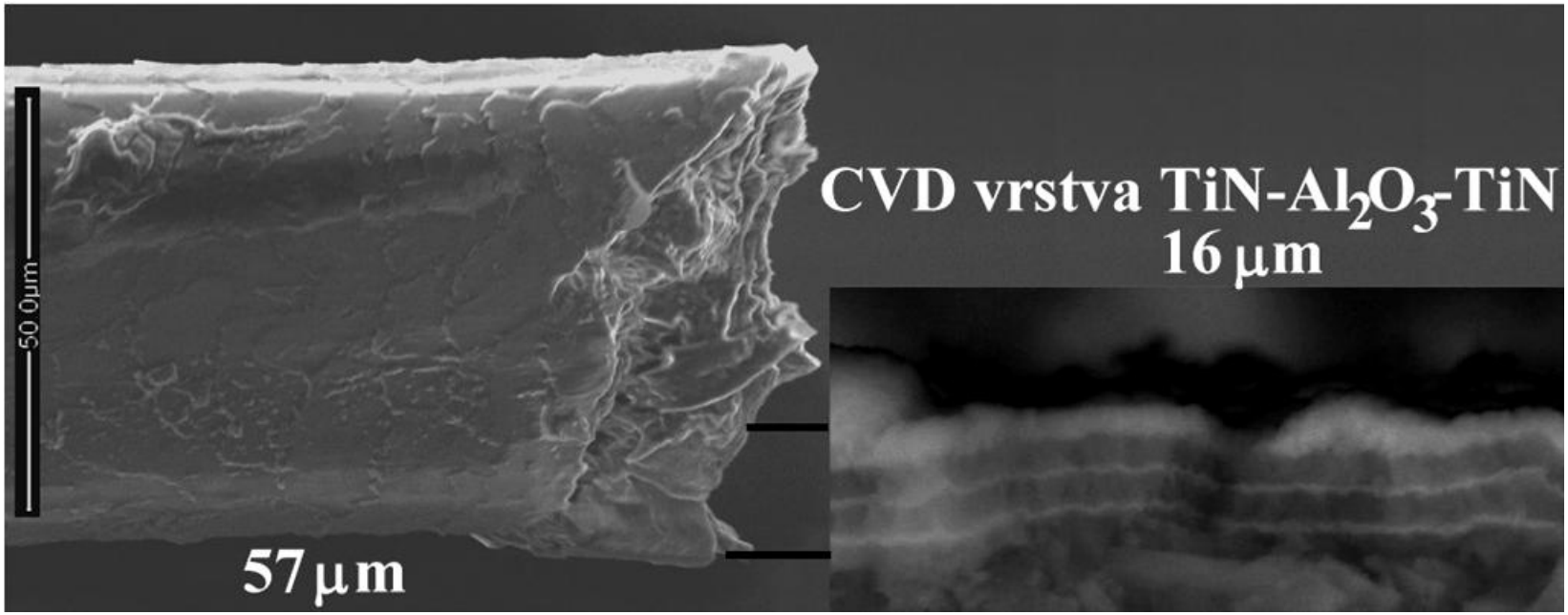
Tenké vrstvy v aplikaci na řezné nástroje

Antonín Kříž
Daniel Pakuła*

***Institute of Engineering Materials and Biomaterials,**
Silesian University of Technology,
Gliwice, Poland



Srovnání tloušťek lidského vlasu a vrstvy
deponované CVD technologií (u PVD vrstev je tloušťka 1- 5µm)

Z důvodu ochrany osobních údajů (nevidíte-li správně PowerPoint autorskému dílu/fotce nebyl/ho dodán. Chybí-li díl/fotka a zobrazí, klepněte na pravou spín. ta podle předchozí a pak klepněte na možnost Použít vzorek slide).

All that glisters is not gold.

Není všechno zlato, co se třpytí.

William Shakespeare: Kupec benátský (2. jednání, 7. scéna)

All that is gold does not glitter, not all those who wander are lost.

Ne každé zlato třpytívá se, ne každý, kdo bloudí, je ztracený.

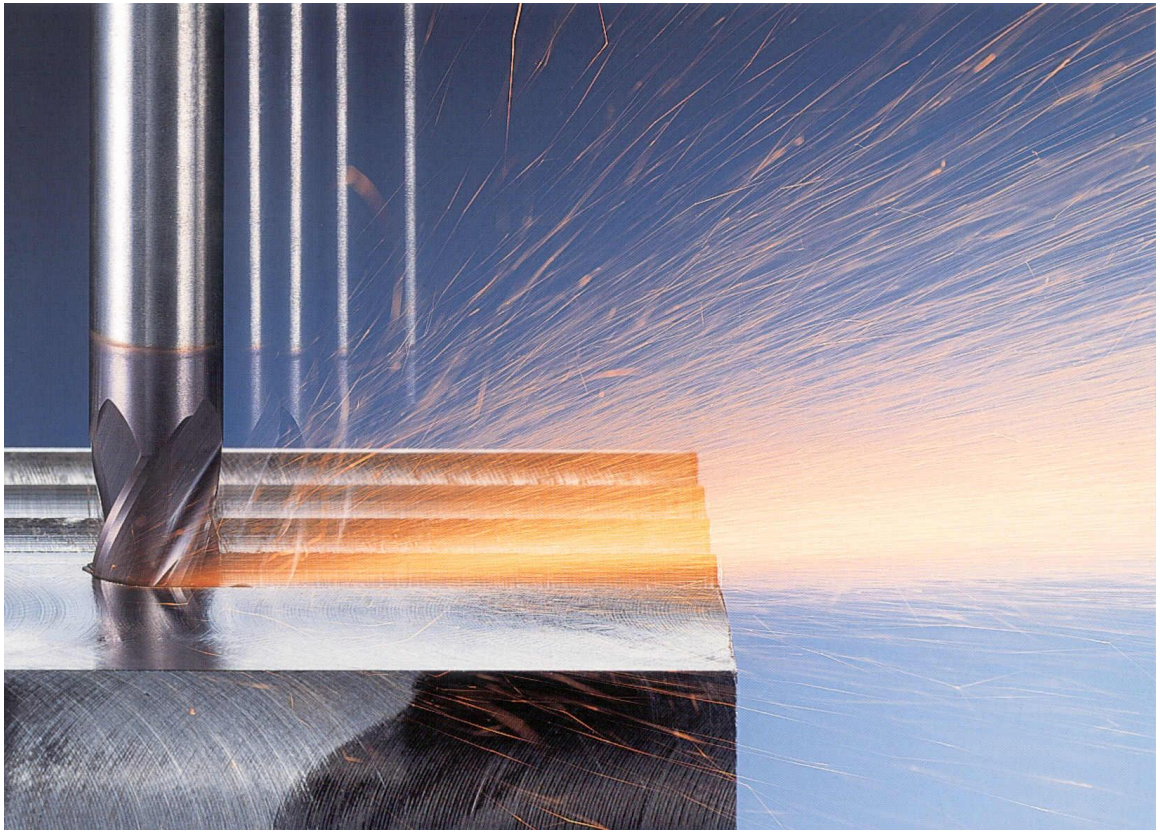
John Ronald Reuel Tolkien: Společenstvo Prstenu

Tento snímek deklaruje, co vše je třeba na nástroji sledovat, aby byl nástroj plně funkční a dosáhlo se efektivně požadované kvality obrobené plochy.

Tato přednáška se bude věnovat především tenkým vrstvám, ale dotkne se i dalších oblastí. Problematika je natolik široká, že jde napříč i dalšími předměty: NM; SMA; TO; Metrologie ….

Trend vývoje – požadavek na moderní nástroje s progresivními vrstvami:

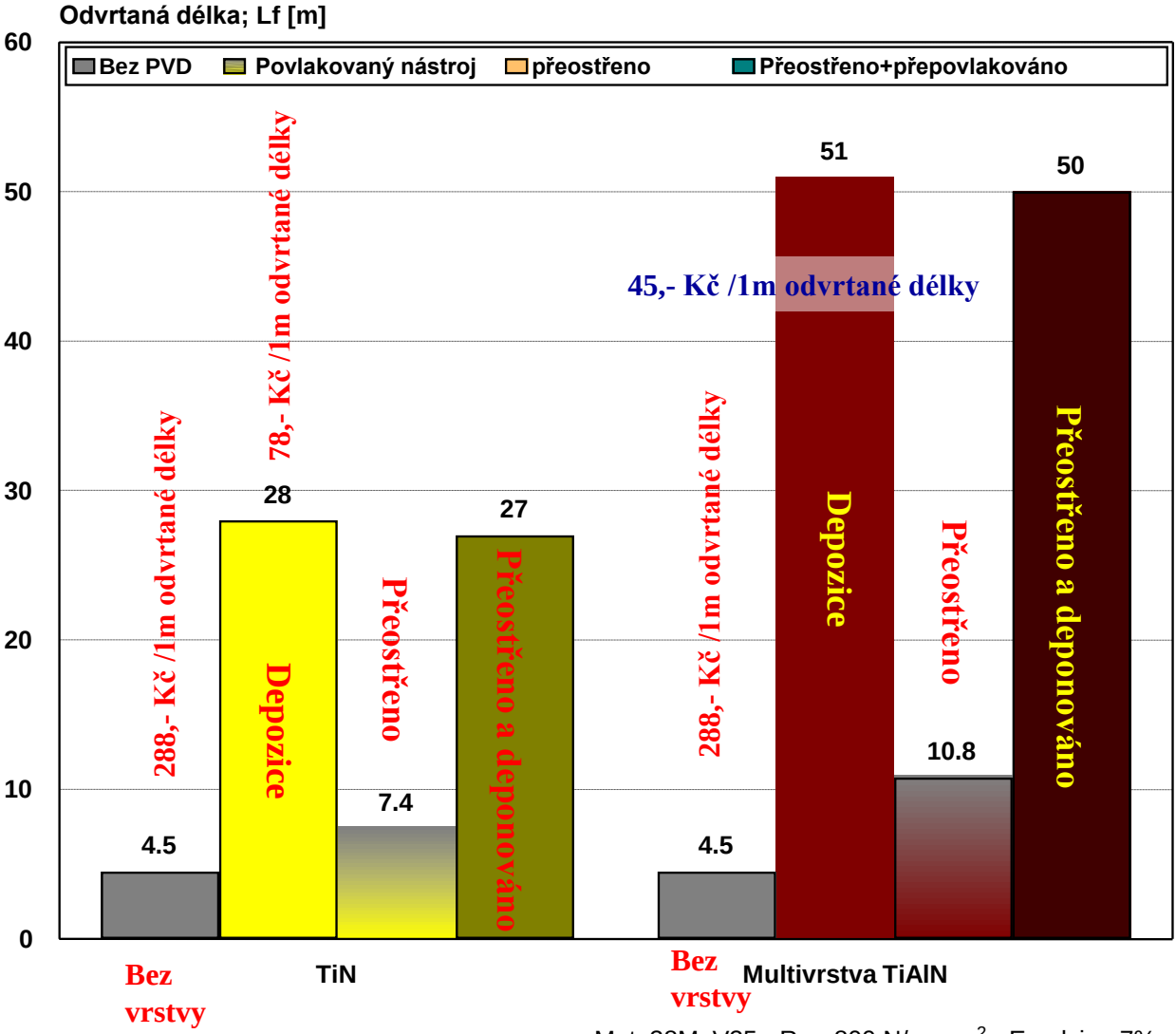
- **Větší trvanlivost nástroje (využití v hromadné výrobě, automaty)**
- **Obrobený povrch s vyšší kvalitou (lepší povrch při stejné ceně – vyšší kvalita)**
- **Obrábění s minimálním množstvím procesní kapaliny (ekologie, cena, starosti s recyklací a skladováním)**
- **Reprodukovatelnost výsledků alespoň z 80%**
- **Odstranění „starých“ vrstev z nástrojů SK bez nutnosti následného přeostření**



Vyplatí se depozice řezných nástrojů?

Ceny dle firmy Hofmeister s.r.o.

Bez vrstvy | TiN | TiAlN

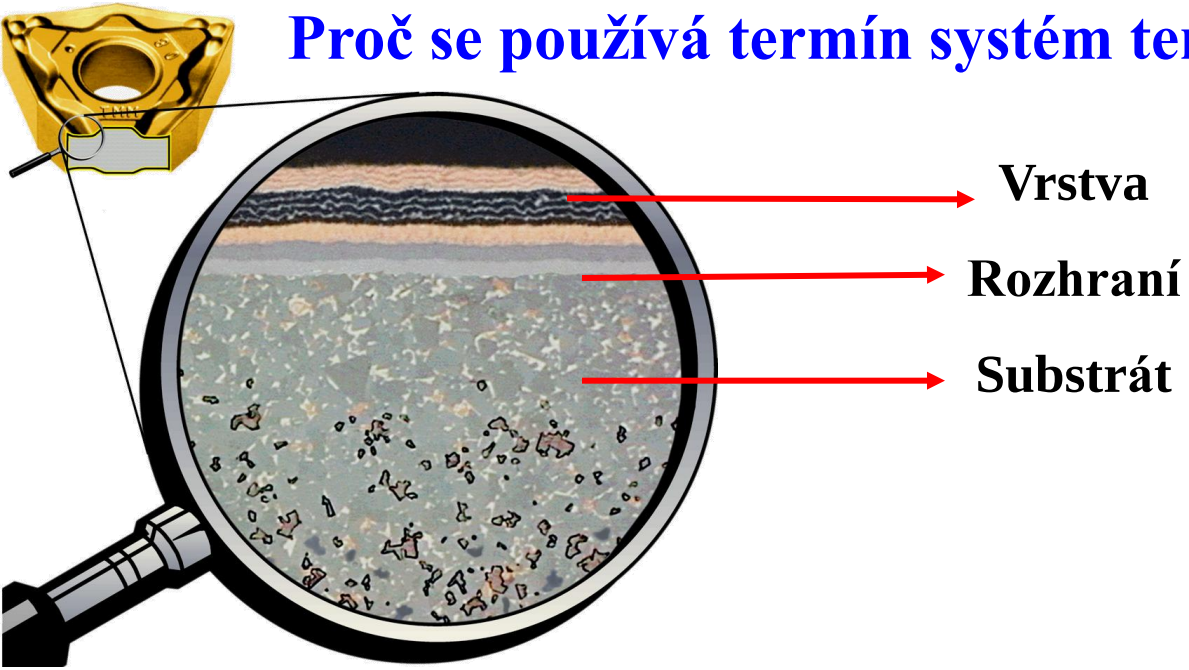


Mat: 38MnV35 - Rm=800 N/mm ^{2} - Emulsion 7%

K40UF - d=12.6mm - ap=13,5mm - vc=78 m/min - f=0.25 mm/U

Quelle: DC, Stuttgart, Gühring, Sigmaringen

Proč se používá termín systém tenká vrstva-substrát?



Deponované tenké vrstvy je třeba chápat jako **systém**, neboť vrstva pro svoji tloušťku dosahuje společně se substrátem **specifických vlastností a chování**.

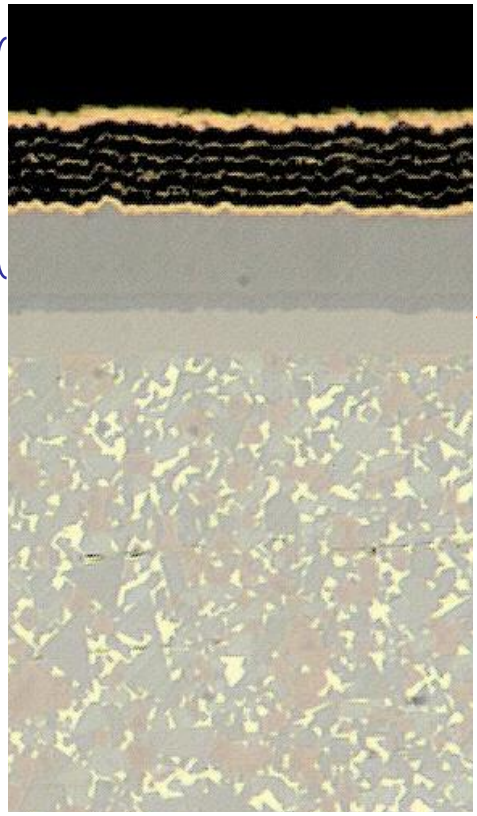
Samotné tenké vrstvy mají na rozdíl od objemových materiálů rozdílné vlastnosti a to nejen z důvodů svojí tloušťky, ale i následkem depozičních procesů, které lze označit jako **nerovnovážné** a iniciující vznik **metastabilních fází**.

Pro zajištění požadovaných vlastností je nutné věnovat pozornost všem složkám tvořící

daný systém

Otěruvzdorná vrstva

Odolnost proti opotřebení
Redukce tření
Korozní odolnost
Difúzní bariéra
Tepelná bariéra



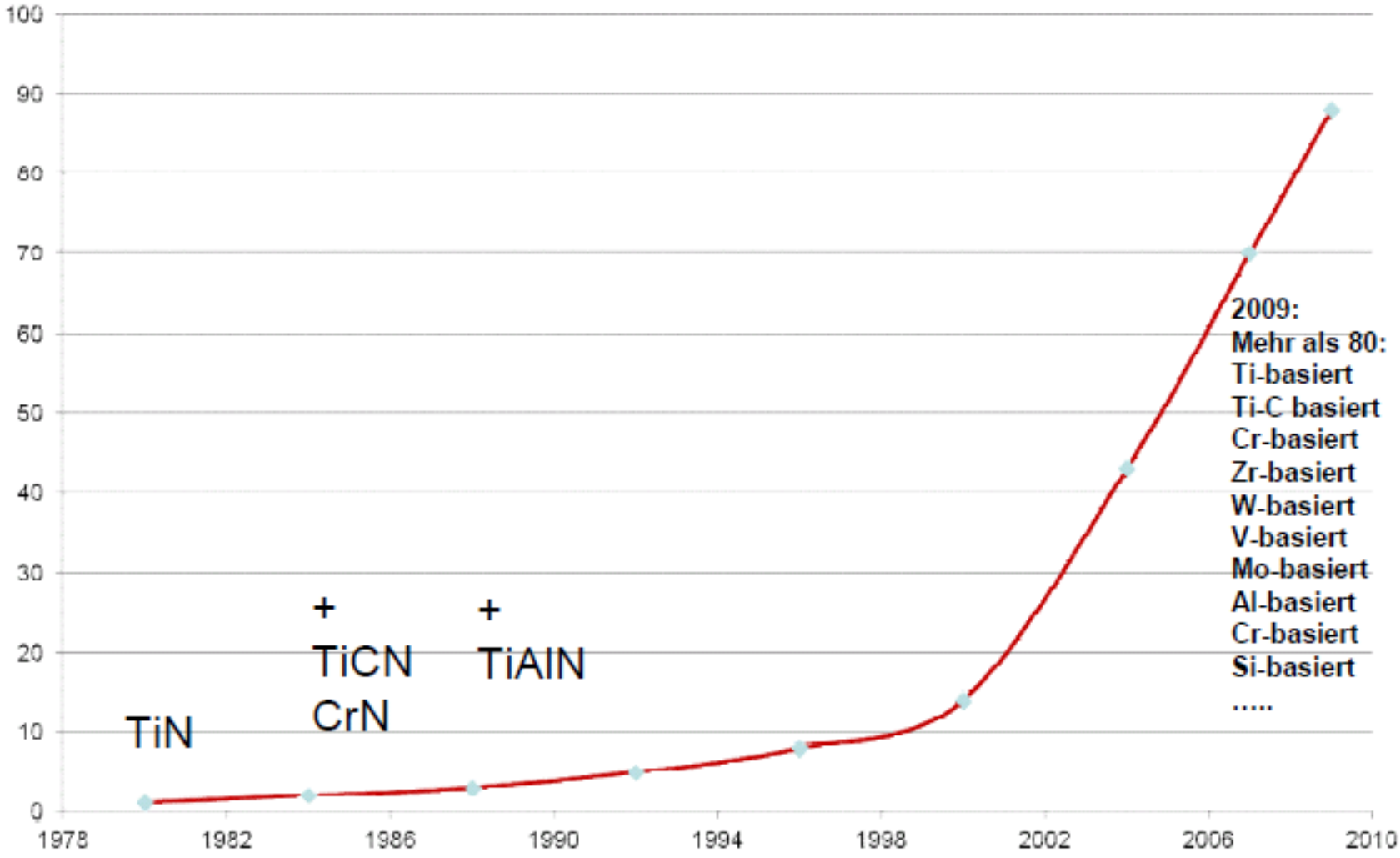
Mezivrstva

Adheze
Bariéra rozvoje trhlin
Kompenzace diletace a pnutí
Modifikace struktury a morfologie

Substrát

Pevnost
Tuhost
Geometrie

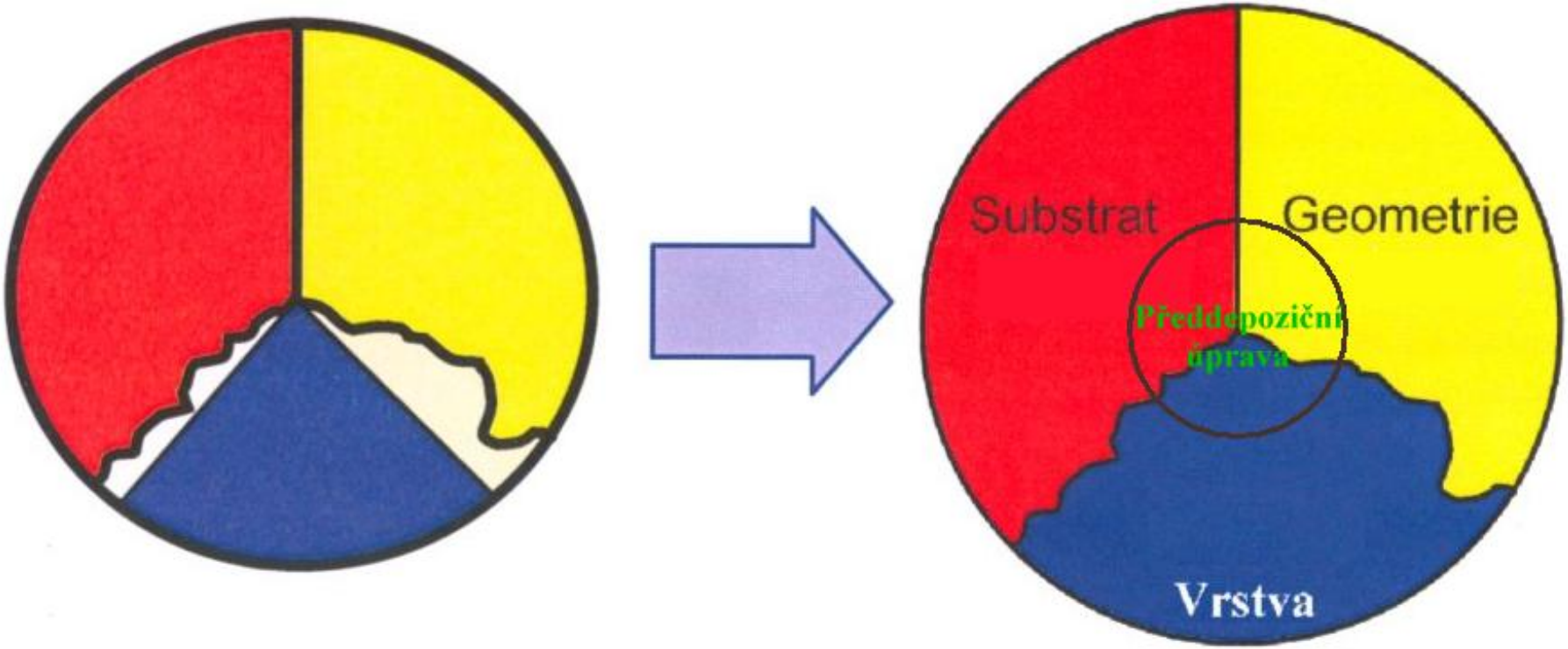
Množství druhů tenkých vrstev v aplikaci na řezné nástroje



