



## Hodnocení vlivu procesních plynů při technologii broušení

Miloslav Ledvina<sup>1</sup>, Jiří Karásek<sup>1</sup>, Štěpánka Dvořáčková<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní, Technická univerzita v Liberci, 461 17 Liberec. Česká republika.

E-mail: miloslav.ledvina@tul.cz, jirka.karasek@tul.cz, stepanka.dvorackova@tul.cz

**Tento článek je zaměřen na hodnocení vlivu progresivních způsobů chlazení procesními plyny při technologii broušení na výslednou kvalitu povrchu obrobku. Broušení s použitím zkapalněného CO<sub>2</sub> a stlačeného podchlazeného vzduchu přiváděného pomocí vírové trubice bylo porovnáno s broušením bez procesního média (referenční prostředí). Při hodnocení vlivu procesních plynů byly sledovány působící síly, míra ochlazení obráběné vrstvy materiálu, kvalita obrobené plochy byla charakterizována drsností povrchu a rozměrovou přesností. Při experimentech byla použita zařízení jako rovinná bruska, piezoelektrický dynamometr, vyhodnocovací jednotka, profilometr. Problematika byla řešena v rámci projektu TAČR - TA03010492.**

**Klíčová slova:** broušení, chlazení plynem, síla, teplota, drsnost, přesnost

### 1 Obecná charakteristika

Technologie broušení patří mezi velmi rozšířené dokončovací metody obrábění. Velkou předností této technologie je poměrně velká přesnost při velmi dobré kvalitě obráběcího procesu. Broušení se využívá pro obrábění rovinných, tvarových i rotačních ploch, pro obrábění přesných drážek různých profilů i pro obrábění závitů a ozubení. [2] [2]

Při broušení je tříska odebrána břity rotujícího nástroje, který se nejčastěji nazývá broušící kotouč. Hlavní řezný pohyb při broušení je rotační a vykonává ho nástroj. Vedlejším pohybem je posuv, který je nejčastěji přímočarý a vykonává ho obrobek. Řezný proces je přerušovaný, protože každý zub odřezává krátké třísky proměnlivé tloušťky ve formě odletujících jisker. [2] [2]

Při technologii broušení se standardně využívají procesní kapaliny (PK), které napomáhají při celkovém ochlazení procesu obrábění tj. nástroje a obrobku (chladičí účinek) a odřezávání materiálu ve formě třísek (mazací účinek). Dále se ale také dají využít jiná procesní prostředí jako je například progresivní způsob chlazení pomocí procesních plynů (PP). V rámci řešení projektu TAČR byly zvoleny celkem tři zkoumaná prostředí. Obrábění s použitím zkapalněného CO<sub>2</sub>, obrábění s přívodem stlačeného podchlazeného vzduchu pomocí vírové trubice (VT) *Cold Air Gun* a obrábění bez procesního média (referenční prostředí). [7] [2] [10]

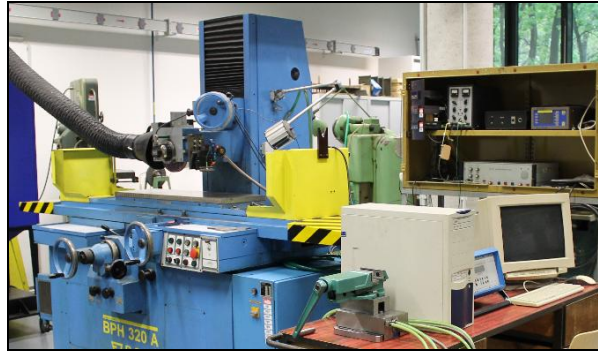
Chlazení pomocí zkapalněného CO<sub>2</sub> (tenký paprsek plynu se do místa řezu přivádí pod tlakem 0,5÷7,0 MPa) je doporučováno např. pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů. Tato metoda má řadu nevýhod, k nimž patří především vysoké náklady na CO<sub>2</sub>, jisté nebezpečí při jeho používání a nutnost dokonalého odsávání a větrání pracoviště. Stlačený CO<sub>2</sub> vytváří proud chladiva o teplotě až -78°C. [2] [6] [7] [2]

*Cold Air Gun* používá filtrovaný stlačený vzduch na principu vírové trubice pro vytvoření mrazivého proudu vzduchu o teplotě až -46 °C. Toto zařízení se používá v různých průmyslových procesech, výrobě, montáži a balení jako univerzální zdroj bodového chlazení. [2] [10]

### 2 Charakteristika experimentů a zařízení

Vliv procesních plynů byl hodnocen ze dvou hledisek. Vliv použití procesních plynů na proces obrábění a vliv použití procesních plynů na výslednou kvalitu obrobené součásti. V rámci vlivu na proces obrábění byly hodnoceny působící síly a míra ochlazení procesu obrábění. V rámci vlivu na výslednou kvalitu obrobené součásti byla hodnocena kvalita obrobeného povrchu charakterizovaná drsností povrchu a rozměrová přesnost.

