomir

Abstract: *During the machining process on machines without emulsion cooling system or in operations where we can not apply cooling by emulsion, excessive heat is generated which shortens the tool life time, leads to a reduction in cutting speed and feed and resulting decrease in productivity. In such cases, it is proposed spot cooling tool and workpiece with cryogenic air. Application of such cooling is executed in particular the workshop manufacturing. Analysis of the obtained results indicates the positive effects of cooling tool and workpiece with cryogenic air.*

Keywords: *Spot cooling, vortex air cooling*

Sažetak: *Pri obradi odvajanjem čestica na strojevima bez sistema za hlađenje emulzijom ili u operacijama u kojima se ne može primijeniti hlađenje emulzijom dolazi do prekomjernog razvijanja topline koja skraćuje vrijeme trajanja vrha rezne pločice, dovodi do smanjivanja brzine rezanja i posmaka, a što rezultira smanjenje produktivnosti. U ovakvim slučajevima predloženo je točkasto hlađenje alata i obratka pothlađenim zrakom. Primjena takvog hlađenja izvršena je u konkretnoj radioničkoj izradi. Analiza ostvarenih rezultata ukazuje na pozitivne efekte primjene hlađenja alata i obratka pothlađenim zrakom.*

Ključne riječi: *Točkasto hlađenje, vrtložno pothlađivanje zraka*



Authors' data: mr. sc. Mladen, **Bosnjakovic**, Veleučilište u Slavanskom Brodu, dr. Mile Budaka 1, mladen.bosnjakovic@vusb.hr; Dragomir, **Moskun**, dipl. inž. str., Đuro Đaković Strojna obrada d.o.o., dr. Mile Budaka 1, Slavonski Brod, dmoskun@strojna-obrada.hr;

1. Uvod

Veliki kapitalni strojevi za obradu odvajanjem čestica starijeg datuma proizvodnje često nemaju ugrađen sistem za rashladnu tekućinu. Ovo se pri obradi određenih materijala pokazuje kao problem koji treba riješiti, ako se ne žele propustiti poslovi na sve zahtjevnijem globalnom tržištu. U nastavku je opisana navedena problematika te predloženo rješenje problema.

Prvi primjer obrade odvajanjem čestica bez korištenja rashladne tekućine je tokarenje na velikoj vertikalnoj tokarilici najvećeg promjera tokarenja 4270 mm na koju je naknadno ugrađen CNC sustav upravljanja.

Budući da stroj nije opremljen sistemom za hlađenje emulzijom, prilikom obrade odvajanjem čestica, posebno pri gruboj obradi, dolazilo je do prekomjernog grijanja pločica od tvrdog metala. Toplina se s pločice prenosila na podložnu pločicu i držač pri čemu se javljala karakteristična plava boja koja je ostajala kao znak prekomjernog zagrijavanja materijala. Također se nije moglo zanemariti i progrijavanje materijala obrađivanog komada i značajno povećanje dimenzija na velikim promjerima. U operacijama sa stezanjem prstena promjera od Ø2500 do Ø3000 mm steznim čeljustima iznutra dolazilo je do povećanja promjera 2 do 3 mm što je dovodilo do zakretanja prstena u steznim čeljustima. Stoga je bilo potrebno dodatno stezati stezne čeljusti tijekom grube obrade kako ne bi došlo do oštećivanja ili opasnog podizanja prstena iz steznih čeljusti.

Rezultat rada na suho je bio veći broj uništenih držača pločica čija je cijena oko 2.500,00 Kn/kom. Materijal držača je na mjestu podložne pločice i vijka za stezanje nakon toplinskih preopterećenja pretrpio trajne deformacije koje se više nisu mogle popraviti. Također je trajnost vrha pločice bila značajno smanjena posebno u operacijama grube obrade otkivaka gdje je vrh pločice dodatno izložen udarcima i tvrdoj kori od kovanja.

Zahtjev koji je postavljen na odjel tehnologije je pronaći rješenje za:

- smanjenje naprezanja u prstenu koja su uzrokovana toplinskim širenjem prstena, a koja su posljedica povišenja temperature prstena pri obradi
- ostvarenje dimenzija u zadanim tolerancijama
- smanjenje troška za alat

Sve navedeno je trebalo ostvariti uz vrlo ograničena novčana sredstva.

2. Predloženo rješenje

Dva su moguća rješenja: ugradnja sistema za hlađenje emulzijom ili primjena hlađenja pothlađenim zrakom.