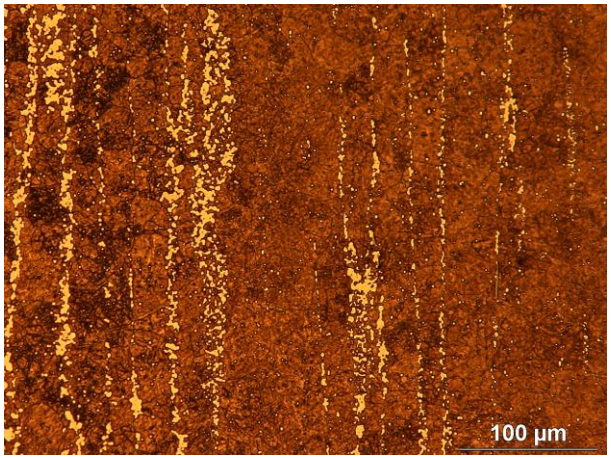
T. Cselle, M. Morstein. A. Luemkemann,

PLATIT AG, Selzach, Schweiz

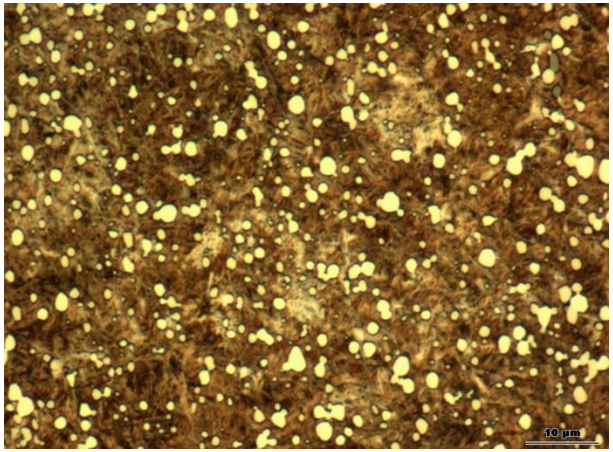
Komplexní řešení – cesta k úspěchu



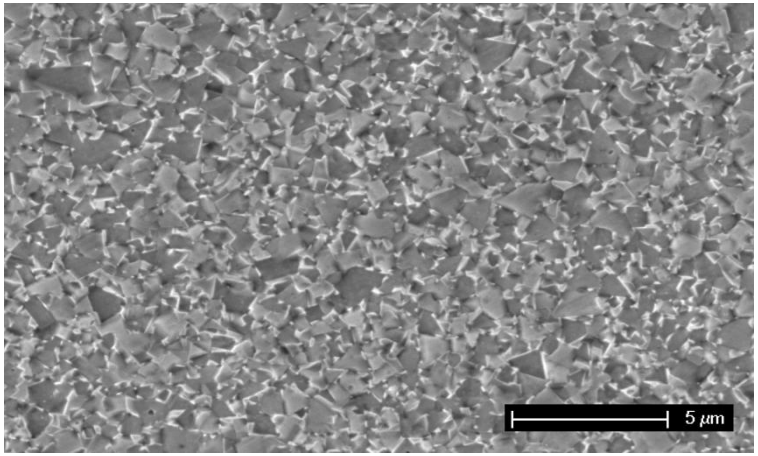
Nástrojová ocel; Slinutý karbid; Cermet; Keramika; PKD; KBN



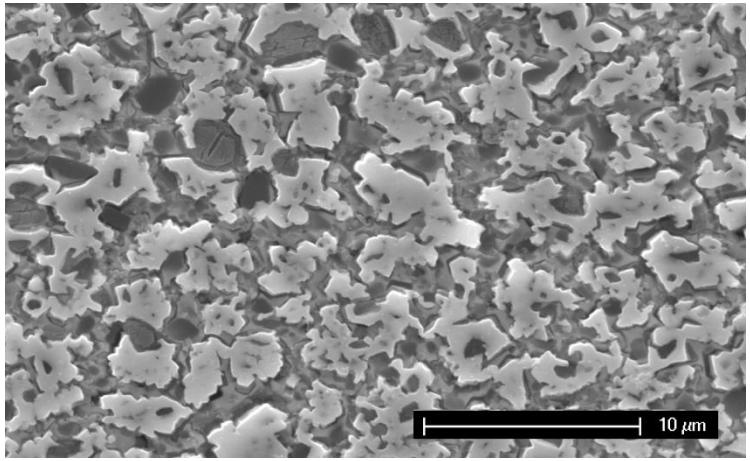
Klasická HSS ocel 350 Kč/kg



Prášková HSS ocel 1500 Kč/kg



Slinuté karbidy

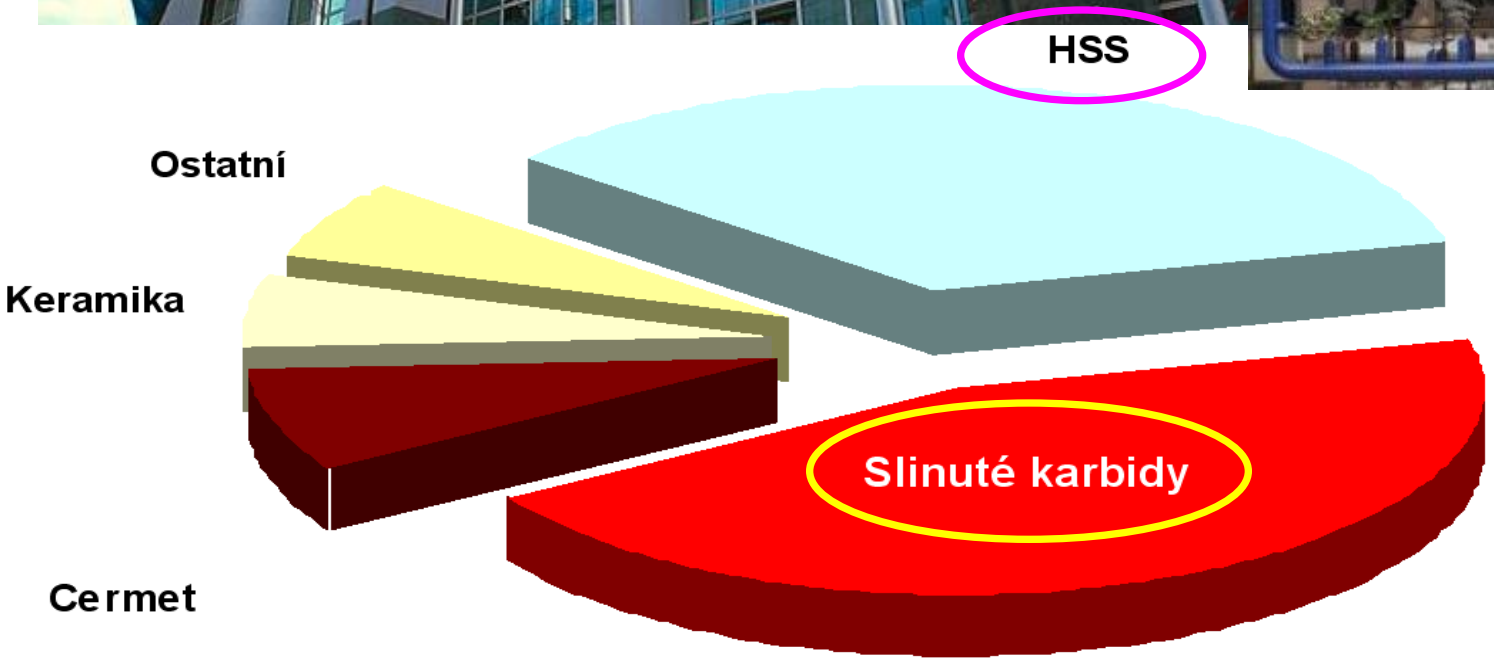


Cermety

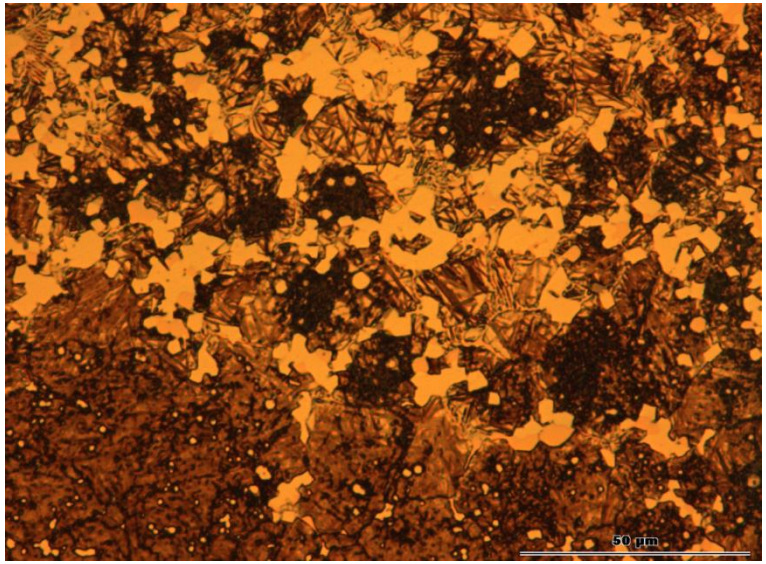
Cermet Ceratizit TCN 54

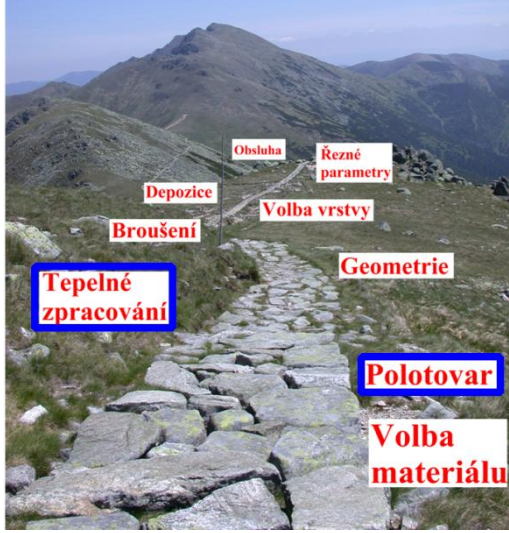
Trendy ve volbě polotovaru

Evropští uživatelé nástrojů jsou velmi konzervativní, Češi zdrženliví

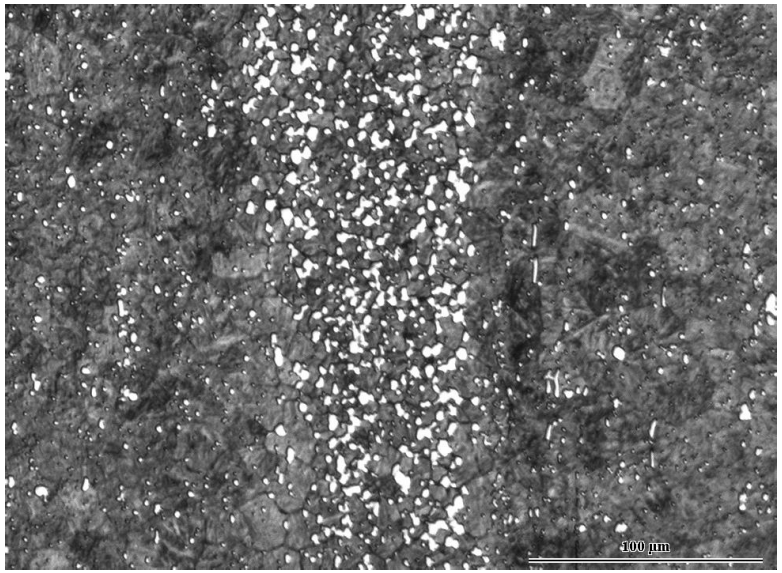


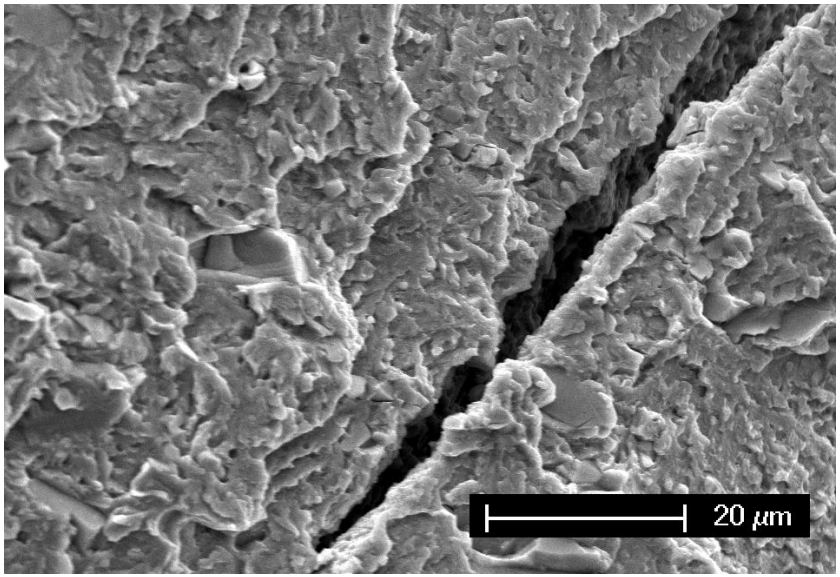
Kvalita polotovaru





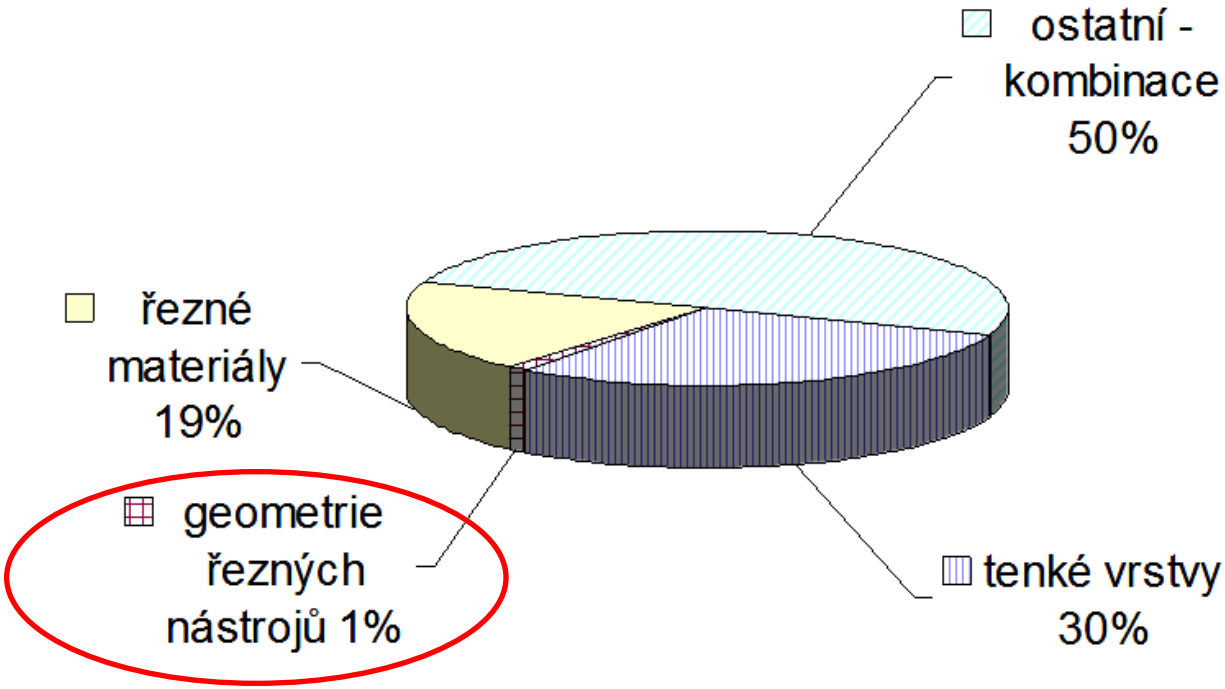
Problém při tepelném zpracování





Karbidické vycezeniny – kalící trhlina

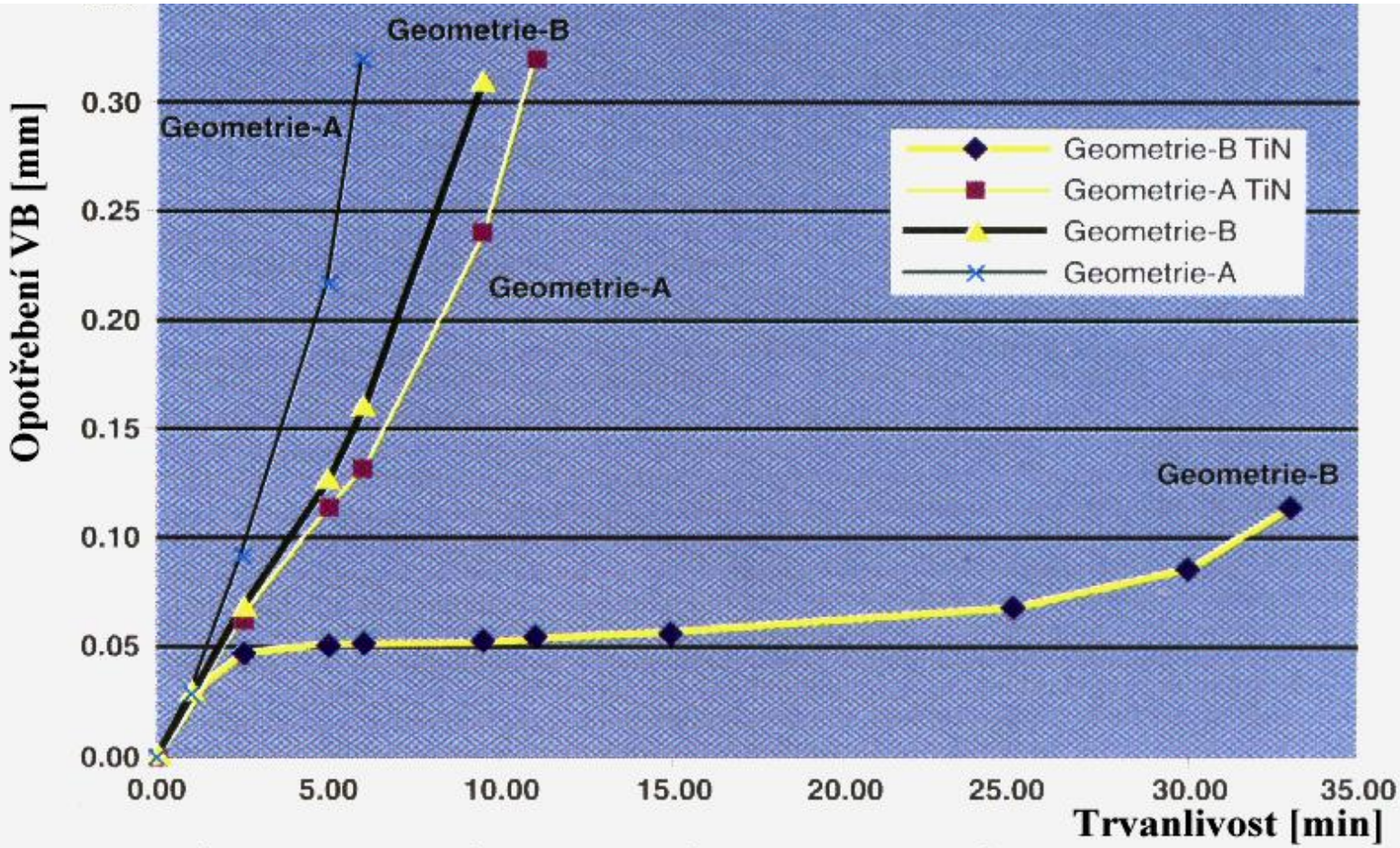
Geometrie nástroje – často opomíjený faktor



Rozdělení hlavních nároků patentových přihlášek v oboru řezných nástrojů v Německu. r. 2002

Zdroj: Evropský patentový úřad Mnichov

Změna geometrie nástroje způsobila výrazné zlepšení trvanlivosti



Vliv geometrie nástroje na trvanlivost v procesu obrábění

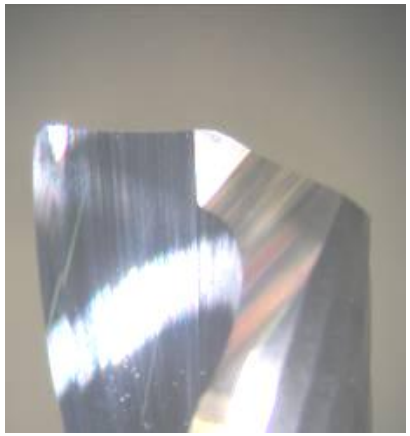
Geometrie-A: $\Omega = 6°$, $\mu = 5°$, Geometrie-B: $\Omega = 5°$, $\mu = 6°$; $v_c = 67$ m/min, $f = 0.25$ mm, $a_p = 2.5$ mm

Zdroj: Ceme Con, Kunden Magazin fur Beschichtungstechnologie Tools, Nr. 21, May 2004