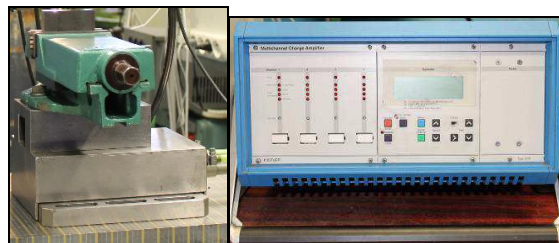
Pro experimenty procesu obrábění byla použita rovinná bruska BPH 320 A (obr. 1). Jako nástroj byl použit broušící korouč z umělého korundu typu A98 46 K 9V 01 o rozměrech 250x26x76. Zkušební vzorky byly zhotoveny z konstrukční oceli 12 050.1. Vzorky pro experimenty na působící síly byly předem frézovány na rozměr 60x50x15 mm. Vzorky pro experimenty míry ochlazení procesu, drsnost povrchu a rozměrovou přesnost byly předem frézovány na rozměr 80x60x13 mm. Dále byly do vzorků 80x60x13 vytvořeny otvory ze spodní strany pro umístění termočlánků určených k měření teploty.



*Obr. 1 Rovinná bruska BPH 320 A*

*Fig. 1 Surface grinding machine BPH 320 A*

Pro diagnostiku působících sil byl použit tříosý piezoelektrický dynamometr *KISTLER* typ *9265 B* s úpravou pro upevnění strojního svěráku (obr. 2 - vlevo). Součástí měřicí aparatury byl nábojový zesilovač typ *5019 B* (obr. 2 - vpravo) a počítačová sestava s měřicí kartou. Před samotným průběhem měření byl dynamometr upevněn na elektromagnetický stůl rovinné brusky a byla provedena kalibrace dvou os potřebných pro vyhodnocení působících sil.



*Obr. 2 Dynamometr KISTLER - vlevo,  
nábojový zesilovač - vpravo*

*Fig. 2 Dynamometer KISTLER – left,  
Charge amplifier - right*

Pro měření teploty byly použity termočlánky typu K, které jsou schopny snímat teploty v intervalu od minimální teploty  $-270^{\circ}\text{C}$  až do maximální teploty  $+1372^{\circ}\text{C}$ . Vodiče termočlánku typu K, vyrobené ze dvou materiálů, a to Ni-Cr (+) a Ni-Al (-), byly kondenzátorovou svářečkou uchyceny v místě snímání teploty. Termočlánky byly zapojeny do sběrnice (obr. 3 - vlevo), kde dochází k převodu elektrického signálu [mV] na teplotu [ $^{\circ}\text{C}$ ] a poté jsou data transportována a ukládána na flash disk přes provozní jednotku *PP65* (obr. 3 - vpravo).

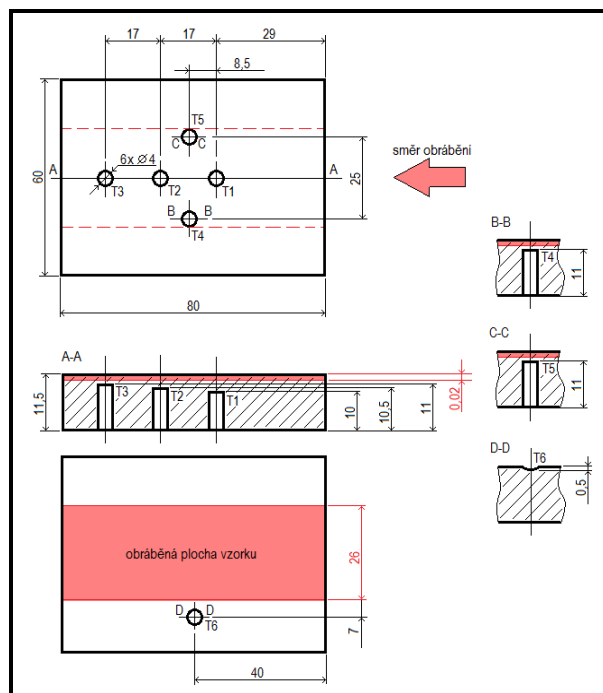


*Obr. 3 Sběrnice - vlevo, provozní jednotka  
PP65 - vpravo*

*Fig. 3 Fieldbus - left, operating unit  
PP65 - right*

Teplota byla měřena termočlánky typu „K“ umístěnými v obrobku podle obr. 4, kde byly jednotlivé termočlánky umístěny ve třech různých vzdálenostech od obrobeneho povrchu a ve třech různých vzdálenostech od směru pohybu osy nástroje. Tři termočlánky byly umístěny v ose nástroje a v různých vrstvách od obrobeneho povrchu. Dva termočlánky byly umístěny mimo střed šířky brousícího kotouče, ale ve stejné hloubce jako nejmenší hloubka předchozích tří termo-

článků. Toto umístění bylo určeno pro sledování teploty v celé šířce nástroje. Naměřené hodnoty těchto tří termočlánků byly dále zprůměrovány do jedné výsledné hodnoty z důvodu symetričnosti povrchu. Poslední termočlánek byl umístěn z vrchní plochy obrobku.



