

# Integrita povrchu

Antonín Kříž

# Popis povrchu – dřívější pohled na povrch

K dosažení správné a spolehlivé funkce strojírenských výrobků je nutné, aby byly rozměry, tvar a vzájemná poloha ploch jejich jednotlivých částí dodrženy s určitou přesností. Běžným výrobním postupem nelze docílit, aby uvedené geometrické vlastnosti součásti byly dodrženy (ani změřeny) s absolutní přesností. Skutečné plochy vyrobených součástí se tak liší od ideálních ploch předepsaných na výkrese. Aby bylo možné posuzovat, předepisovat a při výrobě kontrolovat dovolenou nepřesnost, rozdělují se úchytky skutečných ploch do čtyř skupin:

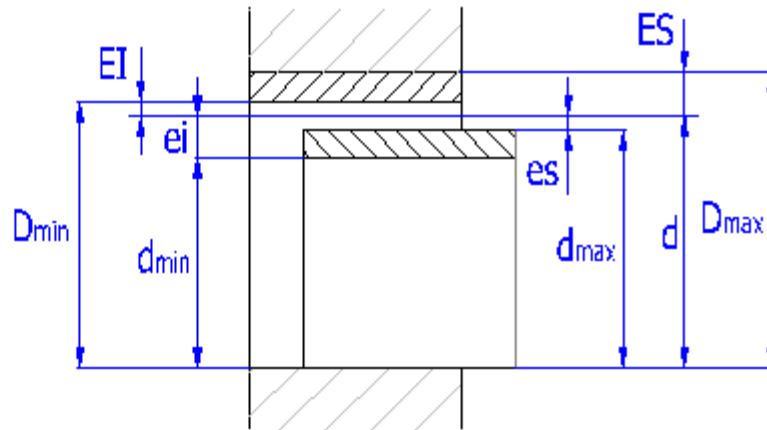
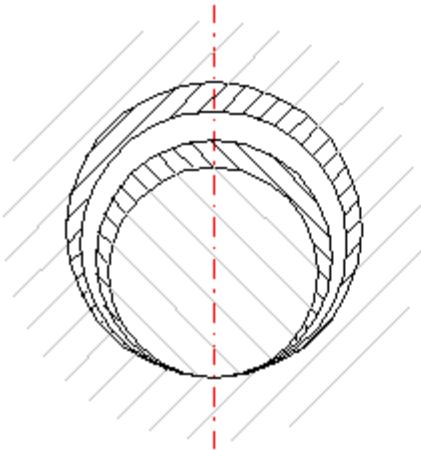
úchytky rozměrů

úchytky tvaru

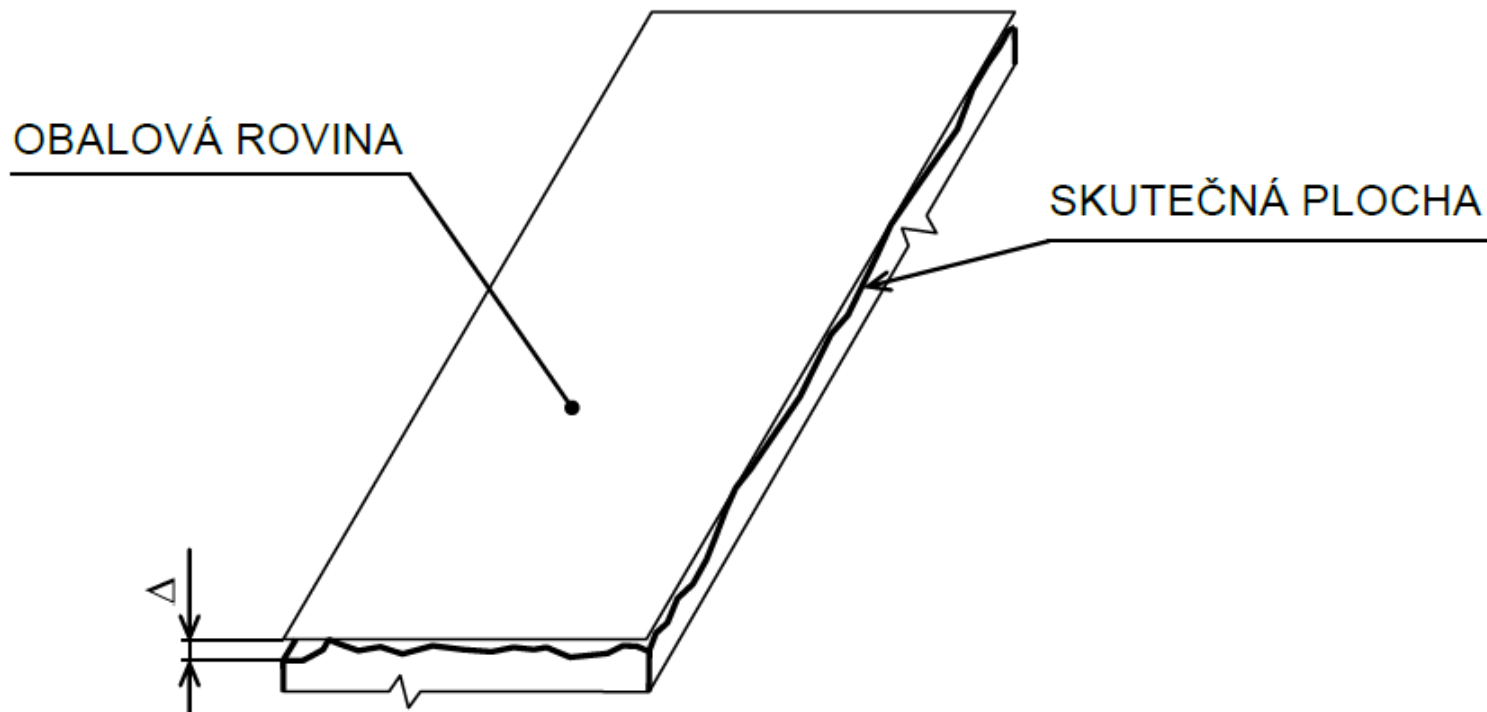
úchytky polohy

úchytky drsnosti povrchu












## Rozměrové tolerance



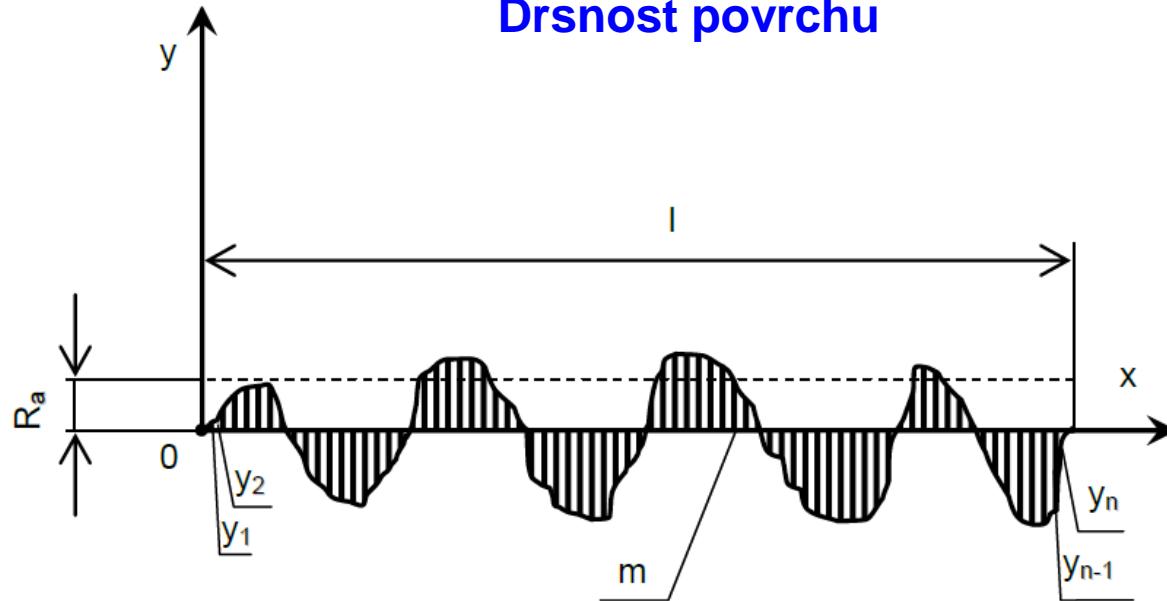
## Geometrická tolerance - úchylka tvaru



## Značky pro úchytky tvaru a polohy

tolerance tvaru	tolerance přímosti	-
	tolerance rovinnosti	
	tolerance kruhovitosti	
	tolerance válcovitosti	
	tolerance profilu podélného řezu	=
tolerance polohy	tolerance rovnoběžnosti	//
	tolerance kolmosti	
	tolerance sklonu	
	tolerance souososti	
	tolerance souměrnosti	
	tolerance jmenovité polohy prvku	
	tolerance různoběžnosti os	x
souhrnné tolerance tvaru a polohy	tolerance obvodového házení tolerance čelního házení tolerance házení v daném směru	
	tolerance úplného obvodového házení tolerance úplného čelního házení	
	tolerance tvaru daného profilu tolerance tvaru dané plochy	

## Drsnost povrchu



Zajímat se pouze o hodnotu drsnosti  $R_a$  je jako když jedeme autem po silnici a nezajímají nás díry, ale průměrná nerovnost vozovky.

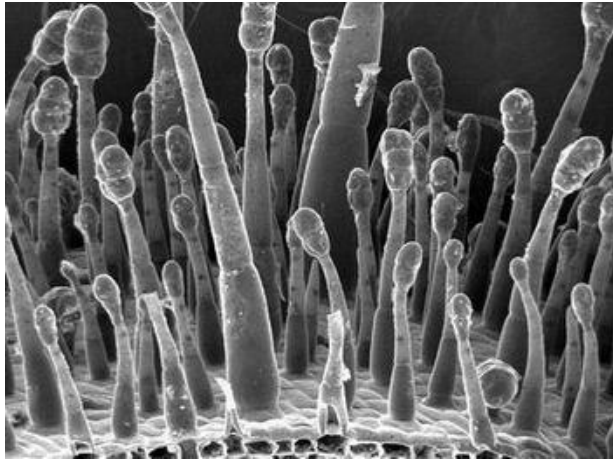
*[ústní sdělení prof. Brychty – VŠB Ostrava]*



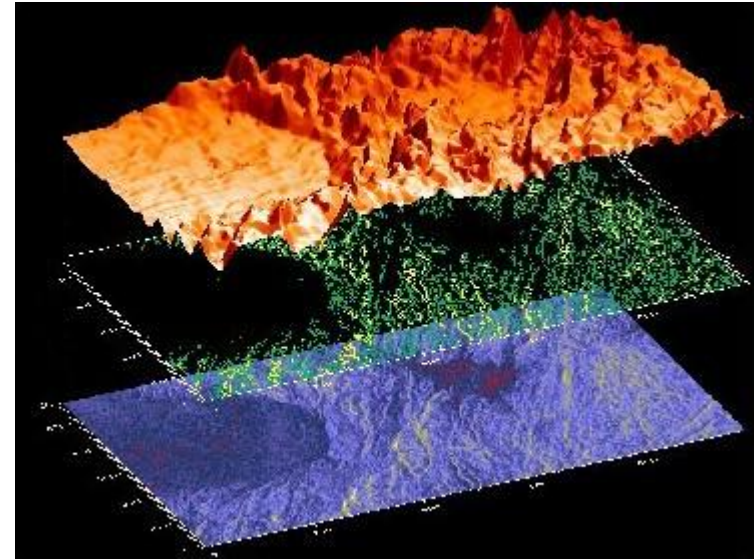
## Doporučené vztahy mezi drsností povrchu Ra a tolerančními stupni

Rozměry [mm]		Toleranční stupeň							
		IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12
přes	do	Drsnosti povrchu Ra							
1	3	0,2	0,4	0,4	1,6	1,6	3,2	3,2	6,3
3	6			0,8	3,2			6,3	
6	10	0,4	0,8	1,6	3,2	3,2	6,3	6,3	12,5
10	30								
30	50	0,8	1,6	1,6	6,3	3,2	6,3	6,3	12,5
50	80								
80	120	1,6	1,6	3,2	6,3	6,3	12,5	12,5	25
120	180								
180	250	1,6	3,2	12,5	12,5	6,3	12,5	25	25
250	315								
315	400	3,2	3,2	12,5	12,5	12,5	25	25	50
400	500								

# Kouzlo povrchu



Povrch listu tabáku



Povrch Venuše



Povrch pískovce



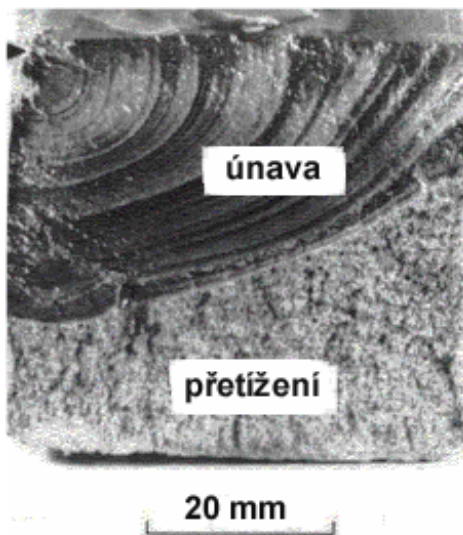
Rebecca Romijn

# Technický pohled na skutečný povrch

Finální vlastnosti výrobků jsou významně ovlivňovány vlastnostmi povrchových a podpovrchových vrstev. Objem provozních lomů v současnosti tvoří více než z **90% únavových poškození**. Toto poškození má nejčastěji svoje iniciační místo na povrchu součásti.

Výjimkou bývají některé významné strukturní, metalografické i konstrukční chyby (vměstky, trhliny, povrchově překalená vrstva materiálu, zápichy aj.), které mohou přesunout iniciaci dále od povrchu.

**Z tohoto důvodu je nutné vlastnostem povrchu věnovat značnou pozornost.**



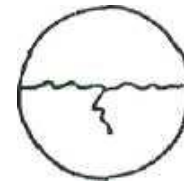


# Integrita povrchu – norma ANSI B211.1 1986

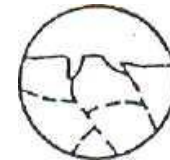
## Obsah:

1. Úvod
2. Definice pojmů
3. Hodnotící techniky
4. Souhrn dat
5. Symbol integrity povrchu

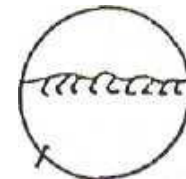
Trhliny



Interkrystalické napadení



Plastická deformace



Rekrytalizace, Zbytková napětí,  
Metalurgická transformace.....

# Integrita povrchu – norma ANSI B211.1 1986

## Hodnotící techniky:

- Stanovení drsnosti povrchu
- Vizuální zkoušky
- Mikrostrukturní zkoušky, metalografické hodnocení (pozor na zaoblení okrajů metalograf. výbrusu.....)
- Zkoušky mikrotvrdomosti (zatížení 50 nebo 100g, vzdálenost vtisků 0,025 nebo 0,0125mm...)
- Profil zbytkových napětí
- Stanovení únavové pevnosti

# Integrita povrchu – norma ANSI B211.1 1986

## Souhrn dat:

### **Minimální soubor dat**

*zahrnuje pro minimálně dvě úrovně intenzity procesu tyto informace:*

- Materiál, jeho tvrdost a metalurgický stav
- Proces, úroveň intenzity procesu a provozní parametry
- Drsnost povrchu Ra
- Mikrosnímek povrchu (zvětšení 1000x), a to v takovém počtu, který bude reprezentovat stav (všechny oblasti, pokud jsou odlišné) celého povrchu.
- Průběh mikrotvrdosti (příčné)

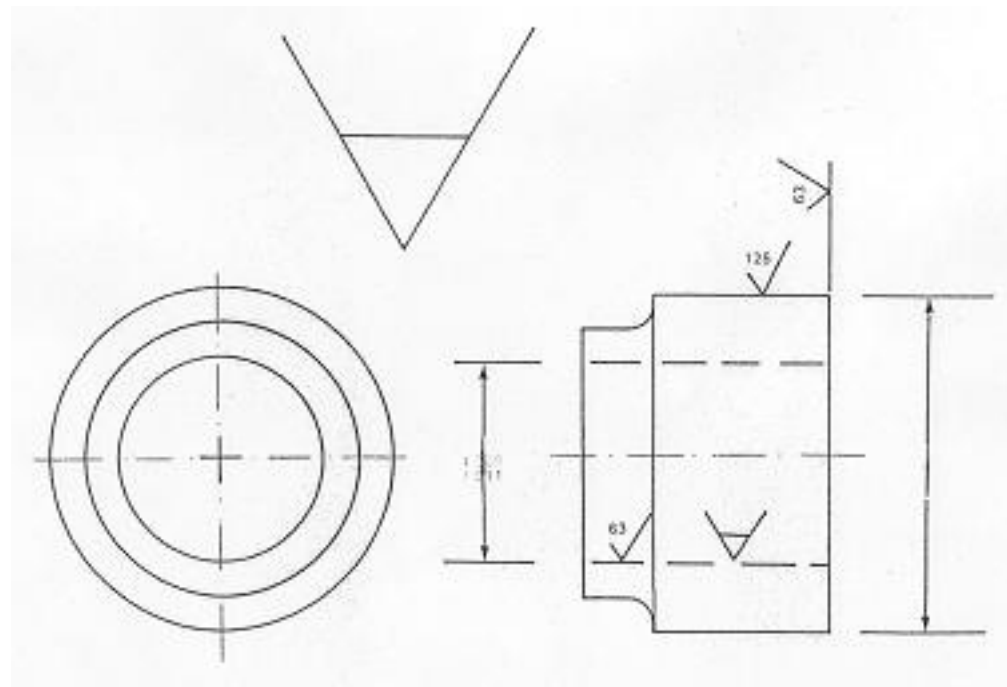
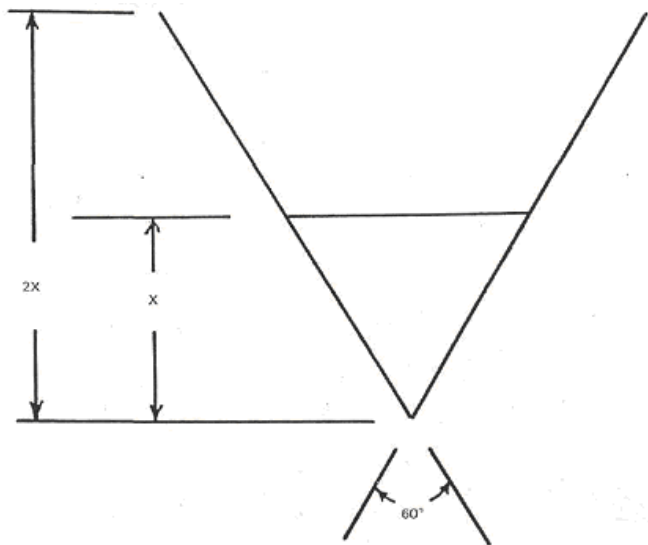
### **Standardní soubor dat**

