1. mezinárodní podzimní škola povrchového inženýrství

ZČU Plzeň 15. - 19. 10. 2012

Analýza parametrů integrity povrchu u kalených ocelových lišt po frézování

Jan Jersák

- Při obrábění je materiál v oblasti tvorby třísky velmi rychle a intenzivně plasticky deformován, dochází ke vzniku velkých gradientů teplotních a mechanických napěťových polí
- V povrchové vrstvě součásti, která byla procesem obrábění ovlivněna, se pak v důsledku výše uvedených dějů mohou projevit změny fyzikálně mechanických vlastností
- Ovlivnění povrchové vrstvy bylo vyšetřováno v rámci řešení projektu MPO - TANDEM - ID: FT-TA4/0125

  INTEGRITA POVRCHU jako nástroj pro zvyšování užitných vlastností součástí vyráběných na strojích TOS VARNSDORF a.s.
- Na KOM a KMT TU v Liberci byly v povrchové vrstvě součásti hodnoceny parametry integrity povrchu:

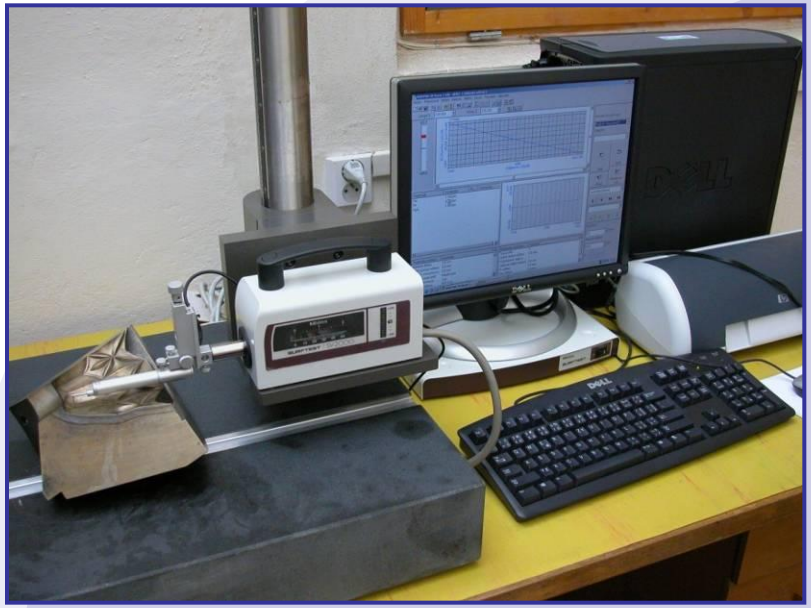
  - mikrogeometrie obráběného povrchu,
  - stupeň a hloubka zpevnění povrchové vrstvy,
  - strukturní a fázové změny v povrchové vrstvě

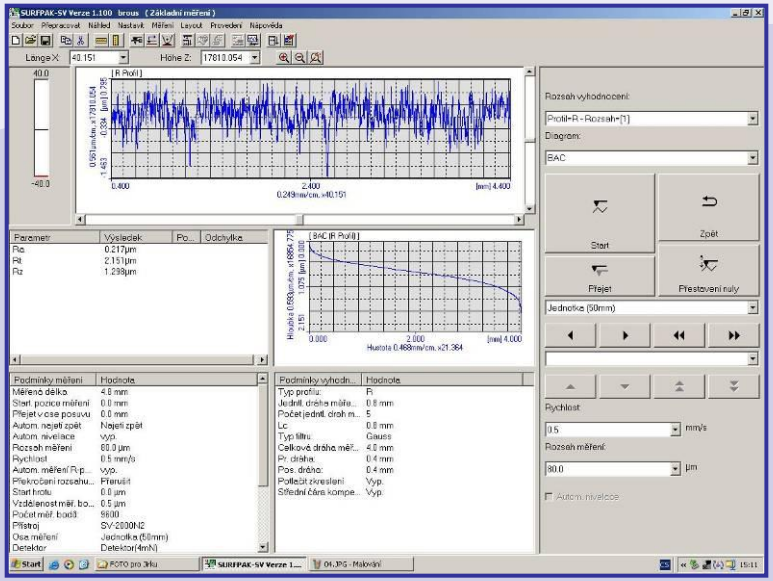
Mikrogeometrie obrobeného povrchu

měření drsnosti povrchu

- laboratorní drsnoměr
  MITUTOYO SURFTEST 2000

- měření drsnosti povrchu dotekovou metodou,
- měření podle norem ISO, DIN a JIS,
- laboratorní přístroj,
- vyhodnocovací software Surfpak





- zdvih (osa Z) 800 µm
- posuv (osa Y) 50 mm
- dělení 0,0001 µmx

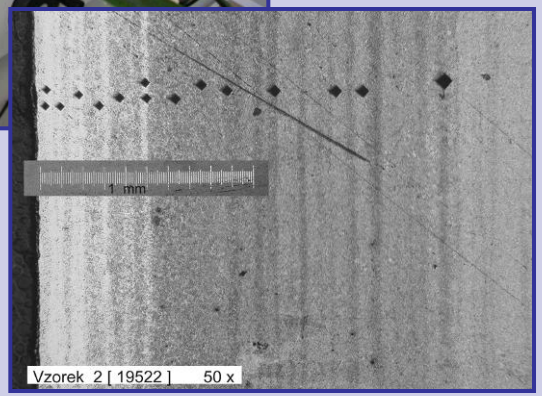
Stupeň a hloubka zpevnění povrchové vrstvy

měření mikrotvrdosti

- mikrotvrdoměr Bühler MICROMET 2100

Mikrotvrdoměr pro vyhodnocení tvrdosti využívá obrazovou analýzu LUCIA,
- snadné měření a dokumentace

Měření se provádí metodou dle VICKERSE se zatížením: 5,10,50,100,300,500,2000 g



Fotografie povrchové vrstvy po měření mikrotvrdosti
- od povrchu materiál měkne
  a tedy roste velikost vtisku

Strukturní a fázové změny v povrchové vrstvě

příprava vzorků pro metalografii

Zleva:
přesná diamantová pila **IsoMet 1000**,
poloautomatický lis **SimpliMet 1000**
- zapouzdření vzorků,
poloautomatická bruska / leštička
PHOENIX Beta s hlavou Vector
- definované broušení a leštění vzorků

Lis SimpliMet 2 - zapouzdření vzorků

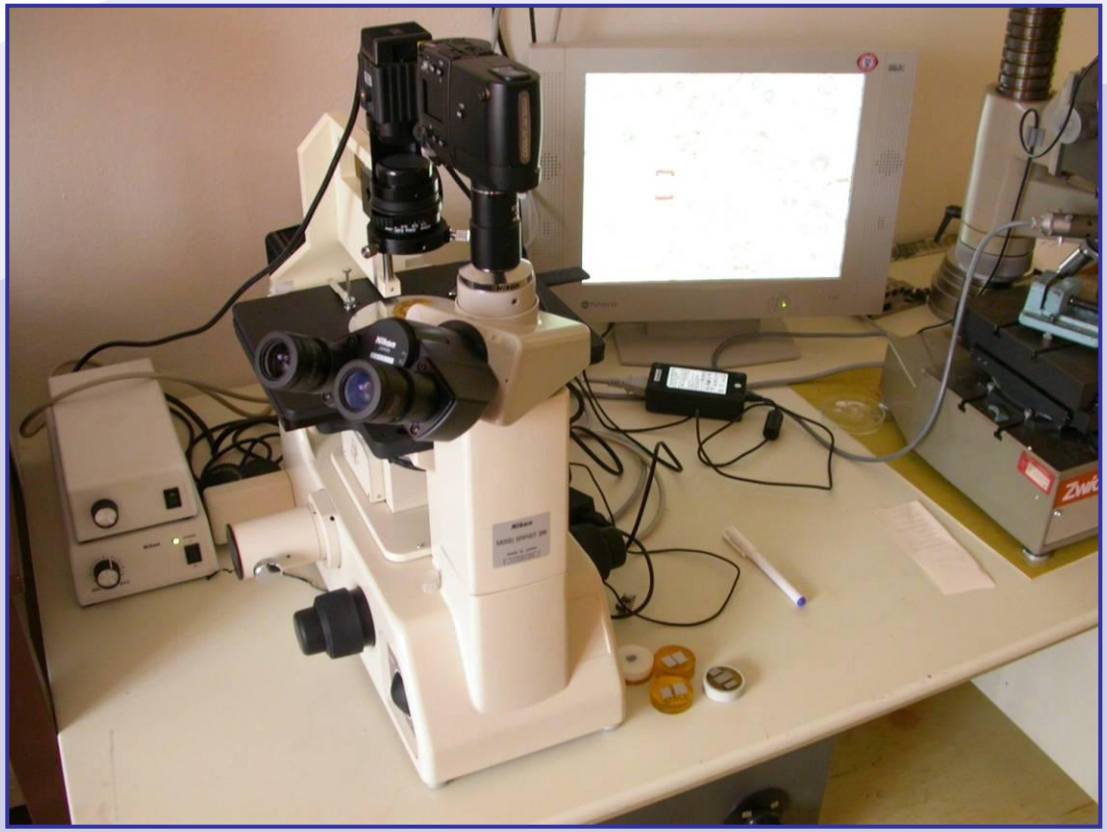
Rozbrušovací pila **DELTA AbrasiMet**
- šetrné dělení vzorků
za intenzivního chlazení kapalinou

Strukturní a fázové změny v povrchové vrstvě

pozorování struktury

- metalografický mikroskop **NIKON EPIPHOT 200**

Mikroskop umožňuje vyhodnocení struktury pomocí obrazové analýzy NIS-elements



Možnosti:
- pozorování ve světlém poli,
- pozorování v tmavém poli,
- pozorování v polarizovaném světle,
- Nomarského kontrast

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - vzorky pro měření

Hodnocené součásti

- díly vedení **obráběcího stroje** z produkce firmy **TOS VARNSDORF a.s.**,
- **kalené ploché ocelové lišty**,
- materiál 14 100.4 (60HRC)

Řezné podmínky

- osloveno **8** renomovaných **firem** - výrobci řezných nástrojů - firmy označeny 01 - 08,
- firmy obdržely jednotné zadání se specifikacemi:
  obráběný materiál, obráběcí stroj WRD150,
  způsob frézování, bez procesní kapaliny,
- firmy navrhly **8** různých **řezných podmínek**:

- typ frézy	8 různých typů		
- druh VBD	8 různých druhů		
- průměr nástroje [mm] :	80	-	253
- počet zubů nástroje [1] :	5	-	24
- řezná rychlost [$m.min^{-1}$] :	35	-	453
- hloubka záběru [mm] :	0,01	-	0,50
- posuv [$mm.min^{-1}$] :	400	-	2300

○ *vodorovná vyvrtávačka WRD 150*

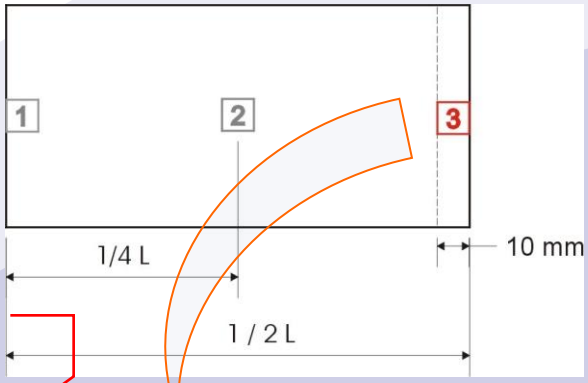
- posuv na zub [mm] : 0,05 - 0,81

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - vzorky pro měření

Příprava vzorků pro měření

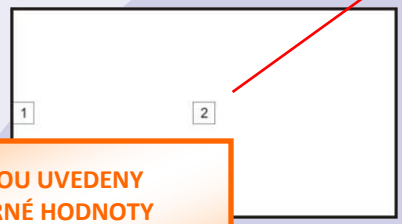
- kalená ocelová lišta byla rozdělena na dvě poloviny,
- jedna polovina lišty byla rozdělena na dvě části
  - pro měření drsnosti a
  - pro měření tvrdosti a zpevnění,

příklad kalené ploché ocelové lišty



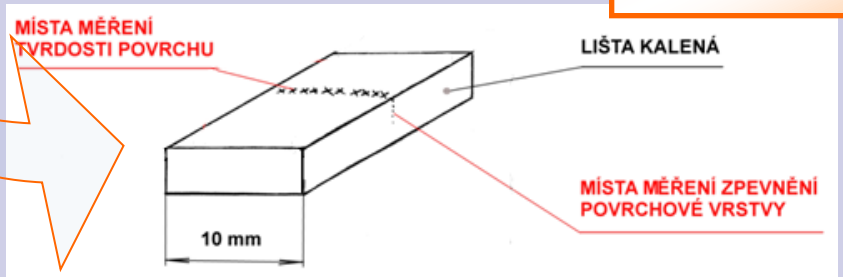
- měření drsnosti povrchu (místo 1, 2),
- měření povrchové tvrdosti a zpevnění v podpovrchové vrstvě (místo 3)

MÍSTA MĚŘENÍ PARAMETRŮ DRSNOSTI POVRCHU



DÁLE JSOU UVEDENY PRŮMĚRNÉ HODNOTY DRSNOSTI

DÁLE JSOU UVEDENY PRŮMĚRNÉ HODNOTY TVRDOSTI POVRCHU A ZPEVNĚNÍ



LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - podmínky obrábění

EXPERIMENT 01

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - podmínky obrábění	
Firma :	01
Vzorek - označení :	
Pozn.:	
Materiál lišty :	14 100.4 (60 HRC)
Způsob obrábění :	čelní frézování ; celkem 8 záběrů
FINÁLNÍ ŘEZNÉ PODMÍNKY (poslední záběr) :	
Označení frézy :	NFK 04250
Označení VBD:	RNGN120400 FX105
Průměr nástroje [mm] :	253
Počet zubů [1] :	15
Řezná rychlost [$m.min^{-1}$] :	453
Otáčky [min^{-1}] :	570
Posuv [$mm.min^{-1}$] :	430
Posuv na zub [mm] :	0,050
Hloubka záběru [mm] :	0,20
Šířka záběru [mm] :	95,0
Objemový výkon obr. [$mm^3.min^{-1}$] :	8 170
Procesní kapalina :	ne
Pracoviště :	WRD150
Výrobce nástrojů:	01
Rozměr frézované plochy:	
šířka :	95
délka :	350