Sistem za hlađenje emulzijom bi zahtijevao izradu prstenaste posude oko stola promjera Ø4400/ Ø3800 mm (npr. lim 4 mm, ukupne površine oko 4 m² i težine 125 kg – cijena s radovima iznosi oko 8.500,00 Kn), izradu spremnika emulzije oko 800 litara (npr. lim 4 mm, površine oko 6 m² i mase 190 kg – cijena s radovima iznosi oko 5.250,00 Kn), kupnju pumpe (oko 7.500,00 Kn/kom) sa cjevovodom te emulzije za hlađenje (koncentracija 5% na 800 litara zahtijeva oko 40 litara ulja. Cijena 1 litre

je oko 38,00 Kn za mineralno, a 54,00 Kn za sintetsko ulje, dakle ukupno 1520,00 Kn - 2160,00 Kn za prvo punjenje spremnika).

Ukupna investicija bi uključila i dizanje okretnog stola tokarilice, građevinske radove (upuštanje temelja za posudu, betoniranje, osiguravanje brtvljenja na promjeru Ø4000 mm i ugradnju posude za skupljanje emulzije) te bi konačni iznos investicije bio 50.000,00 Kn do 70.000,00 Kn.

Cijena uređaja za točkasto hlađenje iznosi oko 2.700,00 Kn i zahtijeva samo instaliranje crijeva za stlačeni zrak na stup stroja.

Analizirajući dostupnu literaturu te uvažavajući ekonomske i druge ograničavajuće čimbenike, predložena je uporaba pothlađenog zraka za hlađenje alata i obratka.

2.1 Pregled dosadašnjih istraživanja

Povišena temperatura u zoni rezanja pri tokarenju tvrdih materijala uzrokuje trenutno ključanje rashladnog sredstva, što dovodi do skraćanja životnog vijeka alata i lošije kvalitete površinske obrade. Zbog toga se tekuća rashladna sredstva ne primjenjuju pri tokarenju tvrdih materijala. Obrada bez hlađenja također ne daje dobre rezultate pa se predlaže primjena hlađenjem zrakom [1].

Primjenom sistema za hlađenje zrakom, dizajniranog za smanjenje temperature u zoni kontakta alata i obratka, povećava se produktivnost obrade mogućnošću korištenja većih parametara obrade u odnosu na isti slučaj pri suhoj obradi [2].

U početnim istraživanjima koristio se obični komprimirani zrak, koji se u odnosu na vodu i ulje pokazao inferioran [3]. Noviji pokušaji primjene hladnog komprimiranog zraka dali su puno bolje rezultate što ukazuje na mogućnost da zamijeni funkciju SHIP-a. Nandy i ostali pokazuju da korištenje hladnog komprimiranog zraka donosi značajno povećanju vijeka trajanja alata i produktivnosti [4]. Choi i ostali su istraživali utjecaj ohlađenog zraka na $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ pod tlakom od 4 bar i pokazali da se snižavanjem temperature zraka povećava kvaliteta obrađene površine i smanjuju zaostala naprezanja unutar iste [5].

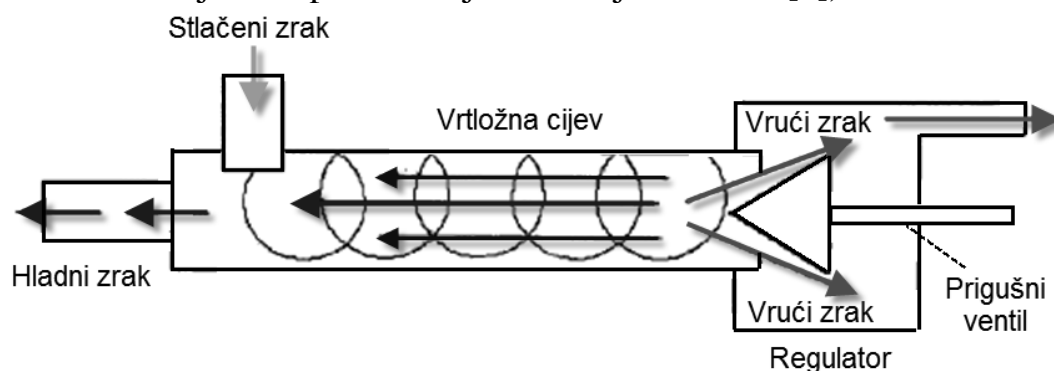
Ovisno o vrsti obratka, uvođenje suhe obrade umjesto konvencionalne mokre obrade, dovodi do uštede od oko 17% ukupnog troška za obradu čitavog obratka. Ovo je većinom zbog eliminacije korištenja sredstava za hlađenje i podmazivanje, čišćenja stroja, održavanja i odlaganja SHIP-a [6].