Makrogeometrie břitu řezného nástroje

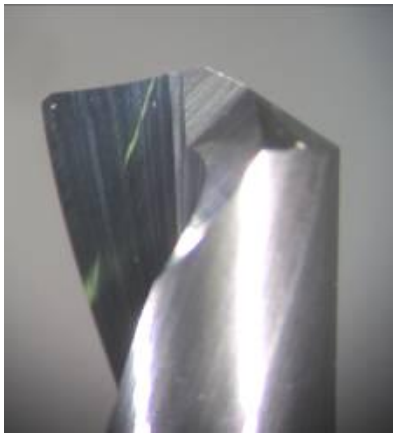
Varianty makrogeometrie břitu nástroje

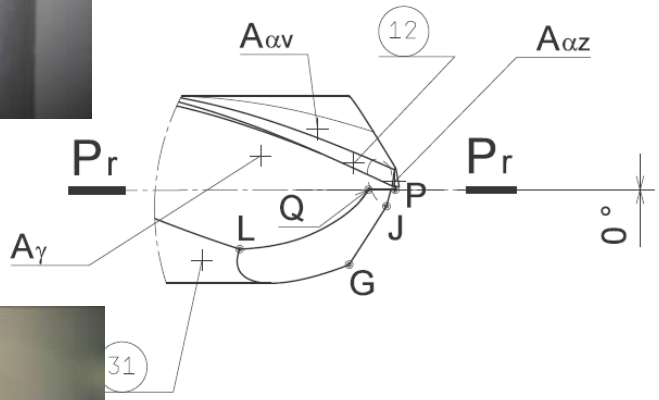
1



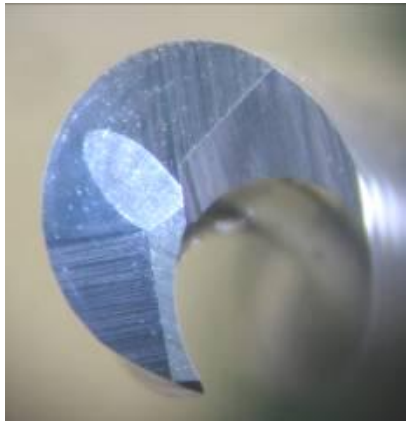
2

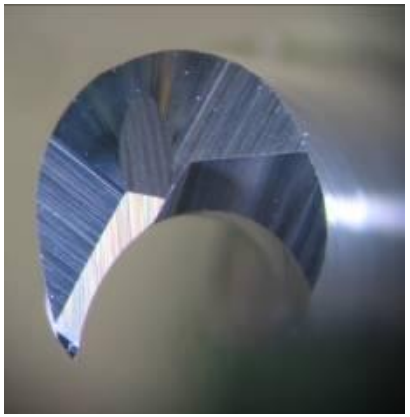
3

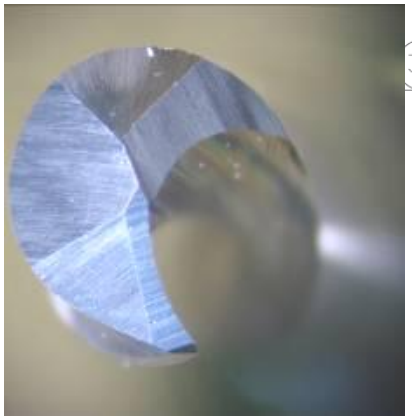




obr. 2

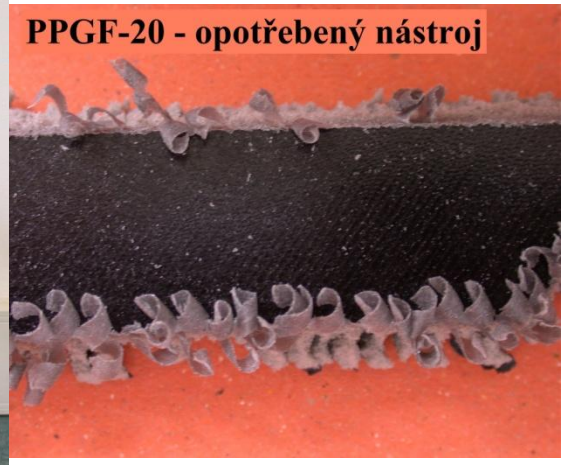




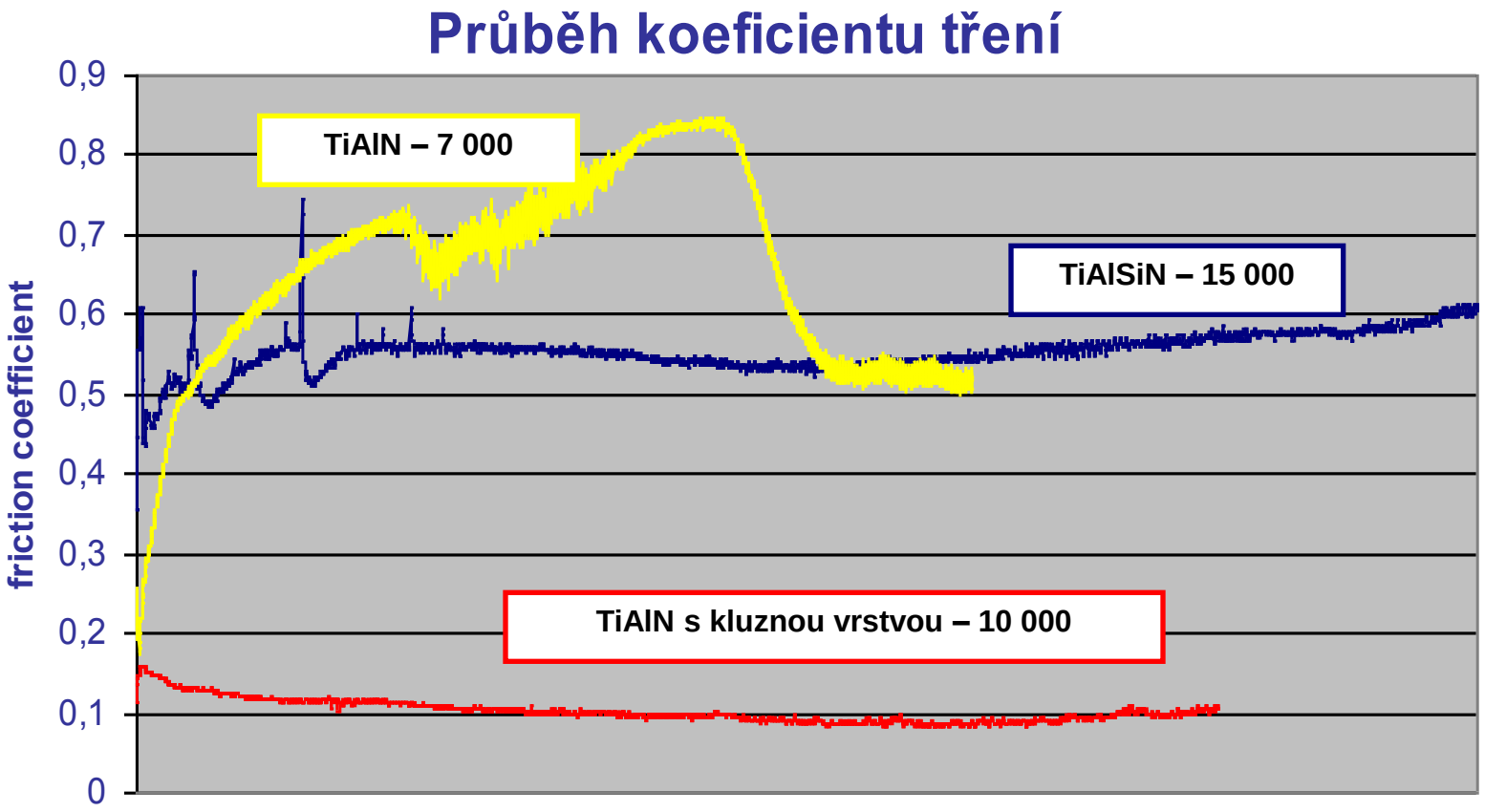


Porovnání variant geometrií

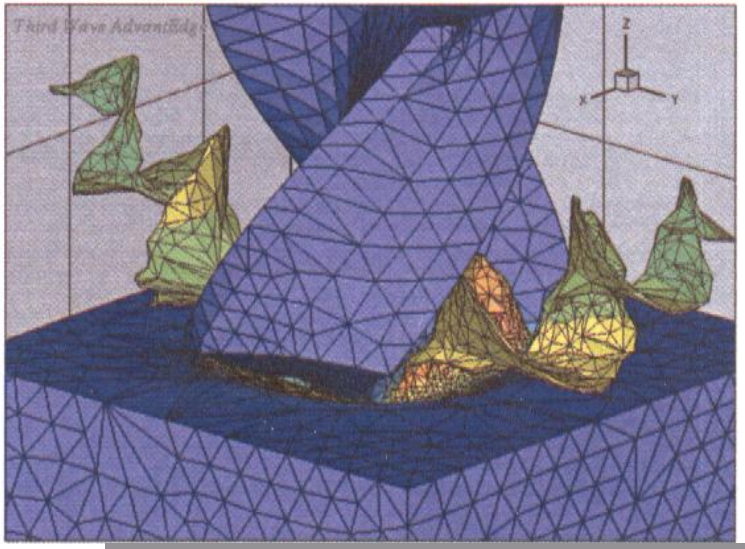
Nástroj číslo	Varianta I.	Varianta II.	Varianta III.
Opotřebení	1,77	1,69	1,92
Vzhled povrchu	2,15	2,46	1,54
Otřepy	1,46	1,08	2,38
Průměr	1,79	1,75	1,95
Pořadí	2	1	3

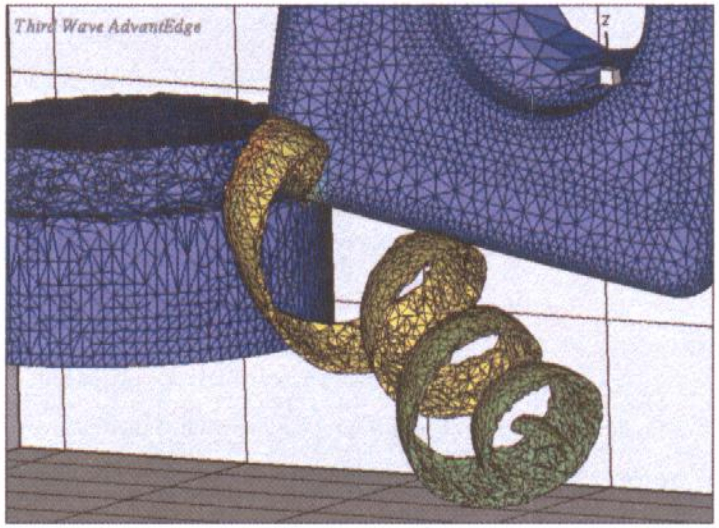


Geometrie nástroje by se měla měnit i podle nadeponované **vrstvy**



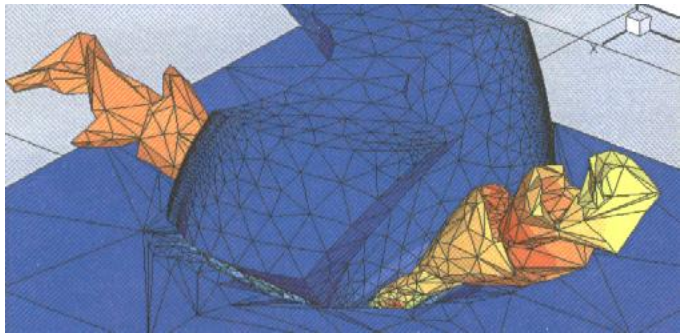
Při návrzích geometrie je třeba využívat všech dostupných možností a znalostí

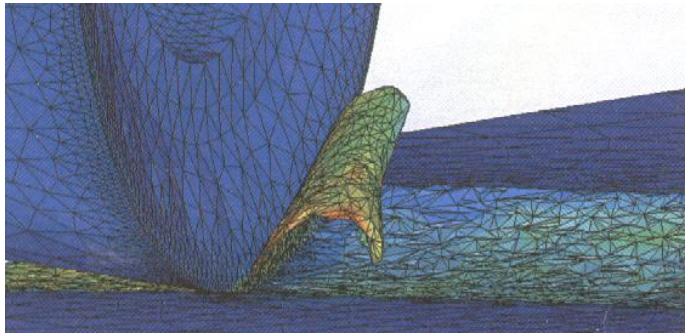




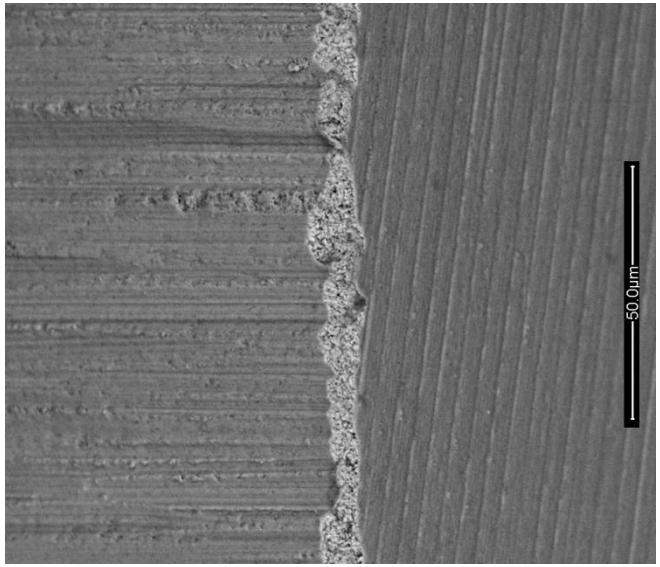
THIRD WAVE SYSTEMS
Modeling Technology for Machining Solutions

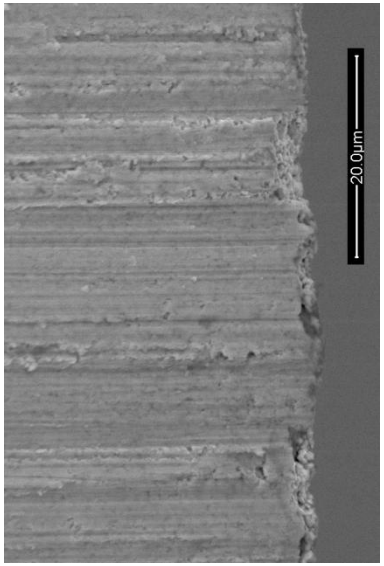
Mezi takové patří také počítačové modelování řezných procesů

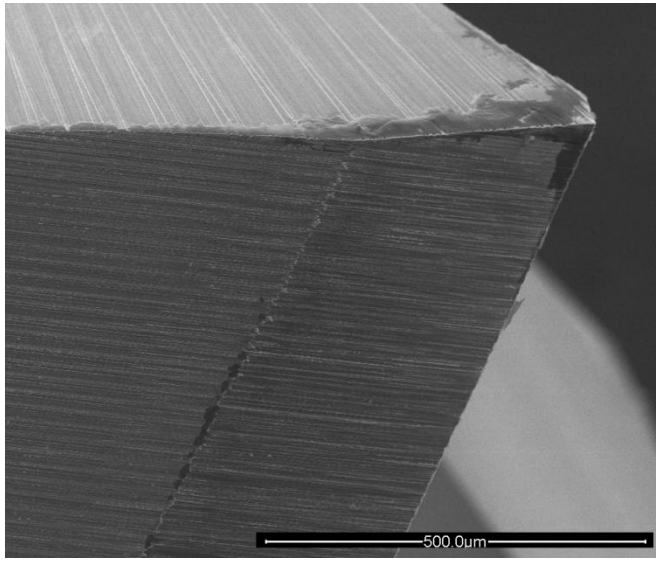




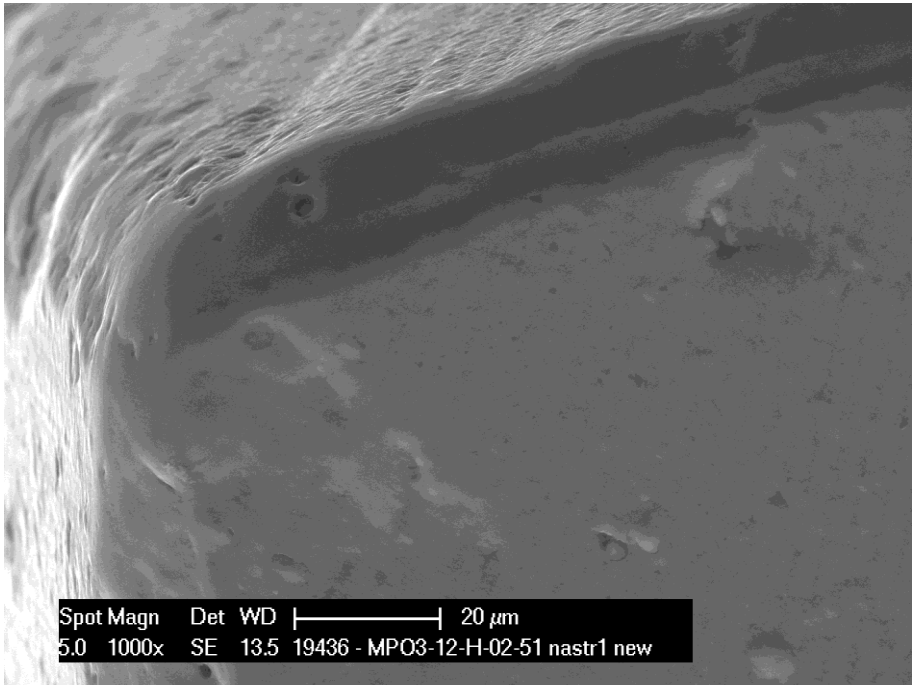
Vedle geometrie je třeba sledovat také stav břitu po broušení

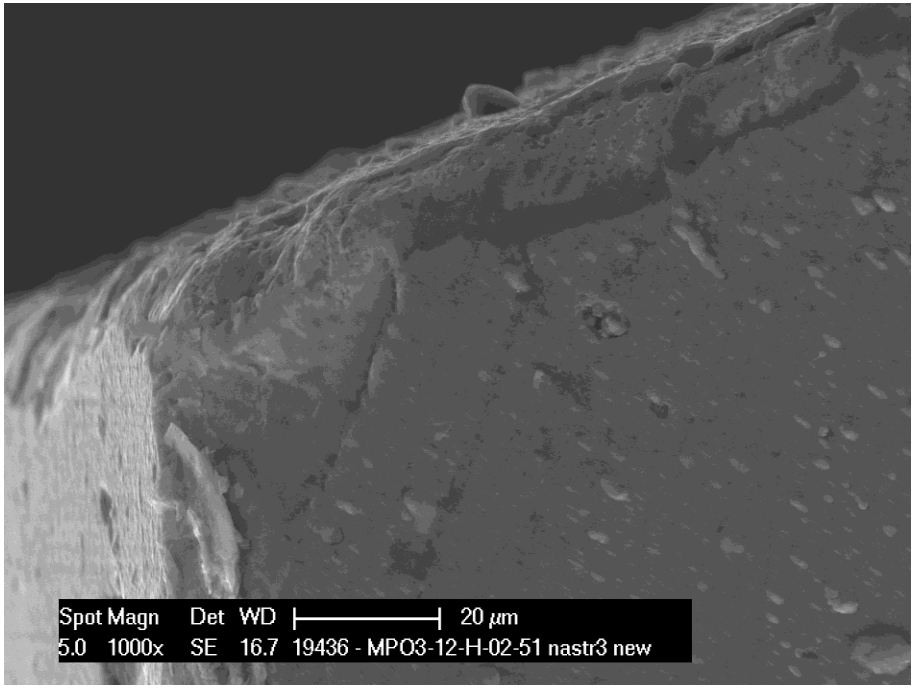




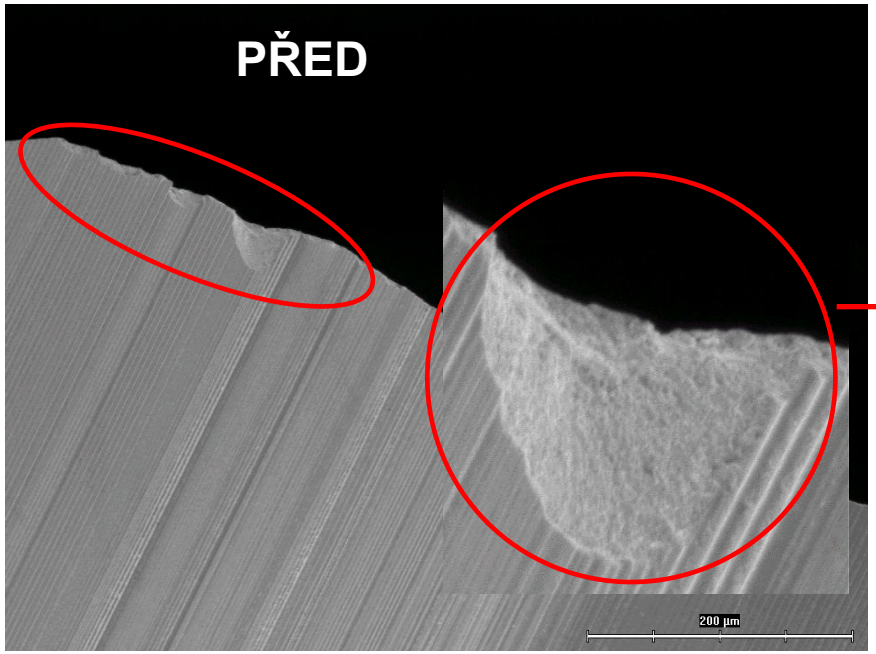


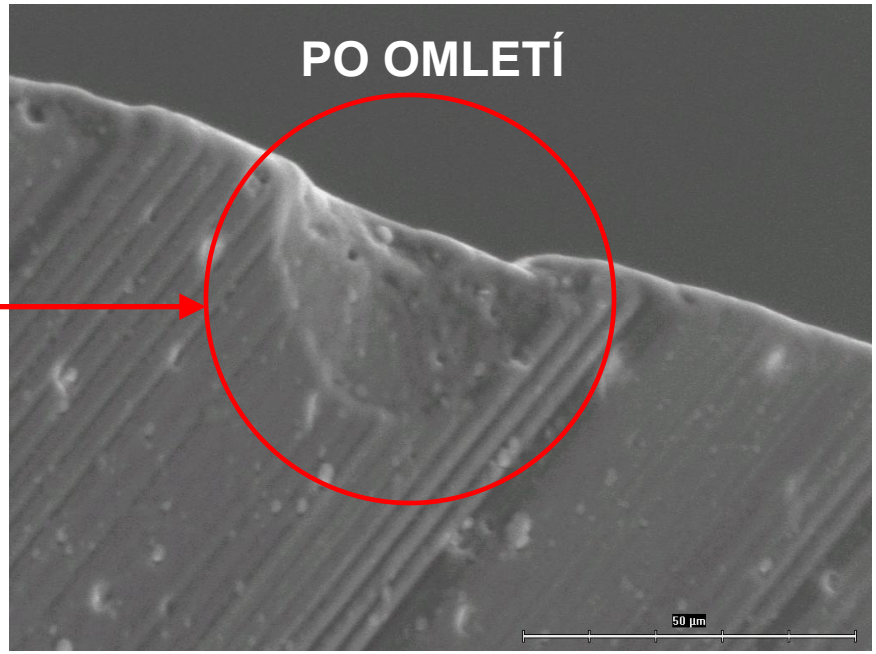
Mnohdy záleží na drobnostech, kterým nepřisuzujeme větší význam.
Dříve se nevěnovala žádná pozornost stavu břitu po stránce mikrogeometrie.