- *lišta kalená plochá*
  - čelně frézovaná nástrojem 01

- **čelní frézování vzorku 01**
  (poslední záběr)

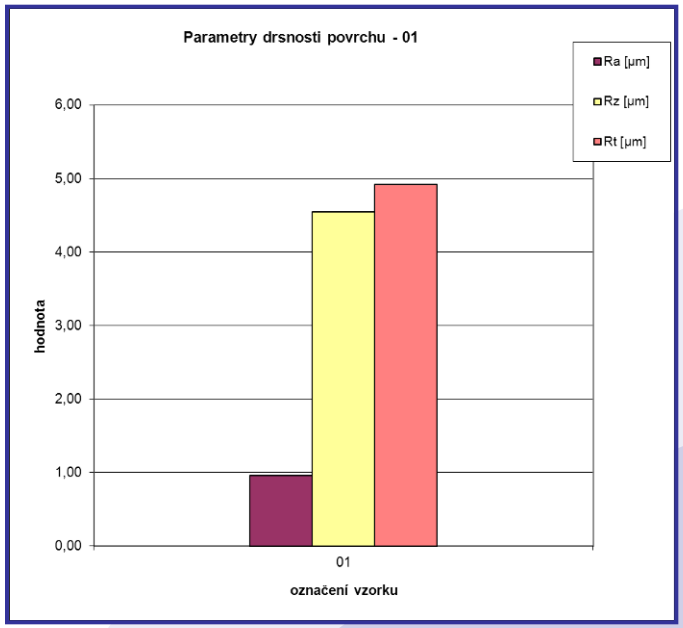
- řezná rychlost [m/min]: 453
- posuv [mm/min]: 430
- hloubka záběru [mm]: 0,20

- způsob frézování : čelní
- objemový výkon obrábění [mm^3/min]: 8 170

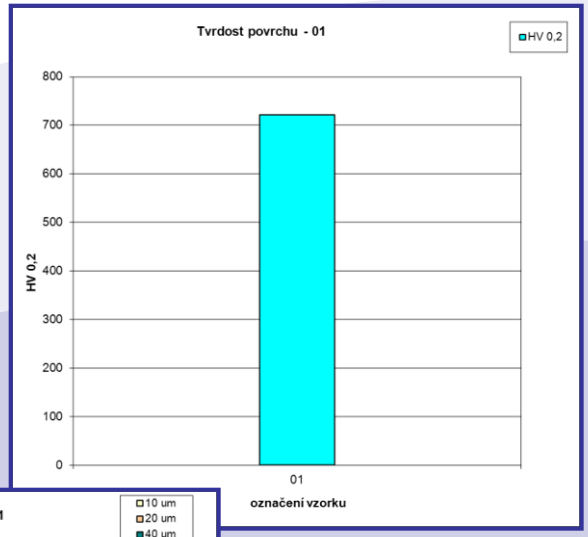
- *řezné podmínky*

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - měření

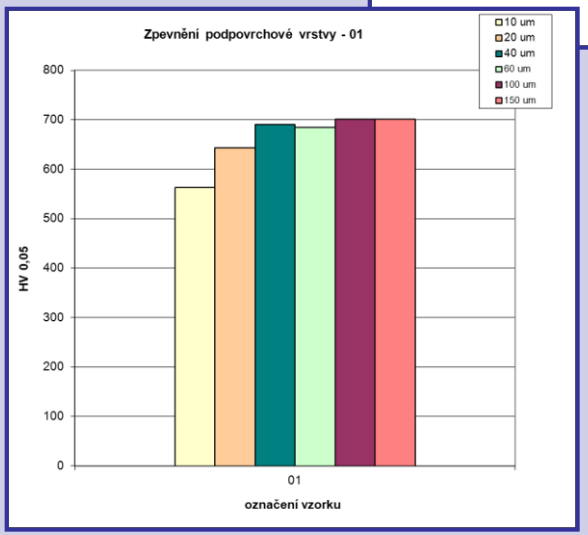
EXPERIMENT 01



- měření drsnosti, tvrdosti a zpevnění



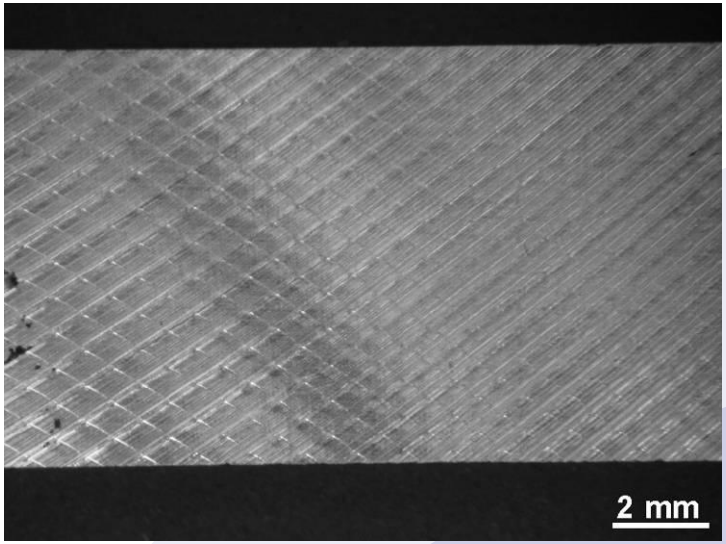
- z měření parametrů drsnosti povrchu vyplývá, že zřetelně vyšší hodnoty drsnosti povrchu byly v místě 2, tedy uprostřed zkoumaného povrchu,
- vzorek nebylo možné změřit v místě 1 (ve střední části okraje vzorku byl povrch znehodnocen), měření bylo provedeno v rohu na horním okraji součásti



- při měření tvrdosti povrchu nebyl zjištěn výrazný rozdíl mezi tvrdostí povrchu a tvrdostí jádra,
- měření zpevnění ukázalo významný pokles tvrdosti v tenké podpovrchové vrstvě

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - měření

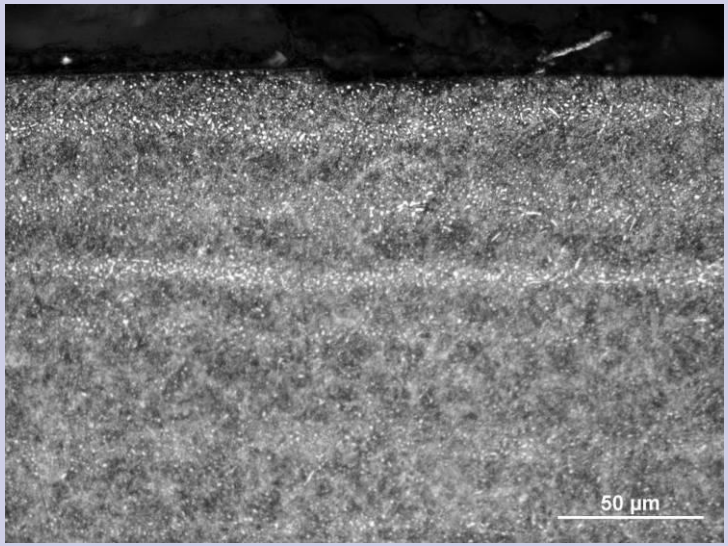
EXPERIMENT 01



- **strukturní šetření vzorků**

- na povrchu vzorku je patrné křížení stop po nástroji, které souvisí s polohováním nástroje a obrobku

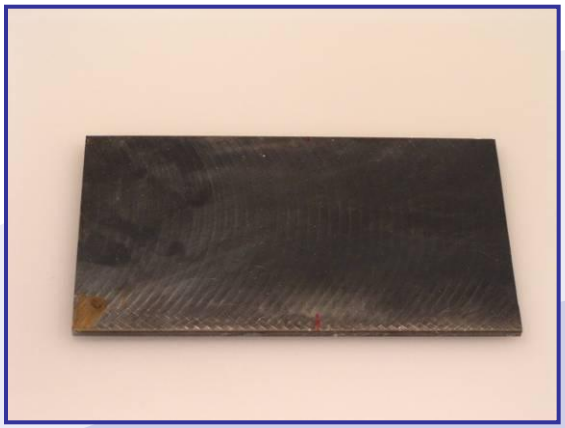
- strukturním šetřením nebyly na povrchu vzorku prokázány žádné strukturní změny (nebyla zjištěna bílá vrstva dokládající sekundární zakalení),
- podpovrchová vrstva odpovídá použitému materiálu a tepelnému zpracování,
- ve struktuře byla zjištěna výrazná řádkovitost karbidů, která je důsledkem primárního termomechanického zpracování materiálu



LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - podmínky obrábění

EXPERIMENT 02

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - podmínky obrábění	
Firma :	02
Vzorek - označení :	
Pozn.:	
Materiál lišty :	14 100.4 (60 HRC)
Způsob obrábění :	čelní frézování ; celkem 8 záběrů
FINÁLNÍ ŘEZNÉ PODMÍNKY (poslední záběr) :	
Označení frézy :	VF2V 160 R00
Označení VBD:	12x : NNE324-100 IN2004 ; + 1x : Wiper YDA323L101 IN2004 (2 lůžka neobsazena)
Průměr nástroje [mm] :	160
Počet zubů [1] :	12
Řezná rychlost [$m.min^{-1}$] :	141
Otáčky [min^{-1}] :	280
Posuv [$mm.min^{-1}$] :	1 100
Posuv na zub [mm] :	0,328
Hloubka záběru [mm] :	0,01
Šířka záběru [mm] :	95,0
Objemový výkon obr. [$mm^3.min^{-1}$] :	1 045
Procesní kapalina :	ne
Pracoviště :	WRD150
Výrobce nástrojů:	02
Rozměr frézované plochy:	
šířka :	95
délka :	350



- *lišta kalená plochá*
  - čelně frézovaná nástrojem 02

- **čelní frézování vzorku 02**
  (poslední záběr)

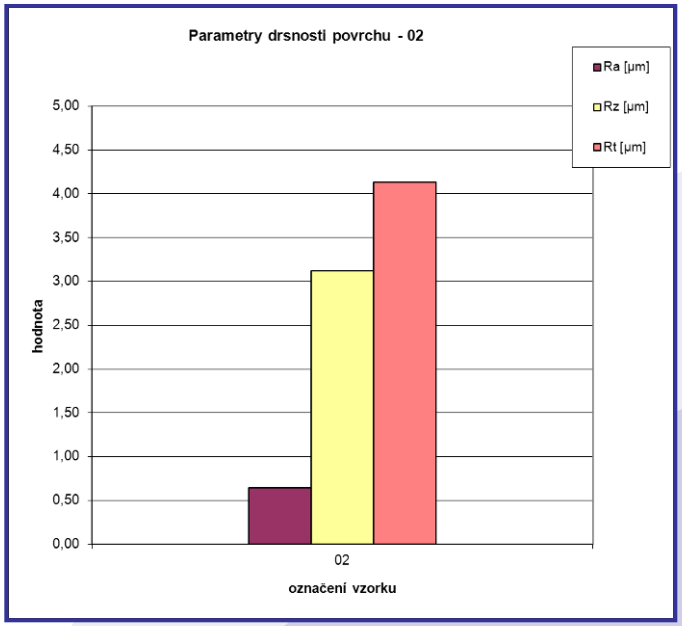
- řezná rychlost [m/min]: 141
- posuv [mm/min]: 1 100
- hloubka záběru [mm]: 0,01

- způsob frézování : čelní
- objemový výkon obrábění [mm^3/min]: 1 045

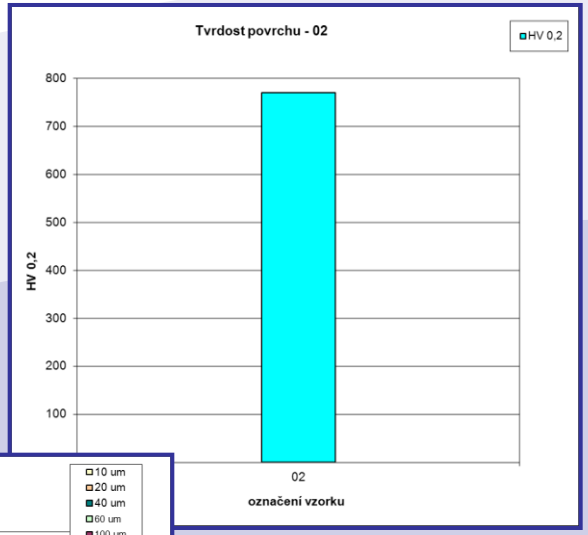
- *řezné podmínky*

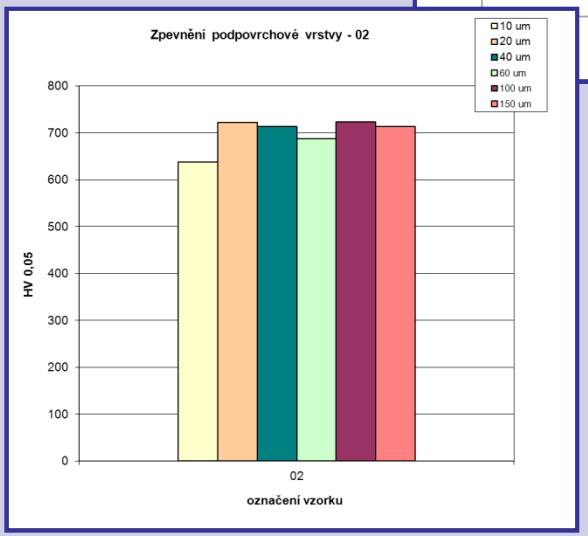
LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - měření