*zahrnuje pro minimálně dvě úrovně intenzity procesu tyto informace:*

- Informace z minimálního souboru dat
- Průběh (profil) zbytkových napětí
- Vysokocyklová Woehlerova (F-N) křivka
- Woehlerova (F-N) křivka nebo základní mez únavy materiálu

# INTEGRITA POVRCHU - norma ANSI B211.1 1986

## Symbol integrity povrchu



## Srovnání hloubek jednotlivých efektů integrity povrchu

DRUH ÚČINKU (Efektu)	Podmínky (obrábění)	Maximální dosažená hloubka efektu							
		soustružení nebo frézování	vrtání	broušení	chemické obrábění	elektrochemické obrábění	elektrochemické broušení	elektro-jiskrové obrábění	obrábění laserovým paprskem
<b>Mechanické změny materiálu</b>									
Plastická deformace	na čisto	0,043	0,020	0,008	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
	na hrubo	0,076	0,119	0,089	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Plasticky deform.částice	na čisto	xxx	xxx	0,013	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
	na hrubo	xxx	xxx	0,033	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Změny Tvrdosti 1)	na čisto	0,013	0,025	0,038	0,025	0,036	0,018	0,025	-
	na hrubo	0,127	0,508	0,254	0,079	0,051	0,038	0,203	-
Mikro a makro trhliny	na čisto	0,013	0,013	0,013	xxx	0,008	0,000	0,013	0,015
	na hrubo	0,038	0,038	0,229	xxx	0,038	0,025	0,178	0,102
Zbytkové napětí 2)	na čisto	0,152	-	0,013	0,025	0,000	0,000	0,051	0,005
	na hrubo	0,356	-	0,318	0,025	0,000	0,000	0,076	-
<b>Metalurgické změny materiálu</b>									
Rekrystalizace	na čisto	-	-	0,013	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
	na hrubo	-	-	-	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Interkryst. napadení	na čisto	xxx	xxx	xxx	0,008	0,008	0,000	xxx	xxx
	na hrubo	xxx	xxx	xxx	0,152	0,038	-	xxx	xxx
Selekt.leptání póry,výčnělky	na čisto	0,010	-	0,005	0,015	0,010	0,003	0,013	-
	na hrubo	0,025	0,076	0,010	0,038	0,064	0,013	0,041	-
Metalurgické transformace	na čisto	0,010	0,038	0,013	-	0,000	0,003	0,015	0,015
	na hrubo	0,076	0,508	0,152	-	0,005	0,008	0,127	0,038
Teplem ovliv. oblasti	na čisto	0,003	-	0,018	xxx	xxx	xxx	0,015	0,015
	na hrubo	0,025	0,076	0,318	xxx	xxx	xxx	0,127	0,038

# Jaký chceme povrch?

Takový, aby plnil všechny svoje funkce a zvyšoval užité vlastnosti výrobku!  
Dokážeme tyto požadavky definovat?

Zbytková napětí (tlaková – tahová?)  
Morfologie povrchu (drsnost)  
Materiálové a mechanické vlastnosti povrchu (tvrdost, zpevnění, strukturní stav, povrchová úprava např. vrstvy, povlaky)

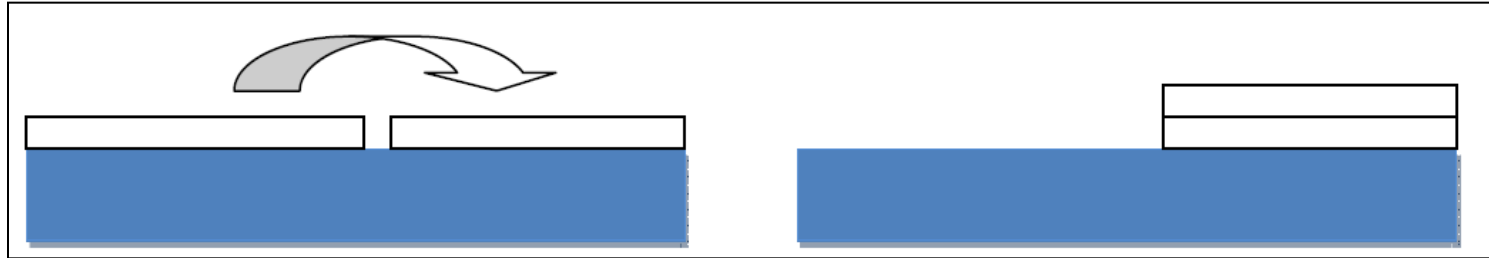
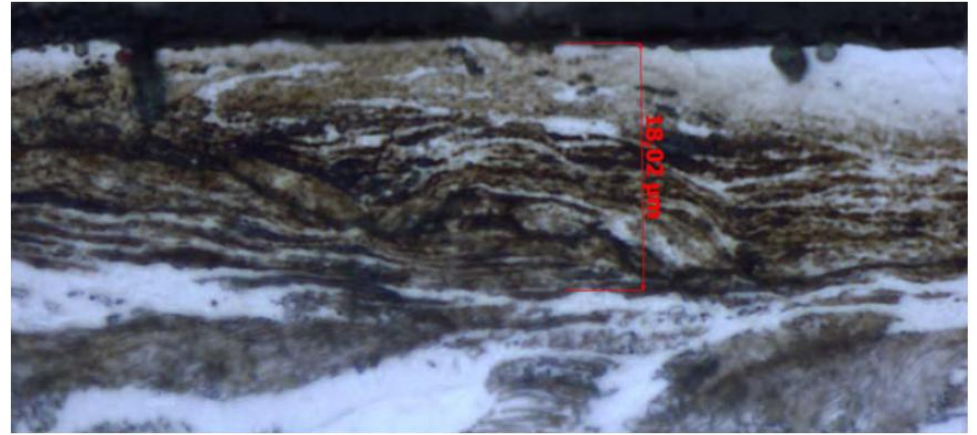
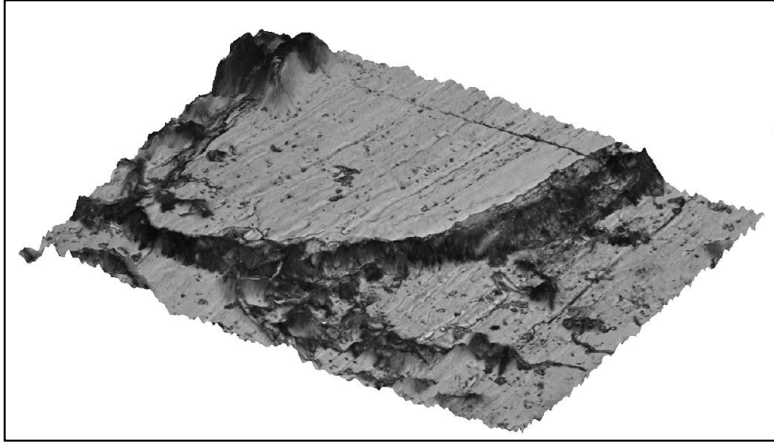
**Pro porozumění řeči povrchu je nutné vnímat všechny tyto faktory v požadovaných souvislostech.**



## Integrita povrchu

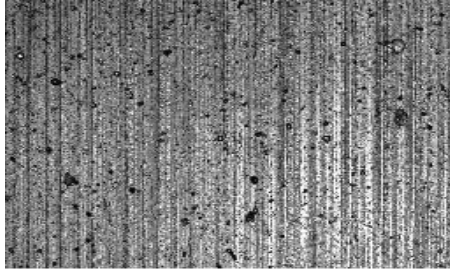
**Geometrická přesnost**  
**Drsnost povrchu a jeho profil**  
**Tvrdost**  
**Změna struktury**  
**Zbytková napětí**  
**Chemicko-tepelné změny – opaly, oduhličení, nauhličení**  
**Trhliny – praskliny**  
**Změny fyzikálních i chemických vlastností**

# Geometrická přesnost

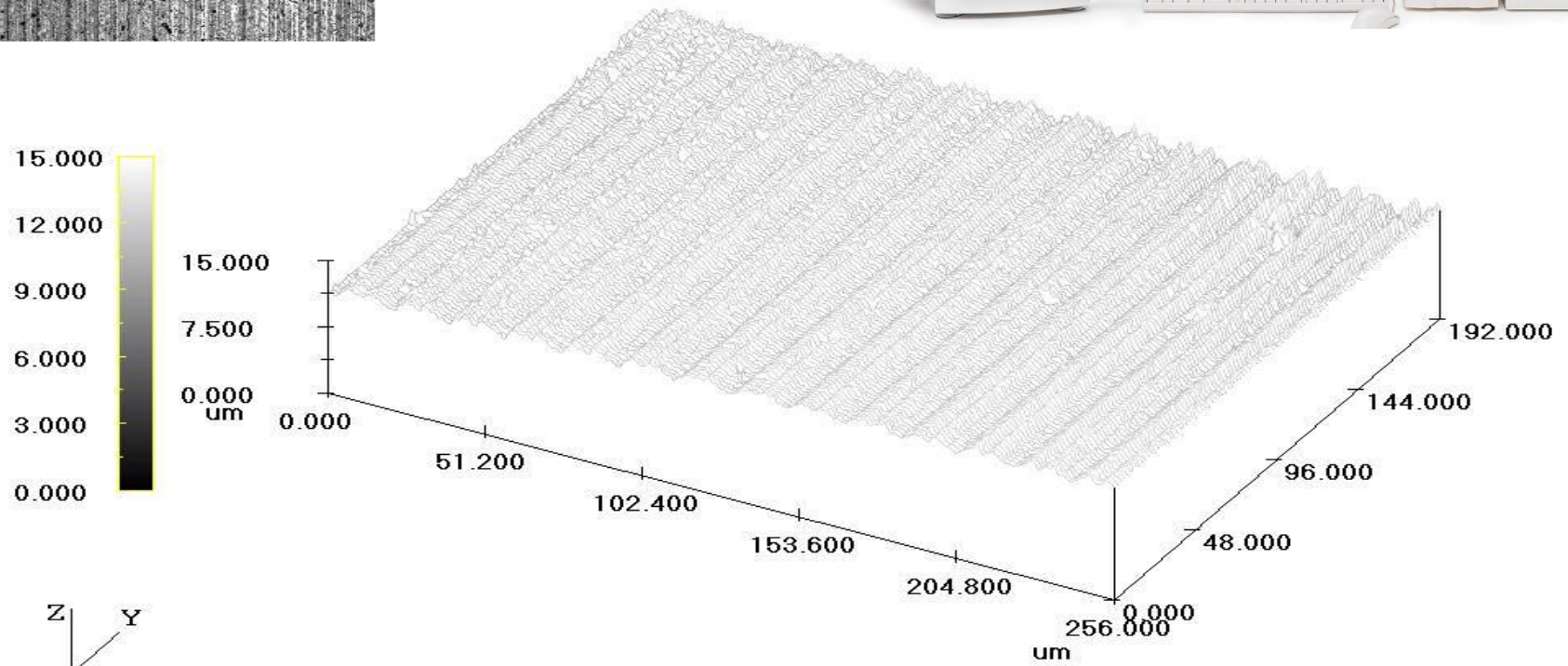


# Drsnost povrchu a jeho profil

## Využití konfokálního mikroskopu Olympus LEXT 3000



Data name : 13\_5  
Comment :

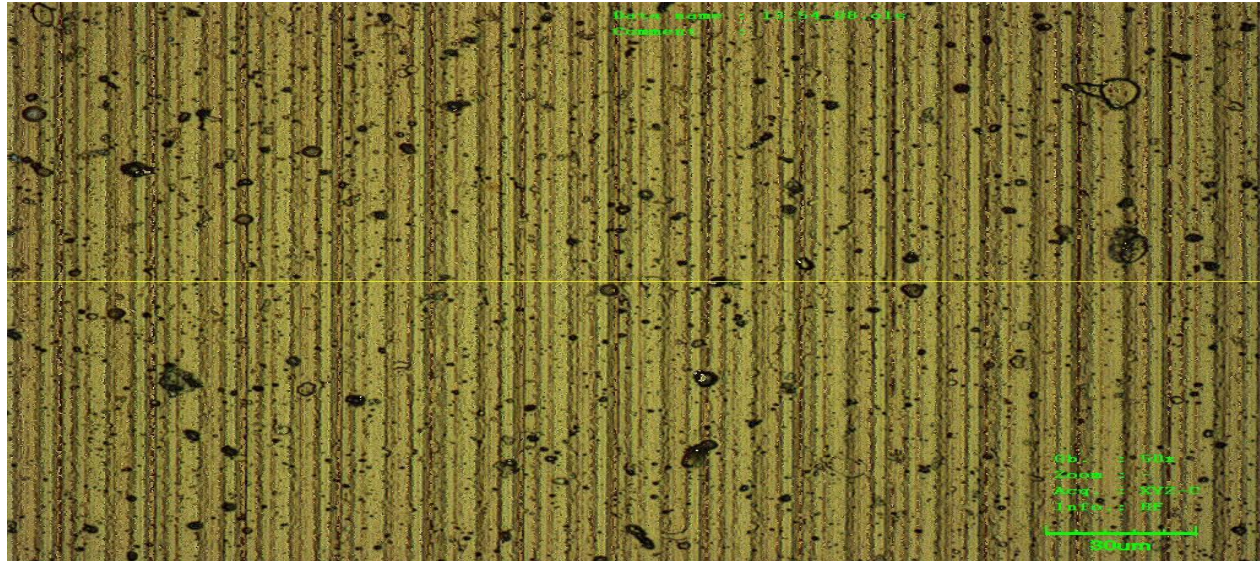


Profil v 3D náhledu

Ob. : 50x  
Zoom : 1.0x  
Acq. : XYZ-C  
Info. : CF-H

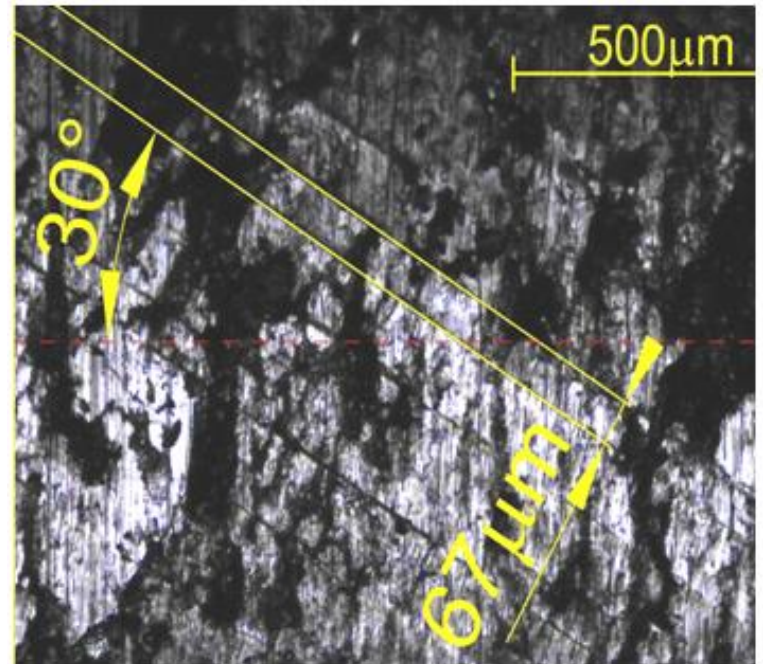
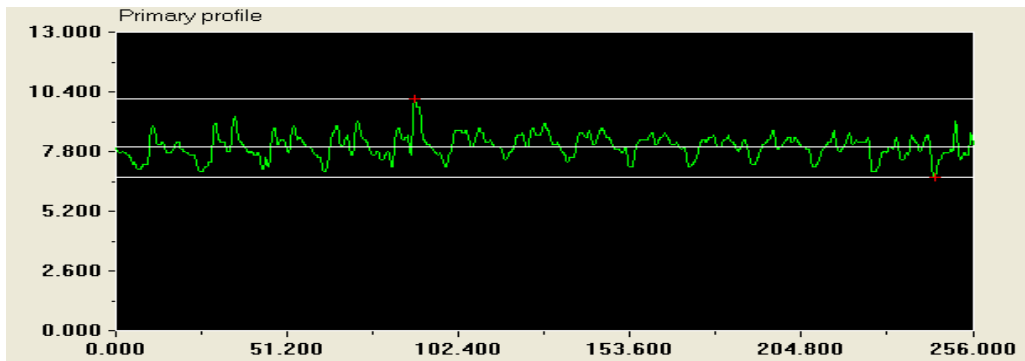