Obr. 4 Umístění termočlánků T1-T6 na vzorku při broušení

Fig. 4 Locations of the thermocouples T1-T6 on the specimen during grinding

Dalším hodnotícím kritériem byla kvalita povrchu obrobku reprezentovaná parametry drsnosti povrchu měřenými pomocí profiloměru *Mitutoyo Surftest SV-2000N2* (obr. 5). Z velkého počtu parametrů drsnosti povrchu, které umožňuje software *SurfPak* vypočítat, byly pro vyhodnocení naměřených hodnot prvních vzorků zvoleny parametry Ra (průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu), Rz (největší výška profilu), Rt (celková výška profilu)

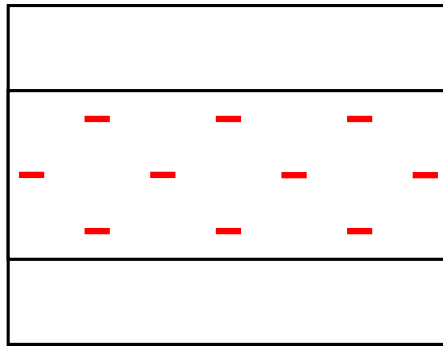


Obr. 5 Profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000N2

Fig. 5 Profilemeter Mitutoyo Surftest SV-2000N2

Měření profilu povrchu bylo realizováno v místech podle obr. 6. Snímač ujede po povrchu vzdálenost 4,8 mm,

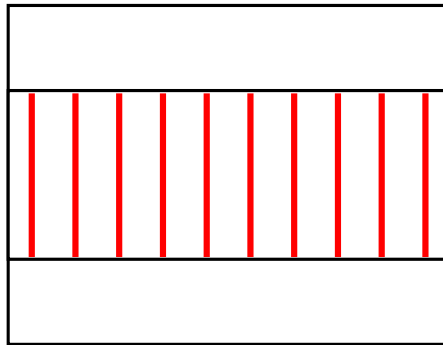
z každé strany se 0,4 mm ořízne a vyhodnocování proběhne na dráze 4 mm. Hodnoty zvolených parametrů se vypočítají pomocí ovládacího softwaru.



Obr. 6 Místa měření drsnosti povrchu

Fig. 6 Locations of surface roughness measurement

Šířka drážky byla měřena pomocí digitálního posuvného měřítka o rozsahu 0-150 mm a přesnosti 0,01 mm.