EXPERIMENT 02



- měření drsnosti, tvrdosti a zpevnění





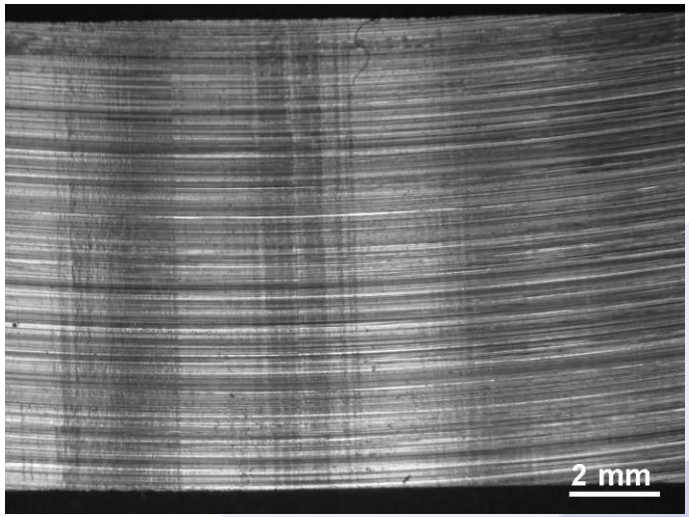
- při měření byly opět zjištěny zřetelně vyšší hodnoty drsnosti povrchu uprostřed zkoumaného povrchu,
- celkově patří vzorek mezi vzorky s horší drsností povrchu

- povrchová tvrdost vzorku je vyšší nežli tvrdost jádra,

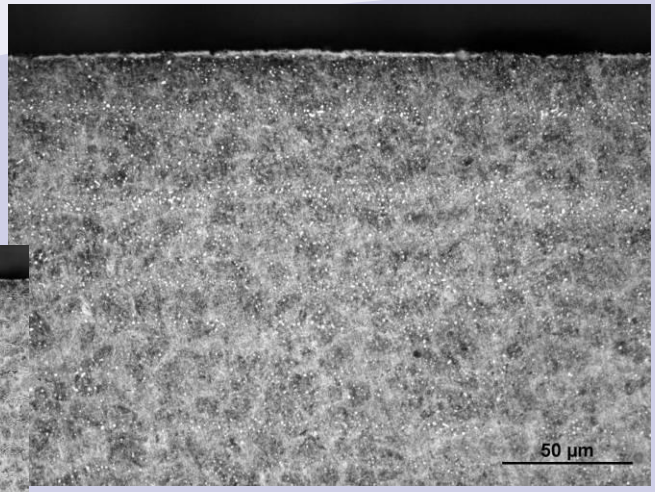
- v podpovrchové vrstvě bylo opět zjištěno odpevnění

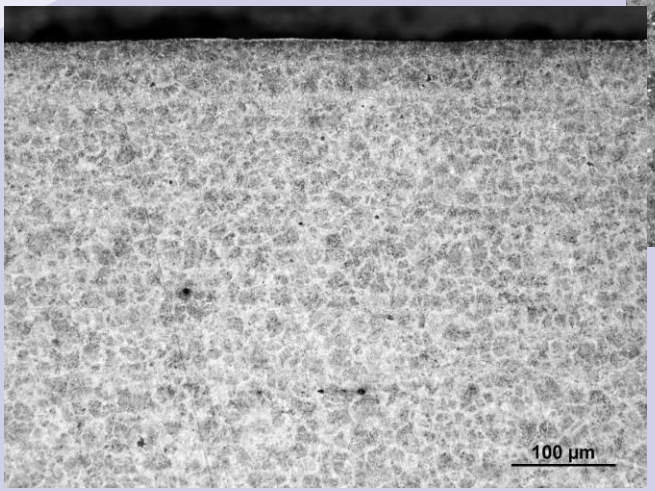
LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - měření

EXPERIMENT 02



- **strukturní šetření vzorků**
- na povrchu vzorku nebylo zjištěno křížení stop po nástroji





- struktura materiálu odpovídá popuštěnému martenzitu s výrazným karbidickým síťovím po hranicích zrn
- na detailu povrchové vrstvy je jasně patrná bílá vrstva, pravděpodobně se jedná o sekundární zakalení

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - podmínky obrábění

EXPERIMENT 03

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - podmínky obrábění		
Firma :	03	
Vzorek - označení :	03 - S	03 - U
Pozn.:		
Materiál lišty :	14 100.4 (60 HRC)	14 100.4 (60 HRC)
Způsob obrábění :	čelní frézování ; celkem 11 záběrů	čelní frézování ; celkem 11 záběrů
FINÁLNÍ ŘEZNÉ PODMÍNKY (poslední záběr) :		
Označení frézy :	Eco Feed D80	Eco Feed D80
Označení VBD:	8x : CBNECOMILLST 150 50041110 + 2x : 550041111	8x : CBNECOMILLST 150 50041110 + 2x : 550041111
Průměr nástroje [mm] :	80	80
Počet zubů [1] :	10	10
Řezná rychlost [$m.min^{-1}$] :	151	151
Otáčky [min^{-1}] :	600	600
Posuv [$mm.min^{-1}$] :	900	900
Posuv na zub [mm] :	0,150	0,150
Hloubka záběru [mm] :	0,50	0,50
Šířka záběru [mm] :	70	30
Objemový výkon obr. [$mm^3.min^{-1}$] :	31 500	13 500
Procesní kapalina :	ne	ne
Pracoviště :	WRD150	WRD150
Výrobce nástrojů:	03	03
Rozměr frézované plochy:		
šířka :	70	30
délka :	350	

- *lišta frézovaná nástrojem 03 - U*
- *lišta frézovaná nástrojem 03 - S*

- **čelní frézování vzorků 03**
  (poslední záběr)

- řezná rychlost [m/min]: 151

- posuv [mm/min]: 900

- hloubka záběru [mm]: 0,50

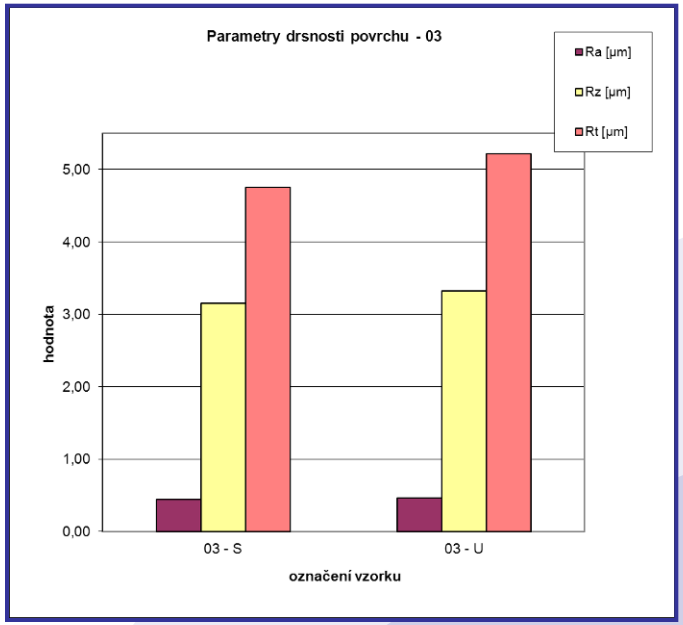
- způsob frézování : čelní

- objemový výkon obrábění [mm^3/min]: 31 500 / 13 500

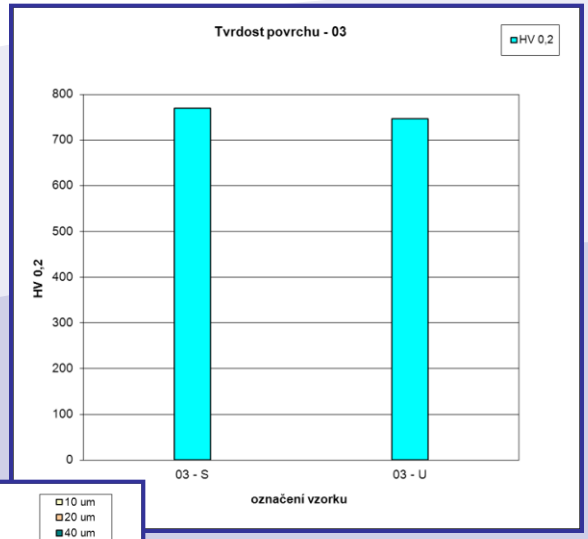
- *řezné podmínky*

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - měření

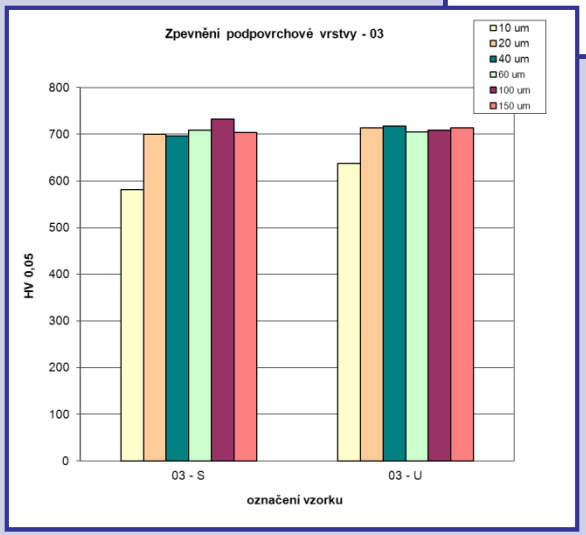
EXPERIMENT 03



- měření drsnosti, tvrdosti a zpevnění



- u vzorku 03-S byly všechny hodnoty parametrů drsnosti povrchu vyšší uprostřed zkoumaného vzorku (místo 2) a nižší drsnost byla zjištěna na okraji (místo 1), u vzorku 03-U to bylo u všech parametrů naopak,
- střední hodnoty parametrů drsnosti povrchu obou vzorků jsou téměř shodné

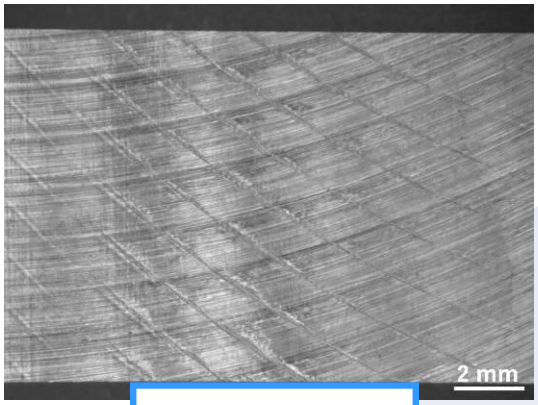


- hodnota tvrdosti povrchu vzorku 03-S je poněkud vyšší než u vzorku 03-U
- odpevnění podpovrchové vrstvy těsně pod povrchem u vzorku 03-S je výrazně vyšší než u vzorku 03-U

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - měření

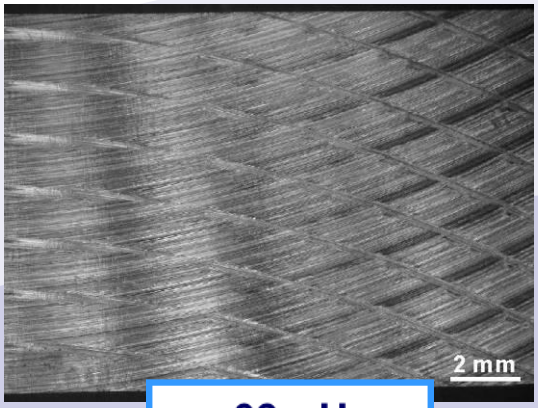
EXPERIMENT 03

- strukturní šetření vzorků

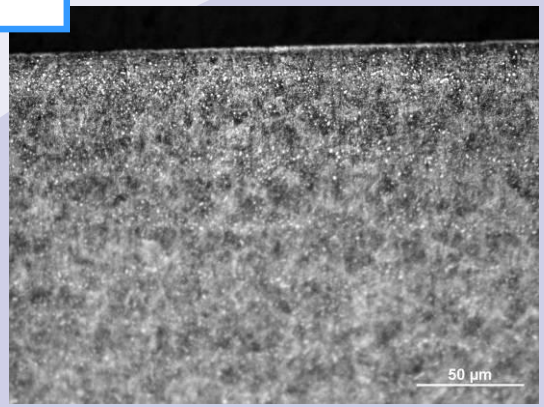


03 - S

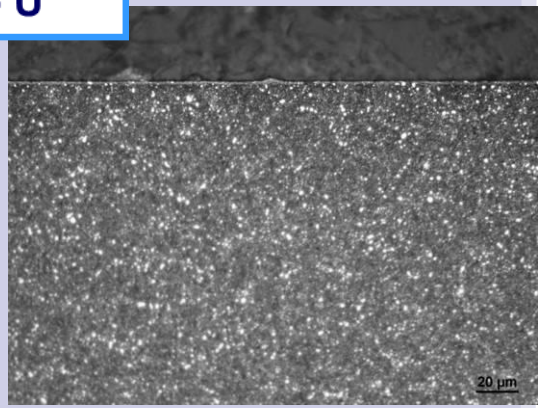
- na povrchu obou vzorků je patrné křížení stop po nástroji, které souvisí s polohováním nástroje a obrobku



03 - U



- při měření byla zjištěna popuštěná martenzitická struktura s jemným karbidickým síťovím,
- na u povrchu je patrná bílá vrstva, pravděpodobně se jedná o sekundární zakalení