# Měření příčné drsnosti

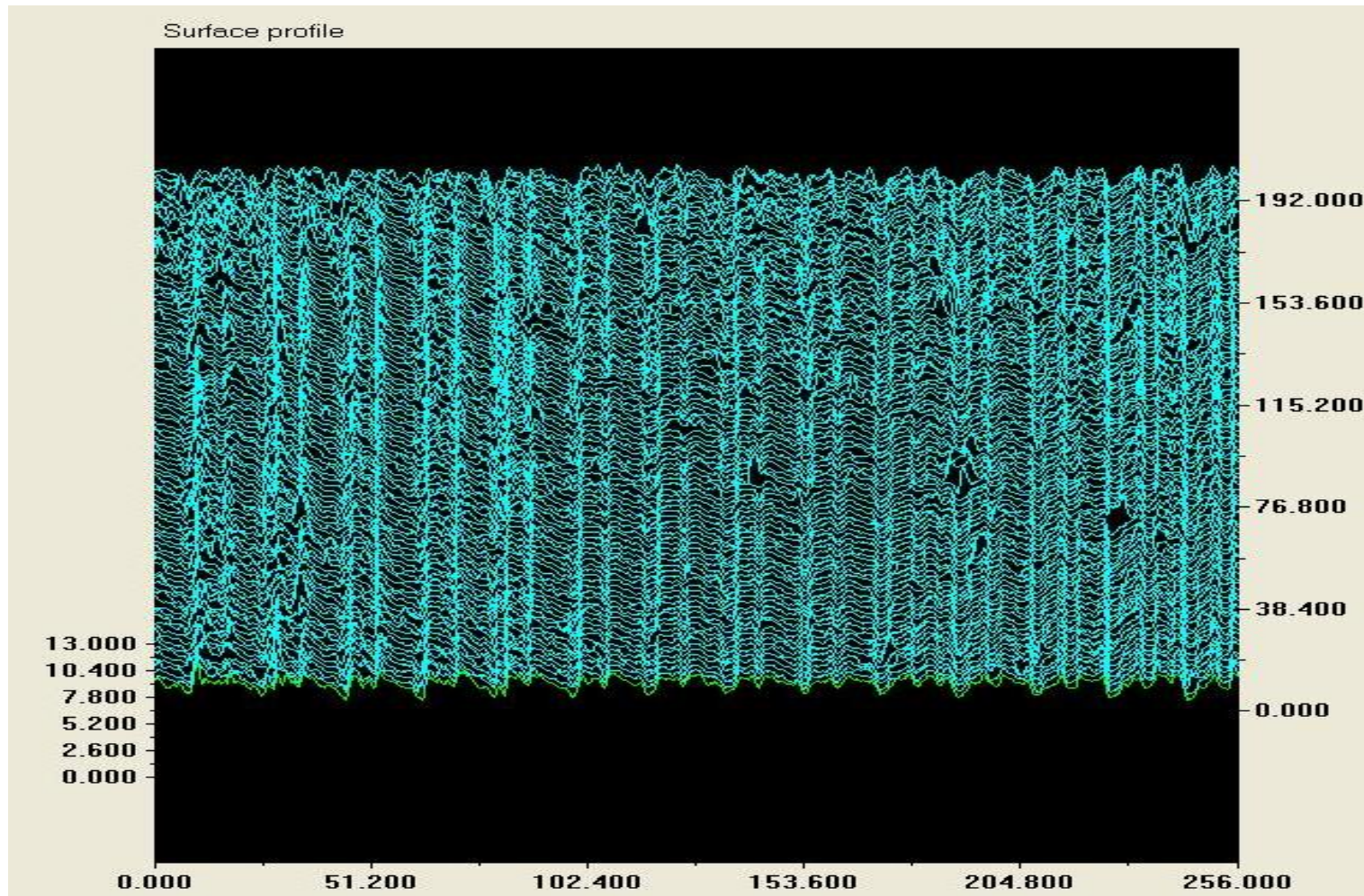


Ra - 0,4509  $\mu\text{m}$

Wt - 0,4676  $\mu\text{m}$



# Měření plošné drsnosti



Lineární drsnost Ra 0,6  $\mu\text{m}$

Plošná drsnost Sa - 0,39  $\mu\text{m}$

## Měření drsnosti – liniové i plošné

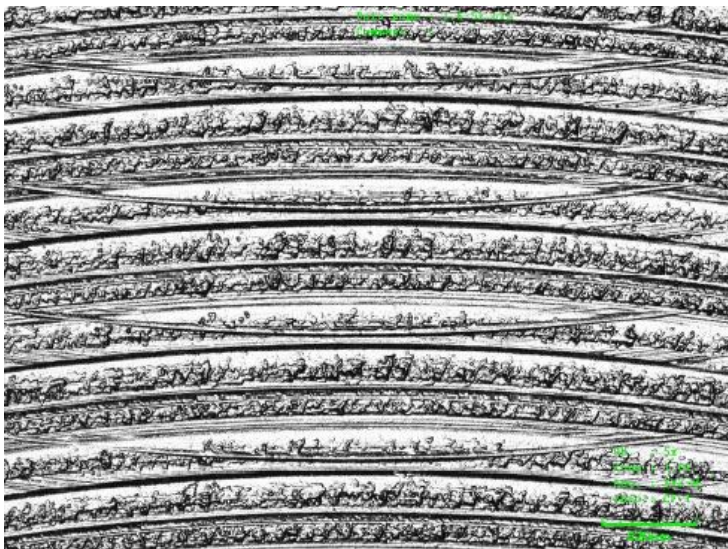
$$SRa = \frac{1}{L.M} \int_0^M \int_0^L |f(x, y)| dx dy$$

- Měření drsnosti klasickou metou kontaktním profilometrem má některé nevýhody jako např. možnost znehodnocení vzorku při měření, dostatečně velká a přístupná plocha pro hrot přístroje

⇒ Tyto nedostatky jsou vyloučeny pomocí měření drsnosti bezkontaktním způsobem, pomocí konfokálního mikroskopu Olympus LEXT



- Na měření má vliv mnoho parametrů: *volba objektivu, volba základní délky a mezní vlnové délky, nastavení jasu, softwarové narovnání vzorku*



## Velikost jednotlivých snímaných polí

5x – 1280 x 960  $\mu\text{m}$

10x – 640 x 480  $\mu\text{m}$

20x – 320 x 240  $\mu\text{m}$


50x – 128 x 96  $\mu\text{m}$

100x – 64 x 48  $\mu\text{m}$

Velké množství šumu  
(*příliš malé zvětšení*)

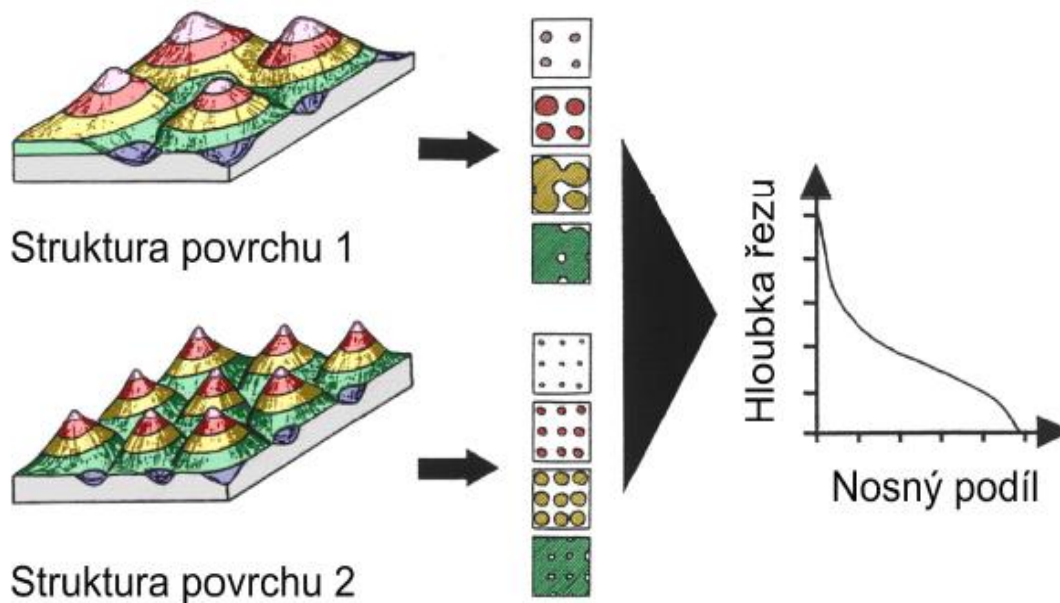
Nezměření celé periody  
drsnosti

(*příliš velké zvětšení*)



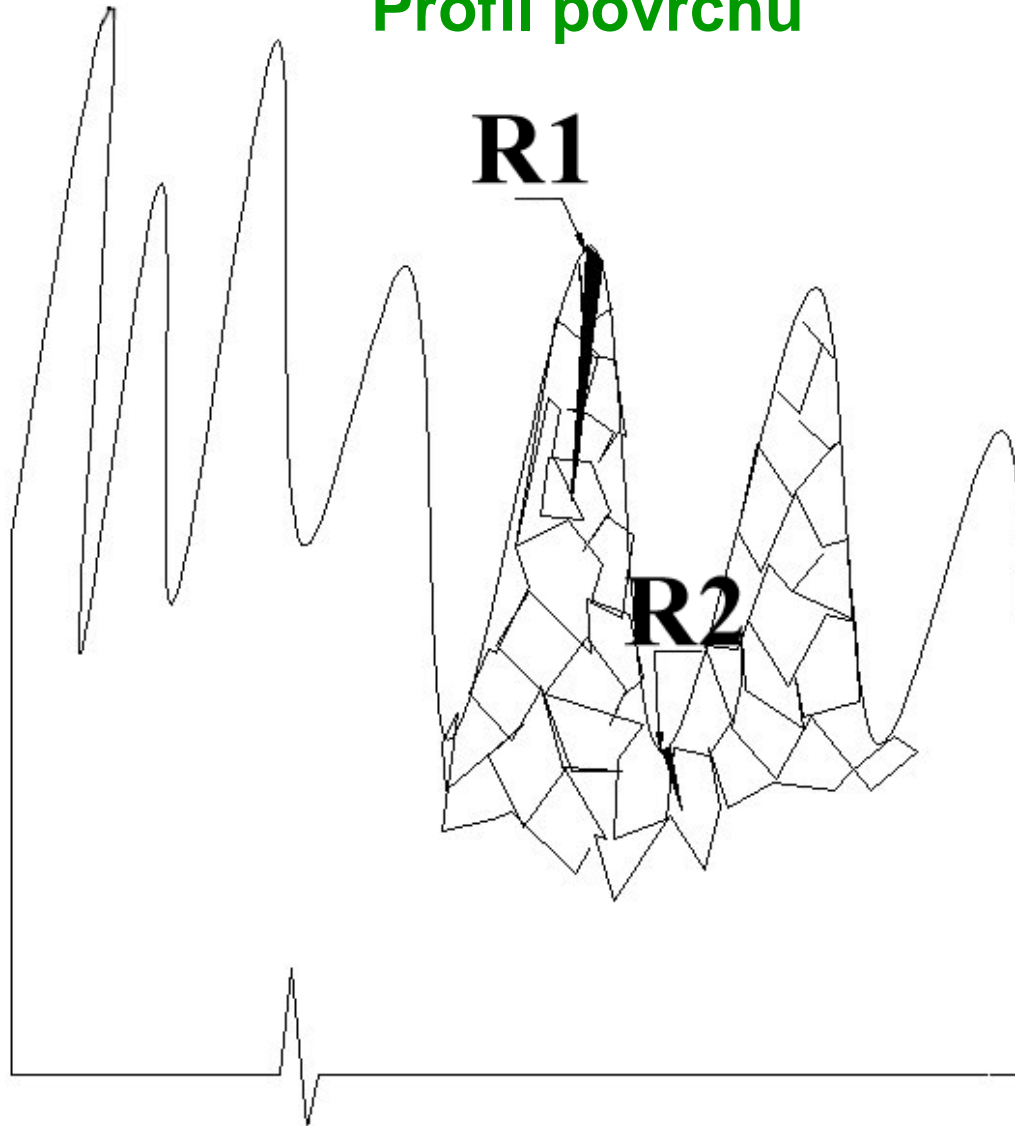
	Objektiv 5x	Objektiv 10x	Objektiv 20x	Objektiv 50x	Objektiv 100x
Ra 3,2	10,32	4,39	1,92	1,13	0,35
Ra 1,6	9,13	4,20	1,85	1,28	0,52
Ra 0,8	6,69	3,65	1,54	0,75	0,56
Ra 0,4	5,30	3,43	1,03	0,39	0,35
Ra 0,2	4,03	2,59	0,69	0,21	0,18
Ra 0,1	3,46	1,45	0,36	0,11	0,09

# Nosná (Abbotova) křivka profilu



Dva odlišné povrchy se stejnou hodnotou Abbotovy křivky profilu

## Profil povrchu

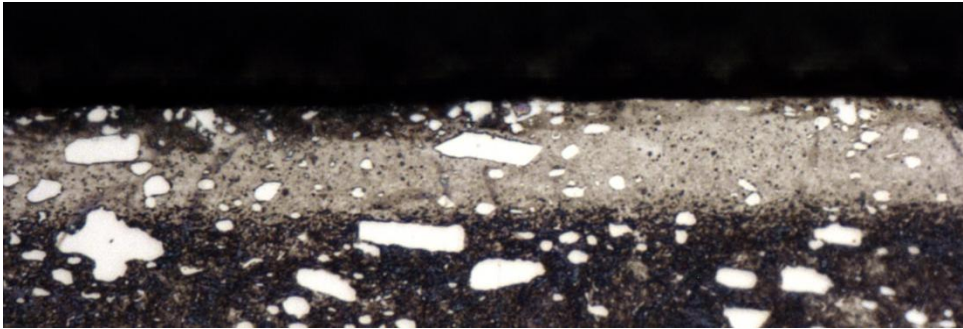


Víc než samotný profil povrchu je důležitější  
strukturní stav a přítomnost mikrotrhlin.

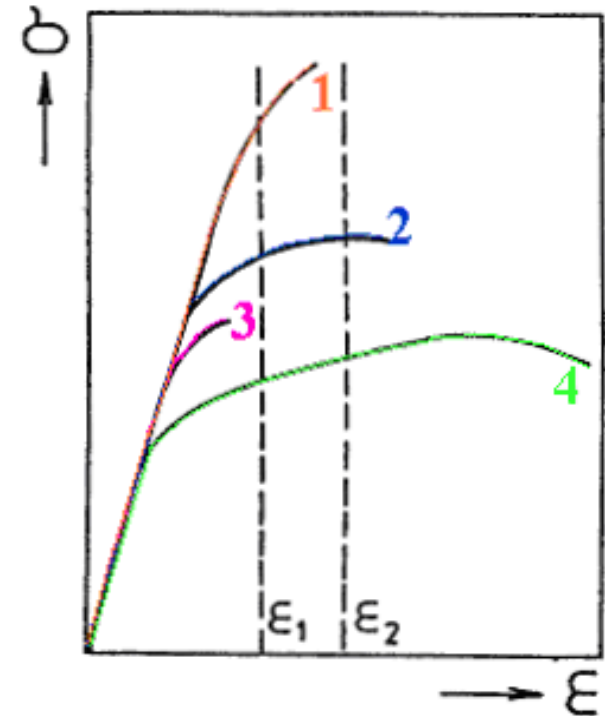
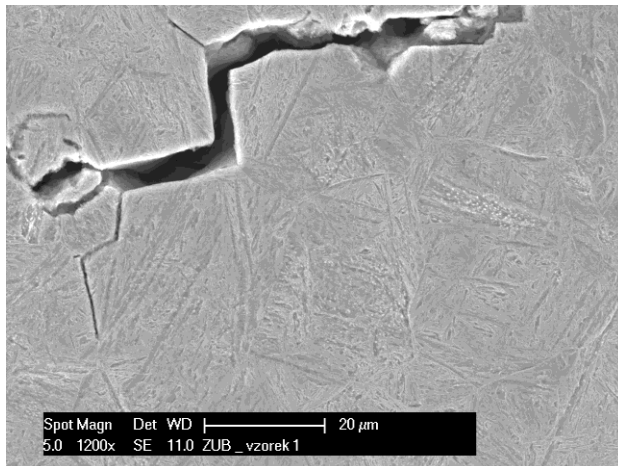
## Tvrдость

## Změna struktury

## Zbytková napětí



Zakalený povrch–  $\sigma_{HV0,01} = 1107$ .

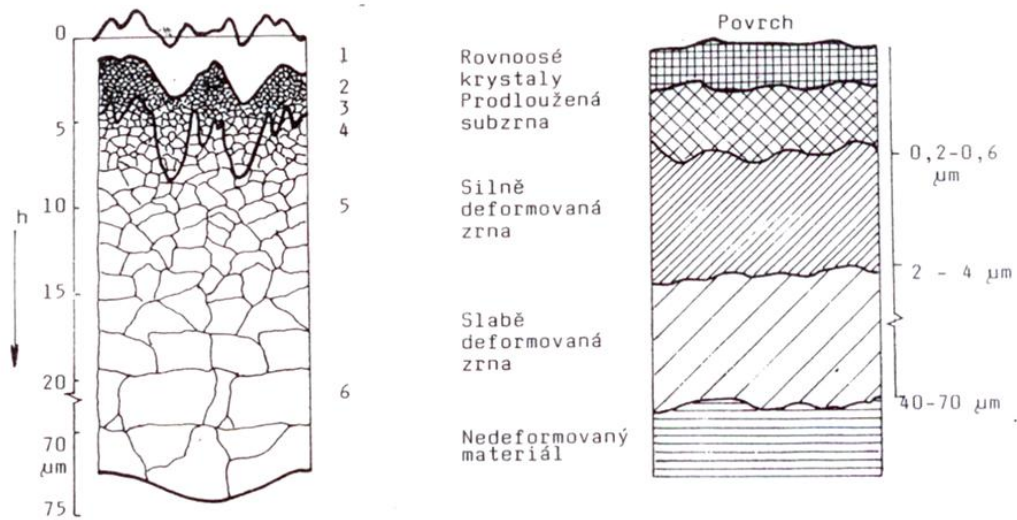


Deformační závislosti oceli  
1-kalená; 2-popouštěná;  
3-kalená z vysoké teploty;  
4-žíhaná

Vznik brusných prasklin u cementovaných ozubených kol. Tyto defekty nebyly iniciovány bezprostředně od povrchu, ale z hloubky cca 0,7 mm pod povrchem.