2.2 Uređaj za pothlađivanje zraka

Hlađenje hladnim komprimiranim zrakom najčešće se provodi korištenjem vrtložne cijevi. Prvi prototip vrtložne cijevi je napravio francuski fizičar Georges J. Ranque 1933. godine kada je slučajno otkrio pojavu razdvajanja stlačenog zraka na hladnu i vruću struju zraka. Otkriće je unaprijedio njemački fizičar Rudolph Hilsch 1947. godine s izmijenjenom konstrukcijom vrtložne cijevi. Iako postoje brojne numeričke i eksperimentalne analize Ranque-Hilsh efekta, činjenica je da još uvijek ne postoji jedinstvena teorija koja objašnjava pojavu radijalnog temperaturnog razdvajanja u vrtložnoj cijevi.

Vrtložna cijev je jednostavna naprava bez pokretnih dijelova, koja istovremeno proizvodi vruću i hladnu struju zraka na svoja dva kraja iz izvora stlačenog zraka.

Sastoji se od duge cijevi koja ima tangencijalnu mlaznicu na jednom kraju i konusni ventil na drugom kraja, kao što je prikazano na slici 1. Stlačeni zrak se uvodi u cijev kroz tangencijalnu mlaznicu koja dovodi do stvaranja vrtložnog kretanja ulazne struje zraka (u nekim slučajevima preko milijun okretaja u minuti [7]).



Slika 1. Shematski prikaz Hilsch-Ranque cijevi

Vrtložna struja zraka se zatim kreće do prigušnog ventila na drugom kraju cijevi. Prigušni ventil propušta manji dio vrtložnog zraka uz samu stjenku cijevi (20% do 40% [8]), a središnji dio vrtložne struje zraka odbija i usmjerava u suprotnom smjeru stvarajući unutarnji vrtlog kroz vanjski vrtlog zraka. Unutarnji vrtlog predaje toplinu vanjskom vrtlogu uz stjenku cijevi te uz značajan pad temperature izlazi na hladnom kraju cijevi. Vanjski vrtlog zraka uz stjenku cijevi izlazi na suprotnom kraju s temperaturom koja je viša od temperature ulaznog zraka.

Osnovne značajke vrtložne cijevi su:

- nema pokretnih dijelova,
- neovisnost o električnoj mreži,
- niska nabavna cijena,
- gotovo da i nema potrebe za održavanjem,
- trenutna proizvodnja hladne struje zraka i do 40 °C ispod temperature stlačenog zraka,
- lagana i kompaktna konstrukcija,
- tihi rad.

3. Primjeri primjene u konkretnim radioničkim uvjetima

Primijenjena metodologija ispitivanja zasnovana je na dostupnim mjernim instrumentima i mjerenjima odjela kontrole kvalitete na konkretnim obradcima u radioničkim uvjetima pri čemu se nije smjela usporavati niti ometati tekuća proizvodnja. Zbog toga se nije ulazilo u dublju analizu utjecajnih parametara na promjenu dimenzija niti su se mjerila naprezanja u materijalu.

3.1 Prvi primjer

Prvi primjer obrade odvajanjem čestica gdje je uvedeno hlađenje zrakom je tokarenje na vertikalnoj tokarilici. Osnovni podaci o obratku:

Naziv crteža	Unutarnji prsten
Broj radnih komada	3
Vrsta materijala	42CrMo4V EN100
Stanje materijala	Valjani prsten, poboljšani i popušteni na 800-900 N/mm ²
Vrsta obrade	Gruba obrada
Dimenzije obratka	Ø2430 / Ø2100 x 200