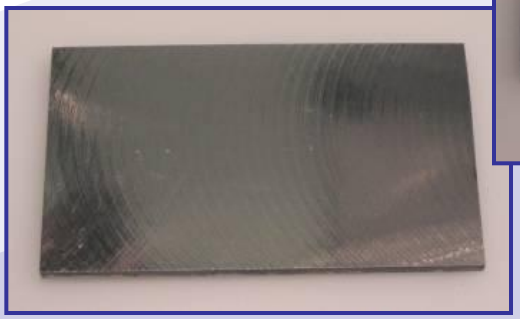


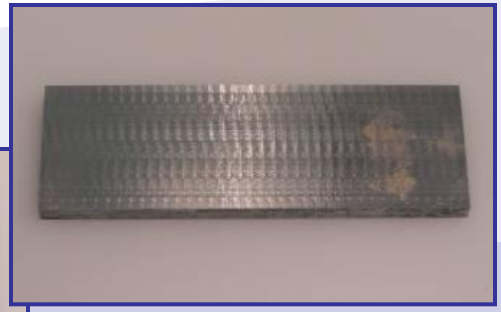
- struktura vzorku je homogenní a odpovídá použitému tepelnému zpracování tj. popuštěnému martenzitu (sorbit),
- na povrchu byla pozorována nesouvislá bílá vrstva o tloušťce cca 3 µm

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - podmínky obrábění

EXPERIMENT 04

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - podmínky obrábění		
Firma :	04	
Vzorek - označení :	04 - S	04 - U
Pozn.:		
Materiál lišty :	14 100.4 (60 HRC)	14 100.4 (60 HRC)
Způsob obrábění :	čelní frézování ; celkem 8 záběrů	čelní frézování ; celkem 8 záběrů
FINÁLNÍ ŘEZNÉ PODMÍNKY (poslední záběr) :		
Označení frézy :	100T05R-S90AP15D80	100T05R-S90AP15D80
Označení VBD:	APKX 1505PD SR-R 8016	APKX 1505PD SR-R 8016
Průměr nástroje [mm] :	100	100
Počet zubů [1] :	5	5
Řezná rychlost [$m.min^{-1}$] :	35	35
Otáčky [min^{-1}] :	110	110
Posuv [$mm.min^{-1}$] :	400	400
Posuv na zub [mm] :	0,728	0,728
Hloubka záběru [mm] :	0,20	0,20
Šířka záběru [mm] :	95	45
Objemový výkon obr. [$mm^3.min^{-1}$] :	7 600	3 600
Procesní kapalina :	ne	ne
Pracoviště :	WRD150	WRD150
Výrobce nástrojů:	04	04
Rozměr frézované plochy:		
šířka :	95	45
délka :		





- *lišta frézovaná nástrojem 04 - U*
- *lišta frézovaná nástrojem 04 - S*

- **čelní frézování vzorků 04** (poslední záběr)

- řezná rychlost [m/min]: 35

- posuv [mm/min]: 400

- hloubka záběru [mm]: 0,20

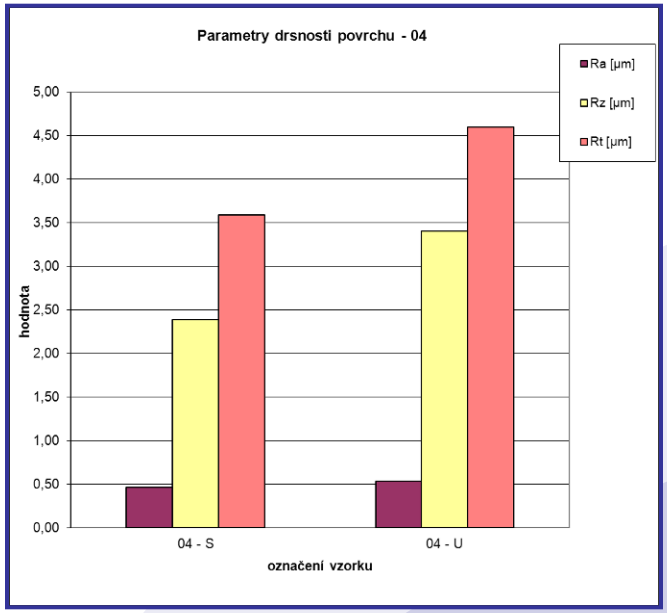
- způsob frézování : čelní

- objemový výkon obrábění [mm^3/min]: 7 600 / 3 600

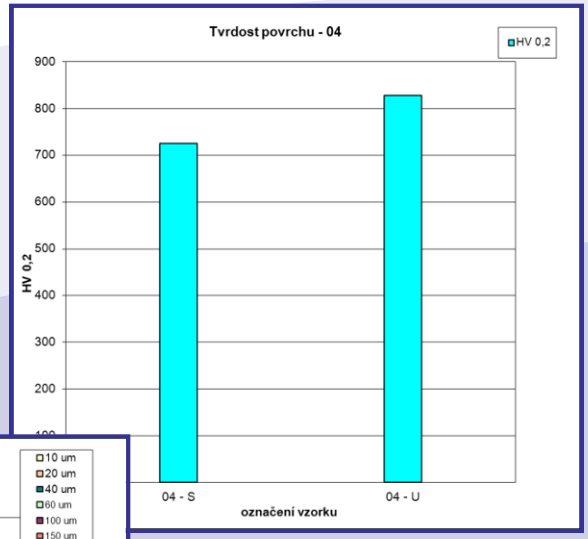
- *řezné podmínky*

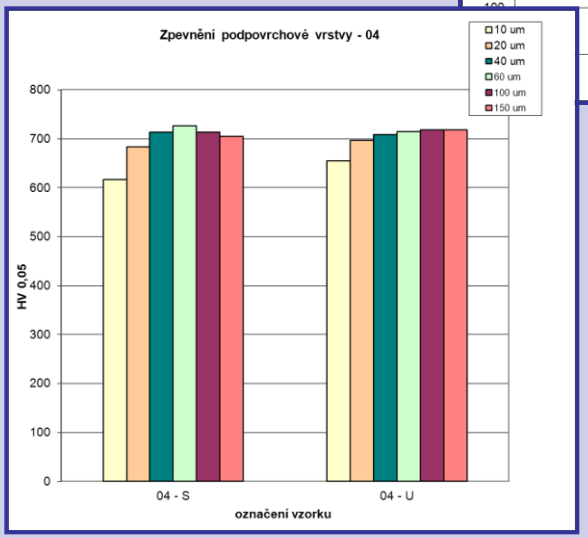
LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - měření

EXPERIMENT 04



- měření drsnosti, tvrdosti a zpevnění





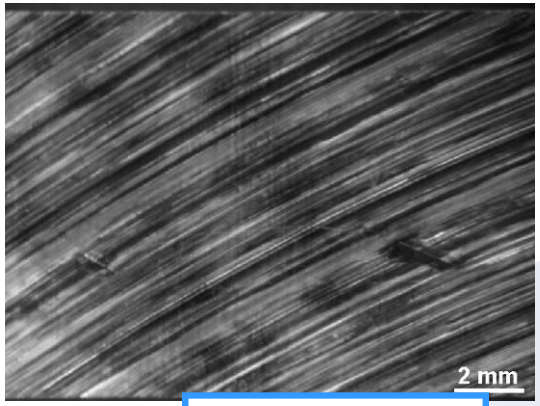
- u obou vzorků 04 byly hodnoty parametrů drsnosti povrchu na okraji (místo 1) a uprostřed zkoumaného vzorku (místo 2) přibližně stejné,
- střední hodnoty parametrů drsnosti povrchu u vzorku 04-S jsou nižší oproti hodnotám u vzorku 04-U, kde byly na povrchu detekovány tři podélné rýhy, drsnost povrchu v příčném směru byla horší než v podélném; stopa po nástroji neodpovídala ostatním čelně frézovaným vzorkům

- u obou vzorků bylo v podpovrchové vrstvě zjištěno typické odpevnění,
- u vzorku 04-U byl zjištěn největší rozdíl mezi tvrdostí povrchu a tvrdostí jádra a to ze všech hodnocených vzorků

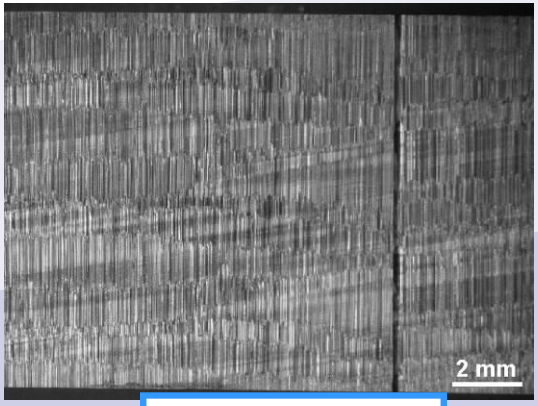
LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - měření

EXPERIMENT 04

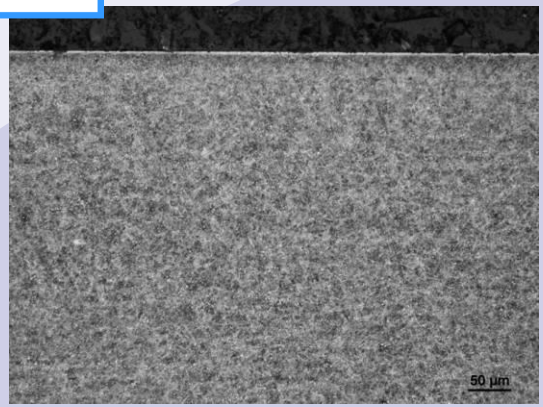
- **strukturní šetření vzorků**
- na povrchu vzorku nebylo zjištěno křížení stop po nástroji,
- povrchy obou vzorků se výrazně odlišují, u vzorku 04-U byly zjištěny zcela neobvyklé stopy po obráběcím nástroji (neodpovídající čelnímu frézování) a neobvyklé podélné rýhy



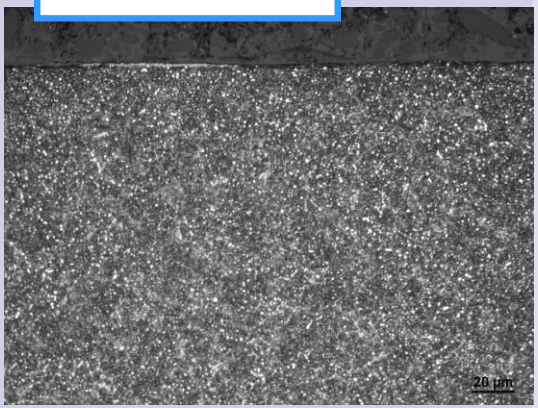
04 - S



04 - U



- struktura materiálu je martenzitická s jemným karbidickým síťovím po hranicích zrn a nevýraznou řádkovitostí primárních karbidů,
- na povrchu byla zjištěna nesouvislá bílá vrstva o tloušťce 2 - 3 µm



- zjištěna martenzitická struktura charakteristická pro použitý typ tepelného zpracování s nepatrným karbidickým síťovím po hranicích zrn,
- na povrchu byla zjištěna nesouvislá bílá vrstva o tloušťce maximálně 2,5 µm

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - podmínky obrábění

EXPERIMENT 05

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - podmínky obrábění	
Firma :	05
Vzorek - označení :	
Pozn.:	
Materiál lišty :	14 100.4 (60 HRC)
Způsob obrábění :	čelní frézování ; celkem 13 záběrů
FINÁLNÍ ŘEZNÉ PODMÍNKY (poslední záběr) :	
Označení frézy :	R300-125Q32-16H
Označení VBD:	R300-1648M-PH 1010
Průměr nástroje [mm] :	113
Počet zubů [1] :	10
Řezná rychlost [$m.min^{-1}$] :	101
Otáčky [min^{-1}] :	284
Posuv [$mm.min^{-1}$] :	2 300
Posuv na zub [mm] :	0,810
Hloubka záběru [mm] :	0,30
Šířka záběru [mm] :	70,0
Objemový výkon obr. [$mm^3.min^{-1}$] :	48 300
Procesní kapalina :	ne
Pracoviště :	WRD150
Výrobce nástrojů:	05
Rozměr frézované plochy:	
šířka :	70
délka :	350

- *lišta kalená plochá*
  - čelně frézovaná nástrojem 05

- **čelní frézování vzorku 05**
  (poslední záběr)

- řezná rychlost [m/min]: 101

- posuv [mm/min]: 2 300

- hloubka záběru [mm]: 0,30

- způsob frézování : čelní

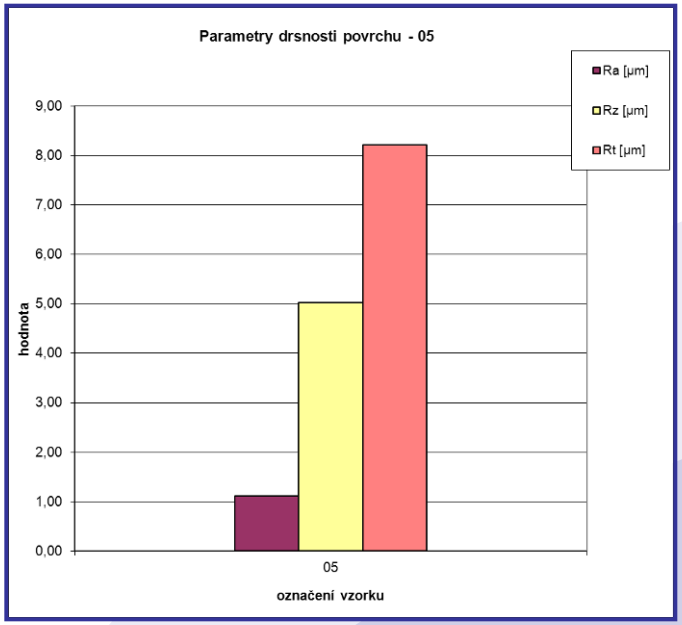
- objemový výkon obrábění [mm^3/min]: 48 300

!