## Změna struktury



Narušení povrchu dřeva řezem 😊

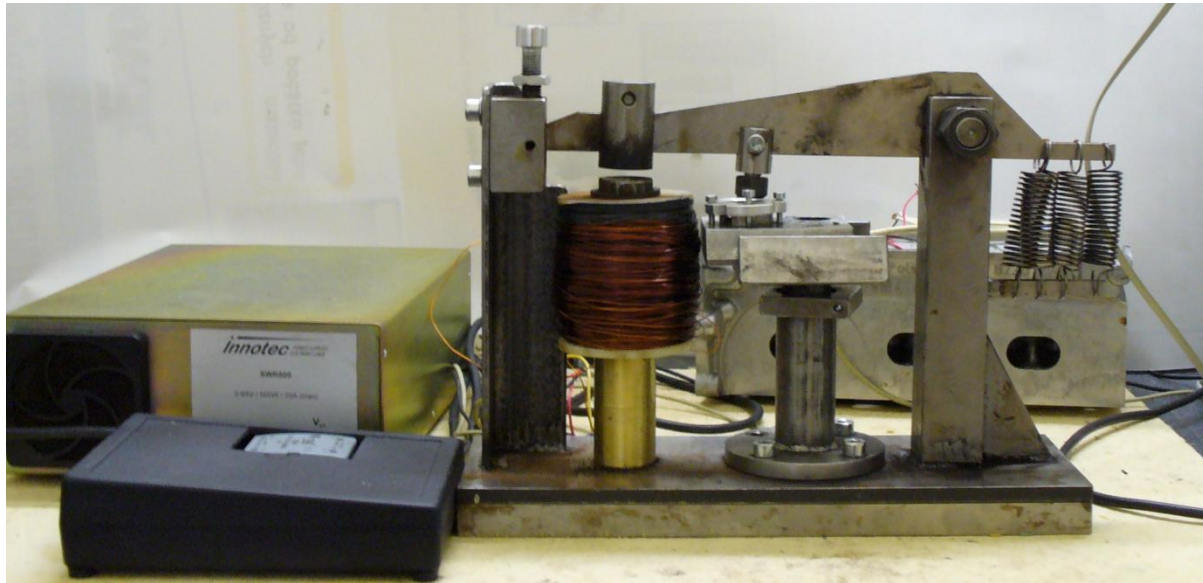


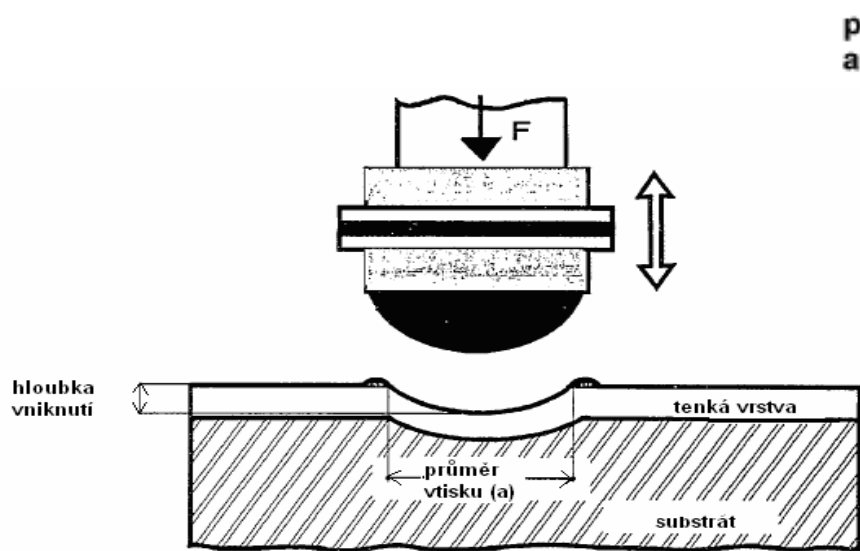
Narušení povrchové litinové vrstvy grafitem

Dalším úskalím je po správném vyhodnocení stavu povrchu vyřazení nevhodných výrobků na základě predikování jejich chování v provozu. Ačkoliv je již publikována celá řada literárních pramenů pojednávajících o integritě povrchu, přesto se ještě nedostaly tyto poznatky do povědomí strojírenských firem, aby je bylo možné zařadit do kritéria posuzující kvalitu výrobku.

Je nutné hledat souvislosti mezi laboratorně naměřenými výsledky popisující povrchový stav a reálnými vlastnostmi, nebo další možností je použít ověřenou metodu, která poskytuje přímé vazby na užité vlastnosti.

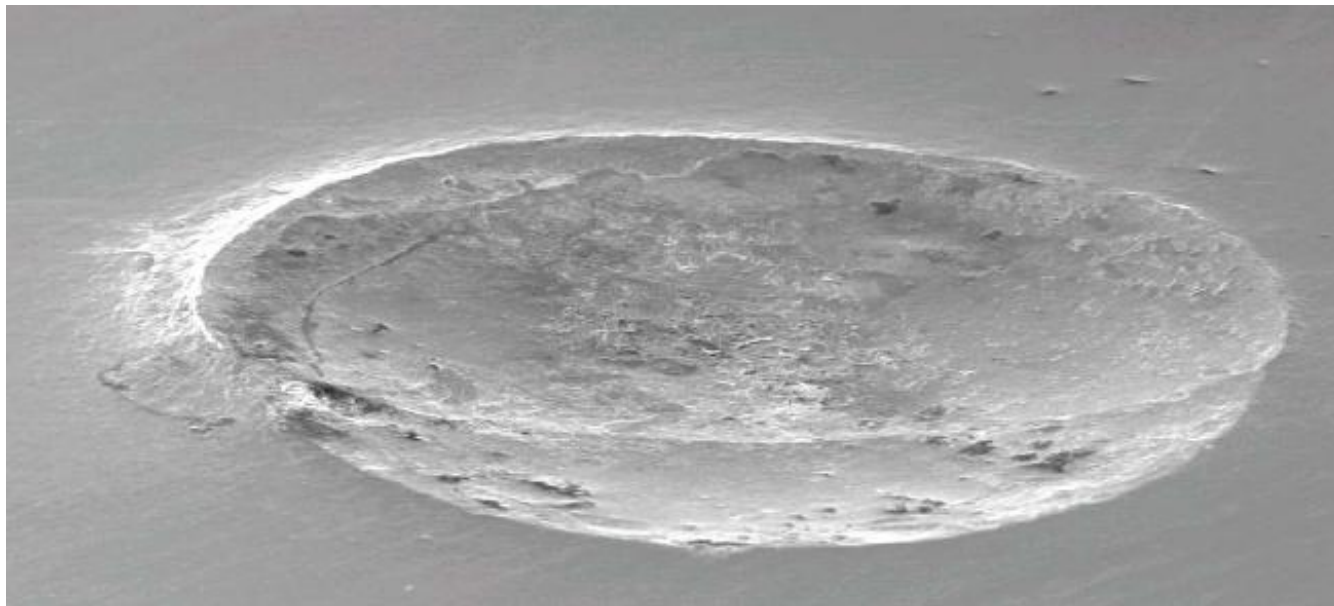
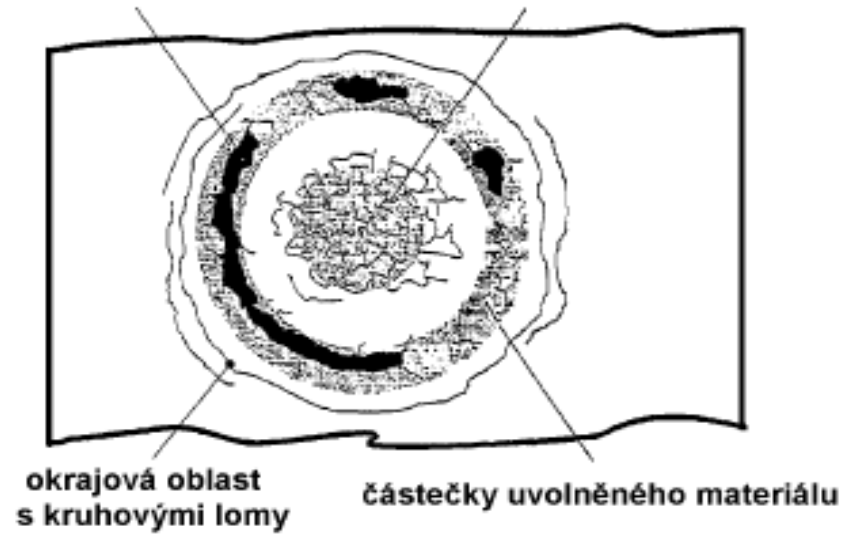
**Jedním z těchto měření je metoda IMPACT TESTU.** Tato analýza byla presentována na minulém ročníku konference METAL 2009.





přechodová oblast s kohezními a adhezními poruchami

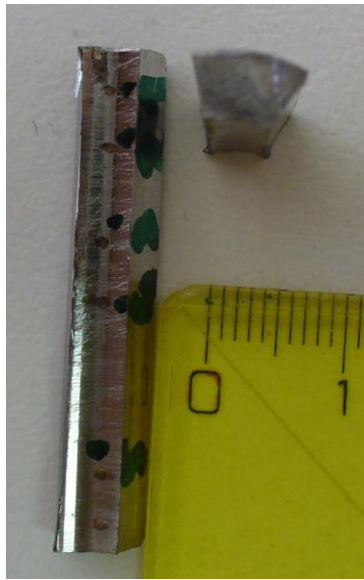
centrální oblast s kohezními poruchami



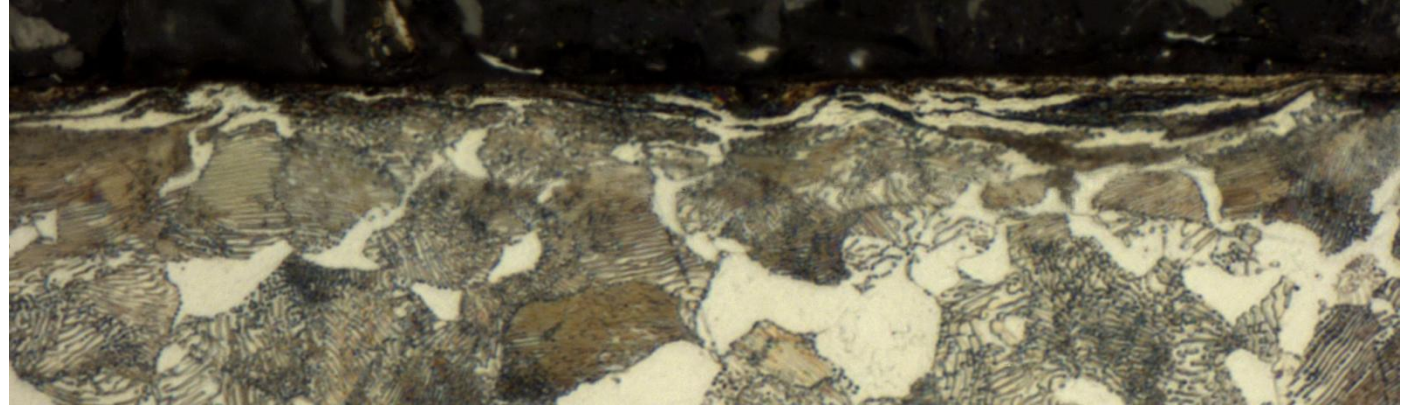
Impact kráter – snímek ŘEM

# Praktická ukázka stavu povrchu

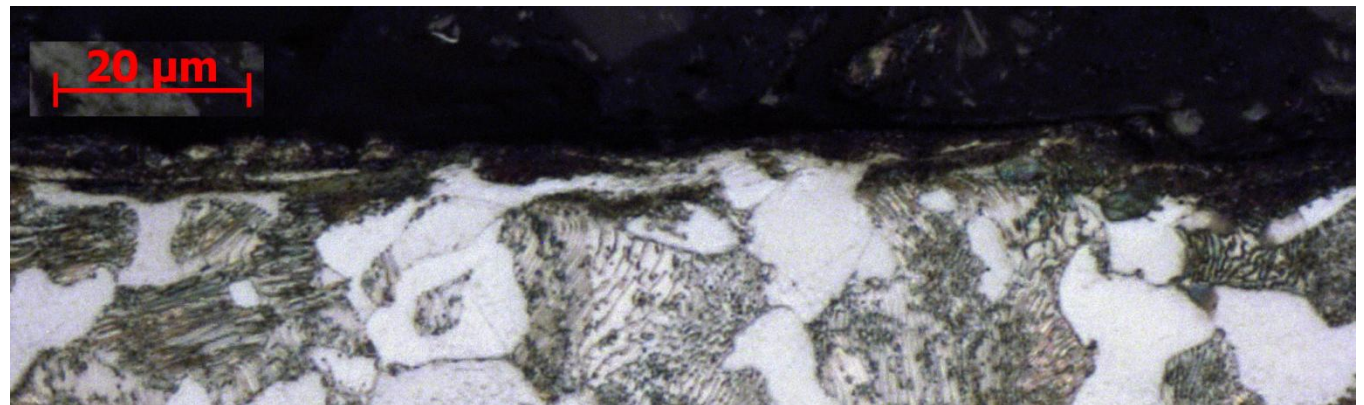
## Stav obrobeného povrchu – ocel C45



Testovaný vzorek



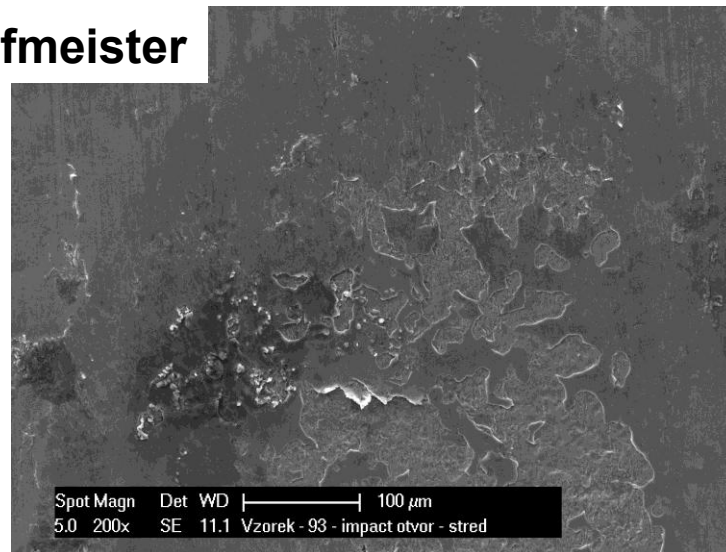
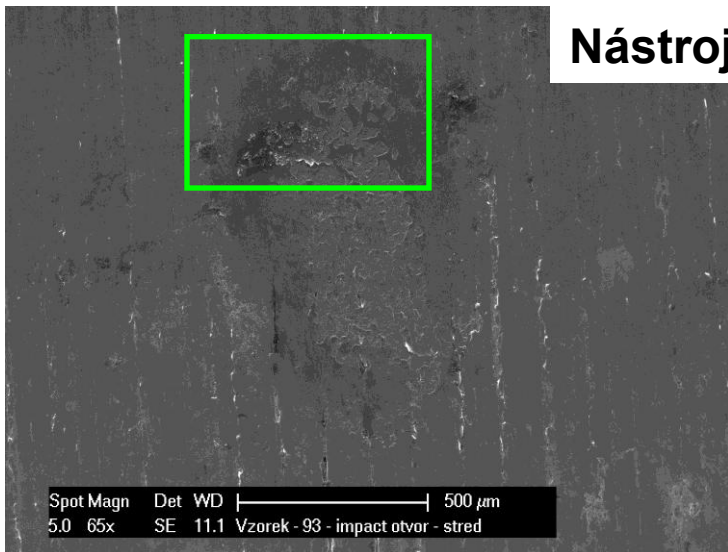
Povrch – otvor vyvrtán nástrojem Hofmeister – č. 91.  
V povrchové vrstvě je tvrdost  $\sigma\text{HV}_{0,005} = 445$