Tablica 2. Osnovni podaci o obratku za grubu obradu

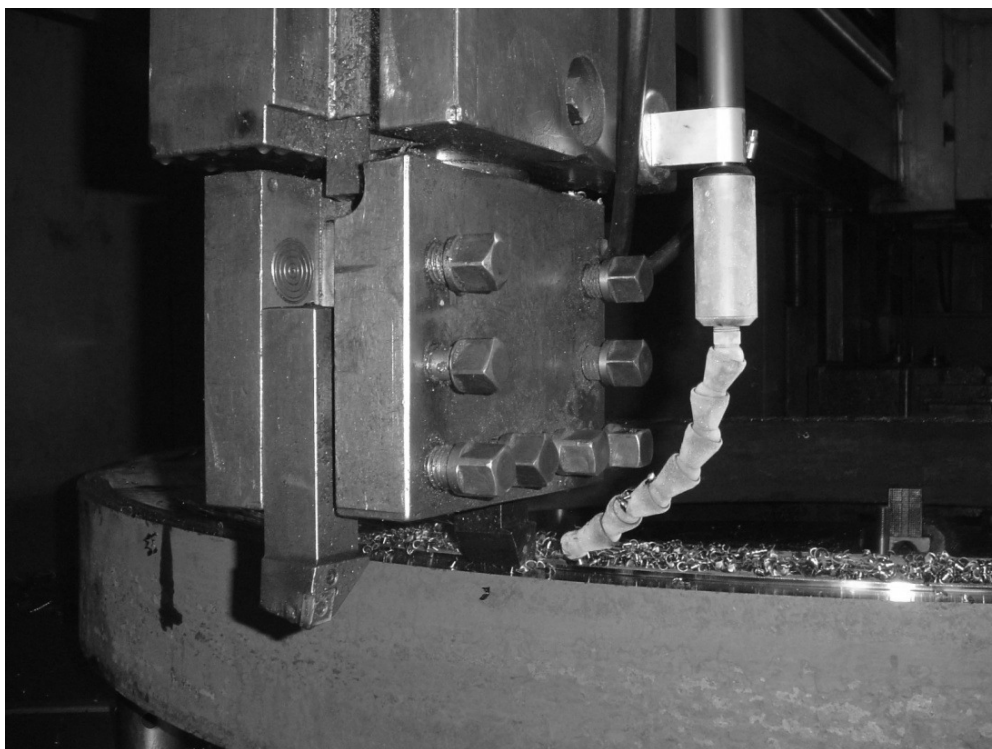
Osnovni podaci o vrsti pločice i režimima rada:

Vrsta pločice	CNMM 190612-65
Brzina vrtnje	n=10,5 min ⁻¹
Posmak	s=0,51 mm/okr
Dubina rezanja	a=5 mm
Hlađenje	Uređaj za točkasto hlađenje, tlak zraka 6 do 8 bara

Tablica 3. Osnovni podaci o vrsti pločice i režimima rada pri gruboj obradi

Rezultati primjene uređaja za točkasto hlađenje su bili:

- izlazna struja zraka mjerena laserskim termometrom je iznosila -7 °C na izlazu zglobnog crijeva, a na vanjskoj stjeci došlo je do stvaranja tankog sloja leda,
- držač alata se nije pregrijavao, otpuštanje pločice od tvrdog metala je bilo olakšano. Bez hlađenja pločica se mogla uzimati samo u radnim rukavicama i teško se otpuštala, a u slučaju dobro usmjerenog mlaza hladnog zraka pločicu je bilo moguće uzeti rukom odmah nakon zaustavljanja obrade,
- povećavanje režima obrade nije bilo značajno, ali je trajnost vrha pločice produljena oko 20% u odnosu na obradu bez hlađenja,
- pri gruboj obradi je smanjeno zagrijavanje obratka,
- pri završnom prolazu je ostvarena ovalnost od 0,1 mm što bez hlađenja nije bilo moguće.



Slika 2. Gruba obrada s točkastim hlađenjem

3.2 Drugi primjer

Drugi primjer obrade odvajanjem čestica bez korištenja rashladne tekućine je tokarenje na vertikalnoj tokarilici:

Stroj	vertikalna tokarilica
Godina proizvodnje	1984.
Najveći promjer tokarenja	2500 mm
Maksimalna visina obratka	2000 mm
Ukupna visina tokarenja stupom	900 mm
Godina uvođenja CNC upravljanja	1984.
Sistem hlađenja	postoji

Tablica 4. Osnovni podaci o stroju

U ovom slučaju je primijenjeno točkasto hlađenje nakon dobrih rezultata na prvom stroju, ali iz drugoga razloga. Završna obrada induksijski zakaljene staze izvodi se PCBN pločicom bez hlađenja emulzijom jer zbog visoke temperature u zoni rezanja dolazi do trenutnog ključanja rashladne tekućine i brzog oštećivanja oštrice pločice čija je nabavna cijena oko 1.000,00 Kn. Tokarenje bez rashladne tekućine preporučuje proizvođač CBN pločica i u skladu s tom preporukom izvodila se obrada na induksijski zakaljenim stazama prstena za velike aksijalne ležajeve.