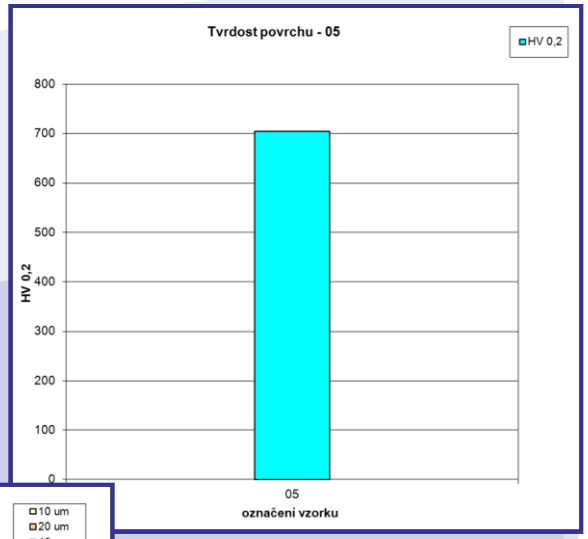
- *řezné podmínky*

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - měření

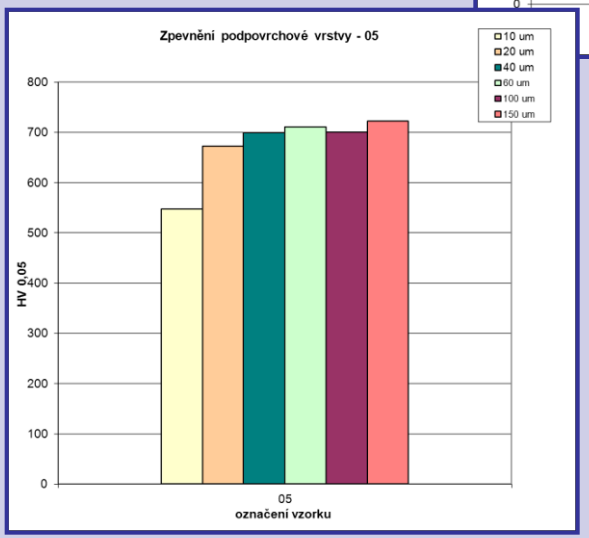
EXPERIMENT 05



- měření drsnosti, tvrdosti a zpevnění



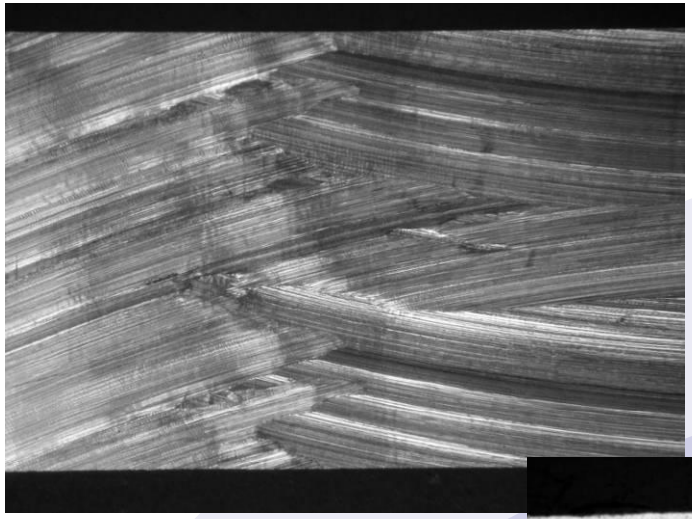
- z měření parametrů drsnosti povrchu vyplývá, že zřetelně vyšší hodnoty drsnosti povrchu byly v místě 2, tedy uprostřed zkoumaného povrchu,
- hodnoty parametrů drsnosti povrchu Ra, Rz a Rt jsou u tohoto vzorku nejvyšší ze všech naměřených hodnot a to na obou měřených místech



- tvrdost povrchu se významně neliší od tvrdosti jádra,
- pod povrchem bylo zjištěno velmi výrazné odpevnění,
- sekundárně popuštěná podpovrchová vrstva je podstatně měkčí

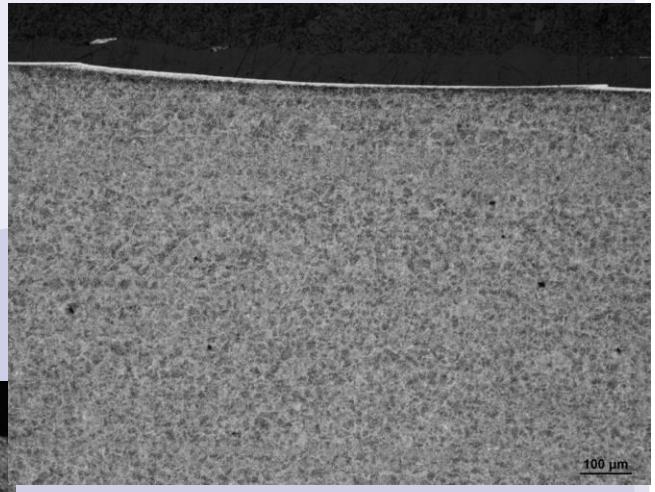
LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - měření

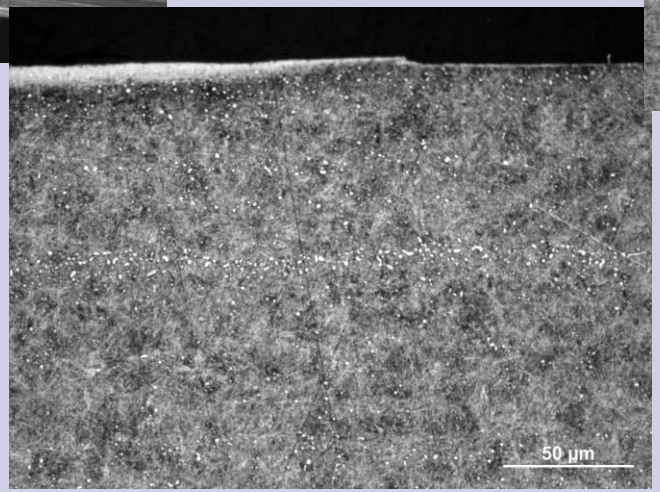
EXPERIMENT 05



- **strukturní šetření vzorků**

- na povrchu vzorku je patrné křížení stop po nástroji, které souvisí s polohováním nástroje a obrobku





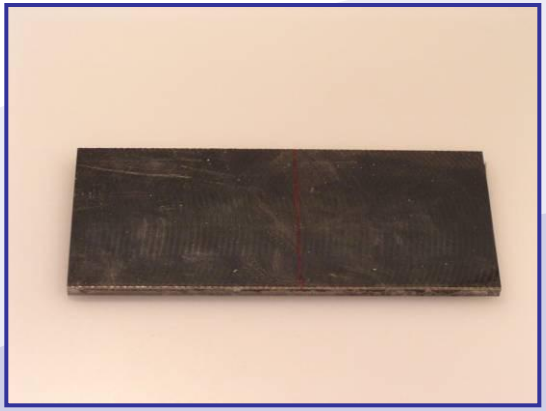
- charakteristický průběh bílé vrstvy - na vrcholcích je vrstva širší než v prohlubních stop po obrábění

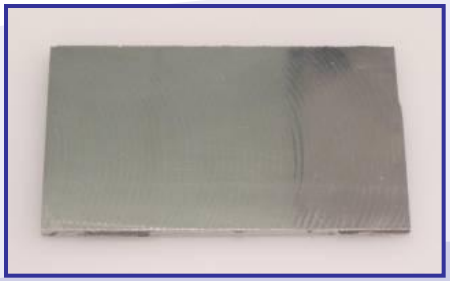
- působením břitu obráběcího nástroje vznikla na povrchu vzorku téměř souvislá bílá vrstva, jejíž tloušťka se pohybuje v rozmezí 3 - 10 µm, pravděpodobně se jedná o sekundární zakalení,
- struktura je tvořena popuštěným martenzitem s jemným karbidickým síťovím a s velmi jemnou karbidickou řádkovitostí

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - podmínky obrábění

EXPERIMENT 06

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - podmínky obrábění		
Firma :	06	
Vzorek - označení :	06 - D	06 - K
Pozn.:		
Materiál lišty :	14 100.4 (60 HRC)	14 100.4 (60 HRC)
Způsob obrábění :	čelní frézování ; celkem 8 záběrů	čelní frézování ; celkem 8 záběrů
FINÁLNÍ ŘEZNÉ PODMÍNKY (poslední záběr) :		
Označení frézy :	R220.30-0125-12ST	R220.30-0125-12ST
Označení VBD:	SEEX1203AFTN-MD14 MH1000	SEEX1203AFTN-MD14 MH1000
Průměr nástroje [mm] :	123	123
Počet zubů [1] :	15	15
Řezná rychlost [$m.min^{-1}$] :	97	97
Otáčky [min^{-1}] :	250	250
Posuv [$mm.min^{-1}$] :	600	600
Posuv na zub [mm] :	0,160	0,160
Hloubka záběru [mm] :	0,50	0,50
Šířka záběru [mm] :	70	70
Objemový výkon obr. [$mm^3.min^{-1}$] :	21 000	21 000
Procesní kapalina :	ne	ne
Pracoviště :	WRD150	WRD150
Výrobce nástrojů:	06	06
Rozměr frézované plochy:		
šířka :	70	70
délka :	350	275





- *lišta frézovaná nástrojem 06 - K*
- *lišta frézovaná nástrojem 06 - D*

- **čelní frézování vzorků 06**
  (poslední záběr)

- řezná rychlost [m/min]: 97

- posuv [mm/min]: 600

- hloubka záběru [mm]: 0,50

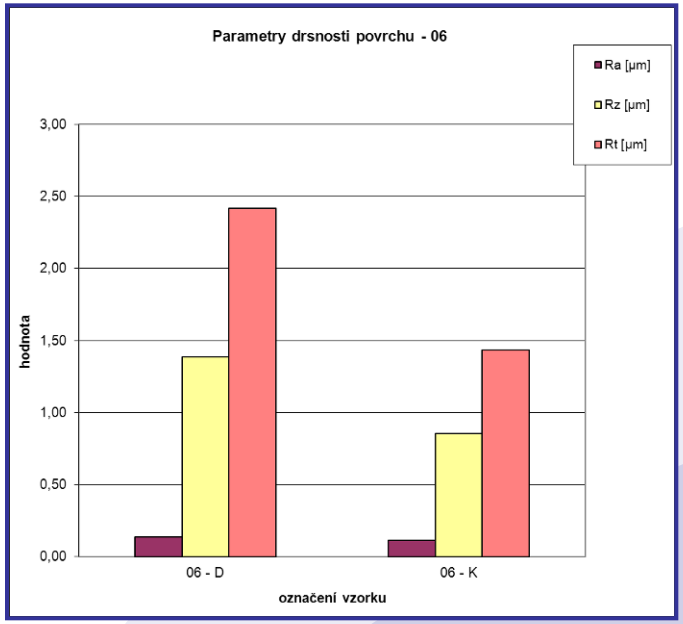
- způsob frézování : čelní

- objemový výkon obrábění [mm^3/min]: 21 000 / 21 000

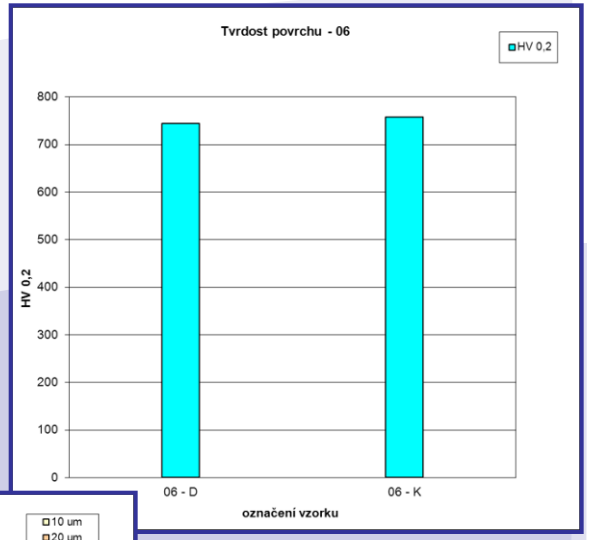
- *řezné podmínky*

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - měření

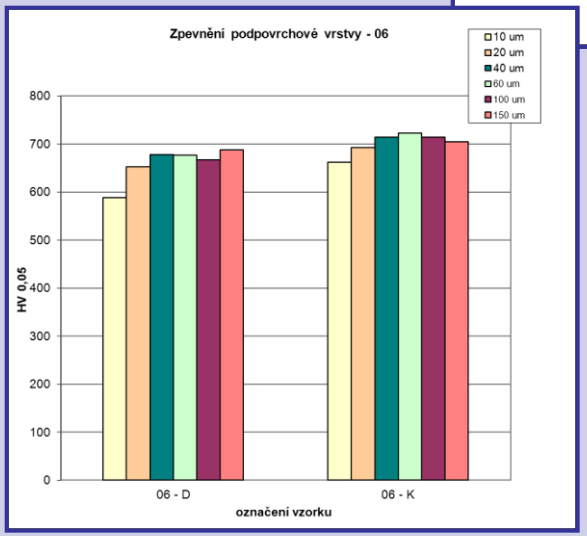
EXPERIMENT 06



- měření drsnosti, tvrdosti a zpevnění



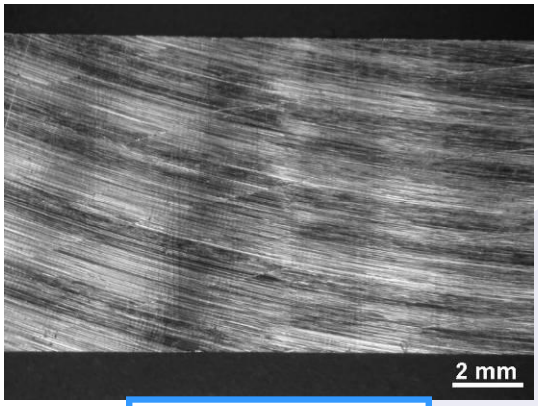
- u obou těchto vzorků byly nepatrně vyšší hodnoty drsnosti povrchu zjištěny na okraji zkoumaného povrchu (v místě 1),
- parametry drsnosti povrchu Ra, Rz a Rt u vzorků 06 svědčí o rovnoměrně obrobeném povrchu, jsou jednoznačně nejnižší ze všech naměřených hodnot, jedná se o nejlepší drsnost povrchu ze všech vzorků