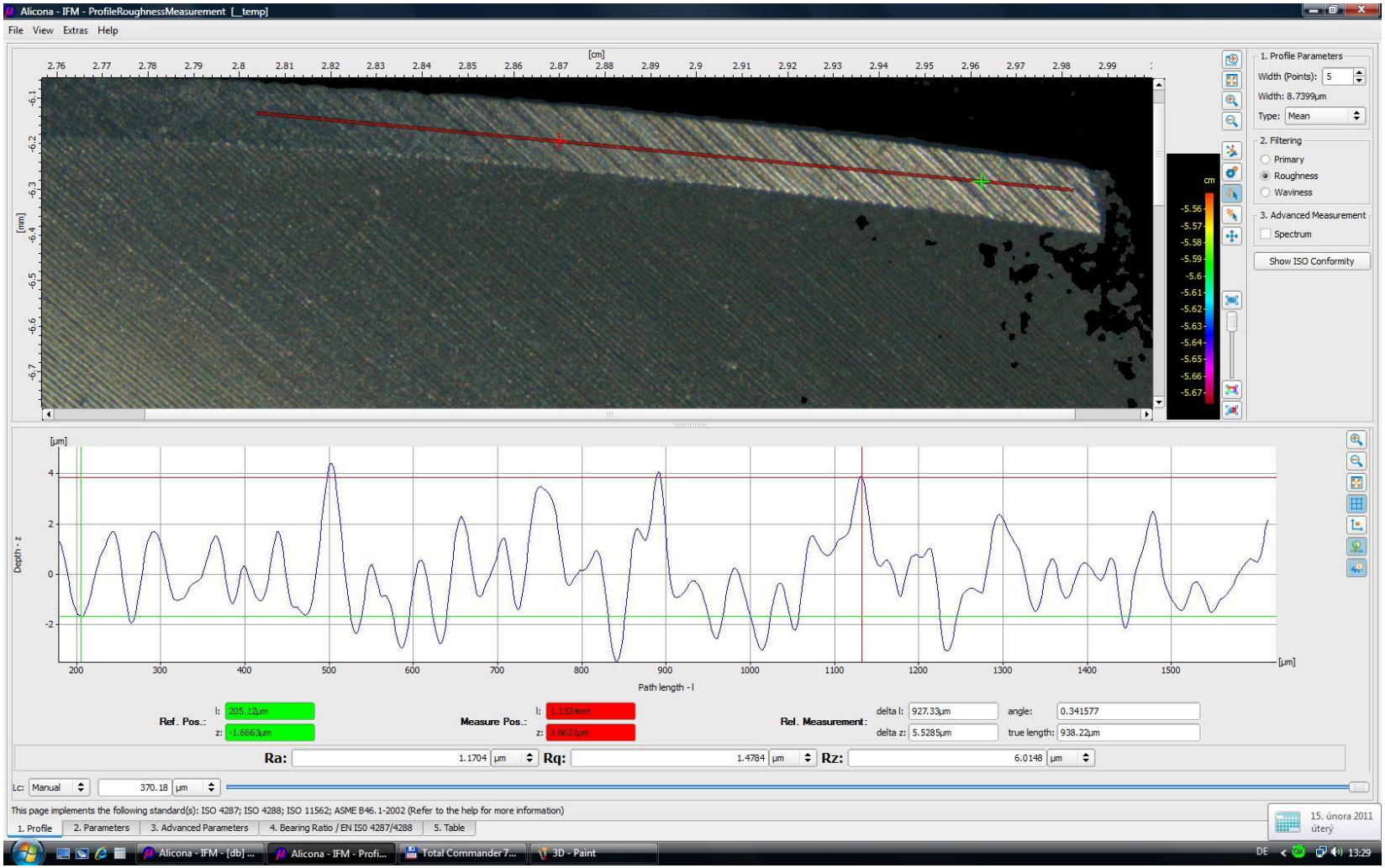


Předdepoziční úprava může něco vylepšit, ale velké defekty <u>neopraví</u>!



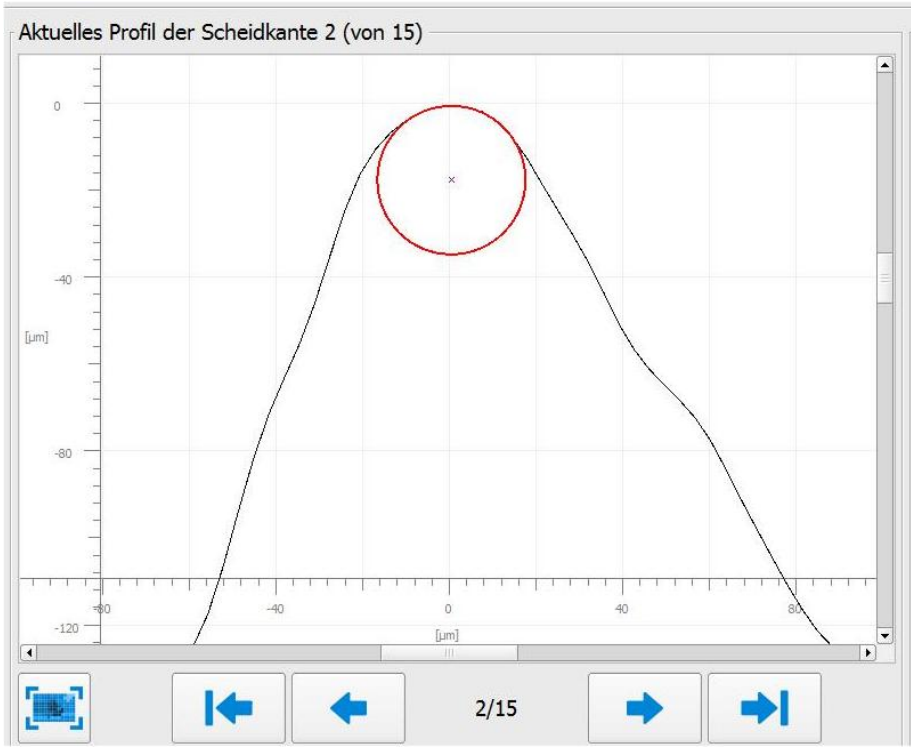


Pozornost se věnuje i drsnosti povrchu nástroje



Měření v rámci spolupráce s firmou HOFMEISTER s.r.o.
– analýzu prováděla Ing. Ivana Česáková - KTO

Skutečnému stavu břitu z hlediska mikrogeometrie



Profilmessungen

Werte

	sichtbar	r [nm]	β [°]	a [nm]	b [nm]	K	S [nm]	γ [°]	α [°]
1:	✓	21364	52.211	50127	41505	1.2077	27585	25.581	12.209
2:	✓	17107	52.874	28510	32564	0.87549	20472	24.838	12.288
3:		5817.9	50.388	26511	23439	1.1311	6471.5	25.626	13.986
4:		749.92	53.515	22658	21208	1.0683	849.9	23.272	13.214
5:		5543.5	53.754	26757	23873	1.1208	6271.3	22.96	13.286
6:	✓	32409	54.054	64494	73368	0.87905	40785	21.826	14.12
7:		5.5337	53.372	23501	21824	1.0769	5.5089	21.646	14.982
8:		0.0631	54.922	747.57	602.12	1.2416	0.0325	21.209	13.869
9:	✓	28301	55.186	45291	56462	0.80215	30737	21.045	13.768
10:	✓	21620	49.398	39264	51670	0.7599	30033	28.237	12.365
11:	✓	21620	49.398	39264	51670	0.7599	30033	28.237	12.365
12:	✓	21620	49.409	39264	51670	0.7599	30033	28.237	12.355
13:	✓	21620	50.506	39264	51670	0.7599	30033	27.14	12.355
14:	✓	21620	49.409	39264	51670	0.7599	30033	28.237	12.355
15:	✓	21620	49.551	39264	51670	0.7599	30033	28.237	12.212

Statistik

	r [nm]	β [°]	a [nm]	b [nm]	K	S [nm]	γ [°]	α [°]
Mittelwert:	22.89	51.199	42.401	51.392	0.83238	29.978	26.161	12.639
Std. Abw.:	4.2863	2.2104	9.4761	10.335	0.14038	4.8705	2.7798	0.69531
Minimum:	17.107	49.398	28.51	32.564	0.7599	20.472	21.045	12.209
Maximum:	32.409	55.186	64.494	73.368	1.2077	40.785	28.237	14.12
Median:	21.62	50.028	39.264	51.67	0.7599	30.033	27.688	12.355
Robust:	21.583	49.433	40.125	50.218	0.76593	29.683	28.054	12.313

Poloměr zaoblení hlavního ostří cca 20 µm

Měření v rámci spolupráce s firmou HOFMEISTER s.r.o. – analýzu prováděla Ing. Ivana Česáková - KTO

Volba vrstvy

Je podle čeho vybírat?

Není to cesta do neznáma?

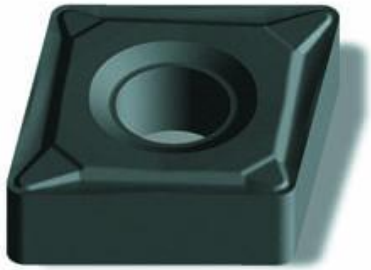
Tabulka vlastností a doporučených použití povlaků

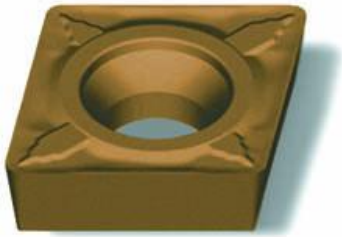
Vrstva	Struktura	Barva	Toušťka (µm)	Mikrotvrdost (0,05 HV)/1	Koeficient tření poroti oceli	Teplota při depozici	Max. teplota použití
TiN	monovrstva	zlatá	1-5 µm	2300	0,4	<500	600
TiN	monovrstva	zlatá	1-2 µm	2000	0,4	150/250	600
TiCN	gradientní	šedá	1-4 µm	3000	0,4	<500	400
TiAlN	multivrstva	fialová	1-4 µm	3000	0,4	<500	800
AlTiN	monovrstva	černá	1-4 µm	3300	0,4	<500	900
CrN	monovrstva	kovová	1-4 µm	1750	0,4	<500	700
CrC	monovrstva	kovově šedá	1-4 µm	2300	0,4	<500	600
PLC	gradientní	šedá	<1 µm	1200-2000	0,15-0,2	<500	300
AlCrN	monovrstva	šedočerná	<1-5 µm	3300	0,4	<500	1100

Materiál	Soustružení	Frézování	Vrtání	Vystružování	Závitování	Stříhání	Tváření
Ocel<1000N/mm2	AlTiN, TiAlN	AlTiN, TiAlN	AlTiN, TiAlN	AlTiN	TiN	TiCN, TiN	TiN, TiCN
Ocel>1000N/mm2		AlCrN *					
Ocel 45-65 HRC	AlTiN	AlTiN, AlCrN*	AlTiN, TiAlN	AlTiN	TiCN	TiCN	TiCN
Nerezová ocel	AlTiN (+PLC)	AlTiN (+PLC)	AlTiN	AlTiN (+PLC)	TiCN, AlTiN+PLC	AlTiN+PLC	AlTiN+PLC
Litina GG, GGG	AlTiN	AlTiN	AlTiN	AlTiN	AlTiN, TiCN	AlTiN (+PLC)	
Al, Al slitiny	AlTiN+PLC, CrN	AlTiN+PLC, CrN	AlTiN+PLC	AlTiN+PLC	TiN, TiCN, PLC	AlTiN (PLC), CrN	AlTiN+PLC, CrN
Ti, Ti slitiny	AlTiN	AlTiN, TiCN	AlTiN	AlTiN			
Cu, Cu slitiny	CrN, CrC	CrN, CrC	CrN, CrC	CrN, CrC	CrN, CrC	CrN, CrC	CrN, CrC **

* HSC - frézování bez intentivního chlazení
** CrC - za tepla

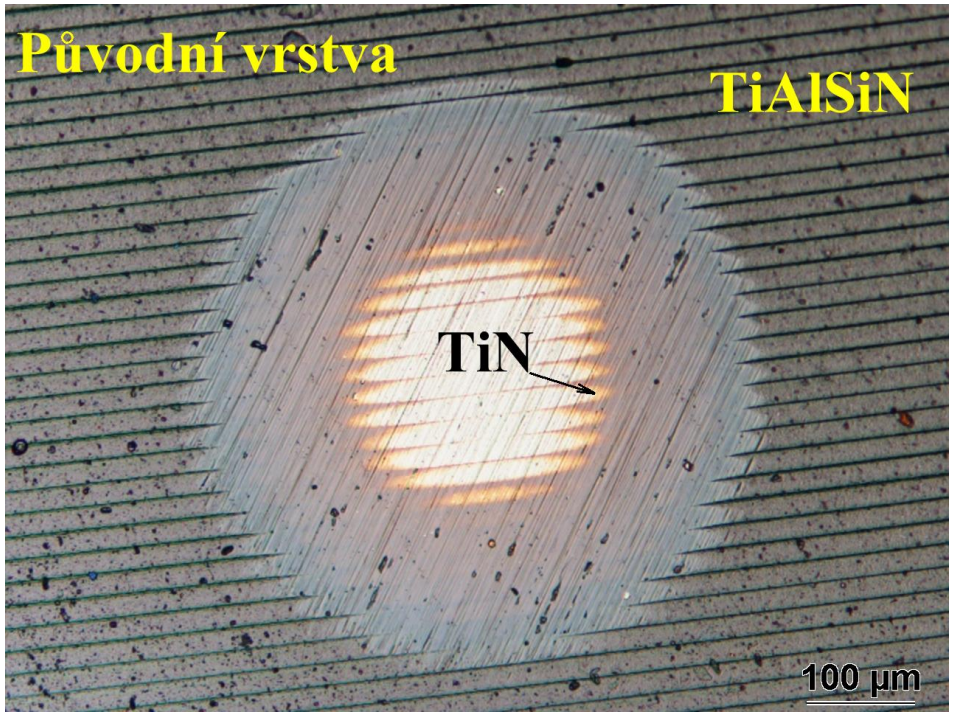
U některých zákazníků je důležitá barva nástroje

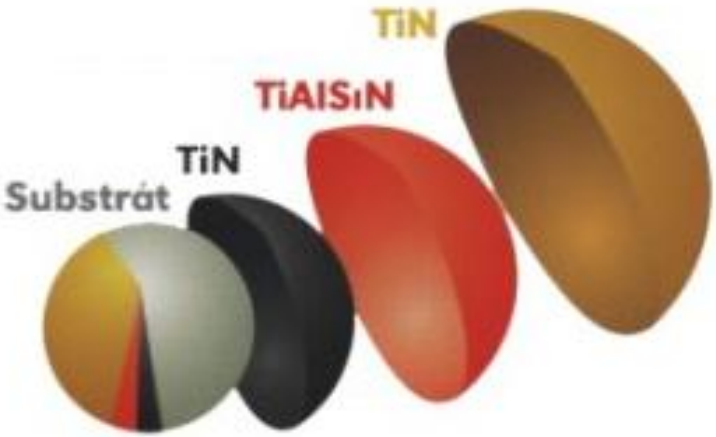




Zákazník byl nespokojen s kvalitou vrstvy kvůli její barvě a nedával ji v provozu žádnou šanci.

Byla nadeponována povrchová vrstva TiN a vše bylo „v pořádku“

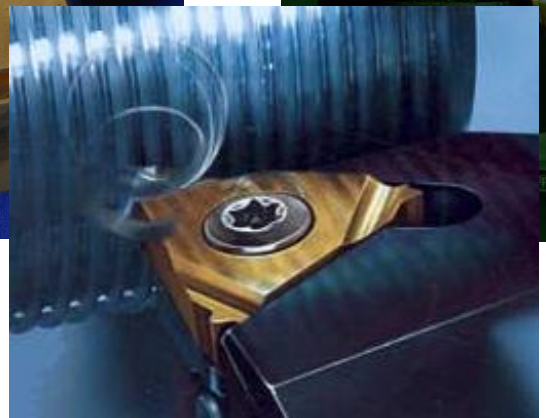




Zdroj: Koncepce vrstvy MARWIN SI – SHM Šumperk

Až když barva nástroje vyhovuje, pak se teprve testuje

Na zlaté zbarvení reagují naše smysly příznivěji než na ostatní barvy



Začátek průmyslové aplikace tenkých vrstev v oblasti řezných nástrojů

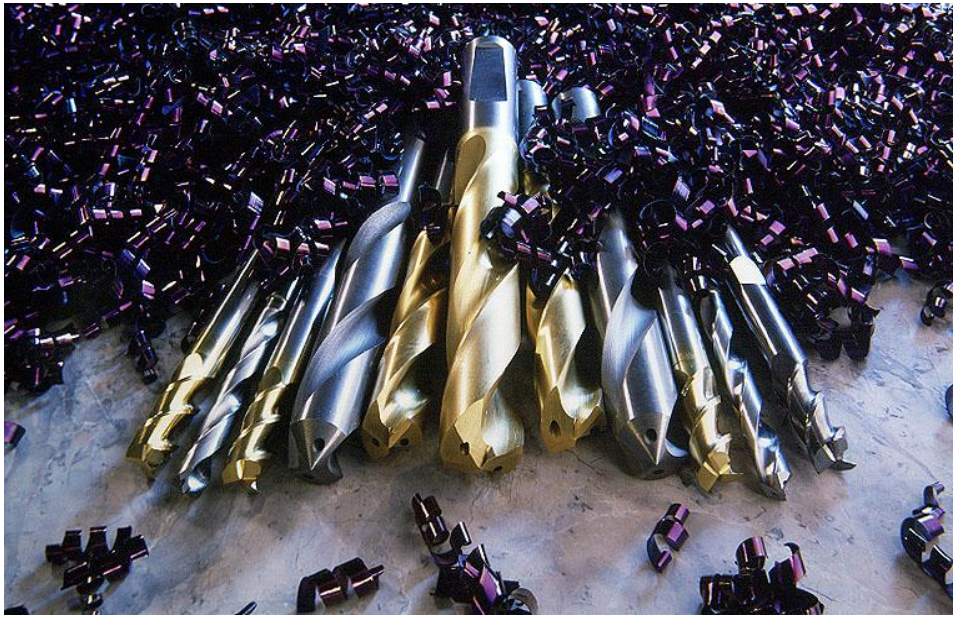
1968 – CVD depozice vrstvy TiC na řezné destičce ze slinutého karbidu

1968 - Firma Ceratizit
začátek průmyslové aplikace tenkých vrstev

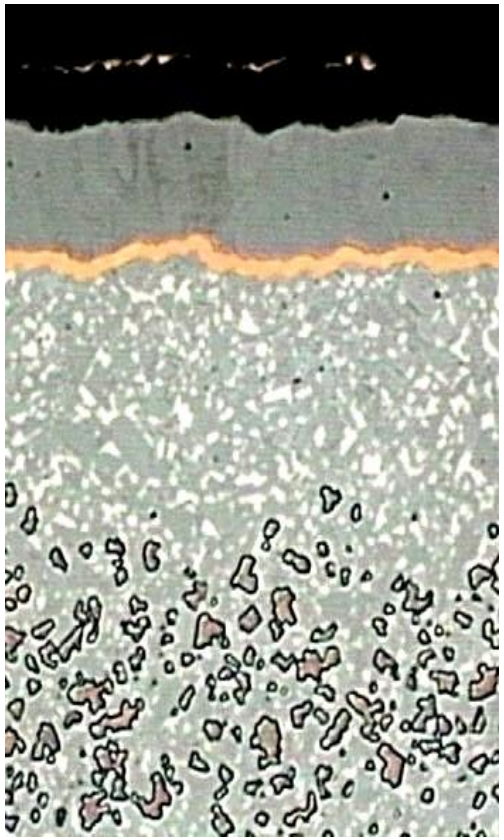
21.8.1968 – konec svobody v ČSSR

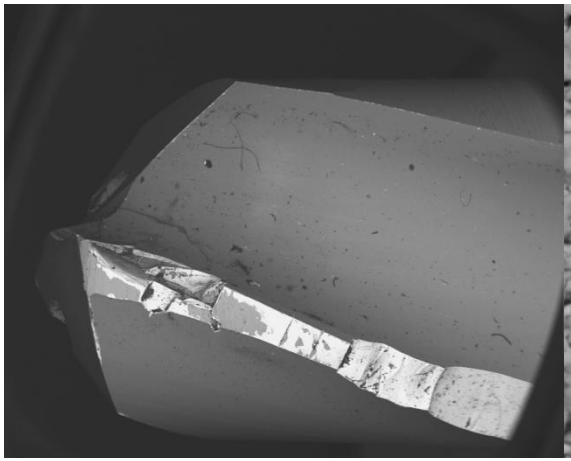
Co všechno může depoziční proces změnit?