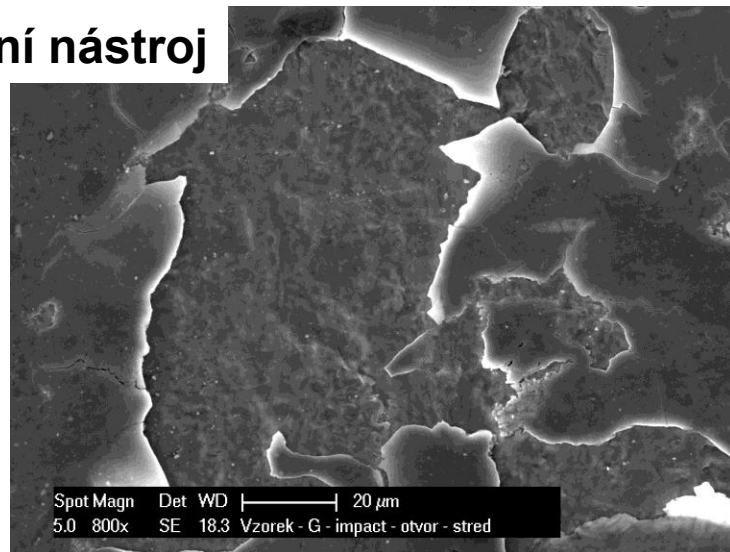
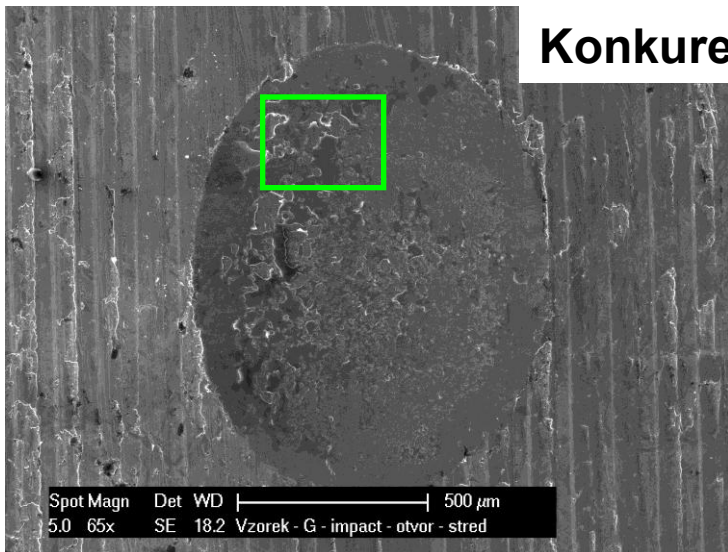
Povrch – otvor vyvrtán nástrojem konkurence  
– nenastala plastická deformace

# Impact kráter ve vzorku oceli C45 ve střední části otvoru

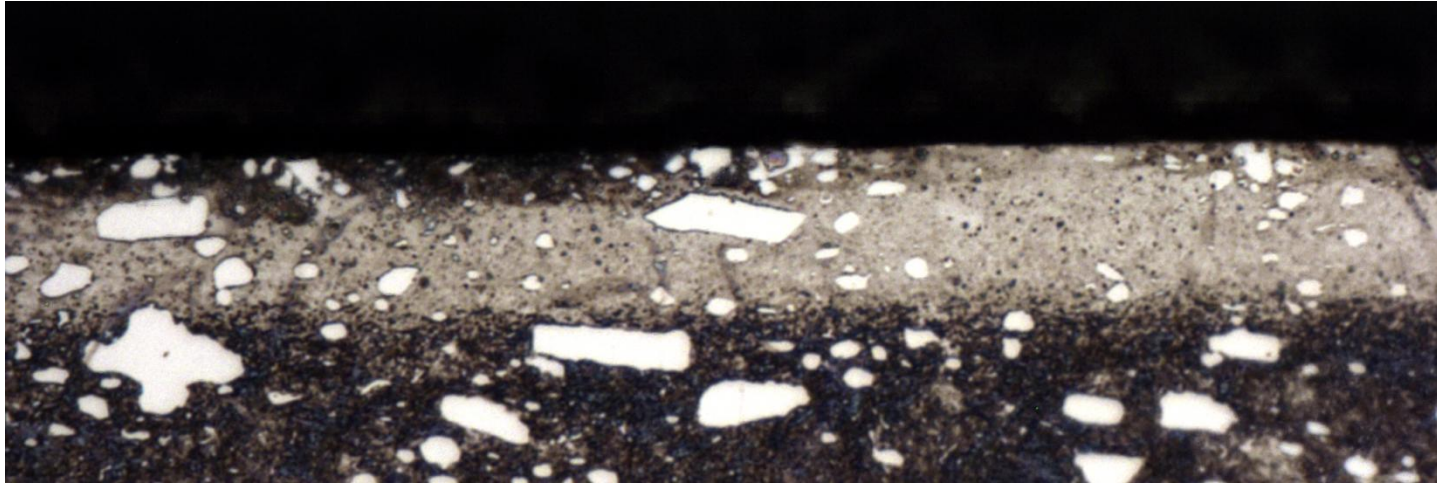
## Nástroj Hofmeister



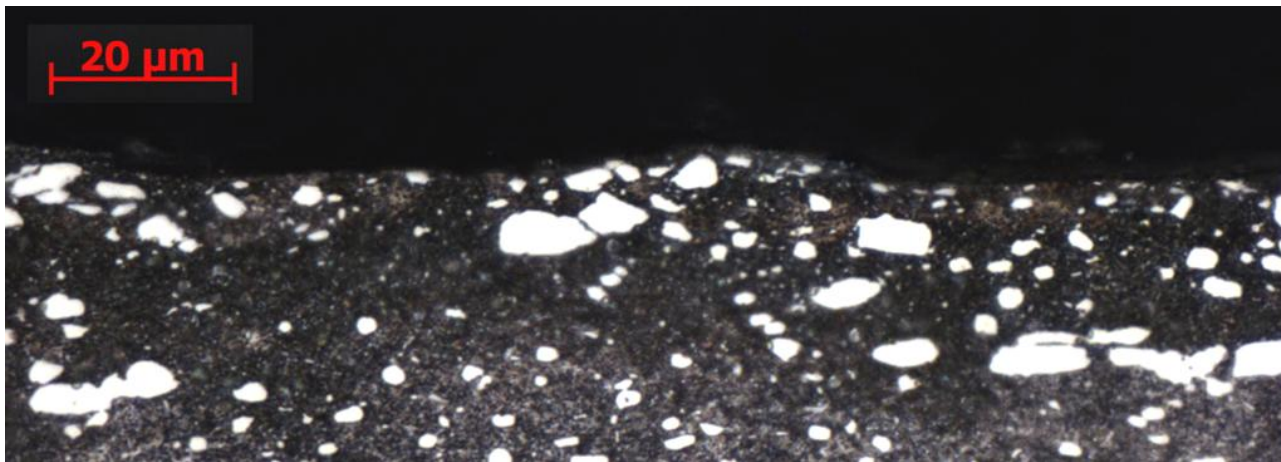
## Konkurenční nástroj



## Stav obrobeneho povrchu – ocel AISI D3

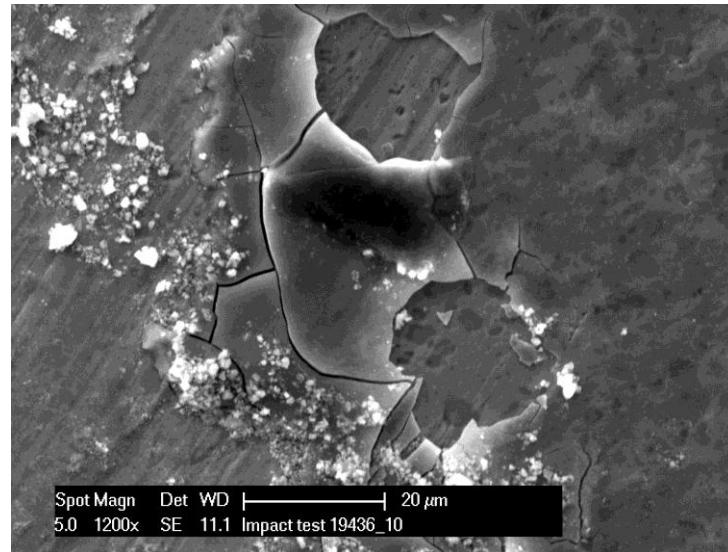
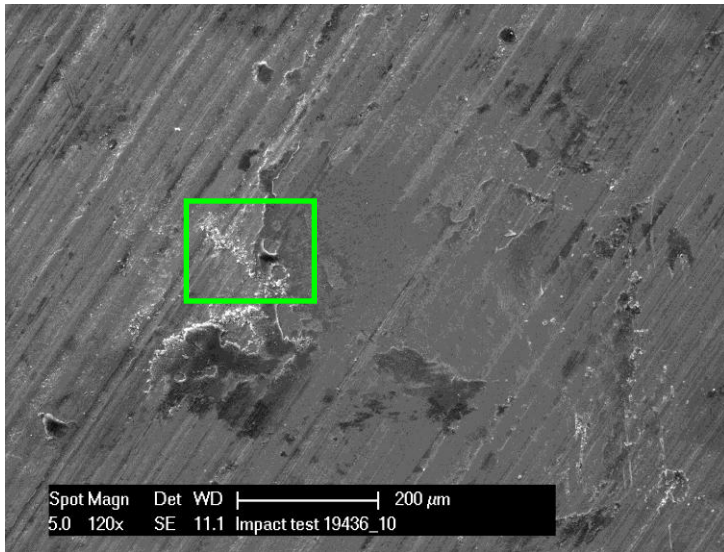


Zakalený povrch –  $\sigma_{HV0,01} = 1107$ .

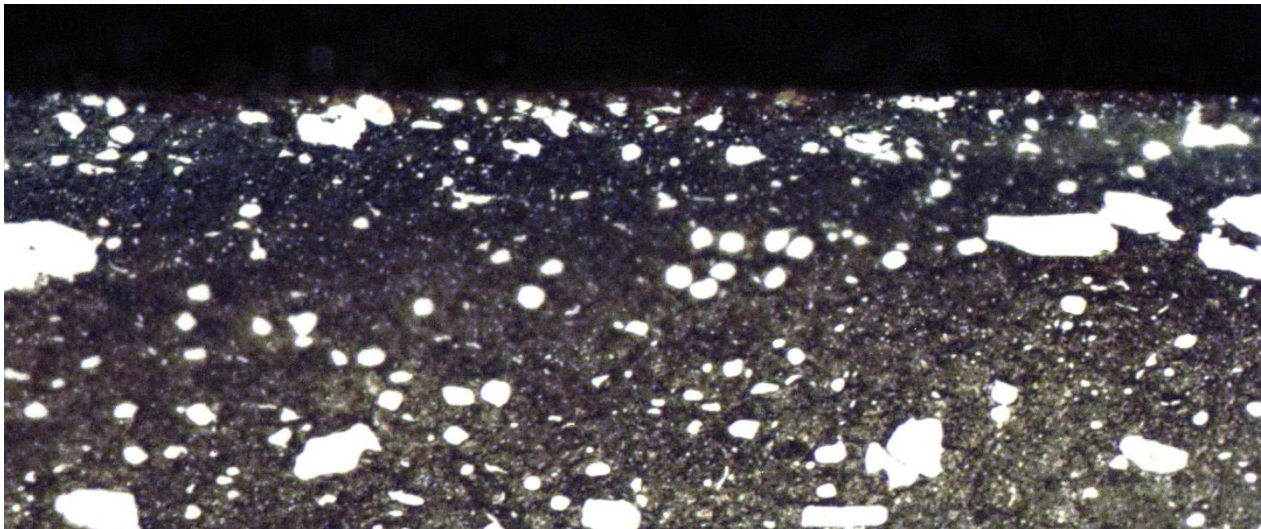


Běžný povrch –  $\sigma_{HV0,01} = 828$ .

## Impact kráter ve vzorku oceli D3 – nástroj Hofmeister

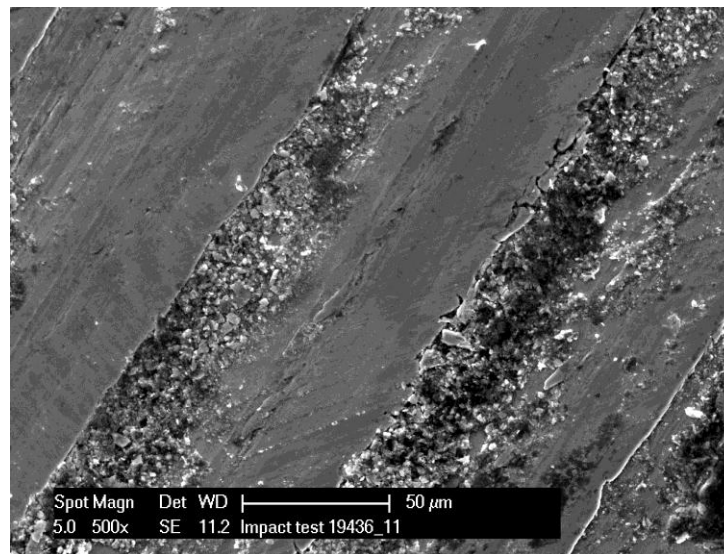
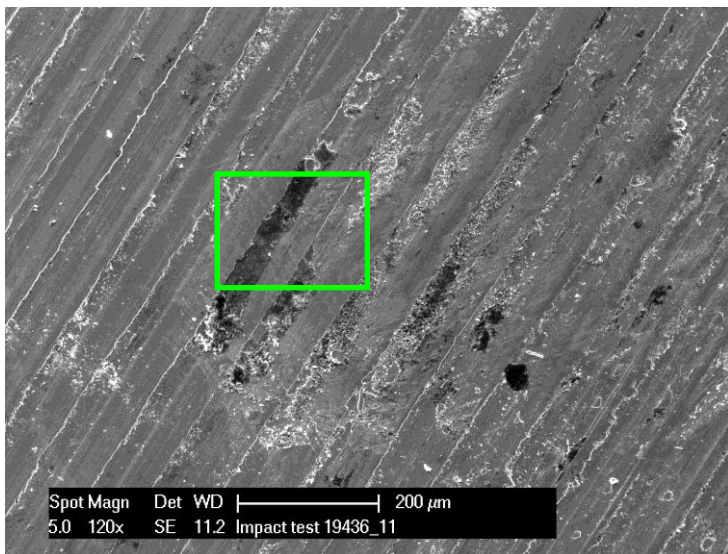


## Dokumentace kráteru vytvořeného v popuštěné vrstvě

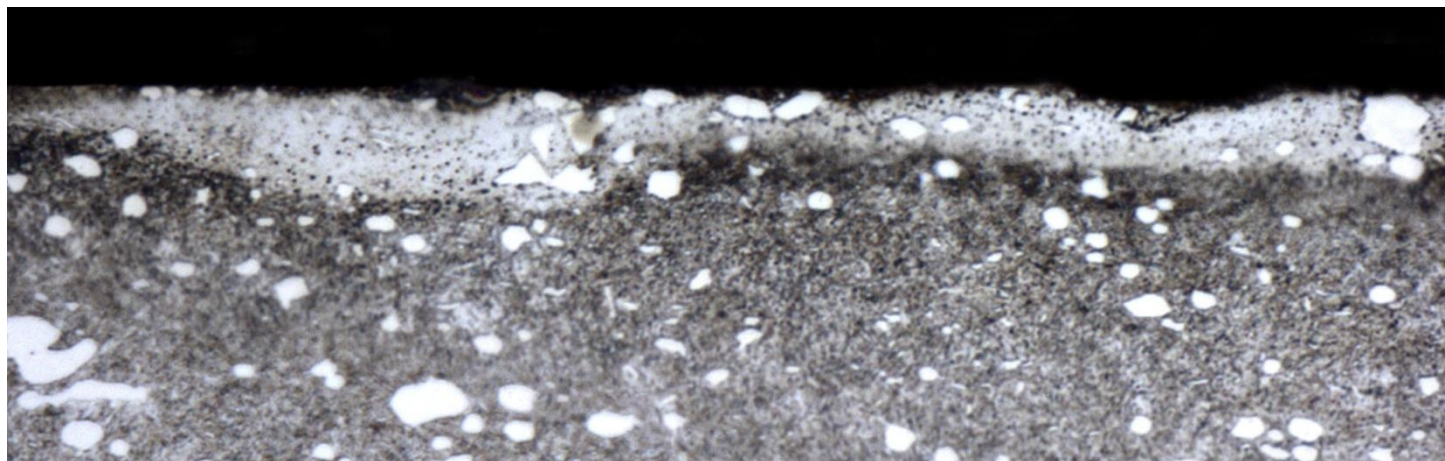


HV<sub>0,01</sub> = 567

HV<sub>0,2</sub> = 712



Dokumentace kráteru ve znovuzakalené vrstvě (bílá oblast)



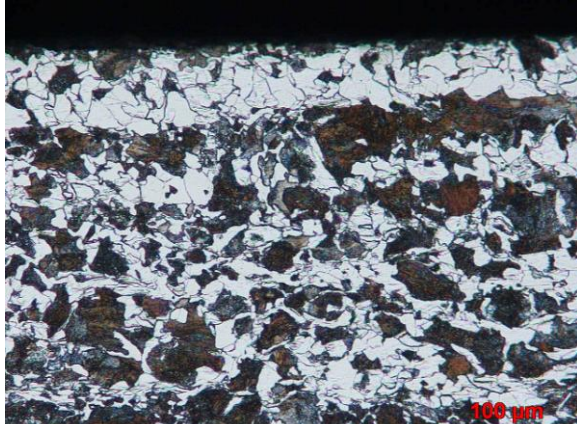
HV<sub>0,01</sub> = 1082

HV<sub>0,2</sub> = 712

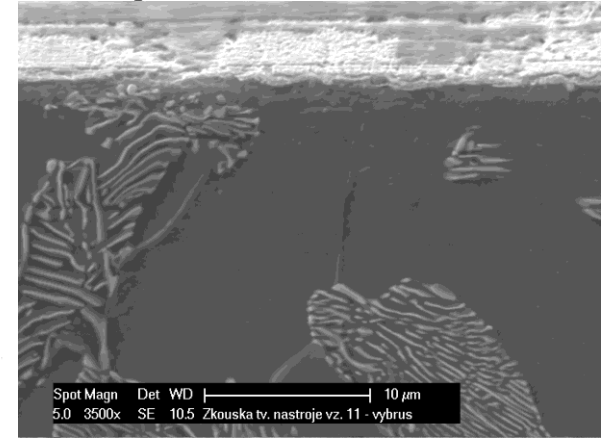
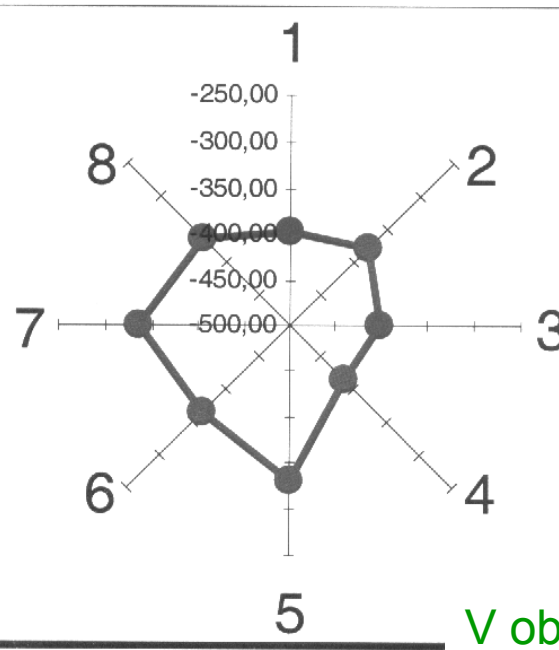