Obr. 7 Místa měření šířky drážky

Fig. 7 Locations of groove width measurement

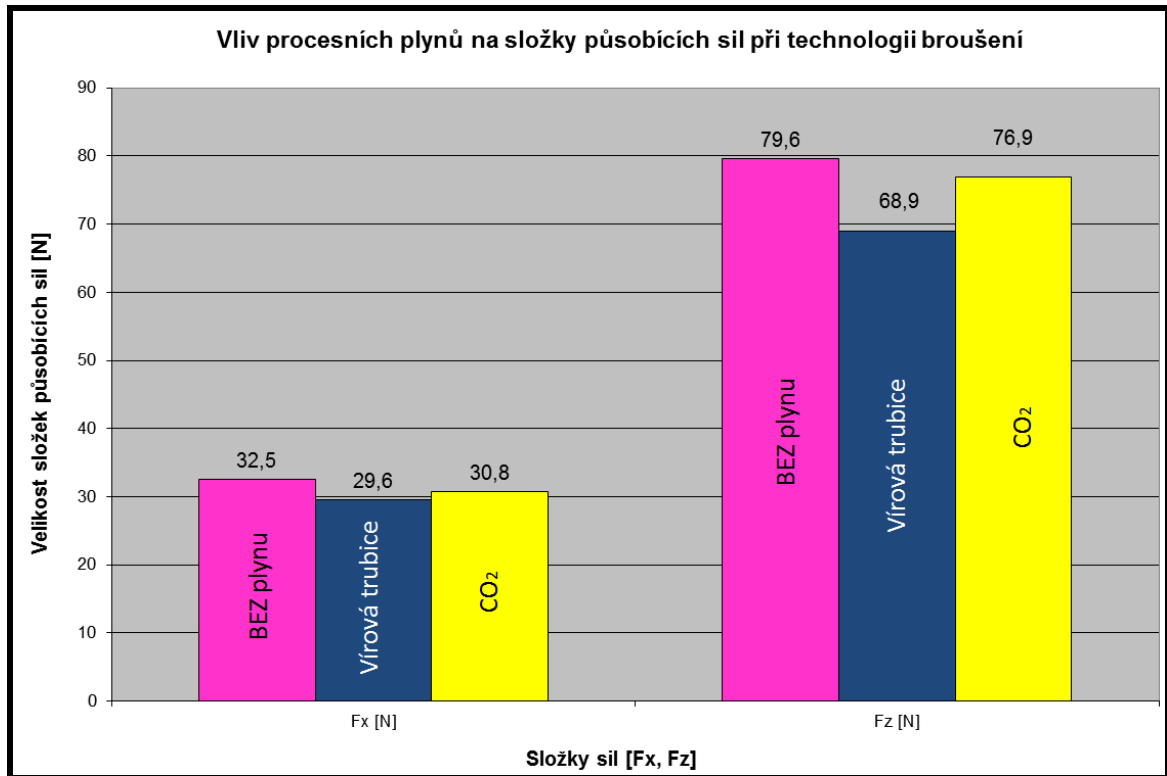
### 3 Vyhodnocení experimentů

Při diagnostice sil působících na obrobek byly sledovány dvě složky působících sil, které byly zachyceny dynamometrem KISTLER. Jednalo se o svislou sílu  $F_z$  a sílu ve směru posuvu obrábění  $F_x$ . Síly byly zaznamenány v časovém intervalu jedné sekundy při stanovených parametrech: otáčky nástroje  $2500 \text{ m.min}^{-1}$ , rychlost posuvu stolu  $15 \text{ m.min}^{-1}$ , hloubka úběru  $0,02 \text{ mm}$ . Výstupem byl záznam průběhu působících sil  $F_x$ ,  $F_z$ . Ze záznamu byly vybrány maximální hodnoty v prvních šesti přejezdech od jednotlivých sil, zpracovány do tabulky a spočteny průměrné hodnoty z těchto sil. Celý experiment byl opakován pětkrát a výsledně zprůměrován do jedné hodnoty pro každou danou působící sílu a procesní médium. Porovnání bylo provedeno tabulkovou i grafickou formou, jak je znázorněno v tab. 1 a obr. 8.

Tab. 1 Výsledné síly  $F_x$ ,  $F_z$

Tab. 1 Resulting forces  $F_x$ ,  $F_z$

Procesní médium	$F_x$ [N]	$F_z$ [N]
BEZ plynu	32,5	79,6
Vírová trubice	29,6	68,9
CO <sub>2</sub>	30,8	76,9

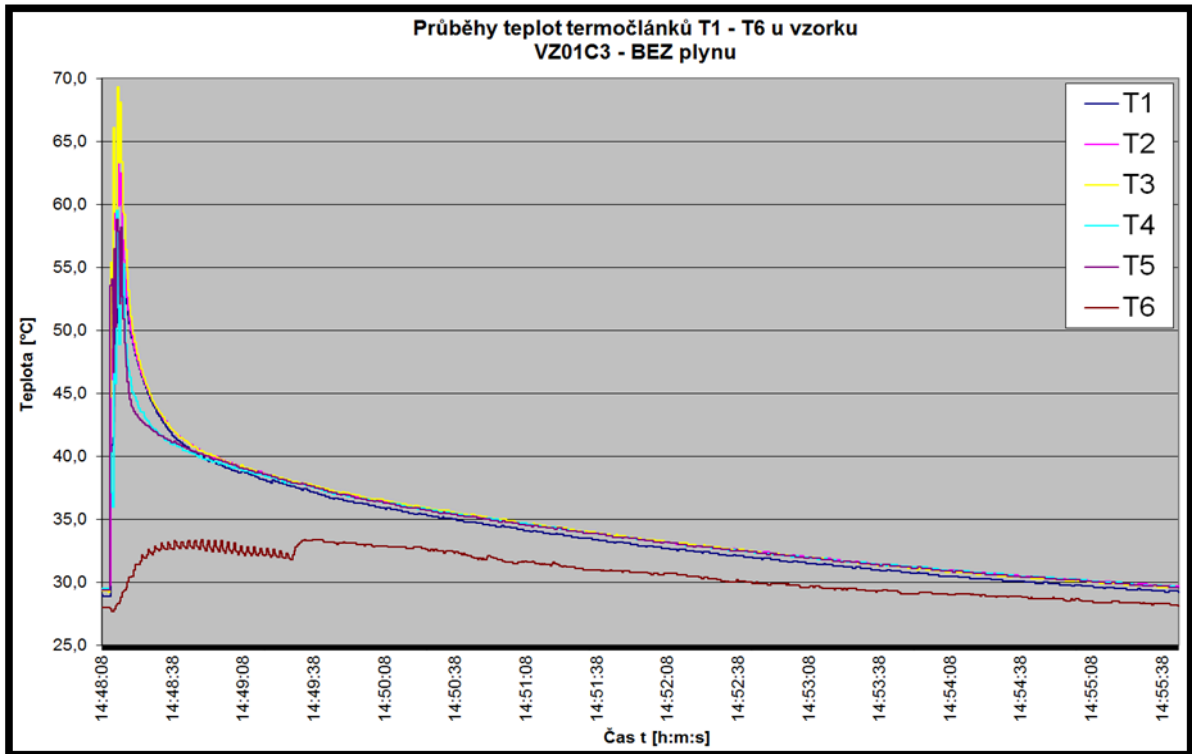
Obr. 8 Záznam jednotlivých sil  $F_x$ ,  $F_z$ Fig. 8 Record of the individual forces  $F_x$ ,  $F_z$ 