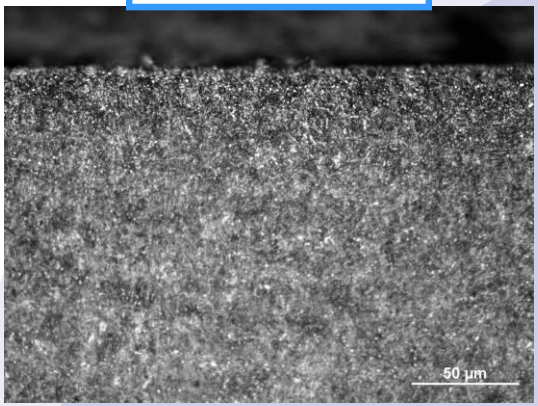
- povrchová tvrdost u vzorků dosahuje průměrných hodnot,
- odpevnění podpovrchové vrstvičky není u vzorků 06 nijak výrazné

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - měření

EXPERIMENT 06



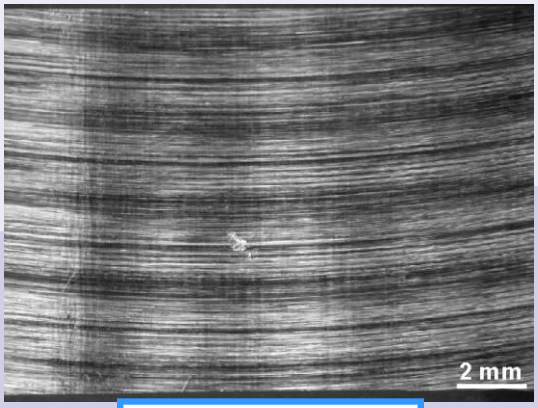
06 - D



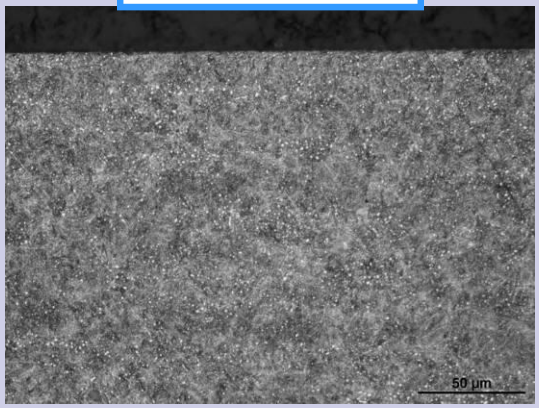
- **strukturní šetření vzorků**

- na povrchu nejsou patrné stopy po předchozích záběrech

- na povrchu vzorků nebyla zjištěna bílá vrstva,
- struktura vzorku 06 - D odpovídá použitému materiálu a tepelnému zpracování, řádkovitost a síťoví ve struktuře vzorku není nijak výrazné, struktura je homogenní,
- struktura vzorku 06 - K je opět martenzitická s jemným karbidickým síťovím po hranicích zrn a s řádky primárních karbidů



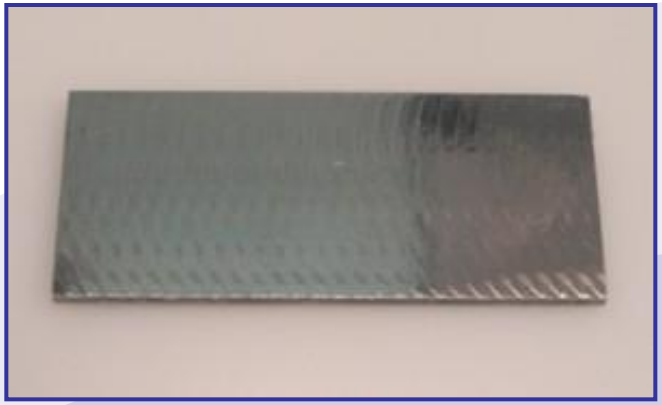
06 - K



LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - podmínky obrábění

EXPERIMENT 07

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - podmínky obrábění	
Firma :	07
Vzorek - označení :	
Pozn.:	
Materiál lišty :	14 100.4 (60 HRC)
Způsob obrábění :	čelní frézování ; celkem 6 záběrů
FINÁLNÍ ŘEZNÉ PODMÍNKY (poslední záběr) :	
Označení frézy :	69871.A50.FM40.5870-01
Označení VBD:	XDLW120508SR-D X400
Průměr nástroje [mm] :	160
Počet zubů [1] :	15
Řezná rychlost [$m.min^{-1}$] :	35
Otáčky [min^{-1}] :	70
Posuv [$mm.min^{-1}$] :	420
Posuv na zub [mm] :	0,400
Hloubka záběru [mm] :	0,50
Šířka záběru [mm] :	70,0
Objemový výkon obr. [$mm^3.min^{-1}$] :	14 700
Procesní kapalina :	ne
Pracoviště :	WRD150
Výrobce nástrojů:	07
Rozměr frézované plochy:	
šířka :	70
délka :	



- *lišta kalená plochá - čelně frézovaná nástrojem 07*

- **čelní frézování vzorku 07** (poslední záběr)

- řezná rychlost [m/min]: 35

- posuv [mm/min]: 420

- hloubka záběru [mm]: 0,50

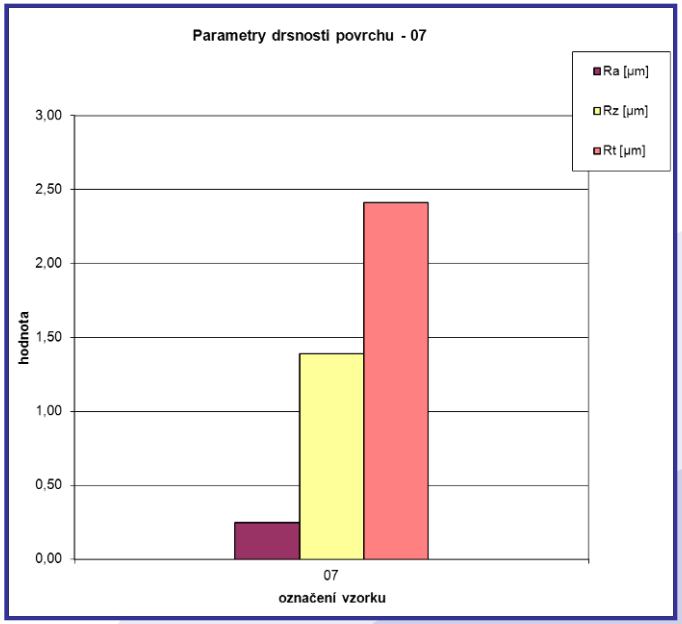
- způsob frézování : čelní

- objemový výkon obrábění [mm^3/min]: 14 700

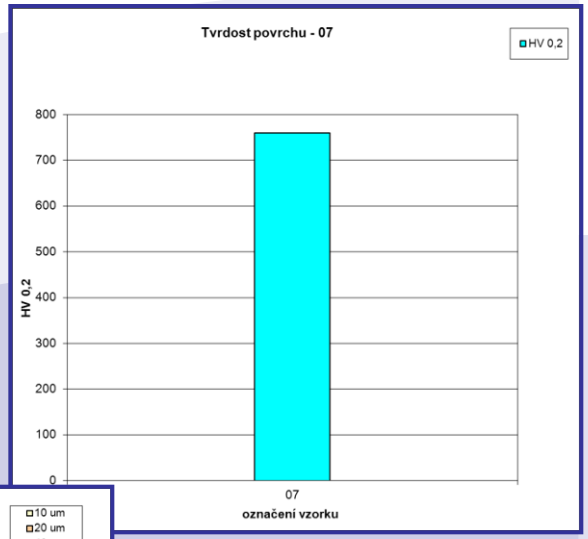
- *řezné podmínky*

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - měření

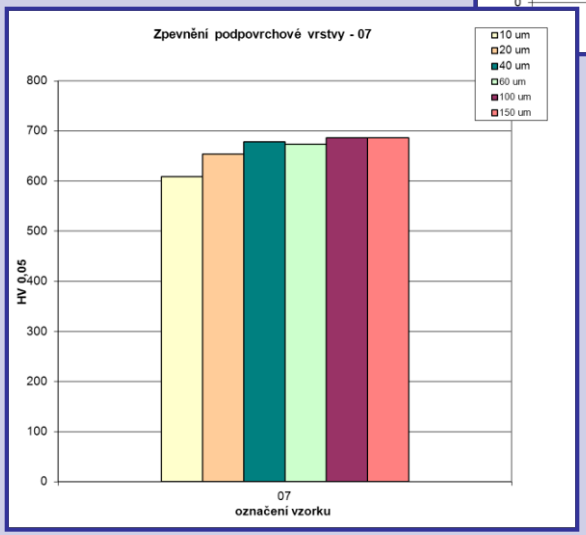
EXPERIMENT 07



- měření drsnosti, tvrdosti a zpevnění



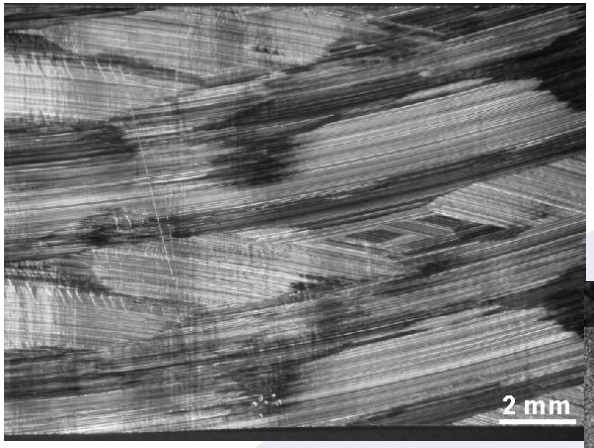
- hodnoty parametrů drsnosti povrchu na okraji (místo 1) a uprostřed hodnoceného vzorku (místo 2) byly přibližně stejné,
- hodnoty parametrů drsnosti povrchu Ra, Rz a Rt byly velmi nízké, což dokládá malou drsnost a výbornou kvalitu povrchu *(těsně za nástrojem 06)*



- při měření byl zjištěn poměrně vysoký rozdíl mezi tvrdostí povrchu a maximální hodnotou zpevnění podpovrchové vrstvy

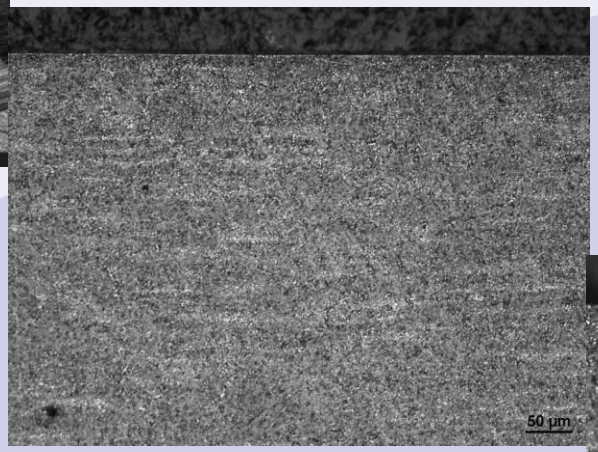
LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - měření

EXPERIMENT 07

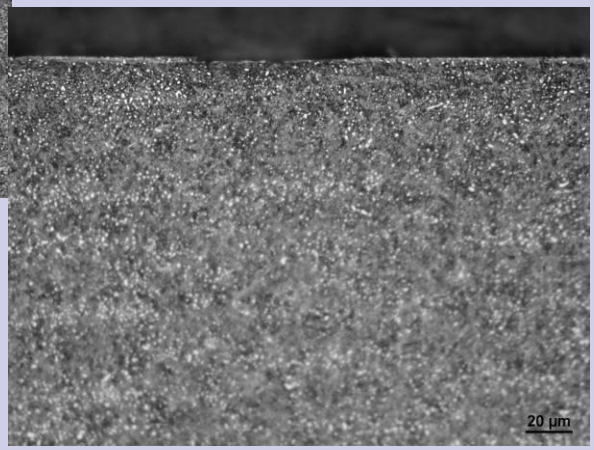


- **strukturní šetření vzorků**

- na povrchu vzorku je patrné specifické křížení stop po obrá-běcím nástroji



- na detailu povrchové vrstvy je patrná nesouvislá bílá vrstva o tloušťce 3 µm



- ve struktuře materiálu je patrná nerovnoměrná disperze především pri-márních karbidů,
- ve struktuře se vyskytuje poměrně výrazná řádkovitost, tato heterogenita může mít vliv na vyšší rozdíl mezi tvrdostí jádra a podpovrchové vrstvičky