# Měření zbytkových napětí RTG difrakční analýzou u otvorů z oceli C45

## Vzorek 1\_ Strana B



Struktura je heterogenní



V oblasti feritu je větší deformace

<i>bod</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
$\sigma(AK), MPa$	-398	-382	-403	-415	-333	-368	-338	-367
<i>lin W, deg</i>	1,67	1,68	1,71	1,66	1,65	1,65	1,60	1,63

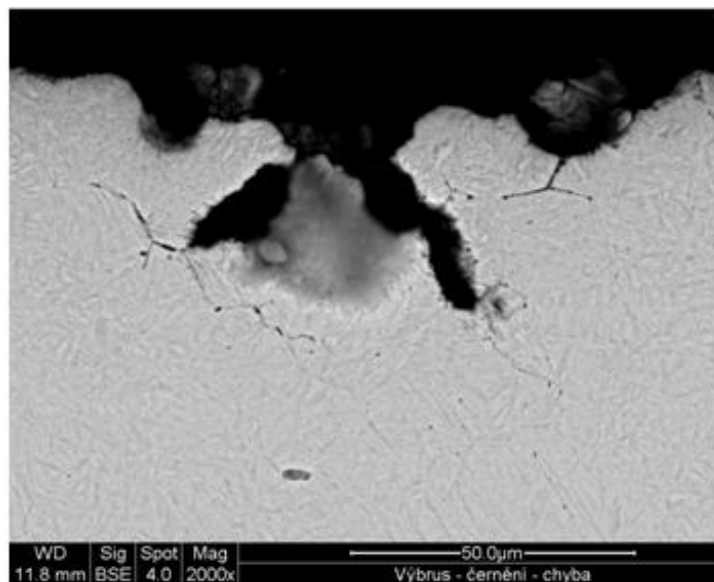
Rozložení tlakových zbytkových napětí po obvodě vyvrtaného otvoru

	Vzorek 1		Vzorek 2		Vzorek 3		Vzorek 4		Vzorek 5	
<i>bod</i>	1A	1B	1A	1B	1A	1B	1A	1B	1A	1B
$\sigma(AK), MPa$	-279	-398	-375	-366	-303	-300	-314	-485	-252	-331
<i>lin W, deg</i>	1,67	1,67	1,70	1,67	1,65	1,77	1,71	1,69	1,74	1,71

Rozložení zbytkových napětí u odlišně zhotovených otvorů – soustružení, vrtání

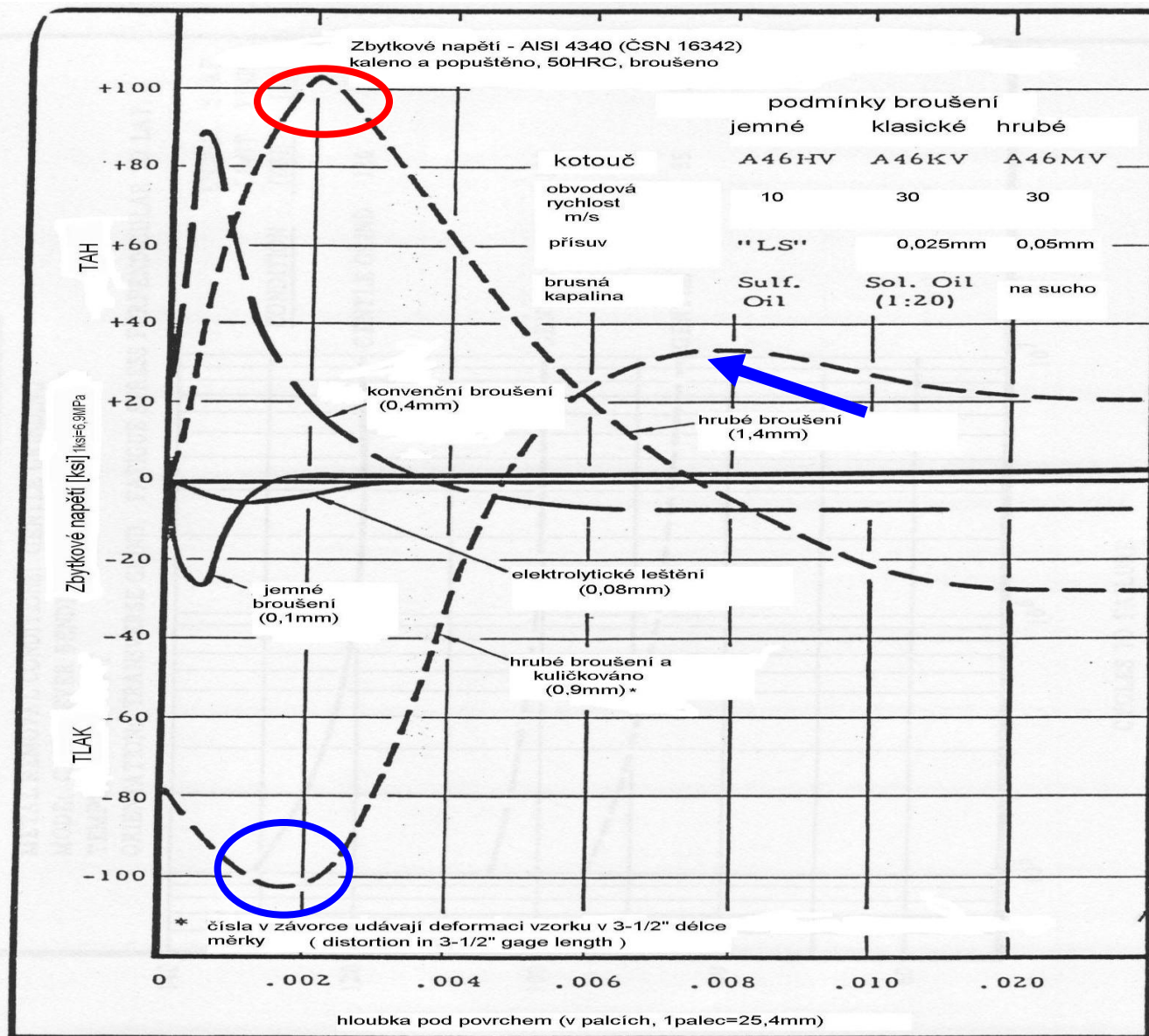
## Zbytková napětí

Důležitost zbytkových napětí se projeví nejen na mechanických vlastnostech, ale také na korozní odolnosti povrchu.

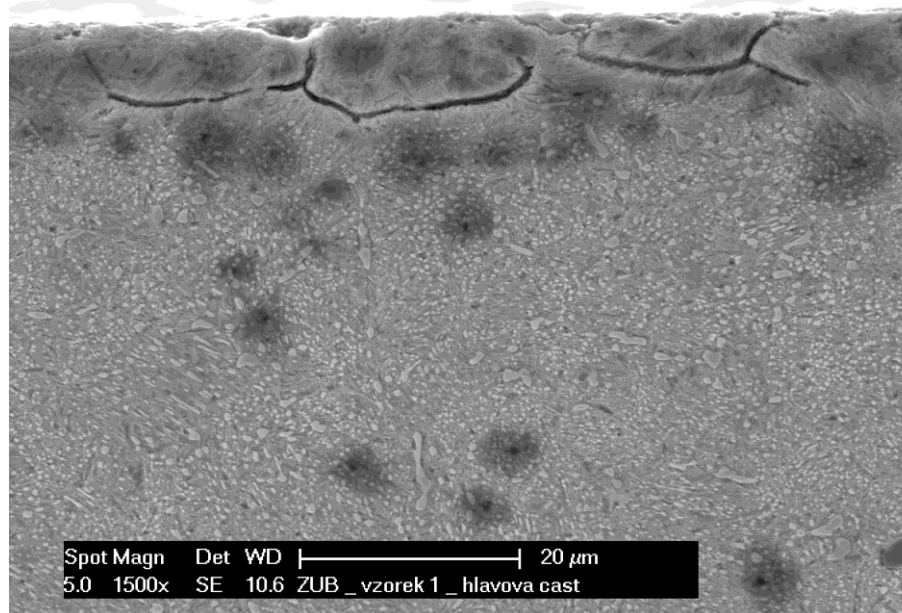
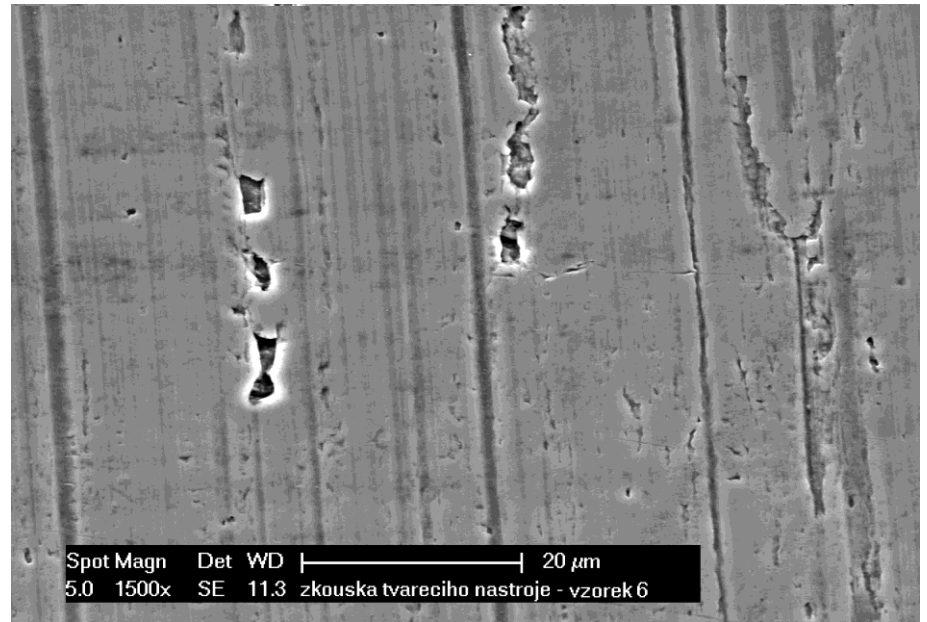
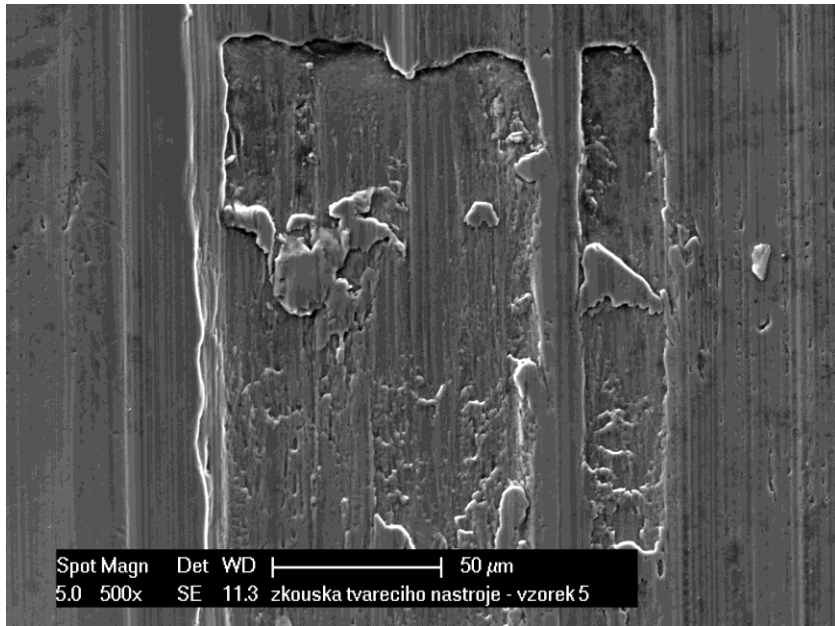


Příčný výbrus povrchově zakaleného a černěného povrchu v místě defektu.

# Příklad profilů zbytkových napětí při opracování oceli ČSN16342



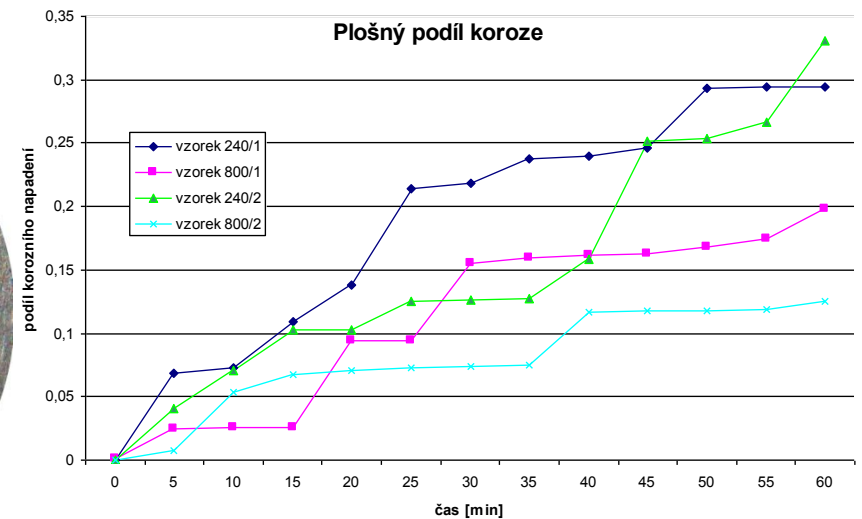
# Trhliny – praskliny



# Změny fyzikálních i chemických vlastností



Povrch vyvrtané litiny ČSN 422420 - oblast 1 – pouze vrtáno;  
oblast 2 – přechodová oblast do tvářeného povrchu; oblast 3 tvářený povrch;  
4 – zahlazený povrch.

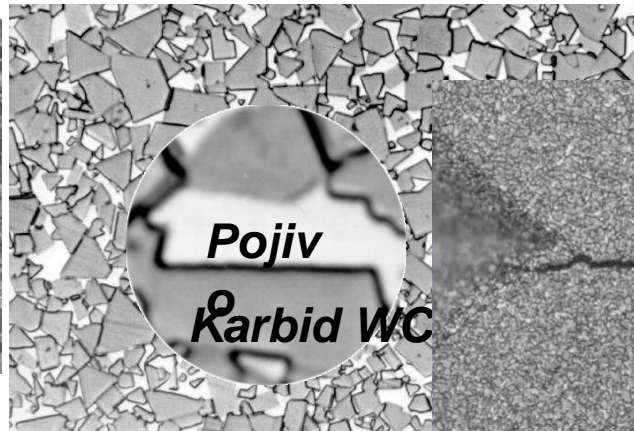
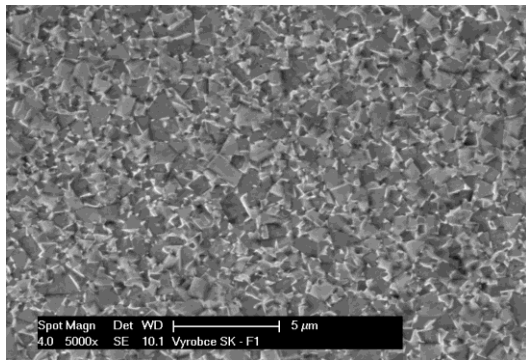


Koroze u vzorku broušeného

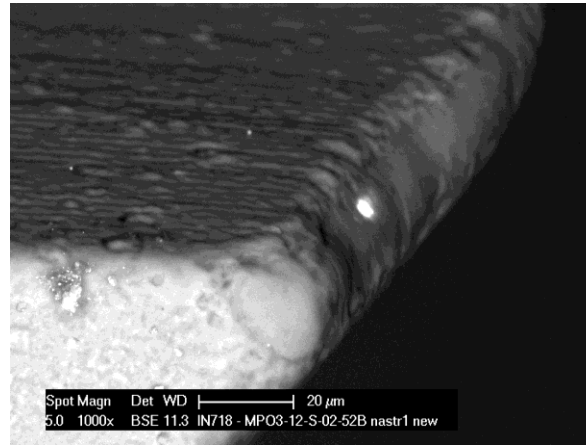
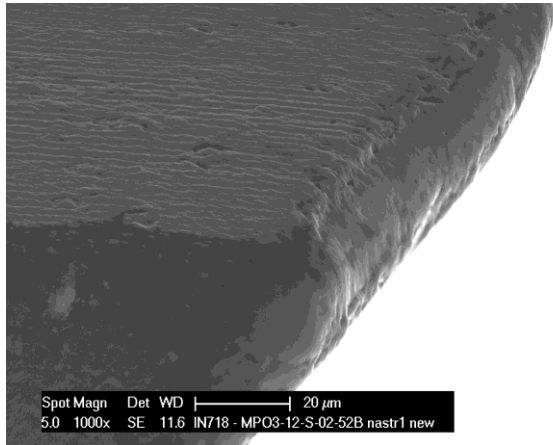
„papírem 240“