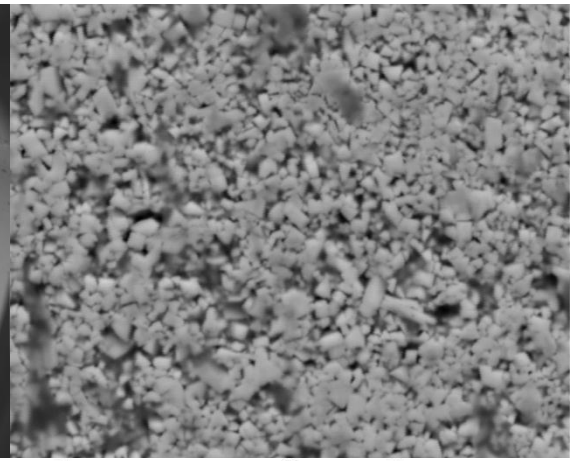
Negativně
Pozitivně

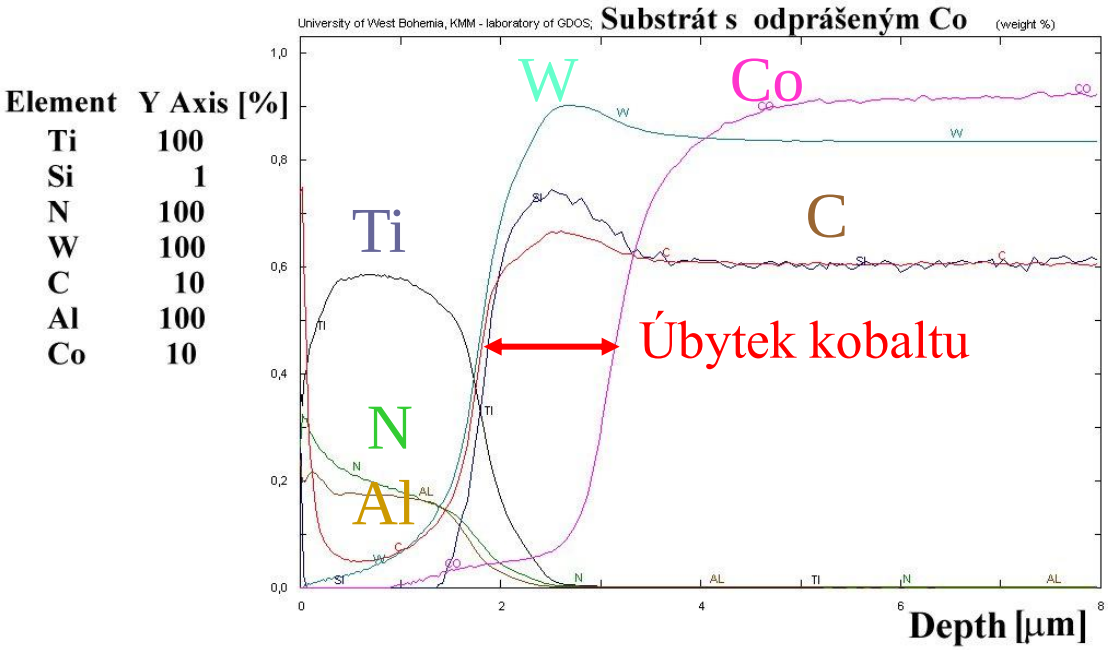


Depozicí vrstvy nesmí dojít k degradaci vlastností substrátu









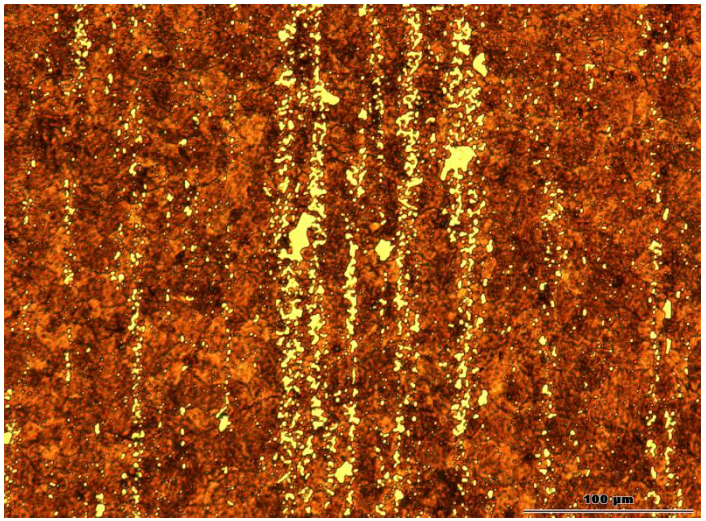
Změna obsahu uhlíku na povrchu substrátu následkem nevhodných parametrů CVD depozice (častý proces u TiCN)

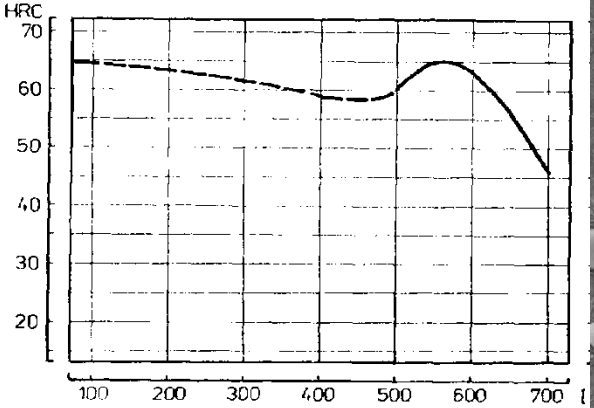
Změna obsahu kobaltu na povrchu substrátu následkem nevhodných parametrů PVD depozice - iontového čištění

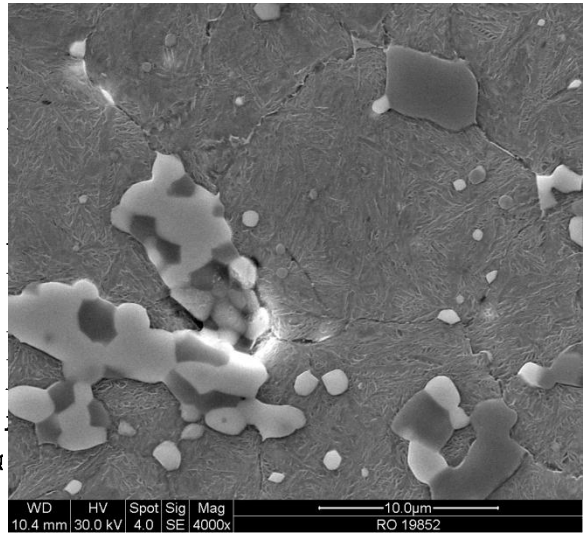
Substrát – základní materiál

Vlastnosti materiálu

Rychlořezná ocel



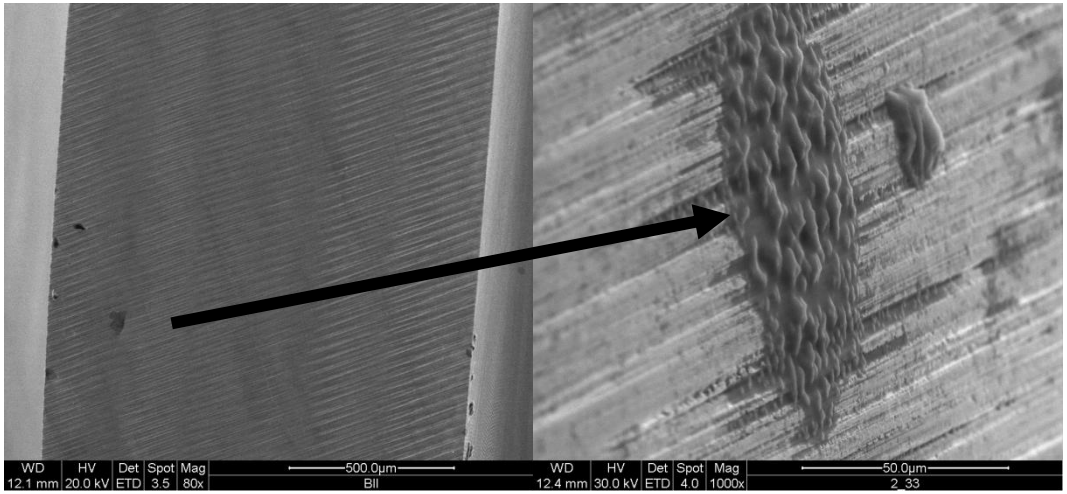




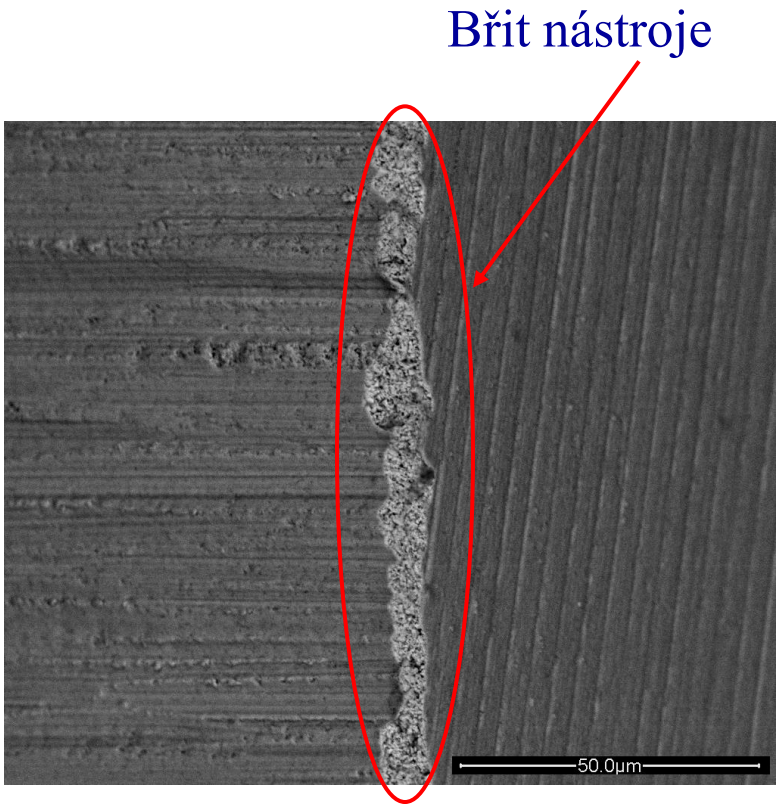
Kvalitní materiál je nutnou podmínkou pro kvalitní nástroj deponovaná vrstva nemůže zachránit **materiálové prohřešky!**

Depozicí vrstvy nesmí dojít k popuštění materiálu

Vedle geometrie je důležité i správné ostří a stav povrchu



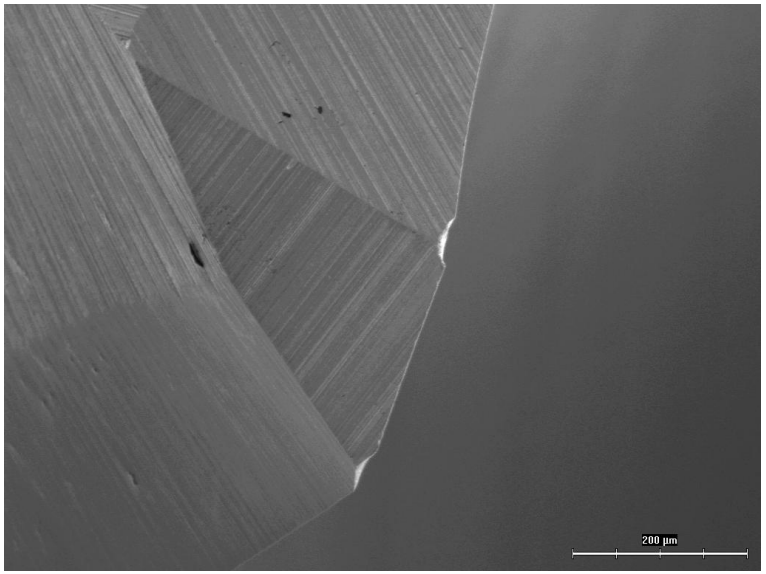
Pevně uchycené nečistoty na povrchu mohou způsobit problémy s adhezí tenké vrstvy.

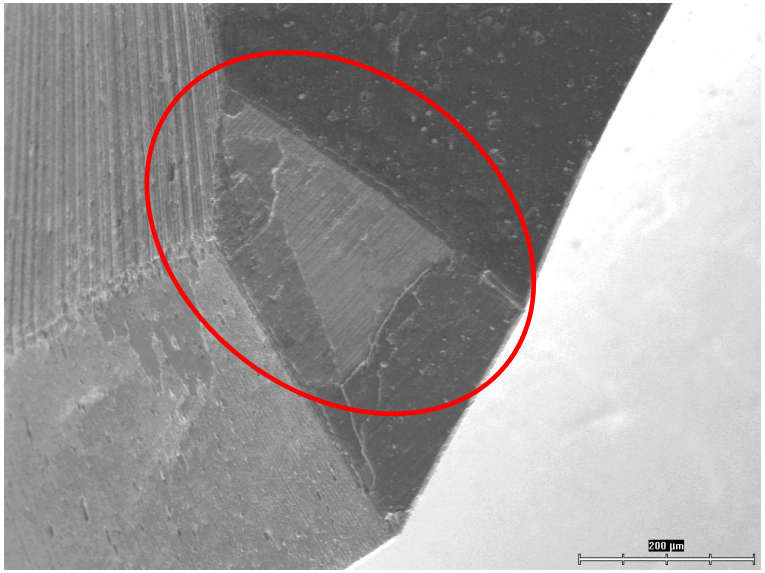


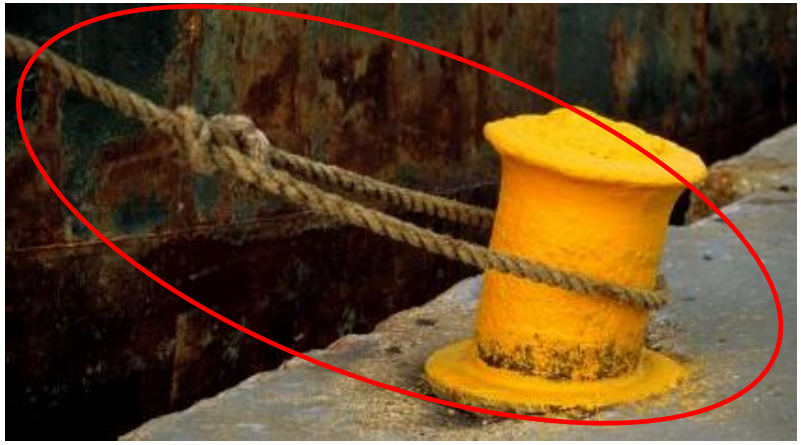
Problémy s adhezí mohou nastat také v případě nevhodného stavu řezné hrany.

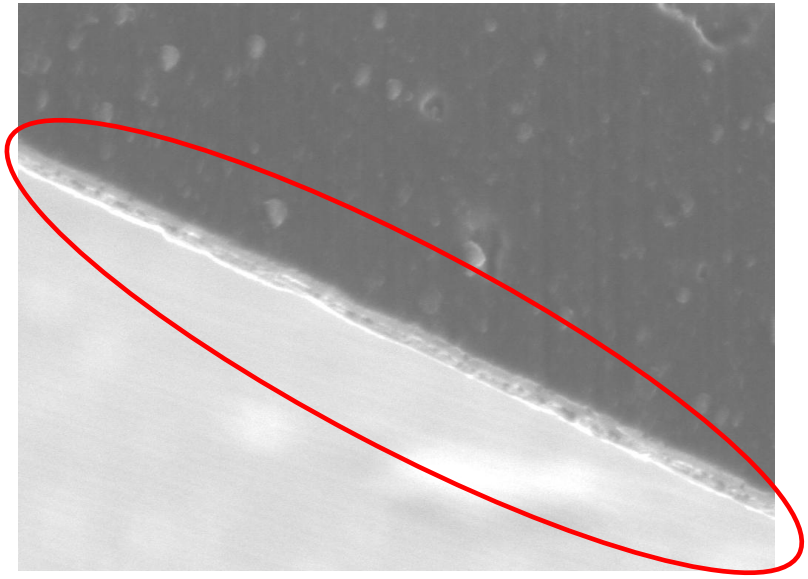
Vrstva musí být k substrátu pro dosažení dobrých vlastností dobře zakotvena.

Nejen defekty před depozicí – chyba u výrobce nástrojů, ale také nesouvislá vrstva na plochách a břitu mají za následek degradaci požadovaných vlastností.