Při experimentu měření velikosti ochlazení obráběné vrstvy obrobku byla zjišťována velikost a rozsah ochlazené vrstvy odebíraného materiálu a vliv použitého média na ochlazení procesu obrábění. Výstupem byl záznam hodnot teplot pro šest termočlánků, které byly dále zpracovány do diagramů popisujících průběh broušení drážky hloubky 0,02 mm a šířky 26 mm (obr. 9 až 11). Dále byl porovnán vliv výsledných hodnot chlazení pomocí plynů s hodnotami zjištěných při obrábění referenčním prostředím – bez chlazení (tab. 2).

Tab. 2 Výsledné teploty použité při experimentu míry ochlazení

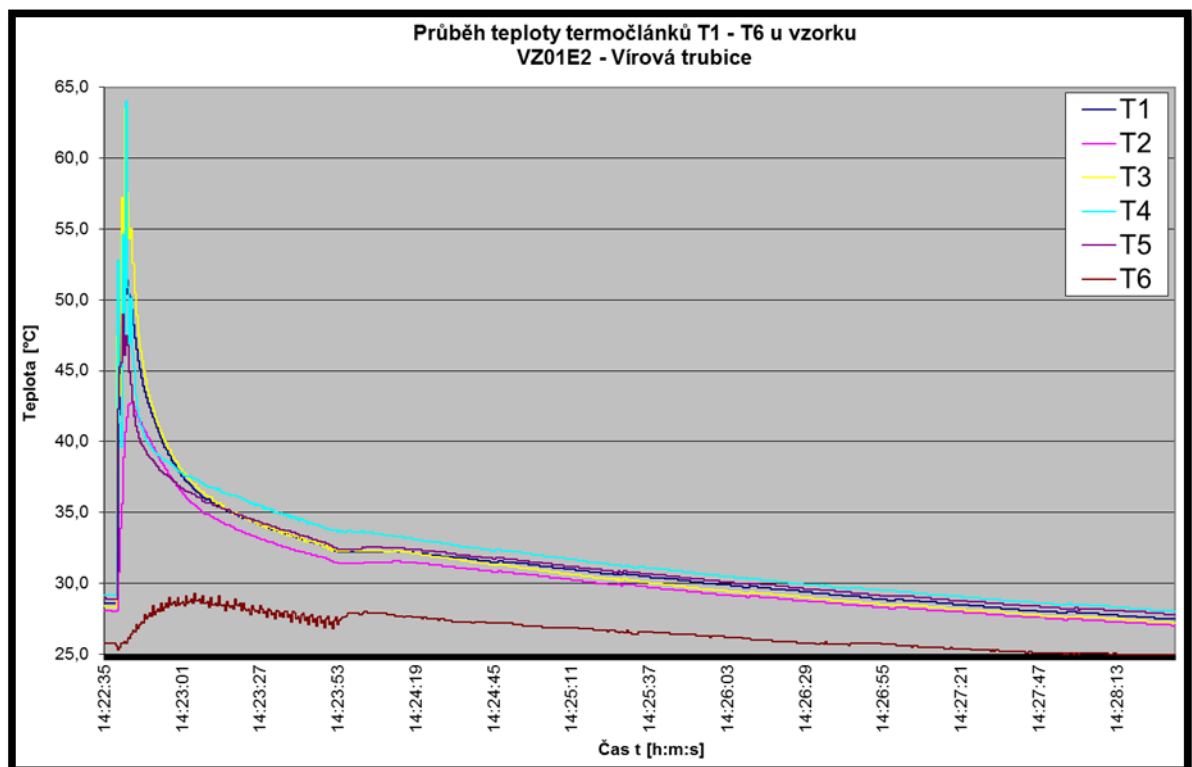
Tab. 2 Resulting temperature used in the experiment of cooling rate

Termočlánek	BEZ plynu	Vírová trubice	CO <sub>2</sub>
T1 [°C]	51,9	51,8	51,6
T2 [°C]	56,5	53,0	49,3
T3,T4,T5 [°C]	60,5	58,3	46,0
T6 [°C]	31,5	28,3	31,3