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - podmínky obrábění

EXPERIMENT 08

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - podmínky obrábění	
Firma :	08
Vzorek - označení :	
Pozn.:	
Materiál lišty :	14 100.4 (60 HRC)
Způsob obrábění :	čelní frézování ; celkem 7 záběrů
FINÁLNÍ ŘEZNÉ PODMÍNKY (poslední záběr) :	
Označení frézy :	F2254-100097 D160
Označení VBD:	P3400-100345R 2143
Průměr nástroje [mm] :	160
Počet zubů [1] :	24
Řezná rychlost [$m.min^{-1}$] :	50
Otáčky [min^{-1}] :	100
Posuv [$mm.min^{-1}$] :	700
Posuv na zub [mm] :	0,292
Hloubka záběru [mm] :	0,50
Šířka záběru [mm] :	95,0
Objemový výkon obr. [$mm^3.min^{-1}$] :	33 250
Procesní kapalina :	ne
Pracoviště :	WRD150
Výrobce nástrojů:	08
Rozměr frézované plochy:	
šířka :	95
délka :	350

- *lišta kalená plochá*
  - čelně frézovaná nástrojem 08

- **čelní frézování vzorku 08**
  (poslední záběr)

- řezná rychlost [m/min]: 50

- posuv [mm/min]: 700

- hloubka záběru [mm]: 0,50

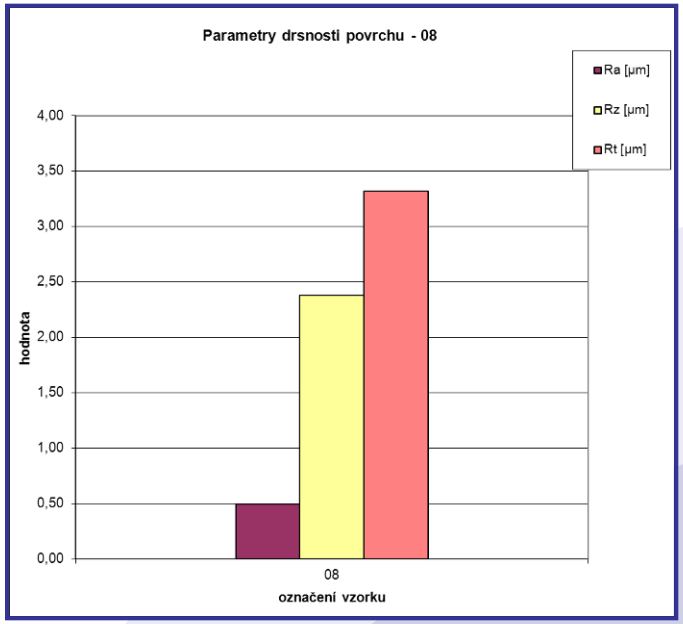
- způsob frézování : čelní

- objemový výkon obrábění [mm^3/min]: 33 250

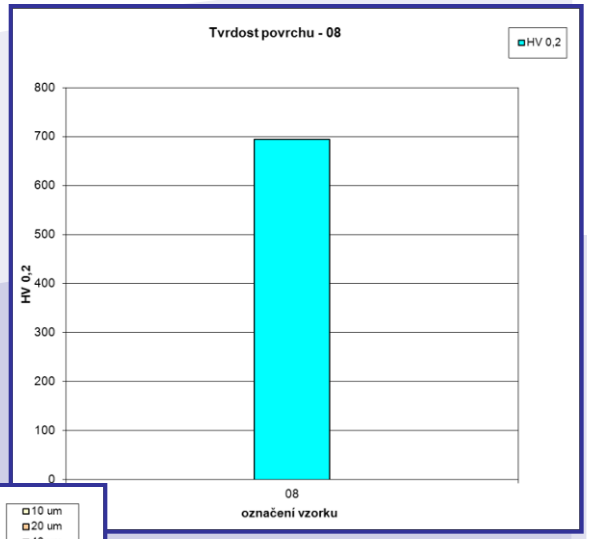
- *řezné podmínky*

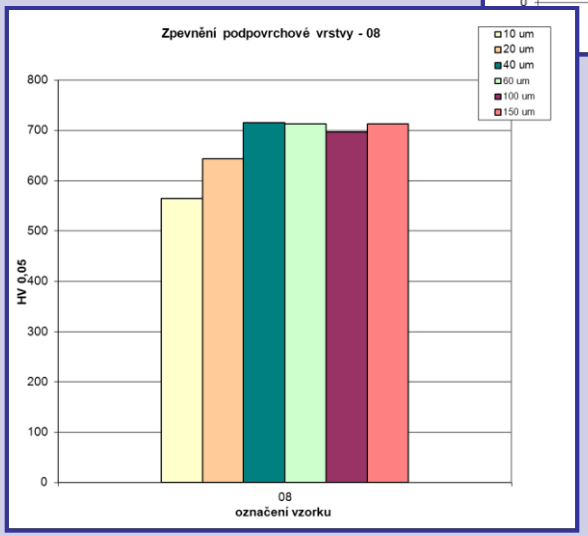
LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - měření

EXPERIMENT 08



- měření drsnosti, tvrdosti a zpevnění





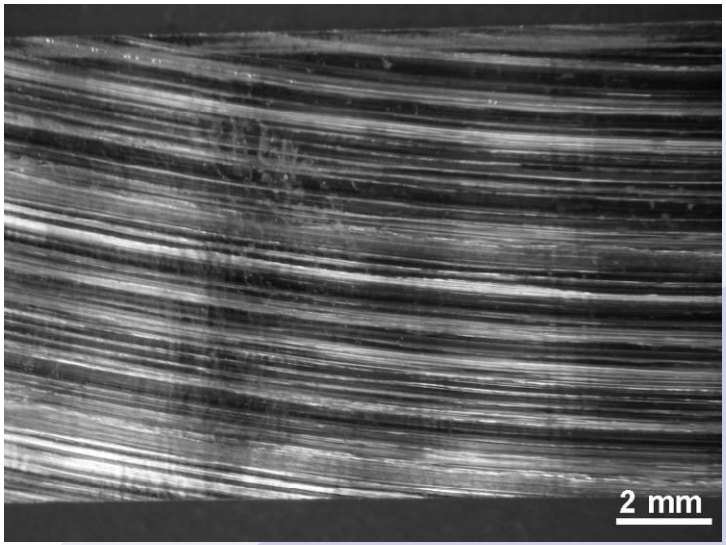
- povrch vzorku byl obroben velmi rovnoměrně, hodnoty parametrů drsnosti na okraji (místo 1) a uprostřed vzorku (místo 2) byly přibližně stejné,
- hodnota parametrů drsnosti povrchu Ra, Rz a Rt byla v porovnání s ostatními hodnocenými vzorky průměrná

- při měření byla zjištěna nižší tvrdost na povrchu vzorku oproti maximální hodnotě zpevnění podpovrchové vrstvy,

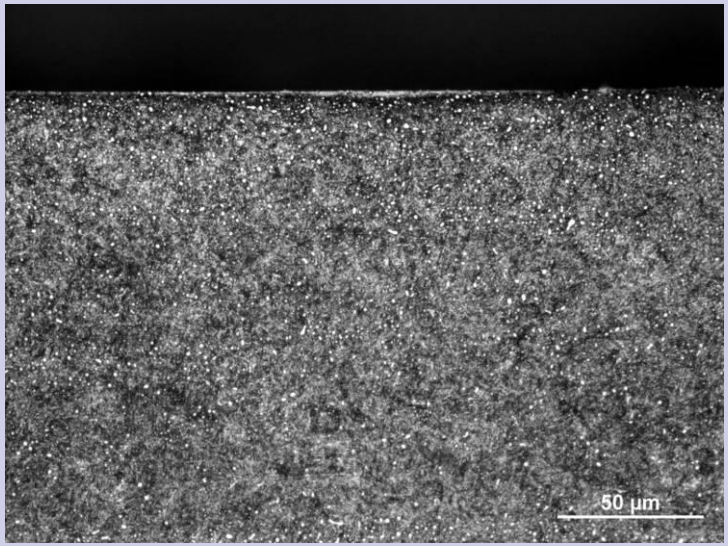
- pod povrchem bylo zjištěno velmi výrazné odpevnění

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - měření

EXPERIMENT 08



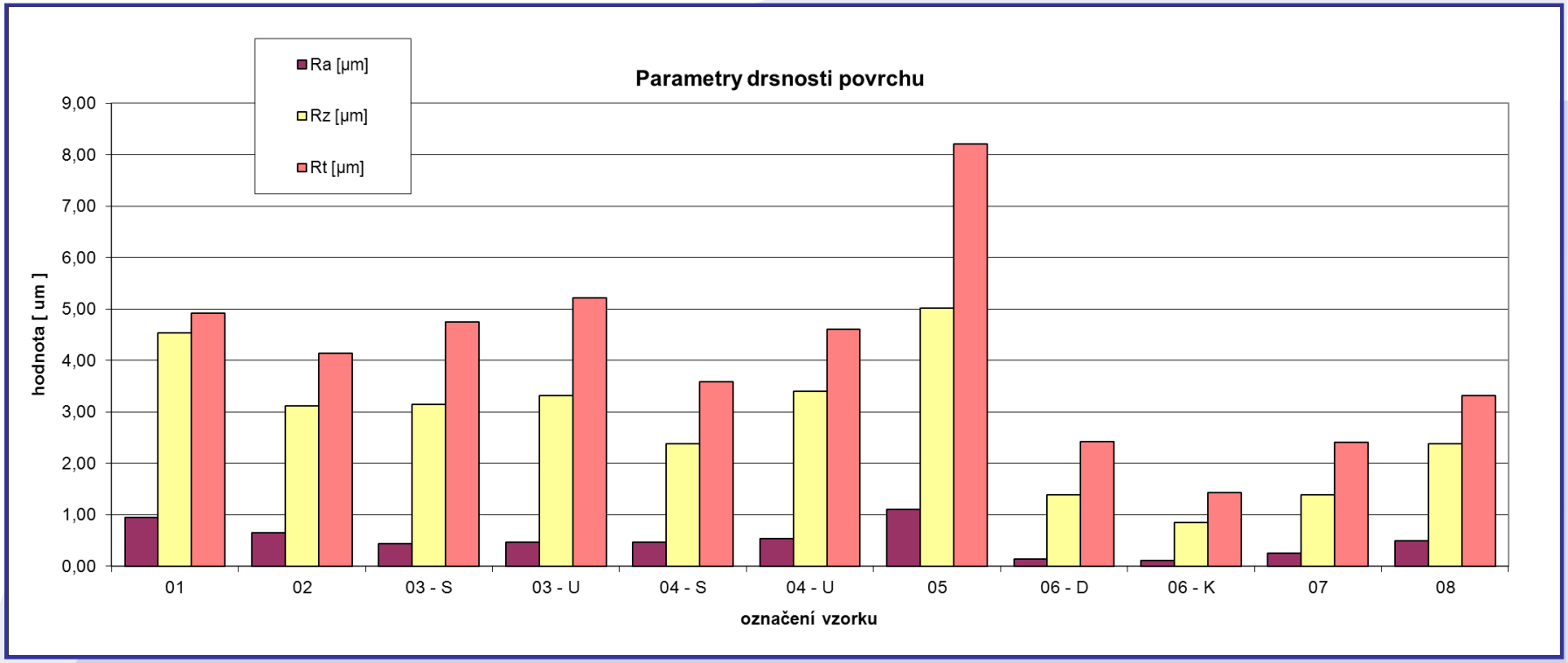
- **strukturní šetření vzorků**
- na povrchu vzorku nejsou patrné stopy po předchozích záběrech čelní frézy
- při metalografické analýze byla zjištěna struktura bez výrazného karbidického síťoví a řádkovitosti,



- byla pozorována velmi tenká a ne zcela souvislá bílá vrstvička tloušťky cca 1,5 µm, pravděpodobně se jedná o sekundární zakalení

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - souhrn

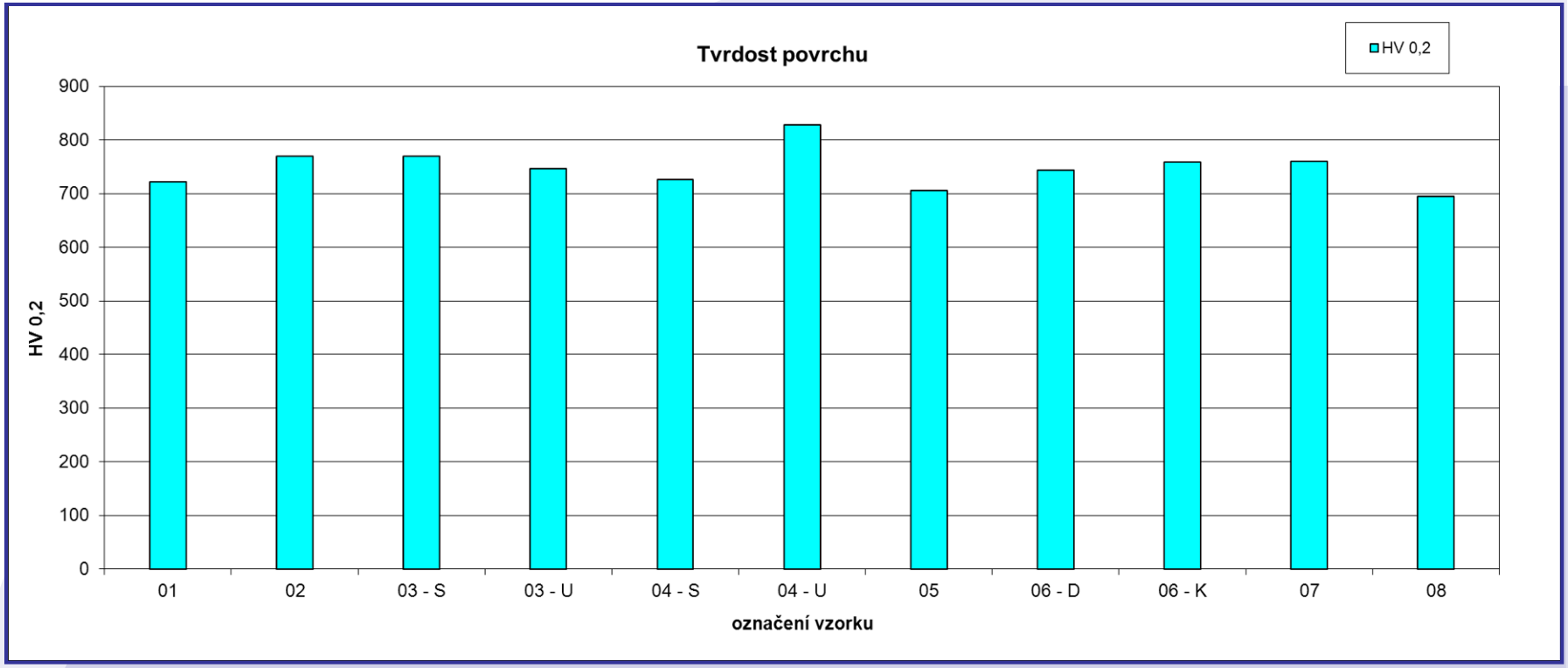
- nejlepší střední hodnoty parametrů drsnosti povrchu byly zjištěny u vzorků, které byly obrobeny nástroji 06, pak následují drsnosti u vzorků 07, 08, 04, 03, 02 a nejhorší drsnost byla zjištěna u vzorků obrobených nástroji 01 a 05