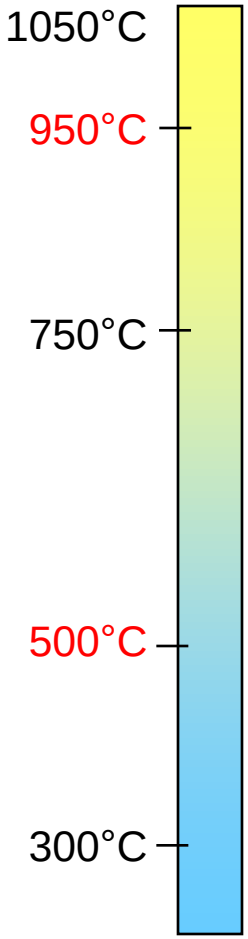








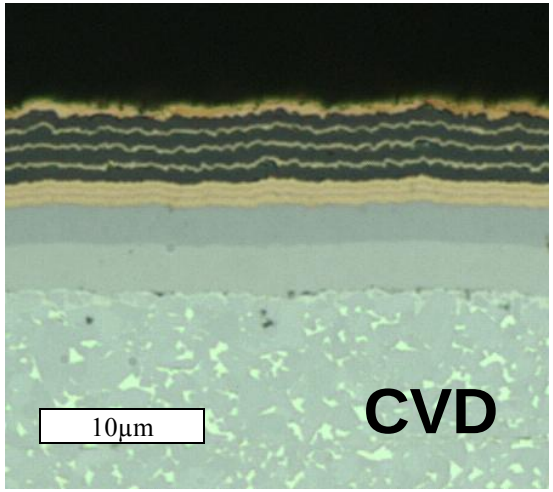
Základní depoziční procesy

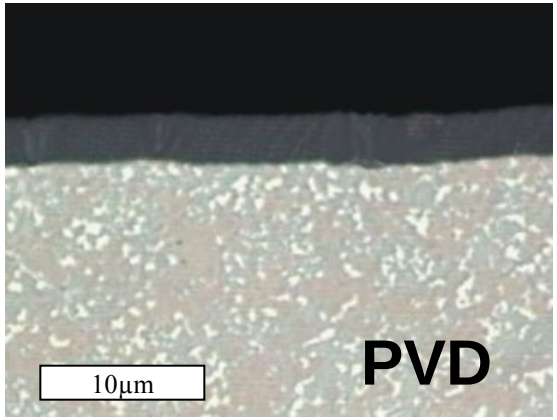


Chemical Vapor Deposition
CVD

Plasma Assisted
Chemical Vapor Deposition
PACVD

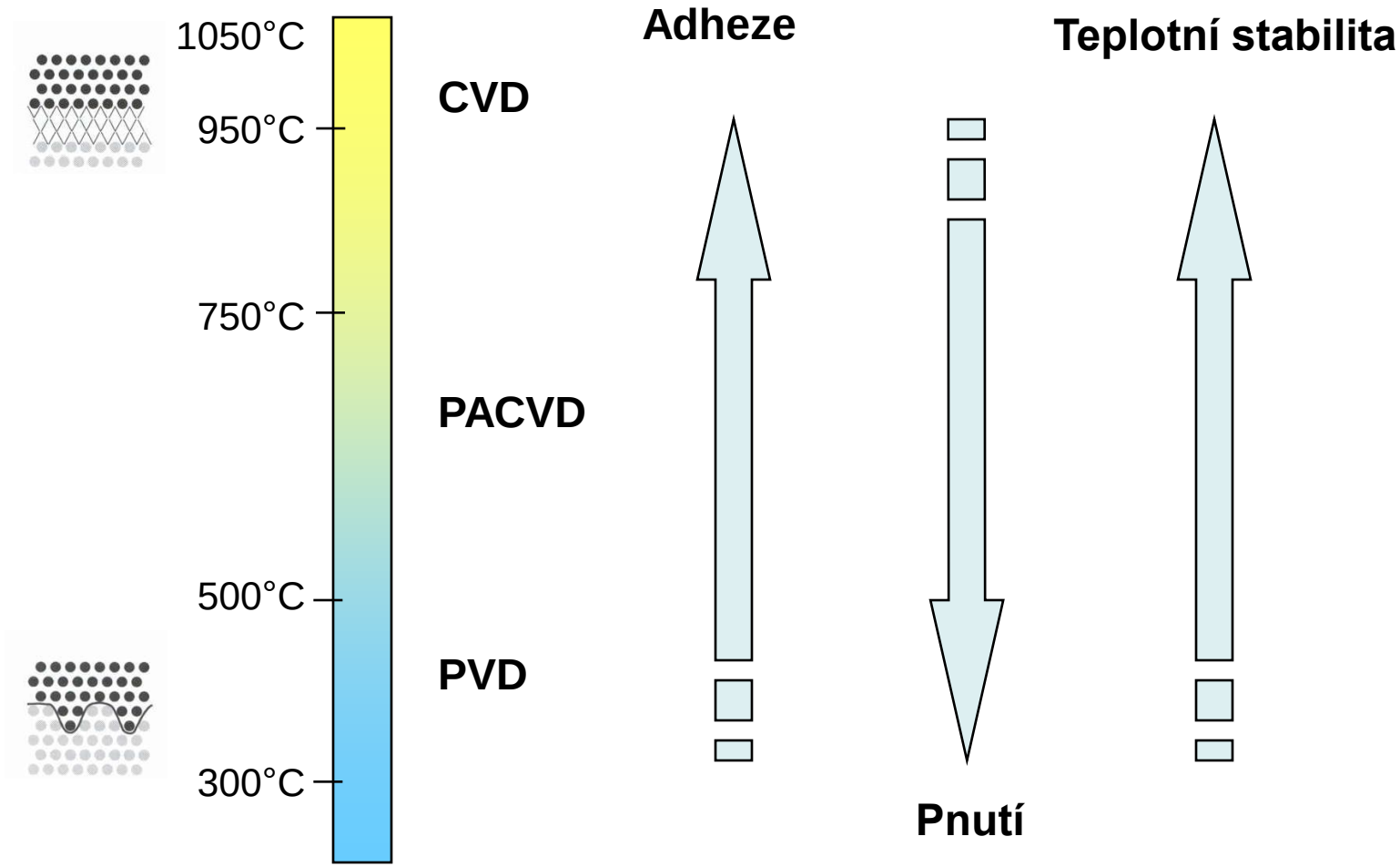
Physical Vapor Deposition
PVD





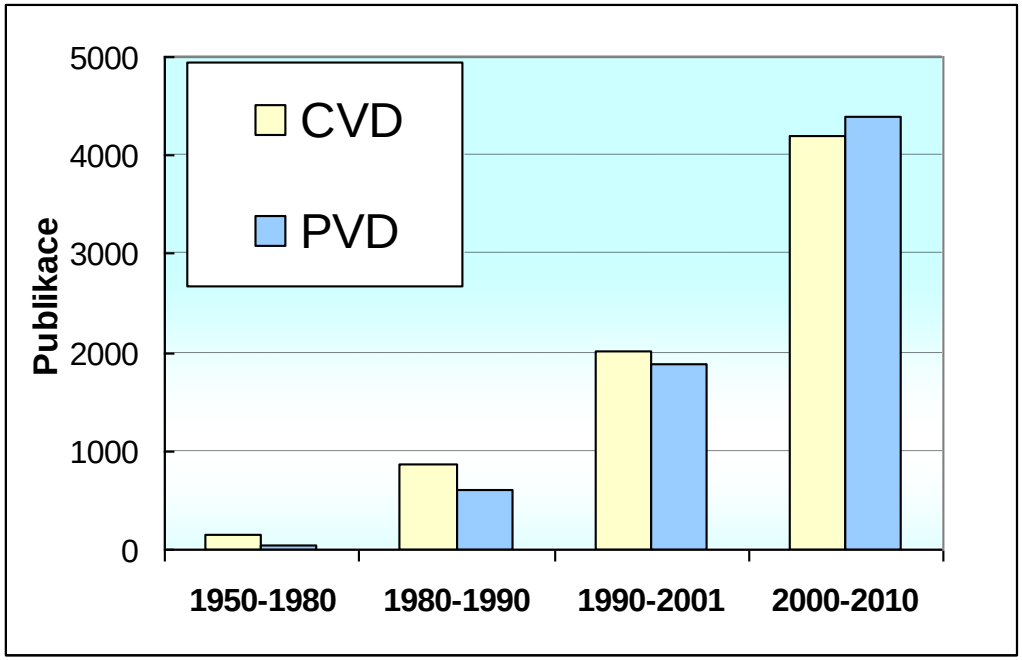
Depoziční procesy

Vlastnosti vrstvy



http://www.oerlikon.com/balzers/en/know-how/coating-technology

Odborná literatura věnuje oběma technologiím stejnou pozornost

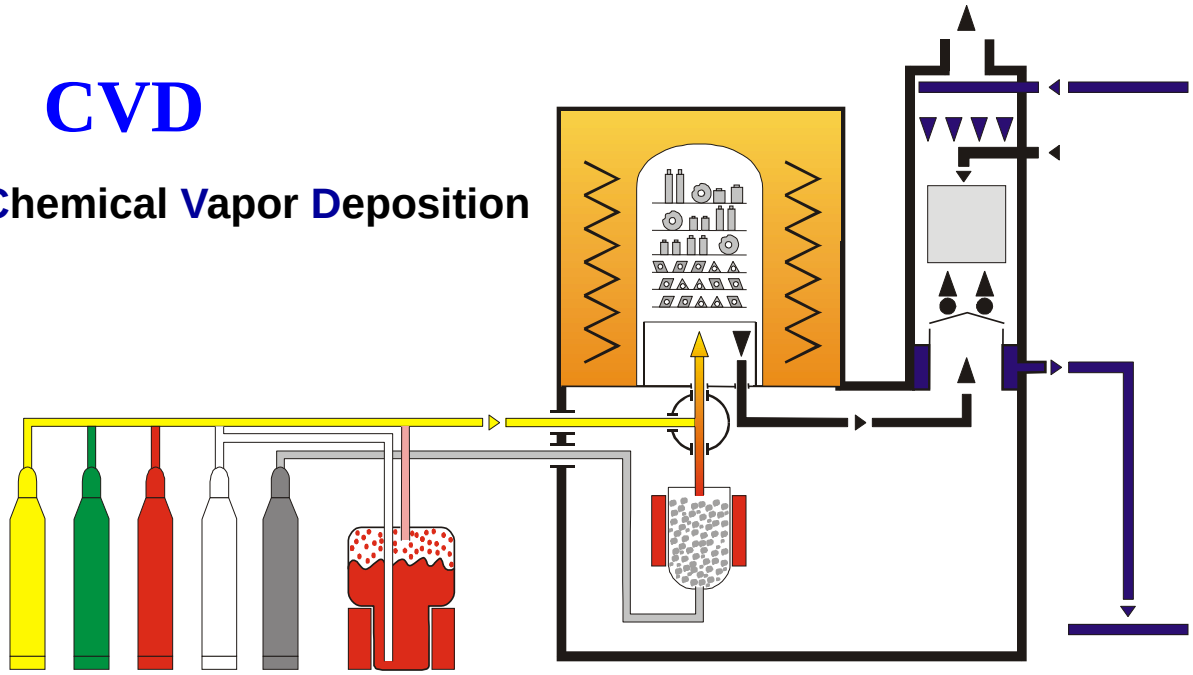


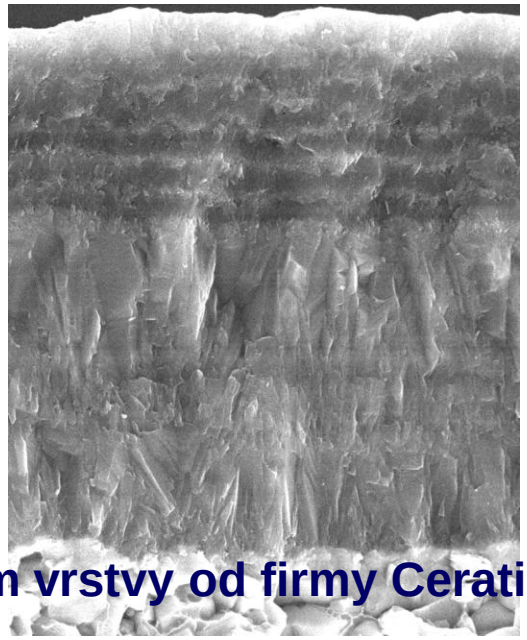
Časový průběh výzkumných prací zabývající se CVD/PVD technologií
Klíčová slova: CVD / PVD, coatings, wear, tool, tribology

Zdroj: COMPENDEX, METADEX, CHEM. ABSTRACTS

CVD

Chemical Vapor Deposition



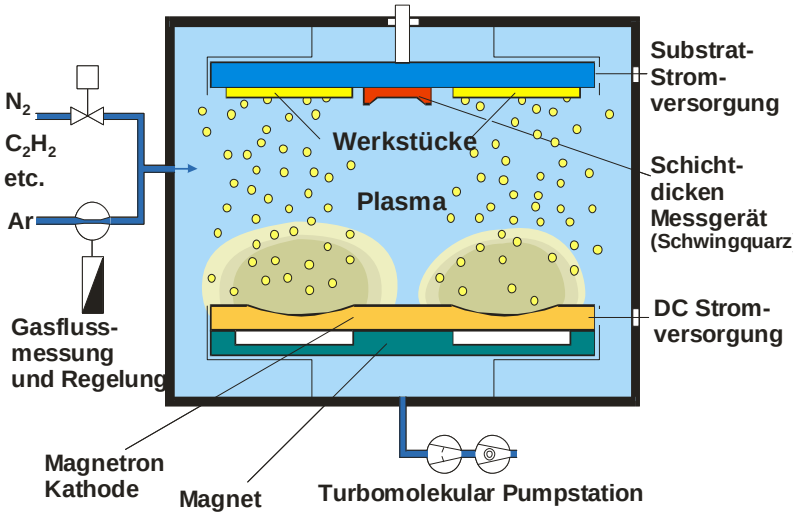


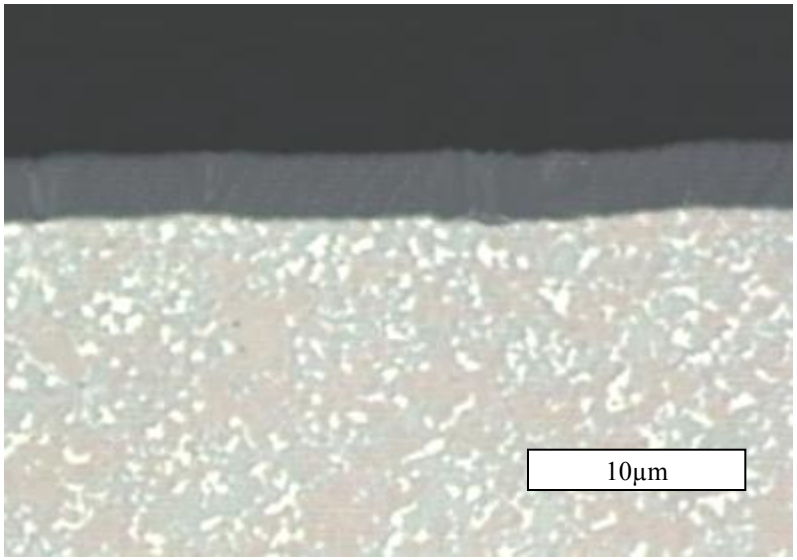
Lom vrstvy od firmy Ceratizit

Depoziční zařízení ve firmě Ceratizit

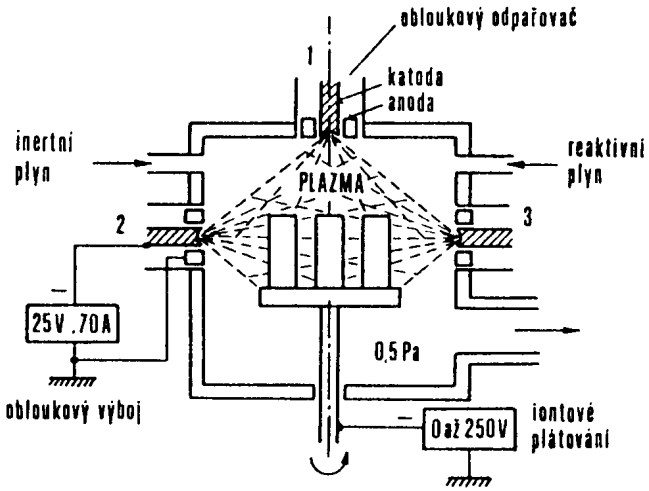
PVD depozice

Magnetronové naprašování

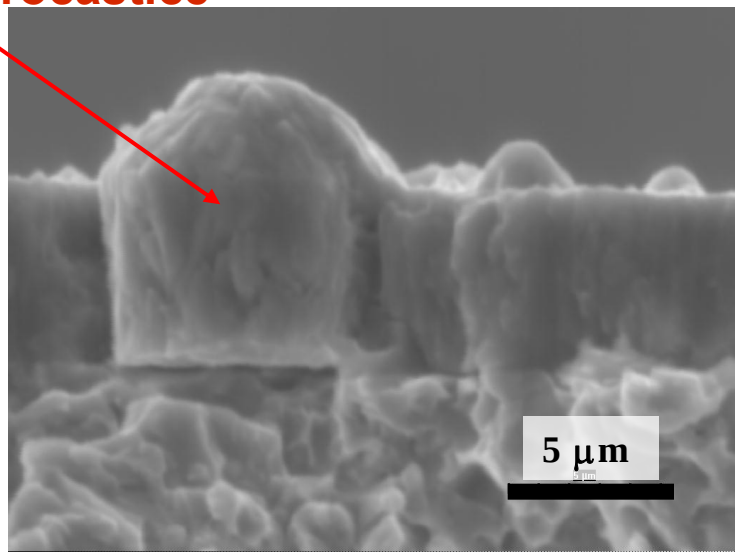




Obloukové odpařování katody



Makročástice



Vývoj progresivních depozičních zařízení

Původní zařízení firmy SHM pracovalo pouze s centrální dutou katodou

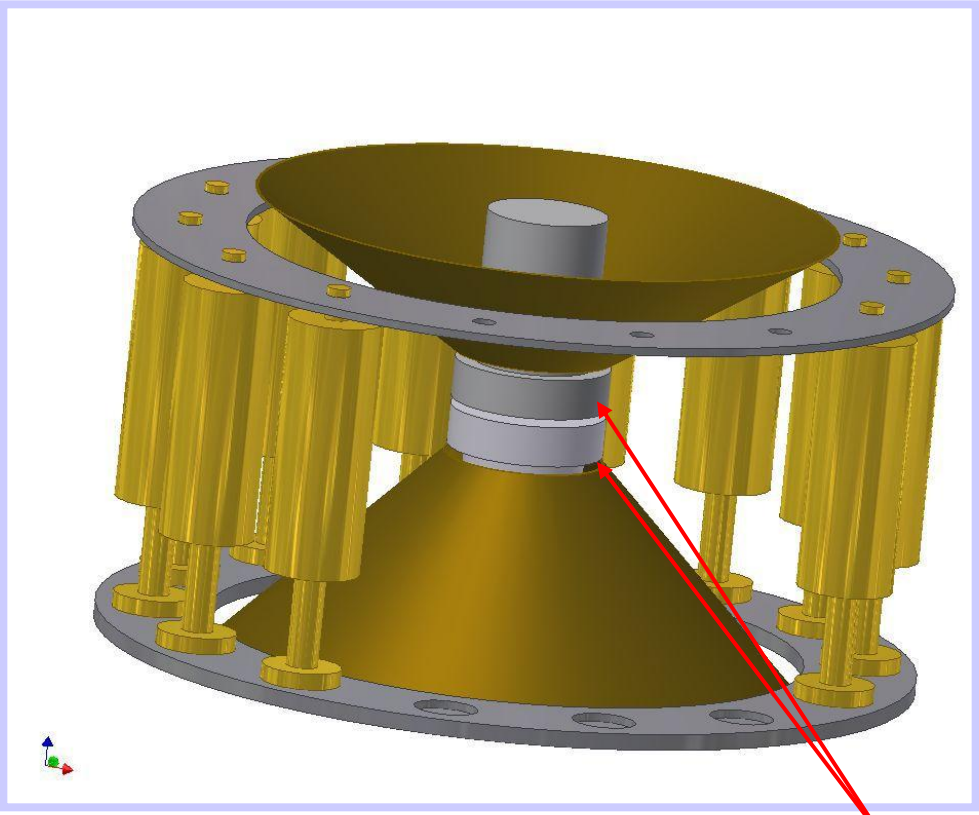
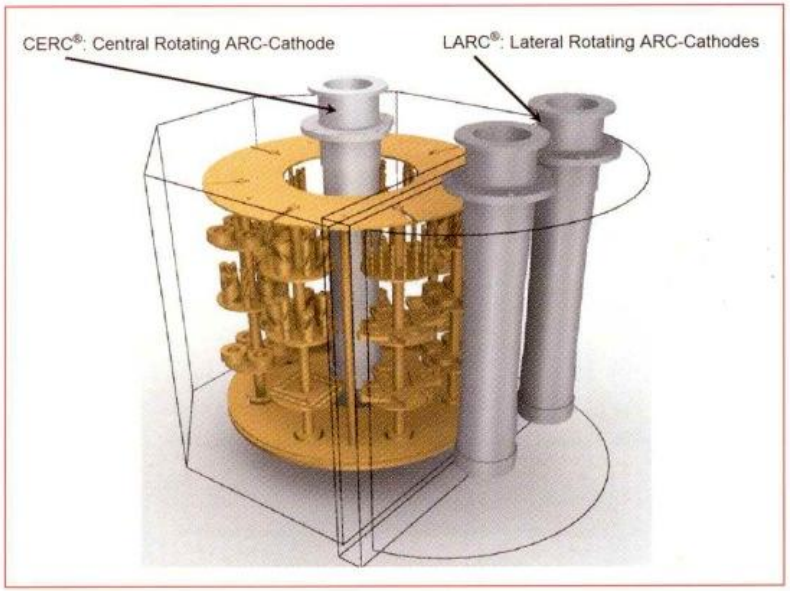


Schéma depozičního zařízení s dutými katodami

Vývoj progresivních depozičních PVD procesů u firmy PIVOT– obloukové odpařování katody

PLATIT - π^{80} – první společné depoziční centrum

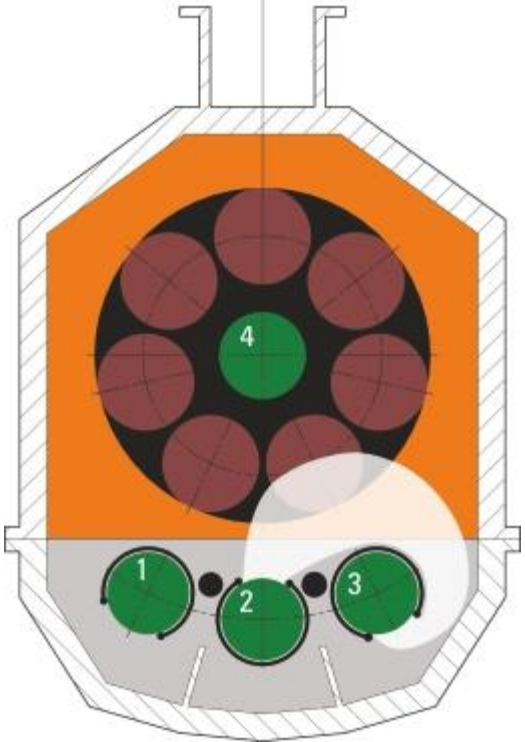


LARC®: LAteral Rotating ARC-Cathodes

CERC®: CEntral Rotating ARC-Cathodes

PLATIT π411
nové depoziční přístroj – rok 2012

3x LARC®: LAteral Rotating Cathodes
1x CERC®: CEntral Rotating Cathode

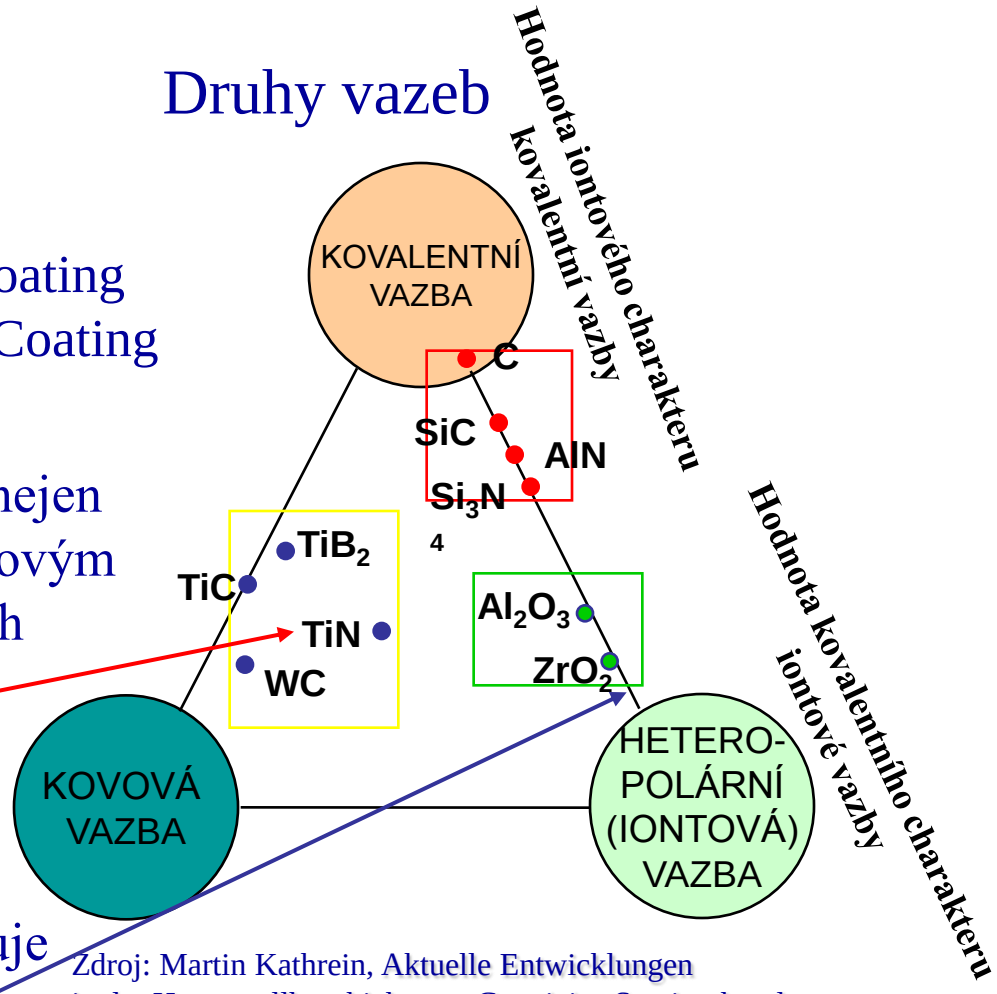


LARC GD generates a highly efficient argon etching for special subtrates with difficult surfaces (e.g. hobs, mold and dies)
The electron stream between the cathodes 1 (or 3) and 2 creates high ion density plasma, which "cleans" even surfaces of complicated subtrates

Typy vrstev:

Monovrstva
Monovrstva s „adhezní“ vrstvičkou
Gradientní vrstva
Sendvičově řešená vrstva
Nanostrukturovaná vrstva
Nanokompozitní vrstva
Kombinace více druhů vrstev – Triple Coating
– Quattro Coating

Tenké vrstvy velmi často neodpovídají nejen vlastnostmi, ale i svými vazbami objemovým materiálům. Následkem nerovnovážných depozičních procesů vznikají tyto metastabilní fáze.
Příkladem je **TiN**, která má dle řady autorů, i jistý stupeň **kovové vazby**, přičemž **objemový materiál** se vyznačuje vysokým stupněm **iontové vazby**.