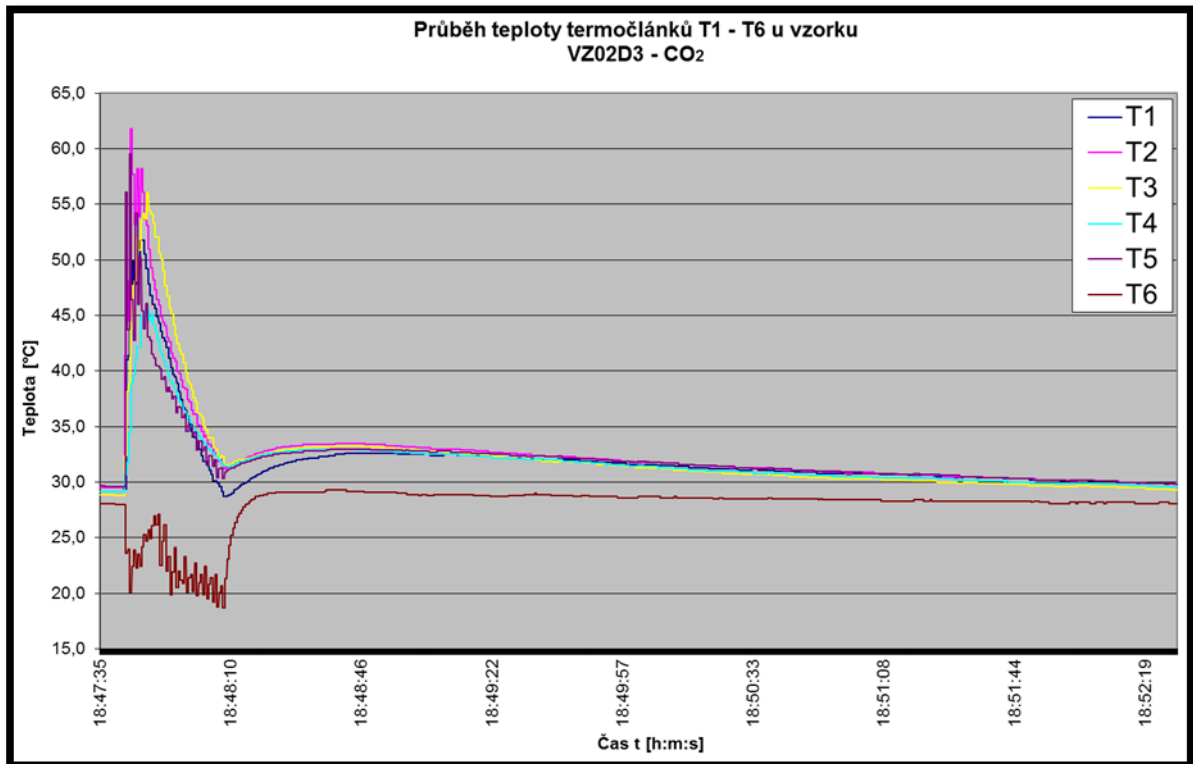
Obr. 9 Záznam průběhu teplot v obrobku bez chlazení

Fig. 9 Record of the course of temperatures of the workpiece without cooling



Obr. 10 Záznam průběhu teplot v obrobku s použitím podchlazeného vzduchu

Fig. 10 Record of the course of temperatures of the workpiece by using cold air



Obr. 11 Záznam průběhu teplot v obrobku s použitím  $\text{CO}_2$

Fig. 11 Record of the course of temperatures of the workpiece by using  $\text{CO}_2$

V rámci hodnocení kvality povrchu byly využity všechny dostupné vzorky připravené broušením v různém plynném prostředí, tedy pět vzorků obrobených za působení pouze okolního prostředí, pět vzorků obrobených za přívodu podchlazeného stlačeného vzduchu a pět vzorků obrobených za přívodu zkapalněného  $\text{CO}_2$ . Jelikož byl každý vzorek změřen na deseti místech, bylo k dispozici padesát naměřených hodnot k jednomu prostředí. Z těchto hodnot byla pro jednoduché porovnání vypočtena jedna průměrná hodnota pro každé prostředí (tab. 3).

Tab. 3 Výsledné parametry drsnosti povrchu

Tab. 3 Resulting parameters of the surface roughness

Parametr	BEZ plynu	Vírová trubice	$\text{CO}_2$
Ra [ $\mu\text{m}$ ]	0,25	0,49	0,41
Rz [ $\mu\text{m}$ ]	2,01	3,51	3,06
Rt [ $\mu\text{m}$ ]	2,60	4,36	3,93

V rámci hodnocení rozměrové přesnosti povrchu byly opět využity všechny dostupné vzorky připravené broušením v různém plynném prostředí, tedy pět vzorků obrobených za působení pouze okolního prostředí, pět vzorků obrobených za přívodu podchlazeného vzduchu a pět vzorků obrobených za přívodu zkapalněného  $\text{CO}_2$ . Každý vzorek byl opět změřen na deseti místech a bylo tedy k dispozici padesát naměřených hodnot k jednomu prostředí. Z těchto hodnot byla pro jednoduché porovnání vypočtena jedna průměrná hodnota pro každé prostředí (tab. 4).