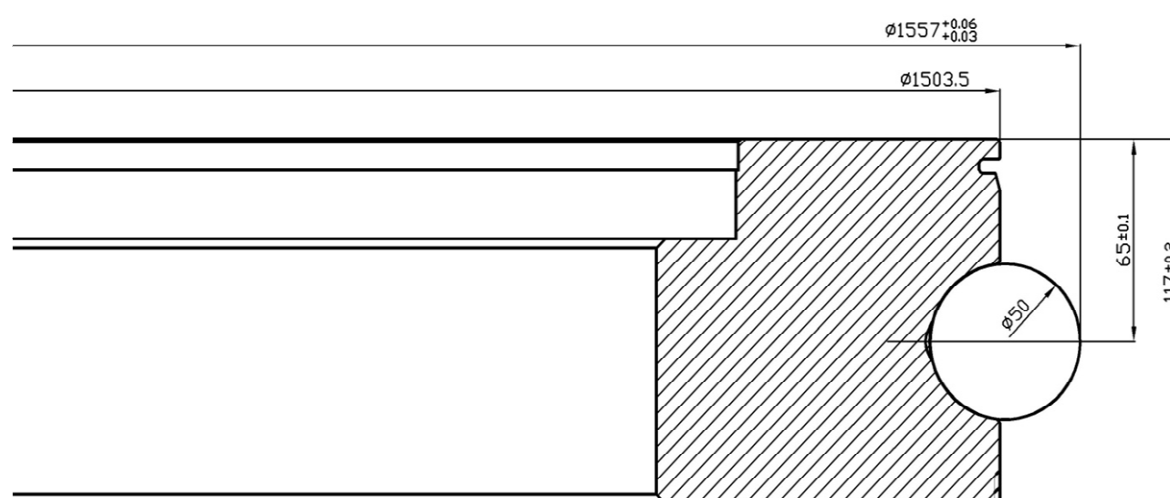
Dimenzija kritične površine koja se obrađuje mjeri se štapnim mikrometrom preko kuglica $\varnothing 50$ koje se postavljaju pod 180° na kotrljajuću stazu. Mjerenje obavezno provode dvije osobe: radnik na stroju i kontrolor te se ista zapisuje u mjernu listu zbog ugradnje prstena u sklop aksijalnog ležaja.

Problem koji je uočen 24 sata nakon završne obrade je promjena mjere preko kuglica za 0,1 mm do 0,2 mm što je rezultiralo nemogućnošću sklapanja dvaju prstena u sklop aksijalnog ležaja te potrebu da se prsteni ponovo strojno dorade.

Osnovni podaci o obratku:

Naziv crteža	Unutarnji prsten
Broj radnih komada	27
Vrsta materijala	42CrMo4V EN
Stanje materijala	Valjani prsten, poboljšan i popušten na $800-900 \text{ N/mm}^2$
Vrsta obrade	Završna obrada indukcijski zakaljene staze tvrdoće 56 HRC ± 2 HRC za kuglicu $\varnothing 50$

Tablica 5. Osnovni podaci o obratku za završnu obradu



Slika 3. Skica unutarnjeg prstena

Osnovni podaci o vrsti pločice i režimu rada:

Vrsta pločice	RCGX Full Face PCBN grade Insert size 0900700
Brzina vrtnje	$n=13 \text{ min}^{-1}$
Posmak	$s=0,1 \text{ mm/okr}$
Dubina rezanja	$a=0,1 \text{ mm}$
Hlađenje	Uređaj za točkasto hlađenje, tlak zraka 6 do 8 bara
Trajanje prolaza	Duljina obrade staze $l=83 \text{ mm}$, broj prolaza $i=7$ Vrijeme rada pločice za 1 prolaz $t_1= 63,85 \text{ min}$ (106,4 ch) Ukupno vrijeme rada pločice za $i=7$ $t_7= 446,9 \text{ min}$ (744,8 ch)

Tablica 6. Osnovni podaci o vrsti pločice i režimima rada pri završnoj obradi

Uz primjenu točkastog hlađenja alata pothlađenim zrakom pri završnoj obradi indukcijski zakaljene staze rezultati su sljedeći:

- prvo je uočeno da se ne javlja karakteristična boja odvojenih čestica,
- nije bilo pojave karakteristične točke izgaranja odvojenih čestica na oštrici pločice jer hladan zrak snižava temperaturu u točki kontakta oštrice i staze,