„papírem 800“

# Integrita povrchu řezného nástroje?

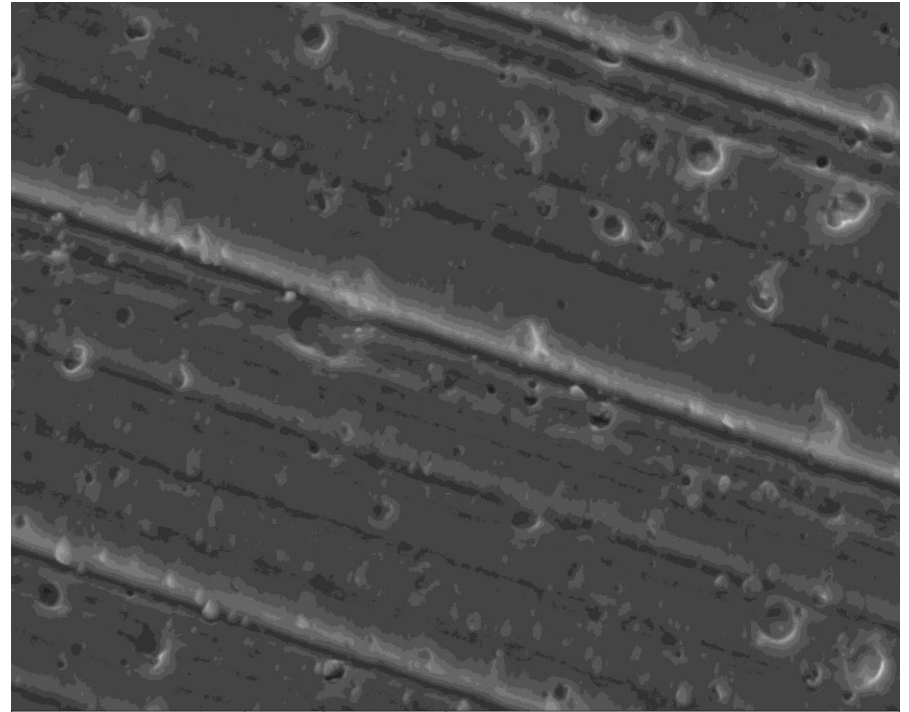
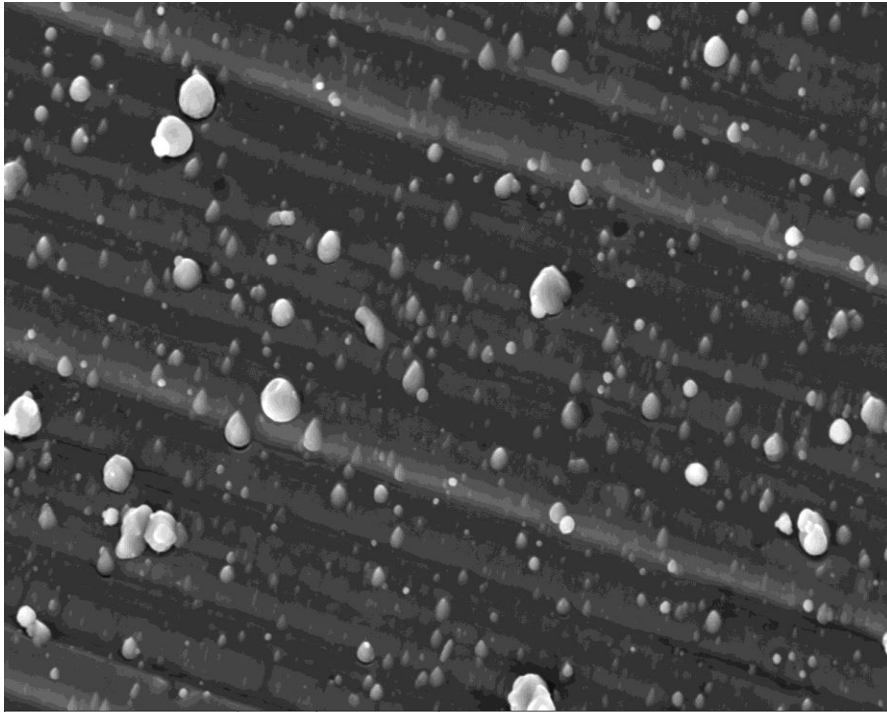


## Stav „substrátu“ a volba vrstvy



## Stav břítu – z hlediska makrogeometrie i z hlediska mikrogeometrie

## Stav povrchu vrstvy – makročástice, vlastnosti, drsnost, .....



[Wet- and dry processing of work pieces in drag finishing processes Straubenhardt, 26. October 2009 Dipl.-Ing. (FH) Helmut Gegenheimer OTEC Präzisionsfinish GmbH; [www.otec.de](http://www.otec.de)]

Vrstva s makročásticemi – PVD depozice

Povrch vrstvy po mikroúpravě

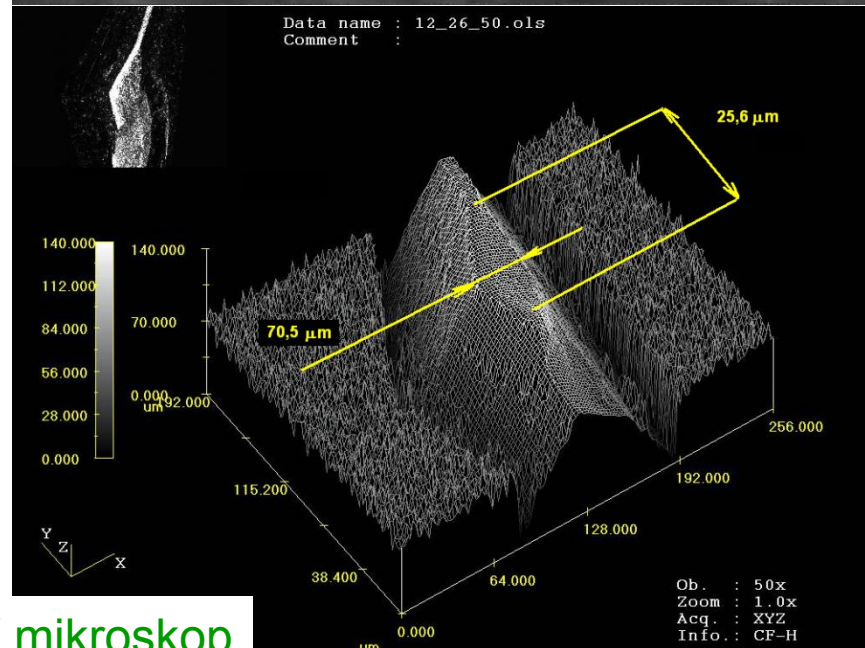
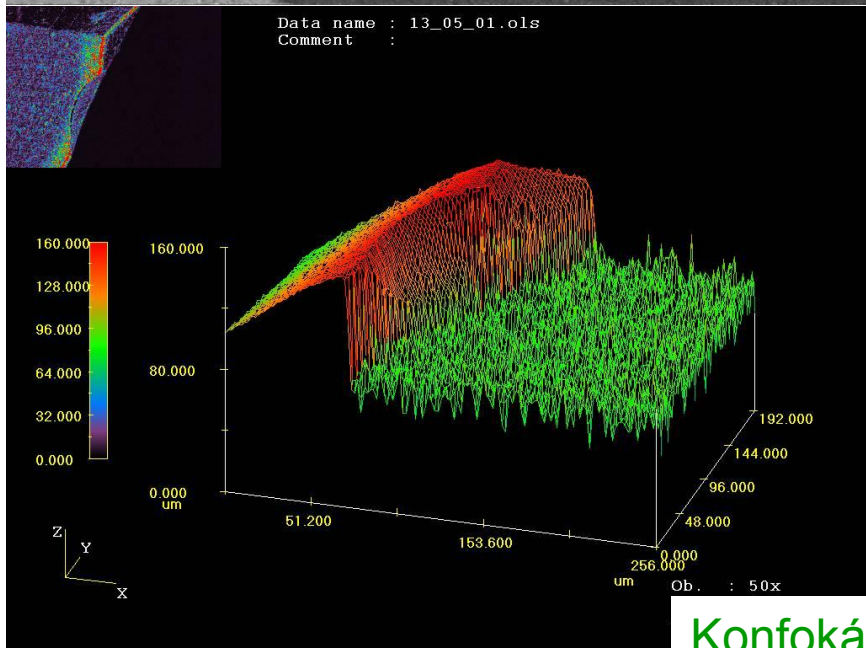
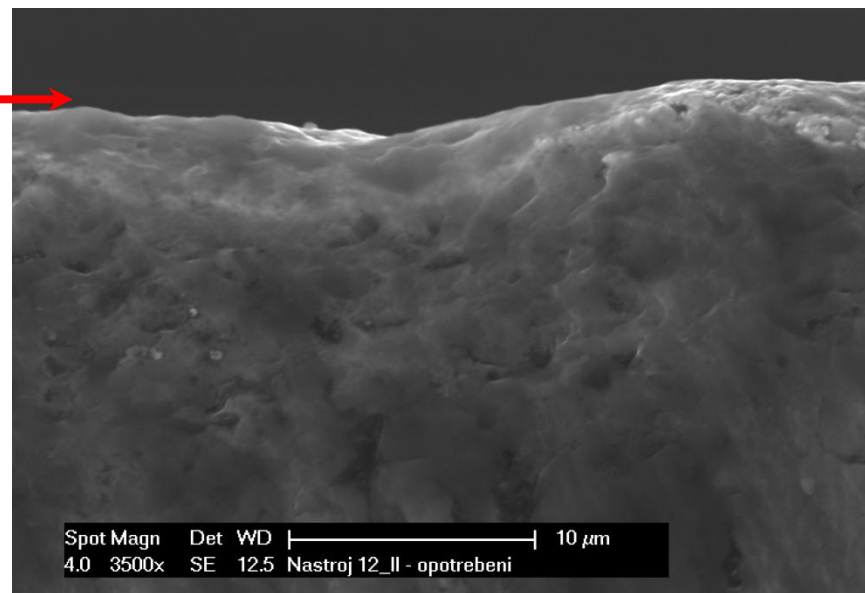
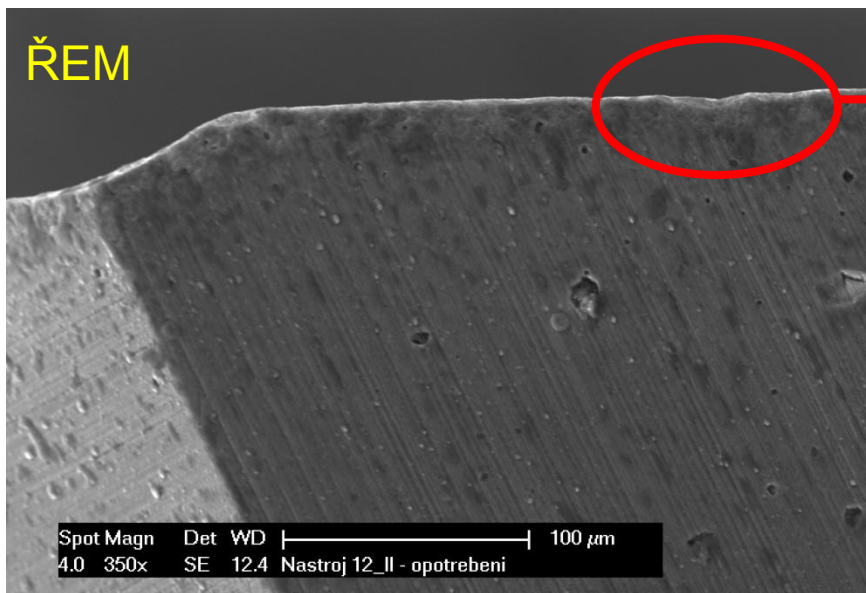
### Integrita povrchu u nástrojů:

**Geometrická přesnost a mikrogeometrie břitu; Drsnost povrchu, jeho stav a profil; Tvrdost - mikrotvrdost; Strukturní stav; Zbytková napětí; Nežádoucí chemicko-tepelné změny – opaly, oduhličení, nauhličení;**

**Trhliny – praskliny; Změny fyzikálních i chemických vlastností**

**Povrch a jeho změny z hlediska depozice tenkých vrstev**

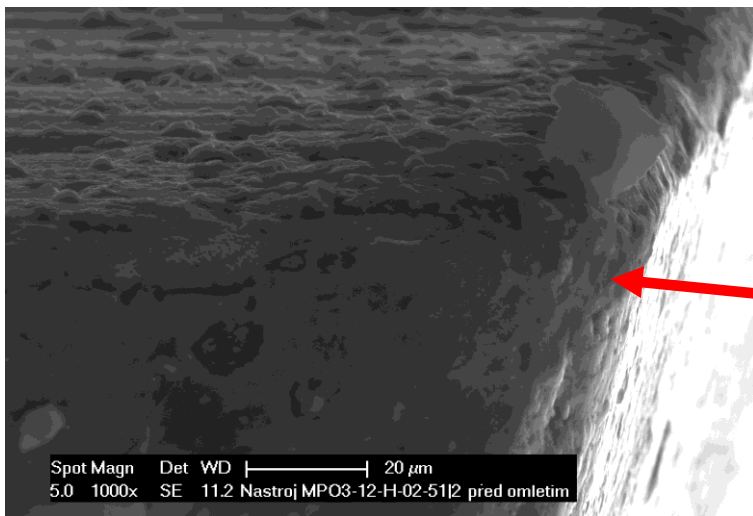
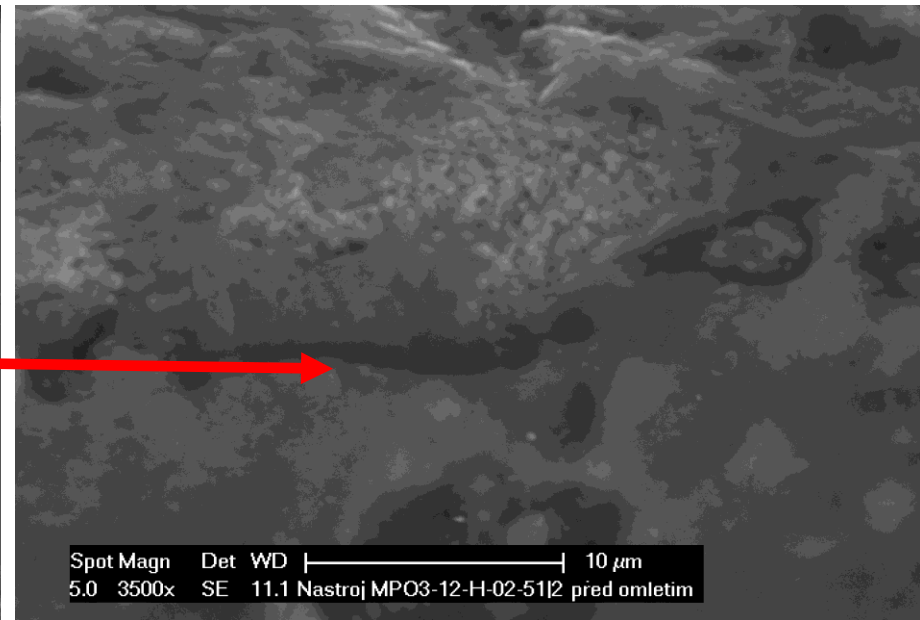
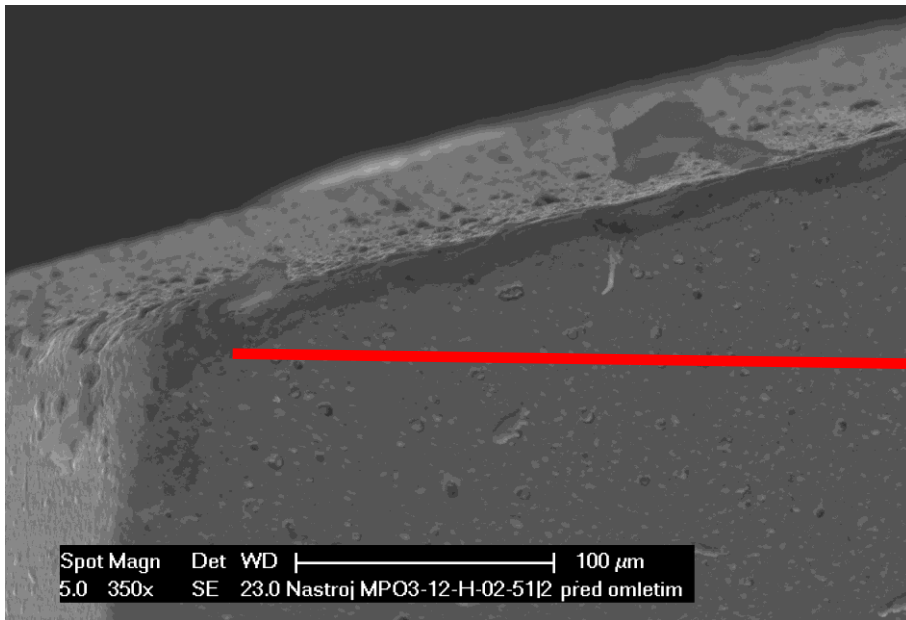
# Využití konfokálního mikroskopu k dokumentaci stavu bříty nástroje