Tab. 4 Výsledné rozměry vyrobené drážky

Tab. 4 Resulting dimensions of the groove

Parametr	BEZ plynu	Vírová trubice	$\text{CO}_2$
Šířka [mm]	26,17	26,12	25,99

## 4 Závěr

Při hodnocení byl patrný pozitivní vliv obou procesních plynů na snížení sil při obrábění.

Broušení s použitím podchlazeného stlačeného vzduchu (vírová trubice - VT) ovšem vykázalo nižší hodnoty sil  $F_x$  a  $F_z$ , než broušení s použitím  $\text{CO}_2$ . Vliv podchlazeného stlačeného vzduchu byl tedy na snížení sil podstatnější.

Také byl zjišťován vliv procesních plynů na teplotu obrobku při procesu obrábění. Výstupem z měření teploty byl grafický záznam a tabulka hodnot pro všechna použitá prostředí. Z provedených experimentů vykázal nejlepší schopnost odvodu tepla procesní plyn CO<sub>2</sub>.

Dále byla zjišťována kvalita vyrobeného povrchu, která je definována drsností povrchu a rozměrovou přesností. Z výsledných hodnot parametrů drsnosti povrchu vyplývá, že podchlazování obrobku při broušení má negativní vliv na výslednou kvalitu povrchu obrobku. K většímu zhoršení drsnosti došlo při použití podchlazeného stlačeného vzduchu. Při použití CO<sub>2</sub> byla naměřena drsnost o něco příznivější, ale stále byla výrazně vyšší než při referenčním prostředí. Při hodnocení rozměrové přesnosti v případě šířky drážky bylo dosaženo nejpřesnějšího výsledku s použitím zkapalněného CO<sub>2</sub>, tedy při největším podchlazení obrobku.

Z celkového pohledu nejlépe hodnoceným procesním médiem při daných zkoumaných parametrech dopadl zkapalněný CO<sub>2</sub> přivedený přes kapiláru do místa řezu.

### Poděkování

Tento článek byl realizován za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím České republiky - Technologické agentury České republiky (projekt TA03010492) a také vznikl za účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum, která je poskytována Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy (MŠMT) České republiky.

### Literatura

- [1] BARTUŠEK, T.; JERSÁK, J. Metoda MQL a její vliv na technologické parametry procesu broušení. *Strojírenská technologie*. Rec. prof. Mádl. 14. roč., březen 2009, č. 1 s. 12-18. ISSN 1211-4162.
- [2] ČEP, R. *Technologie II – 1. díl. Skriptum*. VŠB Ostrava [online]. [cit. 12.12.2014]. Dostupné z < [http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta\\_Technologie\\_II\\_1dil.pdf](http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_1dil.pdf) >
- [3] FOREJT, M., PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-2374-9.
- [4] GREENWOOD, N., N., EARNSHAW, A. *Chemie prvků I. Informatorium*, Praha 1993, 793 s. ISBN 80-85427-38-9.
- [5] HOLEŠOVSKÝ, F.; JERSÁK, J. aj., *Terminologie obrábění a montáže - 1. vyd.* Ústí nad Labem: Universita J. E. Purkyně, ÚTRV, 2005, Kapitola: *Teorie a technologie obrábění*, s. 7-66, ISBN 80-7044-616-1.
- [6] KOCMAN, K. *Aktuální příručka pro technický úsek :Svazek 7. Obrábění*. Praha: Dashöfer,2001. ISBN 80-902247-2-5.
- [7] Kocman, K.; Prokop, J. *Technologie obrábění - 2. vyd.*, Brno: Akademické nakladatelství CERM Brno, s.r.o., 2005; 270 s., ISBN 80-214-3068-0.
- [8] KROUPA, A. *Kryogenní technologie chlazení reaktorů a vymrazování VOC pro chemii a farmacii*. *Chemagazin* [online]. 2009/3 [cit. 13.12.2014]. Dostupné z: < [http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin\\_2010/file/chxix\\_3\\_cl6.pdf](http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin_2010/file/chxix_3_cl6.pdf) >
- [9] Leinveber, J.; Řasa, J.; Vávra, P. *Strojnické tabulky*, Praha: Scientia, spol. s.r.o.
- [10] LEDVINA M., KARÁSEK J., DVOŘÁČKOVÁ Š., *HODNOCENÍ Vlivu procesních plynů při technologii frézování. Konference ICTKI 2014, Strojírenská technologie*, ročník XVIII, č. 3, s. 32-37, ISSN 1211-4162
- [11] LONTECH, *Vírové trubice* [online]. Lontech.cz [cit. 09.12.2014]. Dostupné z < <http://www.lontech.cz/clanky-1.-virove-trubice.html> >.
- [12] MÁDL, J.; HOLEŠOVSKÝ, F. *Strojírenská technologie pro moderní výrobu - 1. vyd.* FVTM : UJEP Ústí n. Labem. 2010. 56s. ISBN 987-880-7414-218-5.
- [13] MM SPECTRUM, *Následné doladění pro obráběcí stroje*. *MM spektrum* [online]. 2012/10 [09.12.2014]. Dostupné z < <http://www.mmspektrum.com/novinka/nasledne-doladeni-pro-obrabeci-stroje.html> >.
- [14] MM SPECTRUM, *V budoucnosti budou těžce obrobitelné materiály obráběny za velmi nízkých teplot*. *MM spektrum* [online]. 2012/6 [cit. 19.12.2014]. Dostupné z < <http://www.mmspektrum.com/novinka/v-budoucnosti-budou-tezce-obrobitelne-materialy-obrabeny-za-velmi-nizkych-teplot.html> >.
- [15] PAGÁČ, M. *Walter představil na veletrhu EMO kryogenní chlazení*. *Průmysl.cz* [online]. 2013 [cit. 17.12.2014]. Dostupné z < <http://www.prumysl.cz/walter-predstavil-na-emo-kryogenni-chlazen/> >
- [16] PAZDERA, J. *Oxid uhličitý v roli ochrance životního prostředí*. *Osel.cz* [online]. 2005 [cit. 07.12.2014]. Dostupné z < <http://www.osel.cz/index.php?obsah=6&akce=showall&clanek=1216> >