- povrch vzorku 04 - U se vůči všem ostatním vzorkům výrazně odlišuje, byly zde zjištěny neobvyklé podélné rýhy a stopy, které neodpovídají čelnímu frézování

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - souhrn

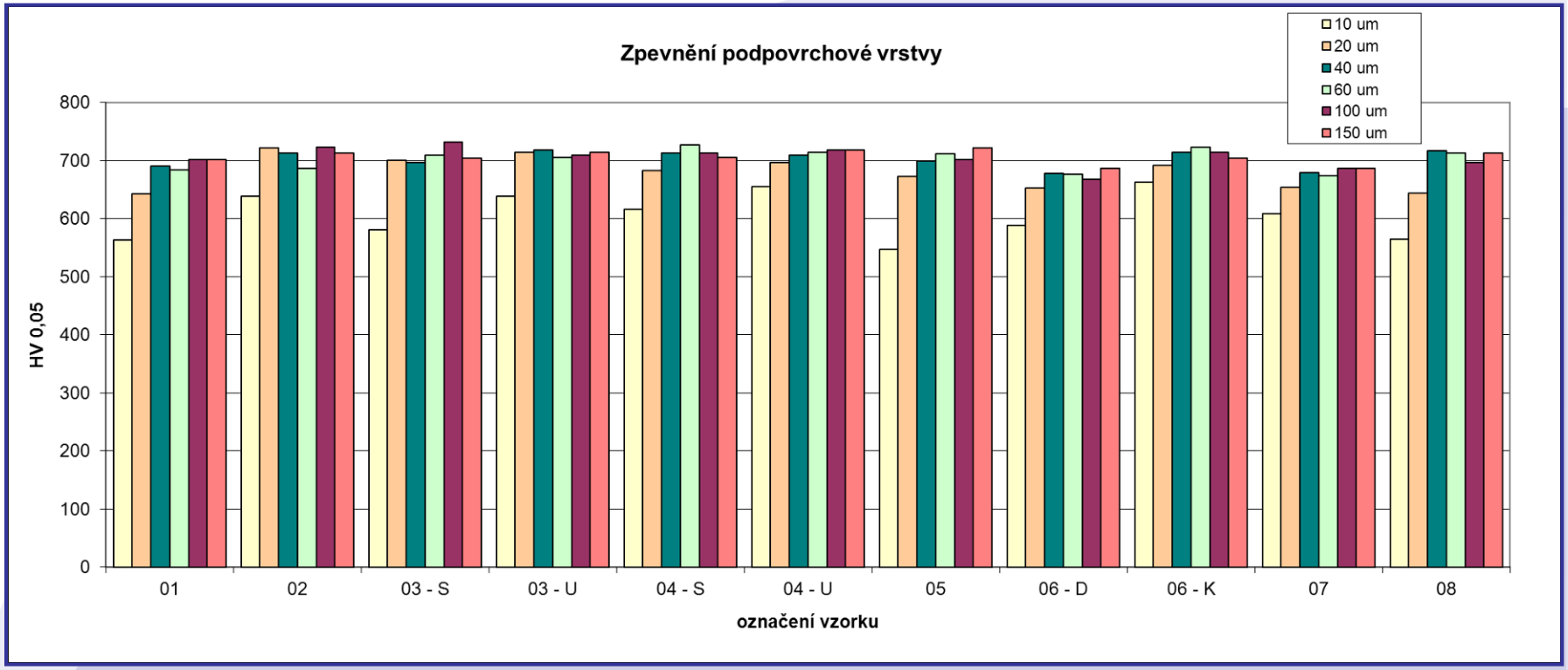
- tvrdost povrchu vzorků se pohybovala v rozsahu HV 0,2 : od 694 do 828
- při optimálním tepelném zpracování by se tvrdost materiálu 14 100 měla pohybovat v rozmezí cca 770 - 860 HV 0,2



- kromě vzorků 01, 06-D a 06-K byla na povrchu zjištěna zpravidla nesouvislá tenká bílá vrstvička, pravděpodobně se jedná o sekundární zakalení

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - souhrn

- rozdíl mezi tvrdostí povrchu a tvrdostí v podpovrchové vrstvě může být příčinou nepříznivého rozložení vnitřních napětí těsně pod povrchem součásti



- u převážné většiny obrobených vzorků došlo k téměř shodnému efektu - zvýšení tvrdosti povrchu v tenké vrstvičce (2 - 4 μm), následnému poklesu o cca 100 HV 0,05 a postupnému nárůstu na tvrdost v jádře

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - souhrn

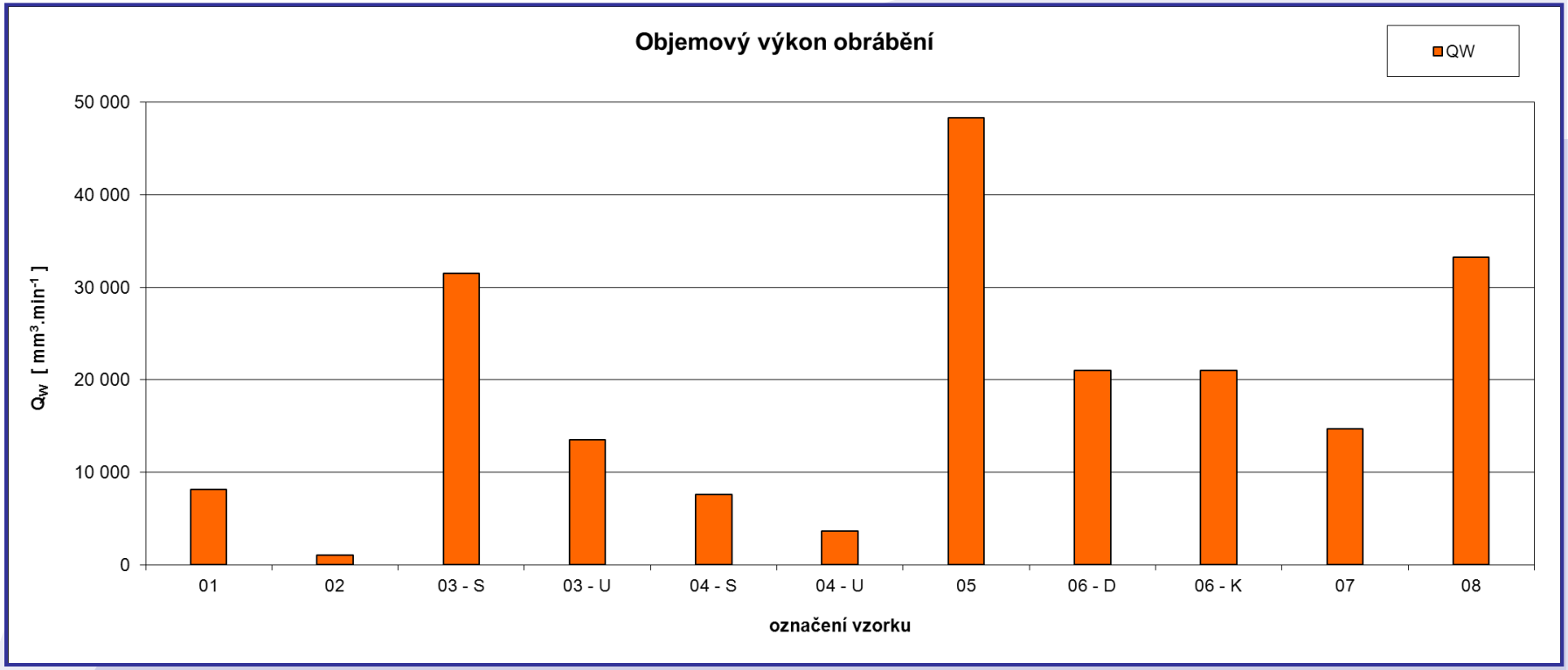
HODNOCENÍ STRUKTURY	Zpevněná povrchová vrstva[1]	Odpevněná podpovrchová vrstva[2]	Struktura matrice	Bílá vrstva
01	1,04	0,81	popuštěný martenzit s výraznou karbidickou řádkovitostí	nevyskytuje se
02	1,09	0,90	popuštěný martenzit s karbidickým síťovím	nesouvislá, tloušťka je 2,5 μm
03 - S	1,08	0,81	popuštěný martenzit s jemným karbidickým síťovím a jemnou karbidickou řádkovitostí	nesouvislá, tloušťka je 2,5 μm
03 - U	1,05	0,90	homogenní popuštěný martenzit	nesouvislá, tloušťka je 3 μm
04 - S	1,02	0,86	popuštěný martenzit s karbidickým síťovím	nesouvislá, tloušťka je 2 - 3 μm
04 - U	1,16	0,91	homogenní popuštěný martenzit	nesouvislá, tloušťka je 2,5 μm
05	0,99	0,77	popuštěný martenzit s jemným karbidickým síťovím a jemnou karbidickou řádkovitostí	souvislá, tloušťka je 3 - 10 μm
06 - D	1,10	0,79	bez výrazné karbidické řádkovitosti a síťoví	nevyskytuje se
06 - K	1,06	0,93	popuštěný martenzit s karbidickým síťovím a jemnou karbidickou řádkovitostí	nevyskytuje se
07	1,11	0,89	popuštěný martenzit s karbidickou řádkovitostí	nesouvislá, tloušťka je 3 μm
08	0,98	0,80	bez výrazné karbidické řádkovitosti a síťoví	nesouvislá, tloušťka je cca 1,5 μm

1 … povrchová tvrdost / tvrdost jádra

2 … tvrdost podpovrchové vrstvy / tvrdost jádra

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - souhrn

- objemový výkon obrábění je měřítkem produktivity obrábění a určuje se jako podíl mezi objemem odebraného materiálu a strojního času obrábění



- nejlepší objemový výkon byl zjištěn při obrábění vzorků 05 (100%), 08 (68,8%), a 03-S (65,2%), pak následují vzorky 06-D a 06-K, 07, 03-U, 01, 04-S a nejnižší objemový výkon byl zjištěn při obrábění vzorků 04-U (7,5%), 02 (2,2%)

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - závěry

- hodnocené vzorky byly k dispozici pouze **v jediném exempláři**,
- jednotlivé parametry drsnosti povrchu se pohybují **ve velkém rozsahu**,
- nejnižší hodnoty parametrů drsnosti povrchu byly zjištěny u vzorků, které byly obrobeny nástrojem **06**, následují vzorky **07, 08, 04, 03, 02, 01** a největší drsnost byla zjištěna u vzorku obrobeného nástrojem **05** (vysoká rychlost posuvu),
- v závislosti na **podmínkách obrábění** byly zjištěny následující **diference** hodnocených **parametrů**:

  - **drsnost povrchu** - průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
    Ra [μm] ... **0,11 - 1,11**
  - **tvrdost povrchu**
    HV 0,2 ... **694 - 828**
  - **zpevnění povrchové vrstvy**
    HV 0,05
    - vzdálenost od povrchu 10 μm ... **547 - 622**
    - vzdálenost od povrchu 150 μm ... **687 - 722**

- není k dispozici dostatečné množství informací o historii tepelného zpracování plochých ocelových lišt,
- u optimálně tepelně zpracované oceli 14 100 by primární karbidy **neměly být** vyloučeny v podobě **síťoví po hranicích zrn**,

LIŠTY KALENÉ PLOCHÉ - závěry

- zjištěná tvrdost vzorků v rozmezí 58 - 61 HRC odpovídá **nežádoucímu obsahu zbytkového austenitu** 10% a více a to může mít **nežádoucí důsledky na vlastnosti** obrobených součástí,
- vyhřátí tenké povrchové vrstvičky způsobené interakcí mezi nástrojem a povrchem obrobku může vést k **rozpadu** určitého podílu **zbytkového austenitu** na **martenzit** a výsledkem je **zvýšení tvrdosti** této **vrstvičky** materiálu,
- v důsledku termomechanického zpracování polotovaru se u vzorků objevuje **nežádoucí karbidická řádkovitost** projevující se **nerovnoměrným rozložením karbidů**, což způsobuje **nehomogenní vlastnosti při obrábění** a **při funkci** součásti,
- **pod** tenkou **povrchovou vrstvičkou** se nachází **měkčí** sekundárně **popuštěná oblast**.

Povrchová vrstva strojních součástí významně ovlivňuje vlastnosti a životnost strojních součástí.

Cílenými zásahy lze eliminovat faktory, které povrchovou vrstvu nepříznivě ovlivňují, příp. lze optimalizovat příslušné konstrukční a technologické prvky.

Tato prezentace souvisí s řešením projektu FT-TA4/105, který byl realizován za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím MPO ČR.
V souladu s požadavky příjemce projektu byly v prezentaci firmy označeny čísly 01 - 08.

Děkuji Vám za pozornost ...