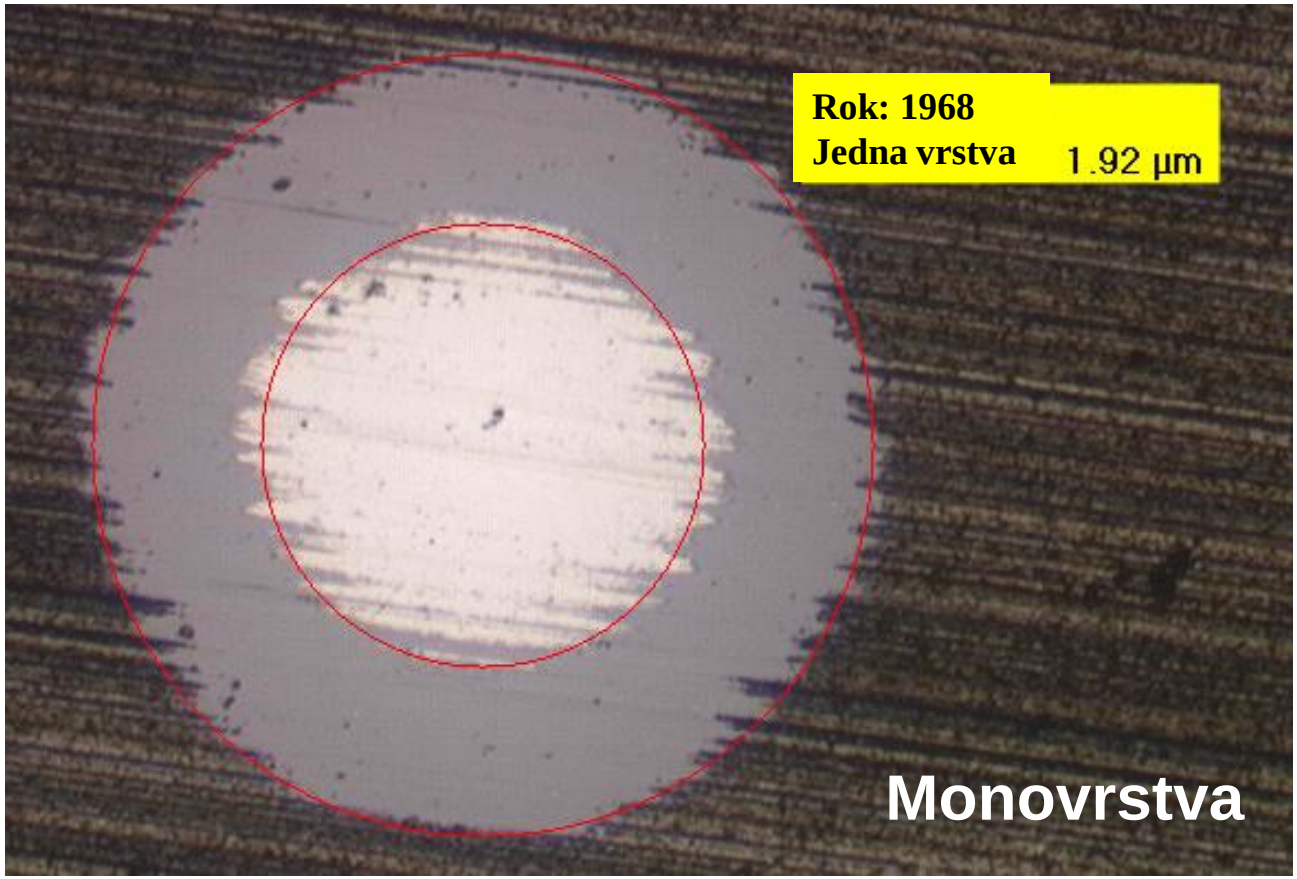


Zdroj: Martin Kathrein, Aktuelle Entwicklungen in der Hartmetallbeschichtung, Ceratizit - Seminarkunde

Aplikovatelnost jednotlivých druhů tenkých vrstev

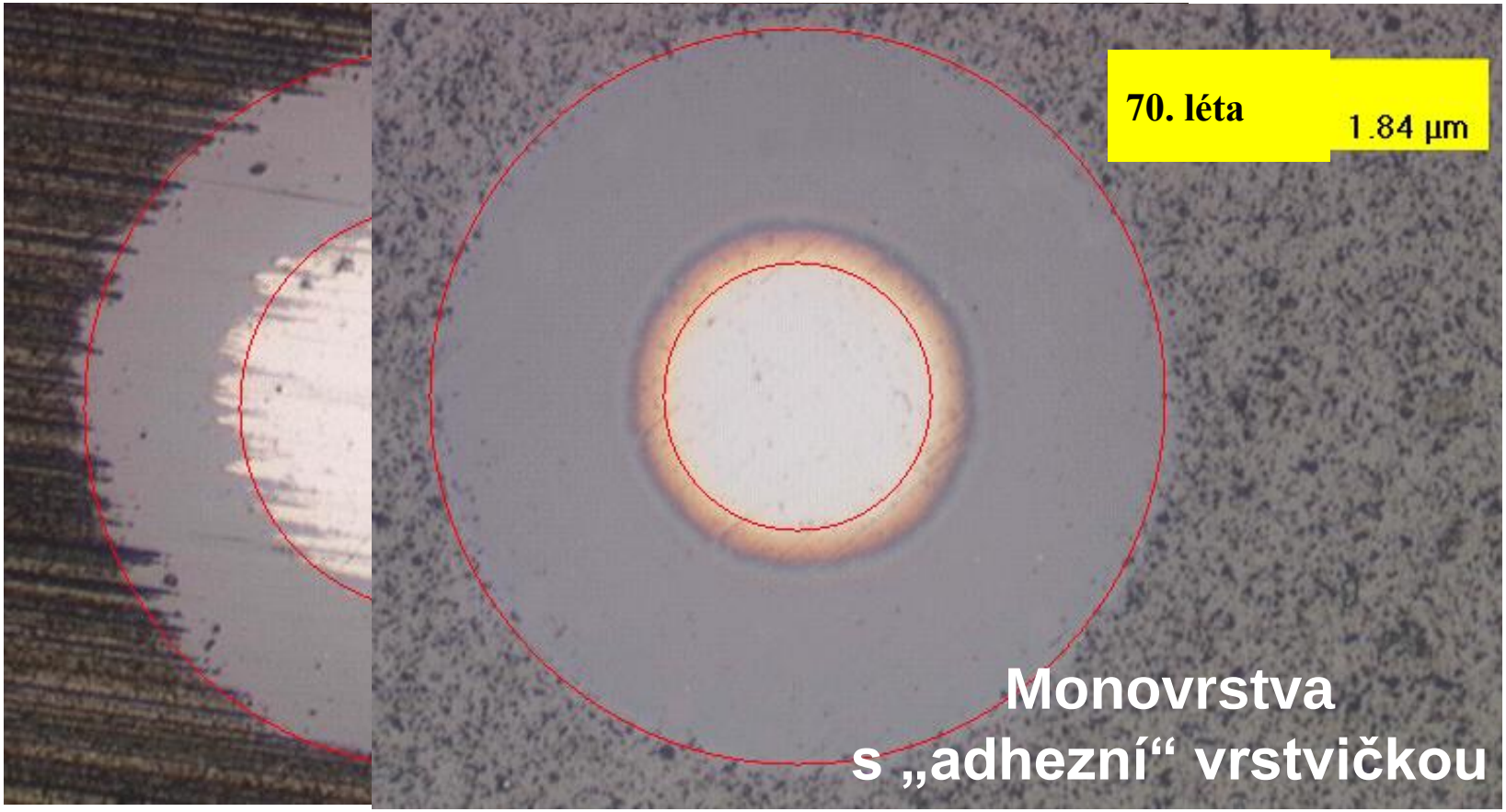
T. Cselle, M. Morstein. A. Luemkemann,
PLATIT AG, Selzach, Schweiz

„Klasická“ struktura vrstvy



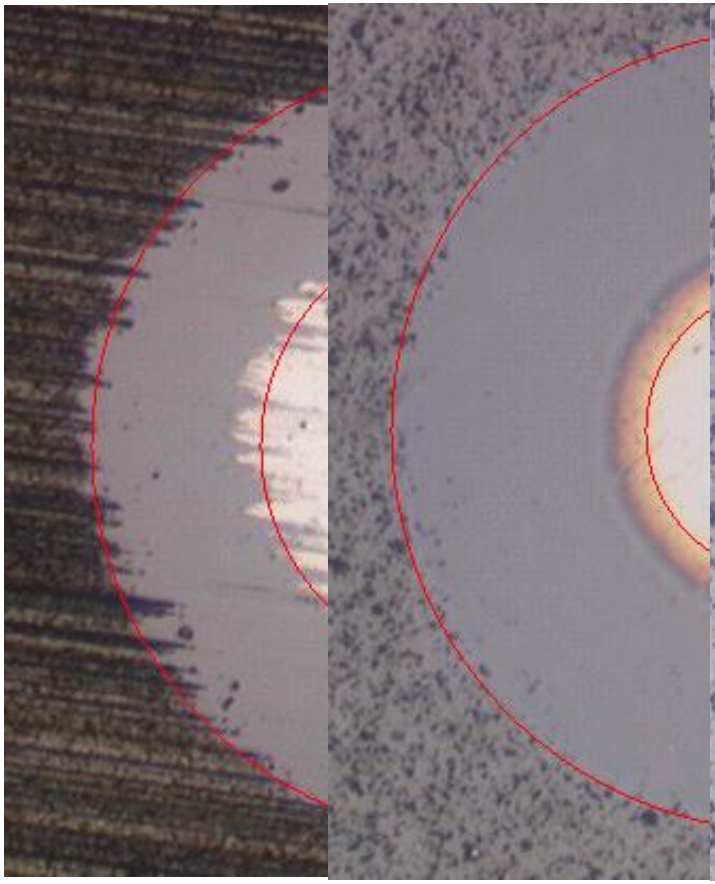
Zdroj: Martin Kathrein, Aktuelle Entwicklungen
in der Hartmetallbeschichtung, Ceratizit - Seminarkunde

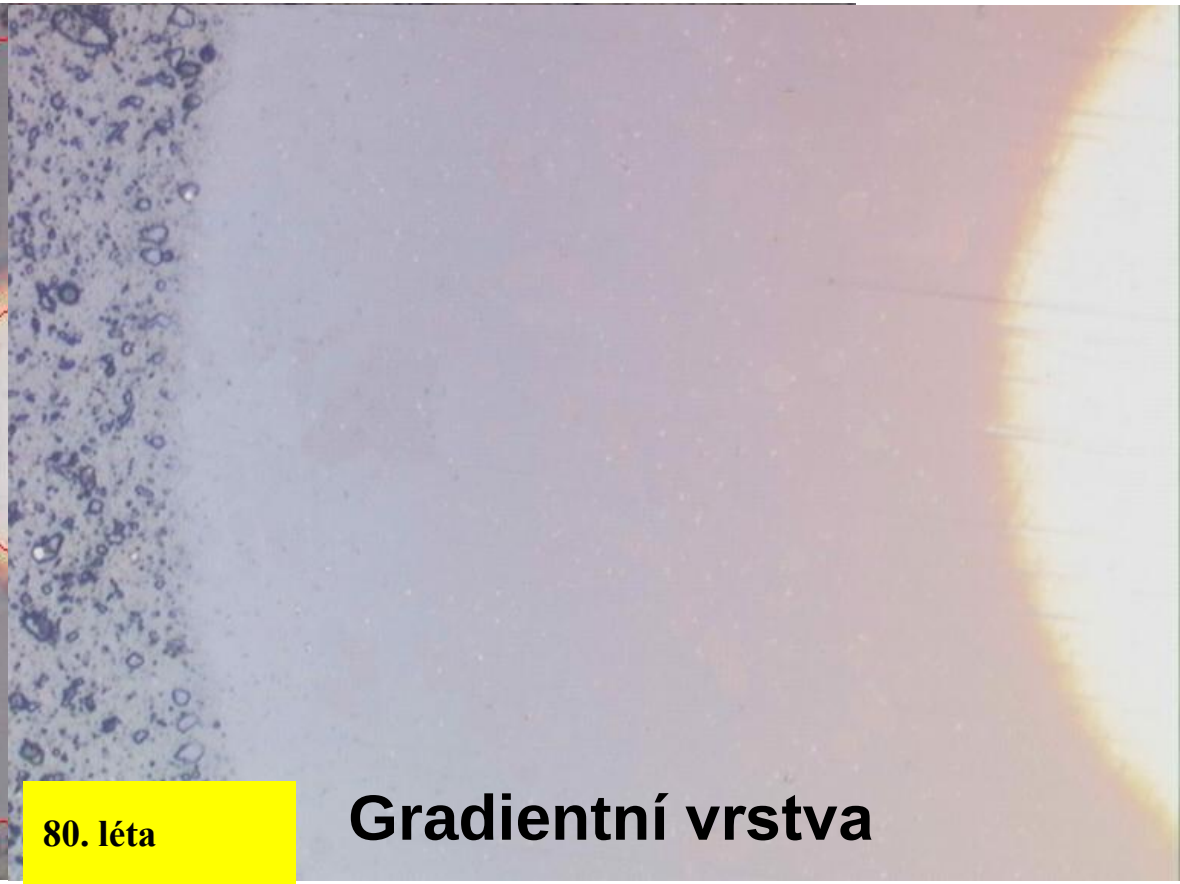
„Klasická“ struktura vrstvy



Zdroj: Martin Kathrein, Aktuelle Entwicklungen
in der Hartmetallbeschichtung, Ceratizit - Seminarkunde

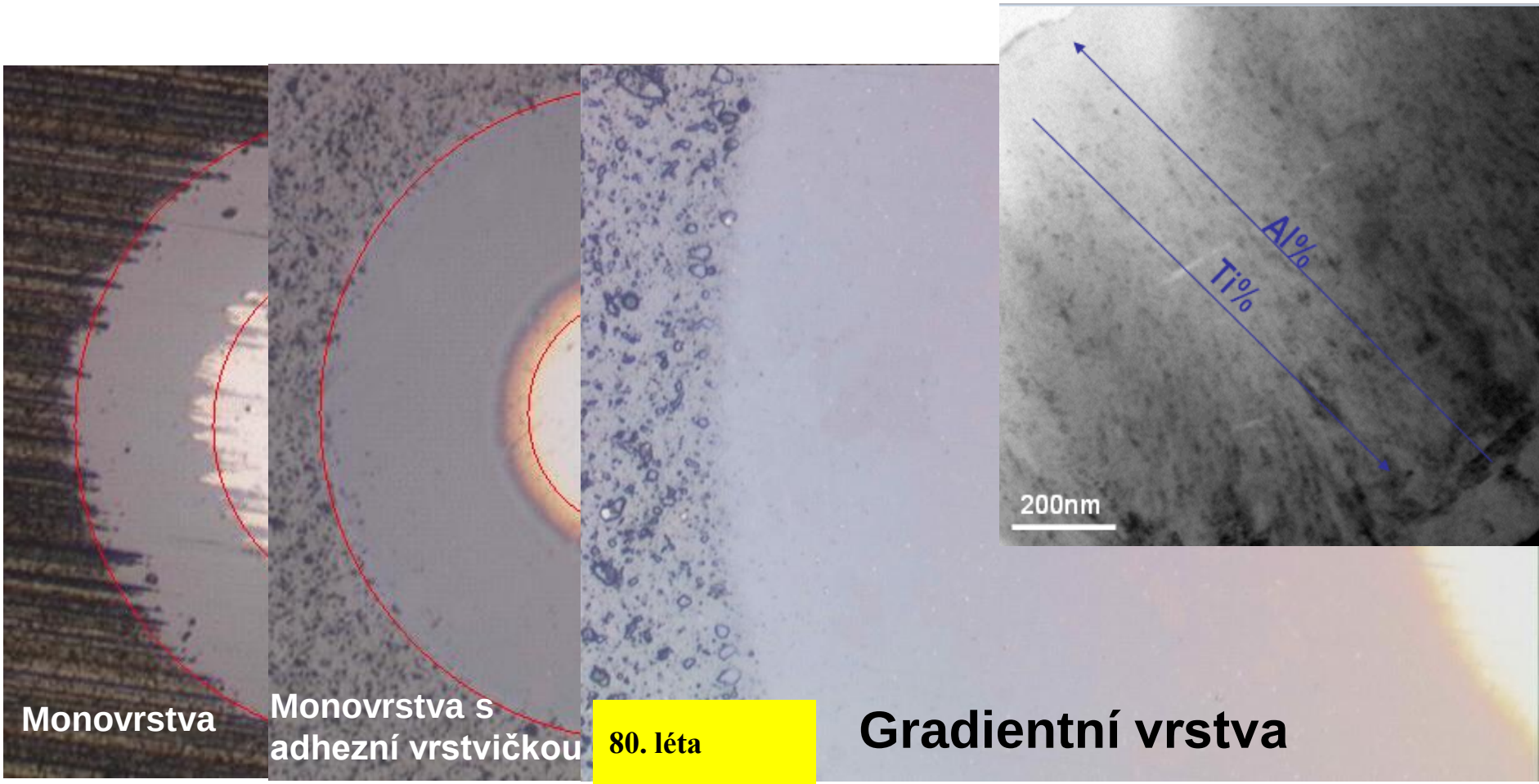
Moderní struktura vrstvy





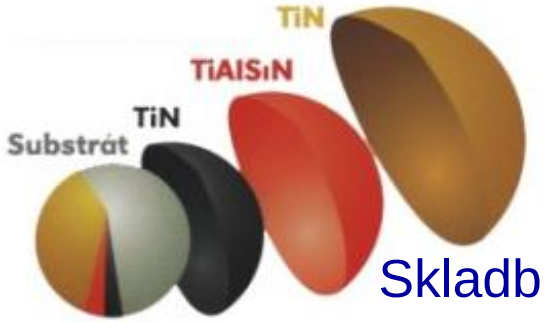
Zdroj: Martin Kathrein, Aktuelle Entwicklungen
in der Hartmetallbeschichtung, Ceratizit - Seminarkunde

Moderní struktura vrstvy



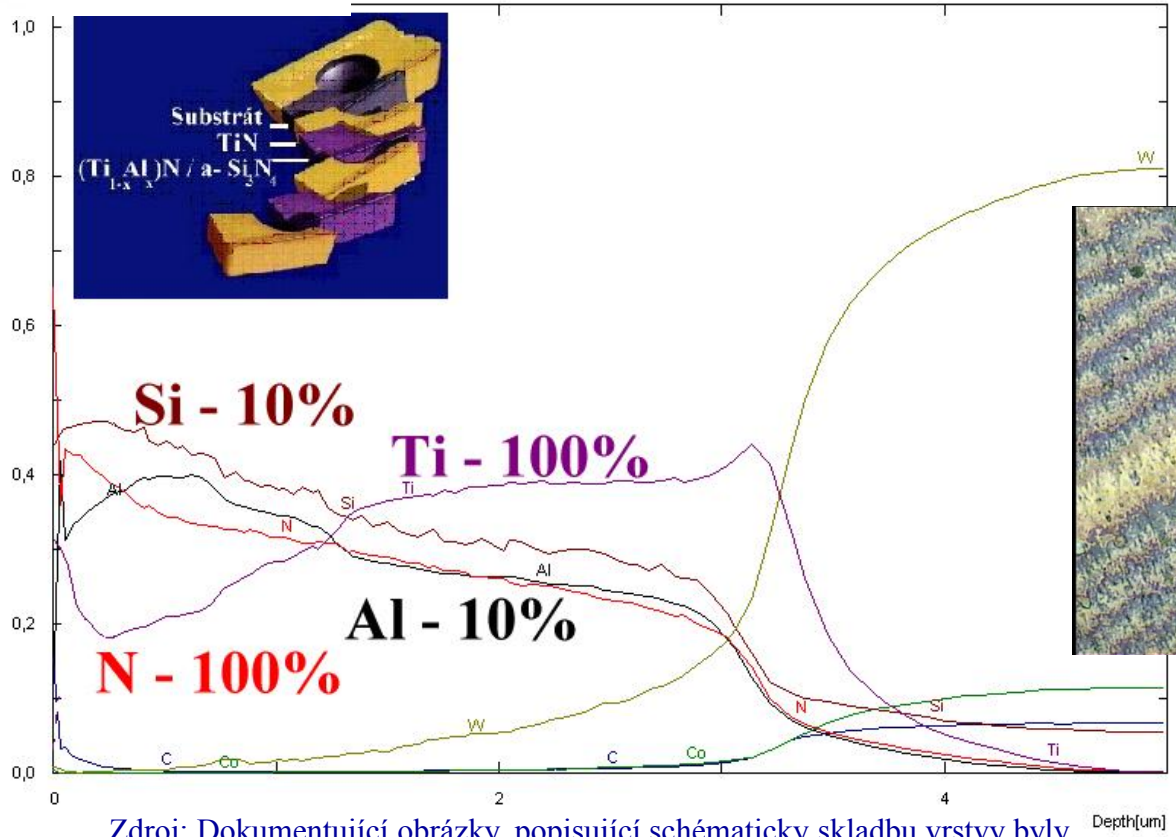
Zdroj: Martin Kathrein, Aktuelle Entwicklungen in der Hartmetallbeschichtung, Ceratizit - Seminarkunde

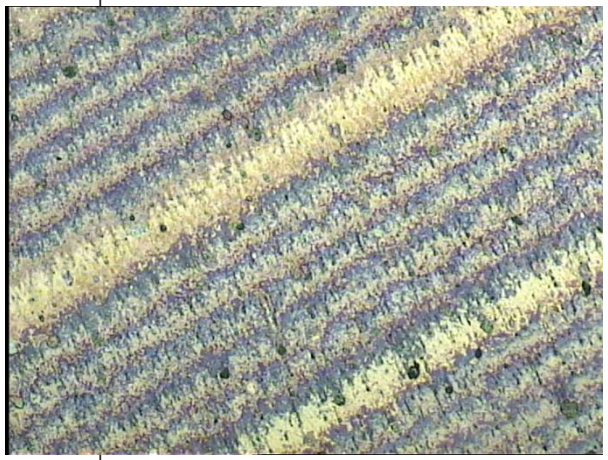
Moderní struktura vrstvy



Sendvičově řešená vrstva

Skladba vrstvy

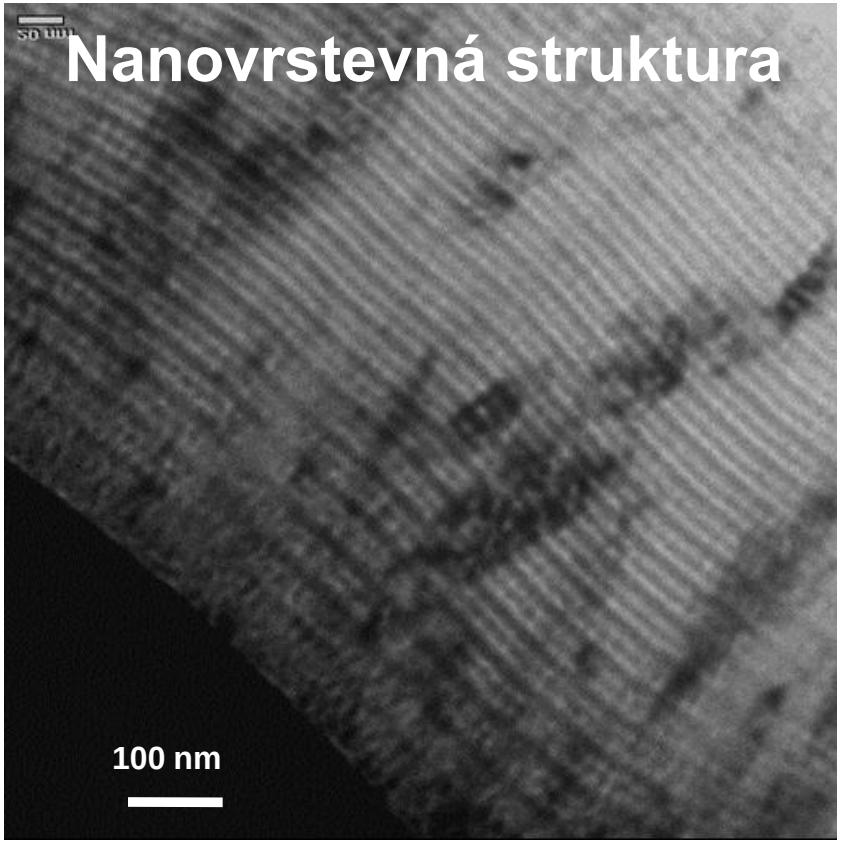




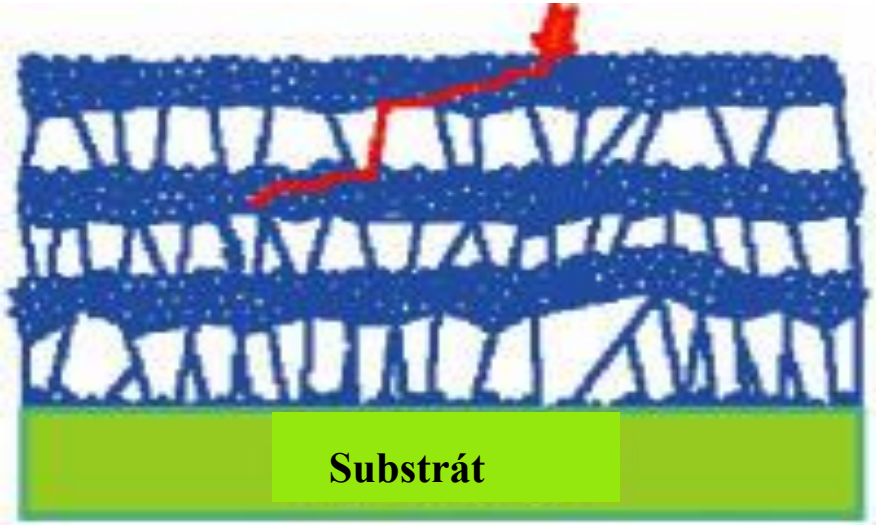
Část výbrusu kaloty

Zdroj: Dokumentující obrázky, popisující schématicky skladbu vrstvy byly získány z katalogu firmy SHM.