- [17] Petřík, V. Využití různých systémů chlazení pro obrábění materiálů, Diplomová práce, UTB ve Zlíně, 2011.
- [18] POPOV, A. Obrobitelnost materiálů a řezivost řezných nástrojů (podklad pro výuku Teorie obrábění), [cit. 08.12.2014], dostupné na [http://www.technomat.cz/data/katedry/kom/KOM\\_TO\\_PR\\_13\\_CZE\\_Popov\\_Obrobitelnost\\_materialu\\_a\\_rezivost\\_reznych\\_nastroju.pdf](http://www.technomat.cz/data/katedry/kom/KOM_TO_PR_13_CZE_Popov_Obrobitelnost_materialu_a_rezivost_reznych_nastroju.pdf).
- [19] ŘASA, J.; GABRIEL, V. Strojírenská technologie 3 - 1. díl - Metody, stroje a nástroje pro obrábění. 1. vyd. Praha: Scientia, spol. s.r.o., 2000. 256s. ISBN 80-7183-207-3.
- [20] STRUŠKA, O. Kryogenní chlazení při broušení kovových a plastových materiálů, Bakalářská práce, UTB ve Zlíně, 2011 [cit. 13.12.2014]. Dostupné z [https://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/17614/stru%C5%A1ka\\_2011\\_bp.pdf?sequence=1](https://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/17614/stru%C5%A1ka_2011_bp.pdf?sequence=1).

## Abstract

**Article:** Assessment of the effect of procedural gases in the grinding technology

**Authors:** Miloslav Ledvina  
Jiri Karasek  
Stepanka Dvorackova

**Workplace:** Department of Machining and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Liberec

**Keywords:** grinding, gas cooling, cutting force, temperature, roughness, accuracy

This article is aimed at assessing the effect of advanced methods of cooling process gases during grinding technology on the resulting surface quality of the workpiece. Grinding by using liquefied CO<sub>2</sub> and subcooled air supplied through the vortex tube was compared with a grinding without process medium (reference conditions). In assessing the effect of process gases were monitored forces, the rate of cooling of the machined layers of material, surface quality was characterized by surface roughness and dimensional accuracy. During the experiments was used grinding machine, piezoelectric dynamometer, the evaluation unit, profilometer. In the evaluation was evident a positive effect of both process gases to reduce forces during machining. Grinding with the use of subcooled compressed air (vortex tube - VT), however, showed lower values of forces  $F_x$  and  $F_z$  than grinding with the use of CO<sub>2</sub>. Influence of subcooled compressed air was therefore more substantial to reduce the forces. Also was tested the influence of the process gases to a temperature of the workpiece during the machining process. The output of the temperature measurement was a graphic record and a table of values for all used environments. The best heat dissipation capability from the all experiments showed process gas CO<sub>2</sub>. Furthermore, the surface quality of the workpiece was determined, which is defined by the surface roughness and dimensional accuracy. The resulting values of surface roughness parameters show that supercooling the workpiece during grinding has a negative influence to the final quality of the workpiece surface. Greater roughness deterioration was detected in use subcooled compressed air. In the use of CO<sub>2</sub> was measured roughness slightly better, but still was significantly higher than in the use of reference environment. In the evaluation of the dimensional accuracy in the case of the groove width was achieved most accurate result with the use of liquefied CO<sub>2</sub>, thus at the highest supercooling the workpiece. Overall, the highest-rated process medium at given parameters was liquefied CO<sub>2</sub> flowed through a capillary to the cut position. The issue was addressed in the project TACR - TA03010492.