- pri obradi bez hlađenja korištena je jedna strana pločice za završnu obradu jedne staze (1 prstena), a nakon primjene točkastog hlađenja jedna strana pločice je odradila obradu na dvije staze (2 prstena). To je iznenađujući rezultat jer je pločica vrlo skupa (1.000,00 Kn/kom), a ima samo dvije radne strane (okrugla pločica koja se može stegnuti samo u dva položaja). Trajnost pločice time je povećana za 100% pri obradi indukcijski zakaljene staze s trajanjem jednog prolaza od približno 1 h,
- ostvarena je velike ušteda jer je cijena jedne pločice oko 1000 Kn. Budući da je broj radnih komada bio 27 unutarnjih i 27 vanjskih prstena to je značilo da je s točkastim hlađenjem jedna pločica odradila 4 prstena umjesto samo 2 te je za obradu prstena utrošeno 14 pločica umjesto 28 pločica bez hlađenja. To je važan podatak za planiranje obrade jer se naručivanjem minimalno 20 pločica postiže povoljnija cijena od pojedinačnih isporuka u kojima je cijena CBN pločice od 1.200,00 do 1.600,00 Kn.
- kvaliteta površine je također poboljšana jer je unos topline pri obradi zbog točkastog hlađenja manji (nakupljanje materijala na oštrici je manje),
- na kraju je zabilježeno smanjenje ovalnosti staze nakon završne obrade sa 0,2 na 0,1 mm, a promjena mjere preko kuglica je manja od 0,1 mm što je rezultiralo izbjegavanjem naknadne strojne obrade oba prstena prije ugradnje u sklop.



Slika 4. Završna obrada indukcijski zakaljene staze s točkastim hlađenjem

3. Zaključak

Primjena točkastog hlađenja na vertikalnoj tokarilici bez sistema za hlađenje emulzijom se pokazala vrlo jednostavnom i isplativom investicijom.

Točkasto hlađenje pri tokarenju tvrdih materijala može produljiti vijek trajanja CBN pločice i do 100% što dovodi do velike uštede u nabavci alata. Također su smanjeni

troškovi dodatnog tokarenja prstena prije ugradnje jer je unos topline u zakaljeni sloj značajno smanjen, a time i promjena dimenzija mjerena 24 sata nakon završne obrade staze.

U skladu s dobivenim rezultatima, ugradnja točkastog hlađenje alata pothlađenim zrakom se može preporučiti kao ekonomski i tehnički opravdana investicija na strojevima koji nemaju ugrađen sistem za hlađenjem emulzijom te u slučajevima gdje se on ne može primijeniti.

Daljnje istraživanje planirano je za radioničku primjenu hlađenja zrakom i u nekim drugim operacijama obrade odvajanjem čestica kao što je brušenje i glodanje tvrdih materijala.

4. Literatura

- [1] A. Noorul Haq and T. Tamizharasan: *Investigation of the effects of cooling in hard turning operations*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 30, Numbers 9-10 (2006), 808-816
- [2] Sharma V.S., Dogra M., Suri N.M.: *Cooling techniques for improved productivity in turning*, International Journal of Machine Tools & Manufacture (2009) 435-453
- [3] Weinert K., Inasaki I., Sutherland J.W., Wakabayashi T.: *Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication*, CIRP- Anals, Manufacturing Technology Vol. 53 (2004) 511-537
- [4] Nandy A.K., Gowrishankar M.C. Paul, S.: *Some studies on high-pressure cooling in turning of Ti-6Al-4V*, International Journal of Machine Tools Manufacturing. 49 (2009) 182-198
- [5] Choi H.Z., Lee S.W., Jeong H.D.: *The cooling effects of compressed cold air in cylindrical grinding with alumina and CBN wheels*, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 127 (2002) 155-158
- [6] Lahres M., Doerfel O., Neumüller R.: *Applicability of different hard coatings in dry machining an austenitic steel*, Surface and Coatings Technology (1999) 687-691
- [7] Pinar A.M., Uluer O., Kirmaci V.: *Optimization of counter flow Ranque-Hilsch vortex tube performance using Taguchi method*, International Journal of refrigeration Vol. 32 (2009) 1487-1494
- [8] Tae Jo Ko; Hee Sool Kim, Bo Go Chung, *Air-Oil Cooling Method for Turning of Hardened Material*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, July 1999, Volume 15, Issue 7, (1999), pp 470-477



Photo 013. Latinovac/ Latinovac