Konfokální mikroskop

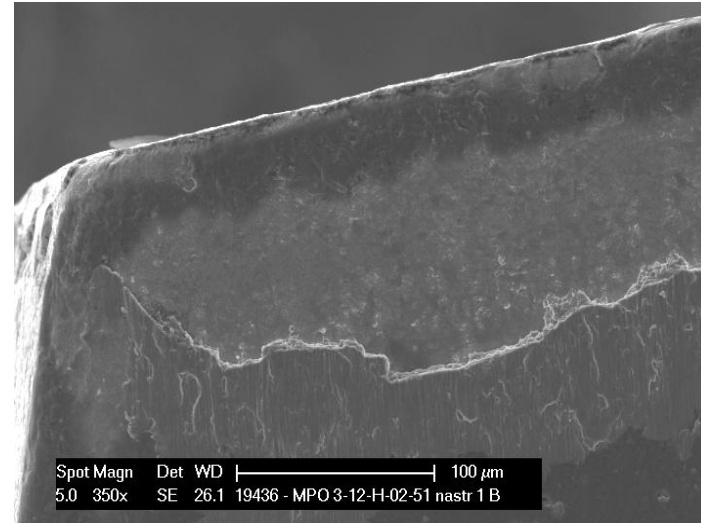
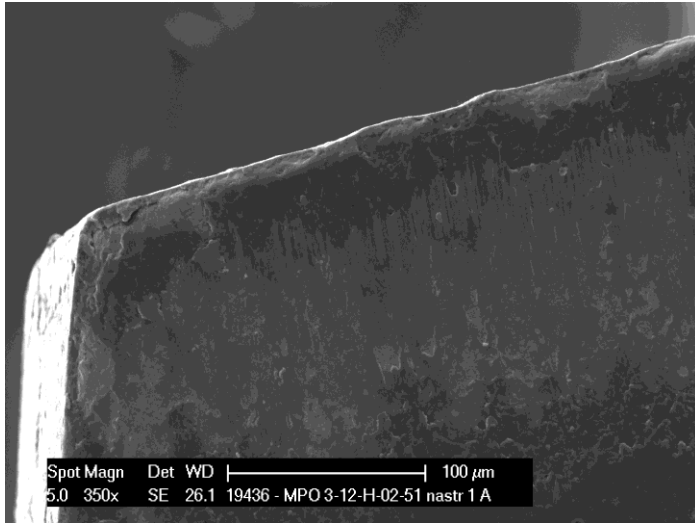


# Využití řádkovacího elektronového mikroskopu k dokumentaci stavu nástroje



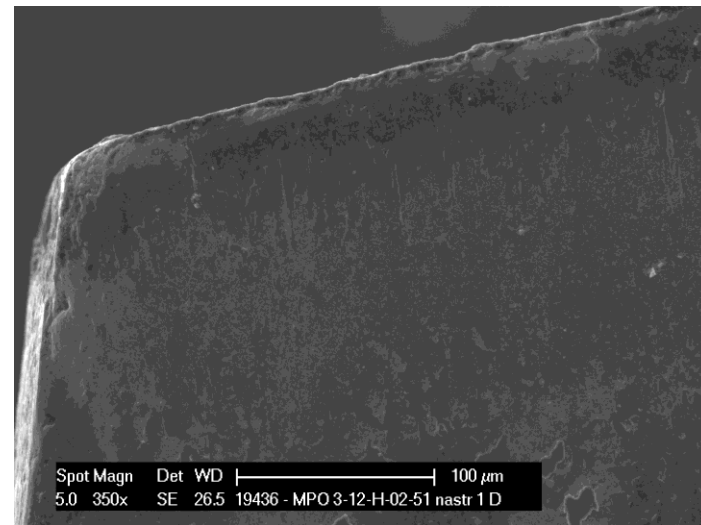
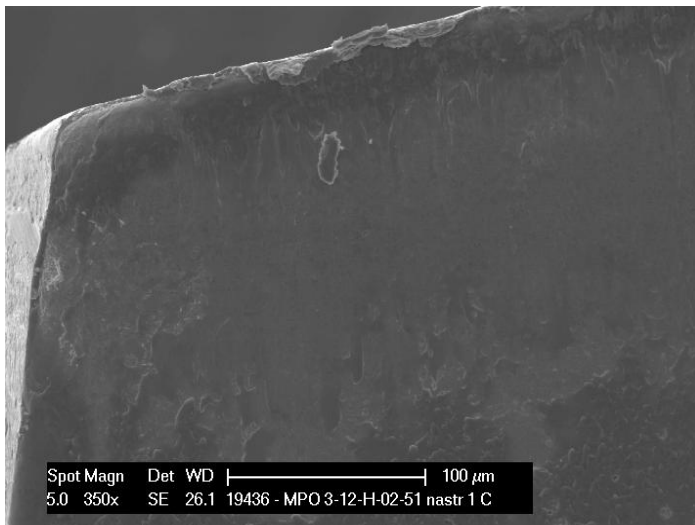
*Ilustrativní snímek*

# Sledování stavu špičky vrtáku při vrtání oceli 19436.6 speciálním vrtákem



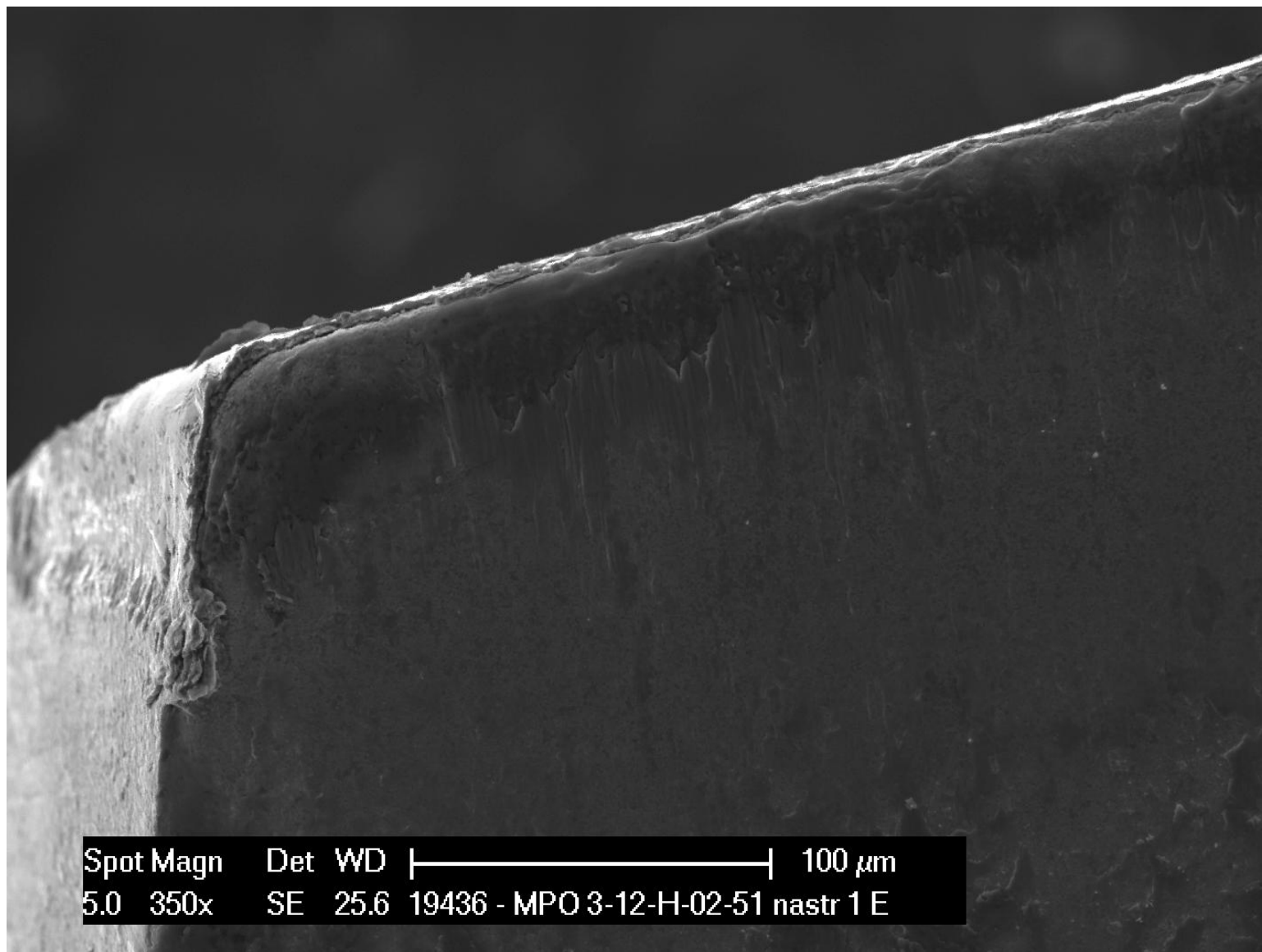
Vrták - špička – vrtáno 10 mm

Vrták - špička – vrtáno 6 mm – 2. díra



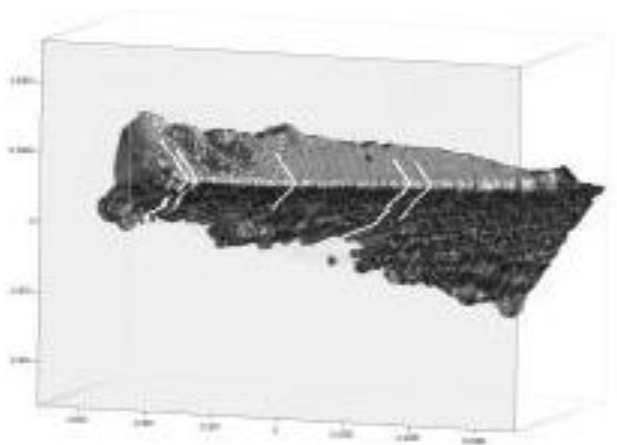
Vrták - špička – vrtáno 6 mm – 3. díra

Vrták - špička – vrtáno 10 mm – 4. díra

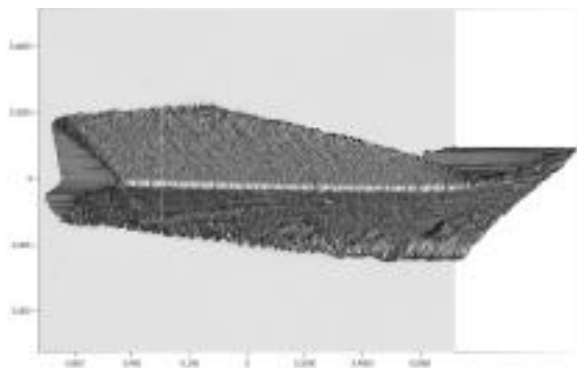


Vrták - špička – vrtáno 6 mm – 5. díra

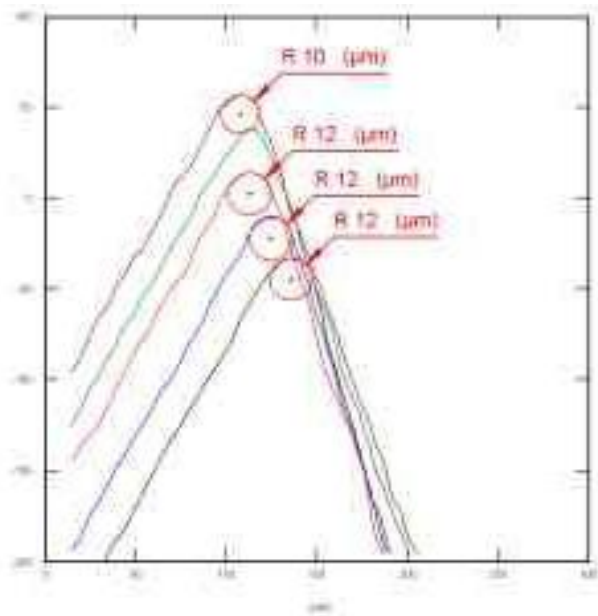
## Využití profilového přístroje k dokumentaci stavu nástroje



Břit před omletím – jsou vyznačeny oblasti, kde bylo provedeno měření zaoblení

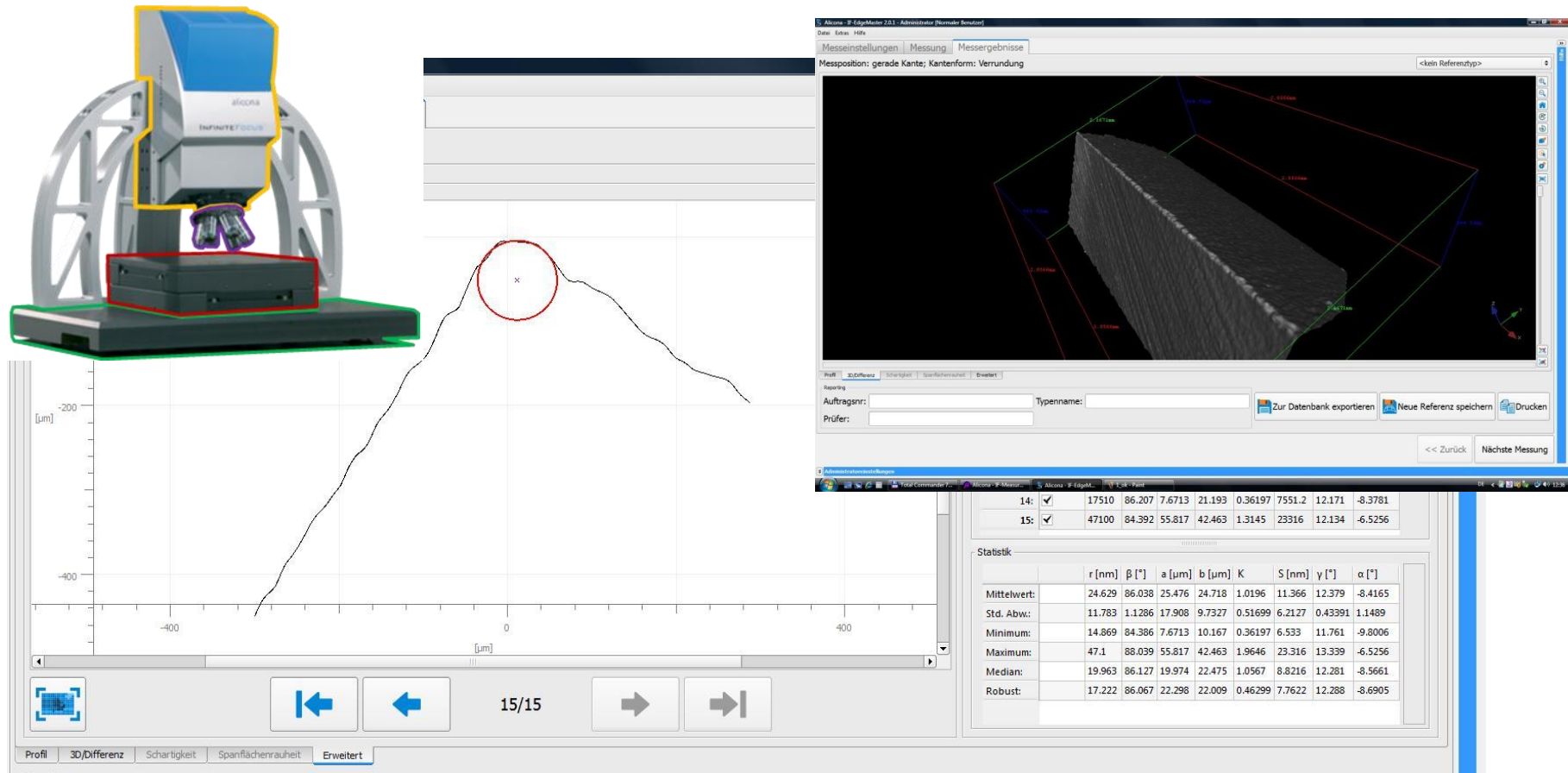


Stav břitu po omletí



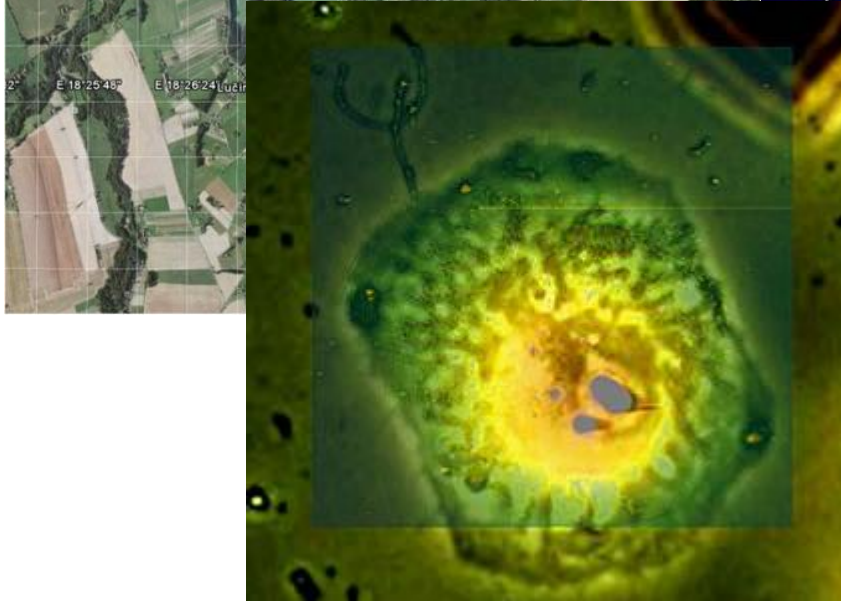
Poloměr zaoblení břitu ve vyznačených oblastech měření je  $r = 10-12\mu\text{m}$ .

# Využití profilového přístroje Alicona k dokumentaci stavu nástroje



Vlevo je přístroj Alicona. Střední část obsahuje měření zaoblení bříty. Vpravo je zachycen stav bříty ve 3D zobrazení.

**Abychom něco viděli, musíme mít oči i mysl otevřenou!  
A být připraveni se s tím, co poznáme, nějak vyrovnat!**



Problematika s integritou povrchu spočívá v tom, že se musíme naučit posuzovat povrch jinak, než jak jsme byli zvyklí. Nevystačíme s doposud využívanými charakteristikami a veličinami, ale musíme se naučit pohlížet na povrch komplexně a v souvislostech. Pro dosažení tohoto cíle je zapotřebí vytvořit interdisciplinární týmy, které budou spolu diskutovat a budou provádět korelaci získaných poznatků.