Progresivní struktura vrstvy - Nanostrukturované vrstvy



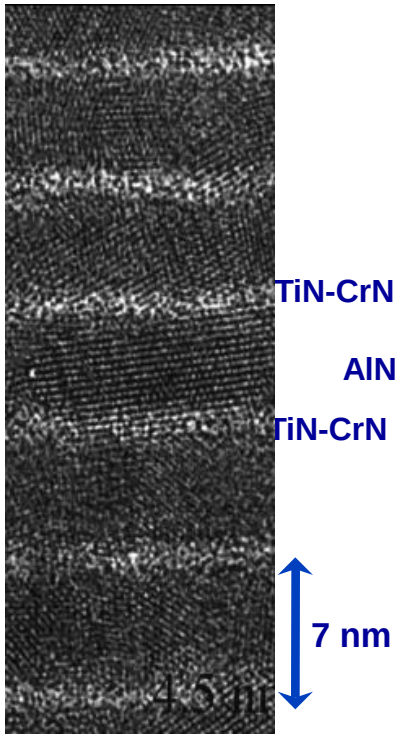
Zdroj: Pavel Holubář, Nová průmyslová technologie povlakování
Přednáška Vrstvy a Povlaky 2003

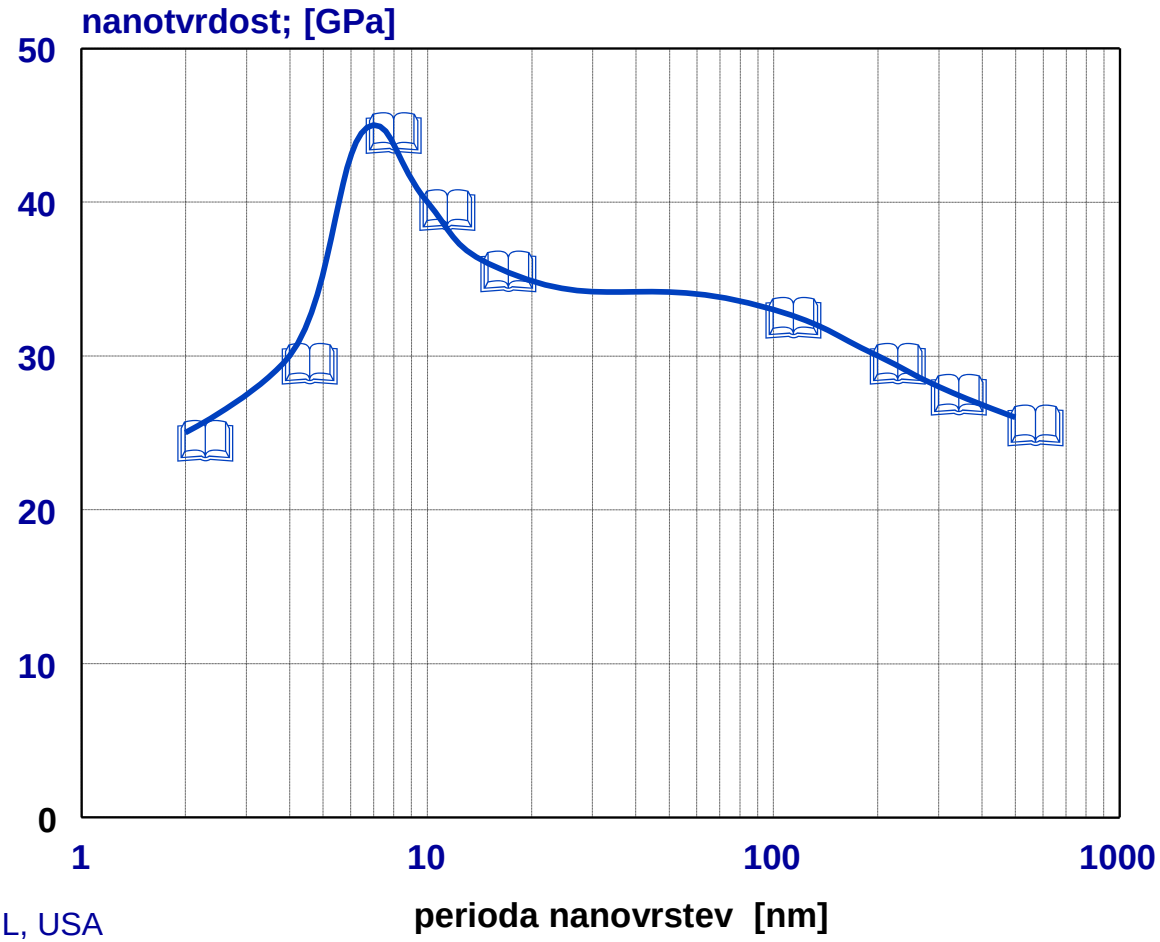


Schématický postup šíření trhliny multivrstevným systémem

Supermřížka – nanovrstvy

Příklad nárůstu tvrdosti pomocí řízené periody vrstev

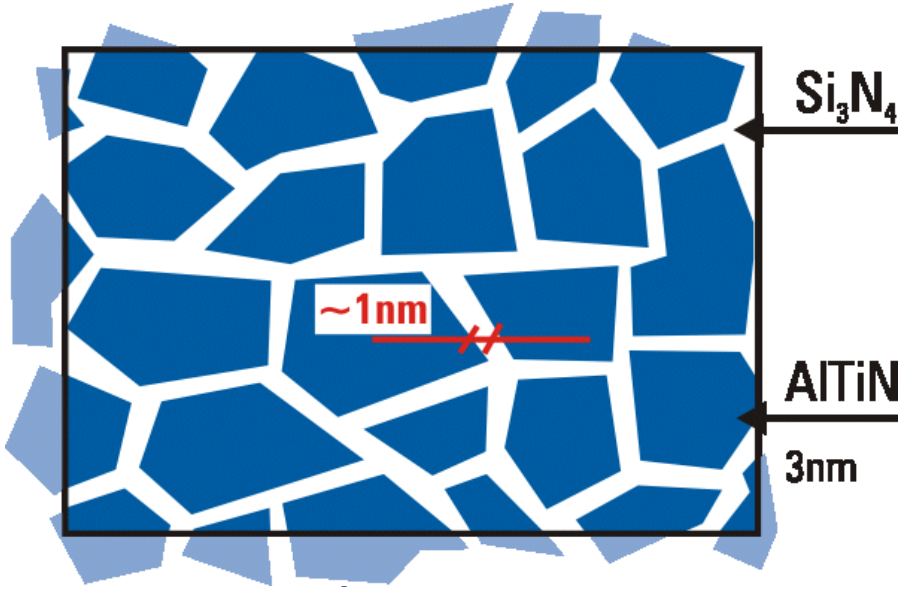




Zdroj: Nortwestern University, IL, USA

Nanokompozitní struktura; nc- $(Ti_{1-x}\ Al_x)/a\text{-}Si_3N_4$

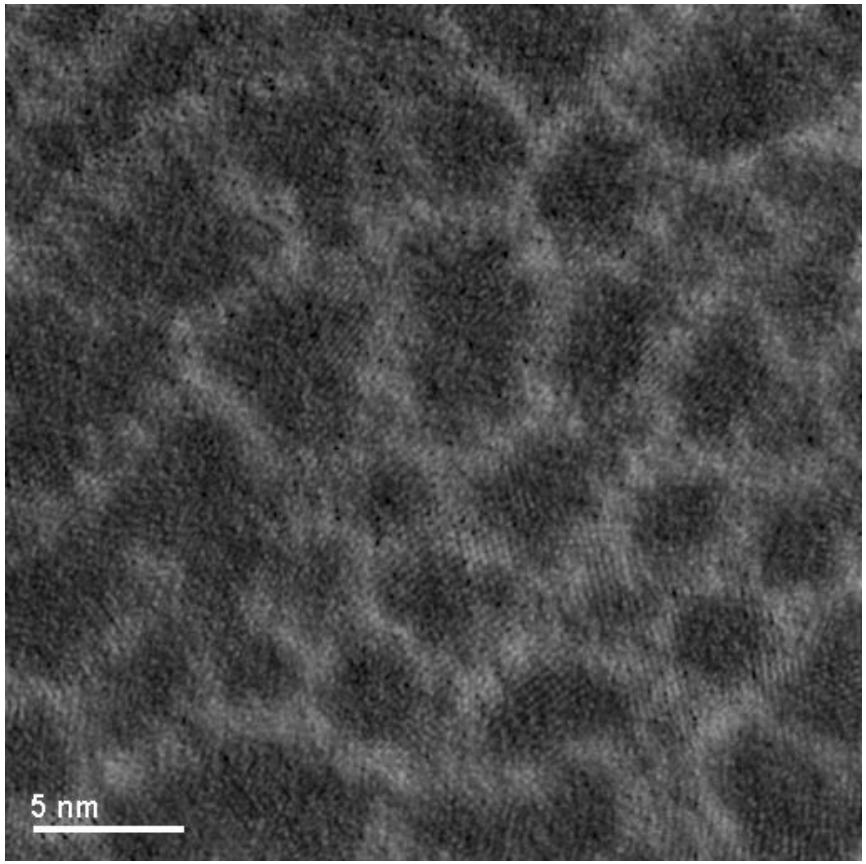
Model



Zdroj: S. Veprek, TU Mnichov

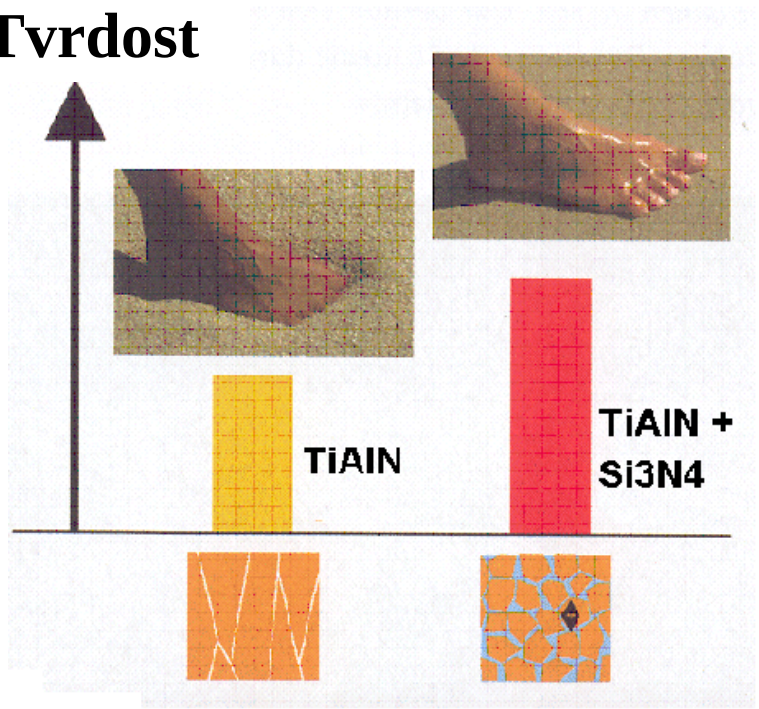
Nanorozměrové krystaly AlTiN jsou „vsazeny“ do matrice Si_3N_4

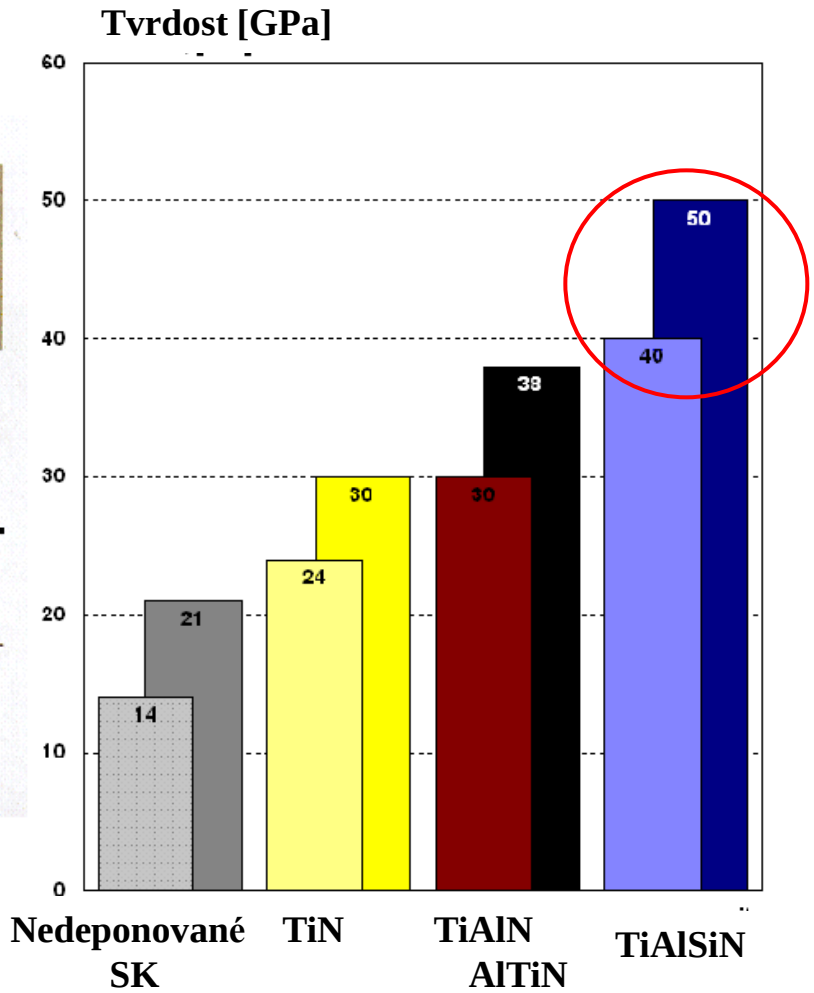
TEM obrázek monovrstvy nc-kompozitu



Zdroj: S. Veprek, TU Mnichov
Měřeno v EPF, Lausanne

Tvrdost



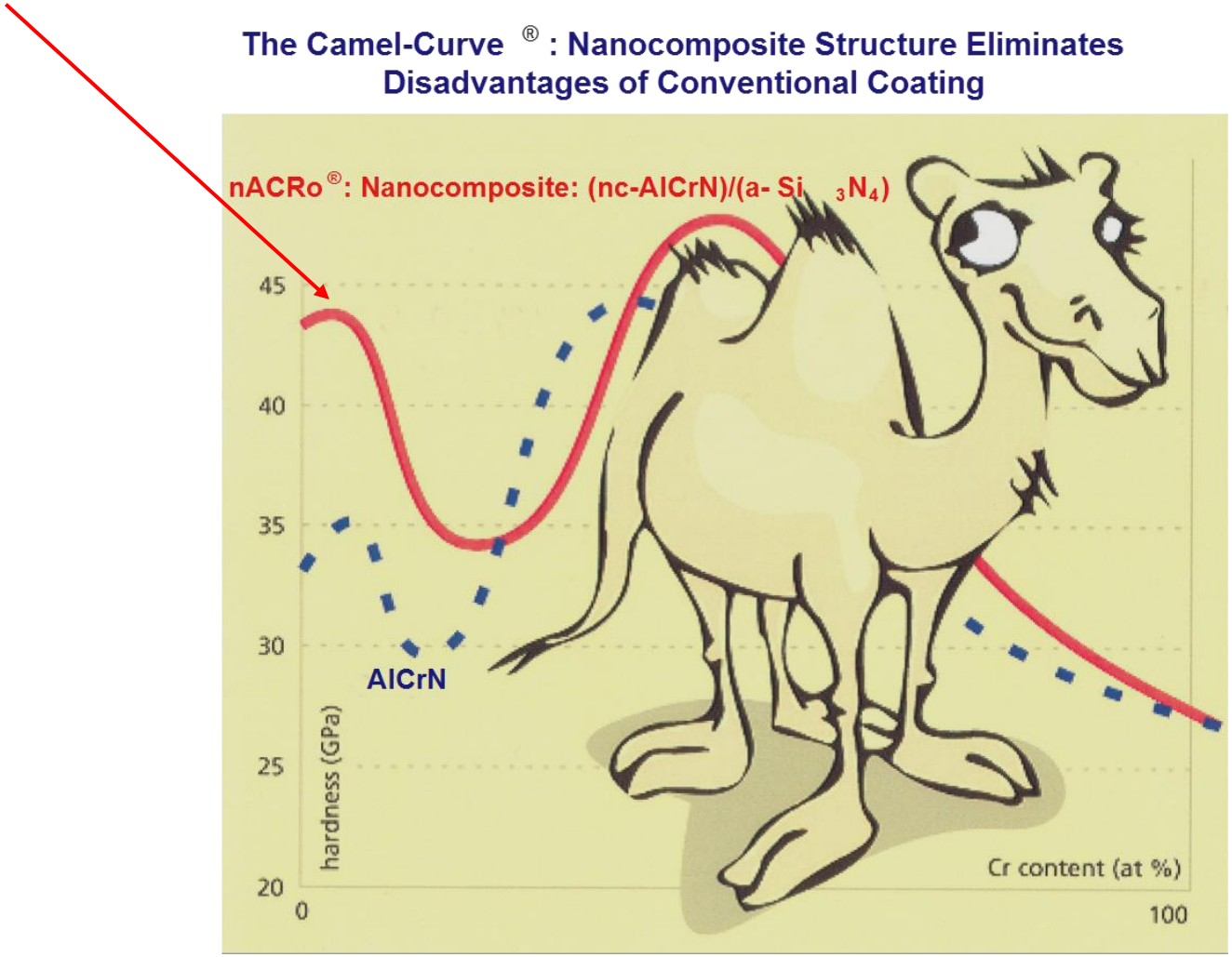


Zdroj: Cselle Tibor, přednáška Quo Vadis Coating, Vrstvy a Povlaky 2004

Zvýšení mikrotvrdosti aplikací progresivních tenkých vrstev TiAlSiN

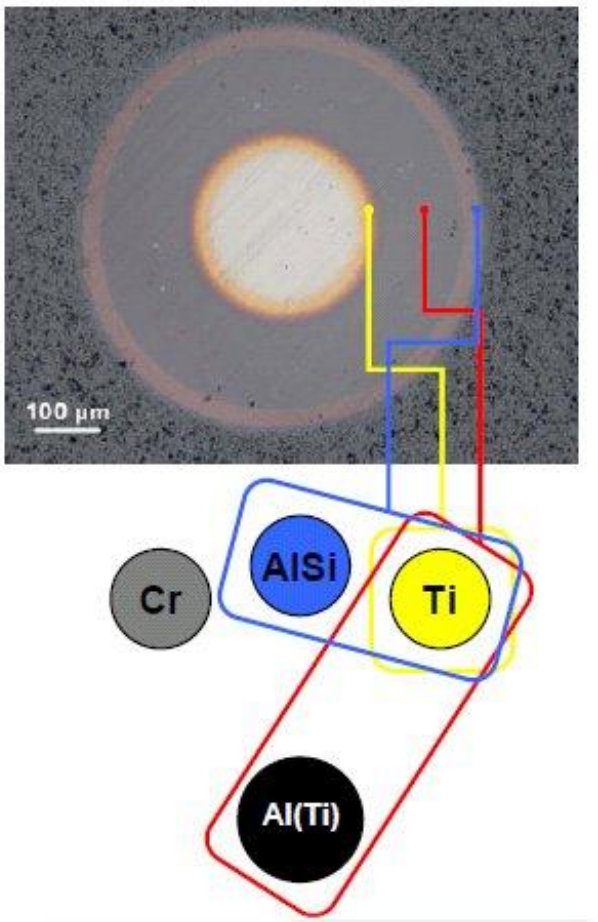
nACo … nanokompozit založený na bázi Ti …. **nc-AlTiN / a-Si_3N_4**

nACRo .. nanokompozit založený na bázi Cr … **nc-AlCrN / a-Si_3N_4**



Zdroj: Cselle Tibor, přednáška Quo Vadis Coating, Vrstvy a Povlaky 2004

Triple Coatings ® : nACo3®



TiN | AlTiN | AlTiN/SiN

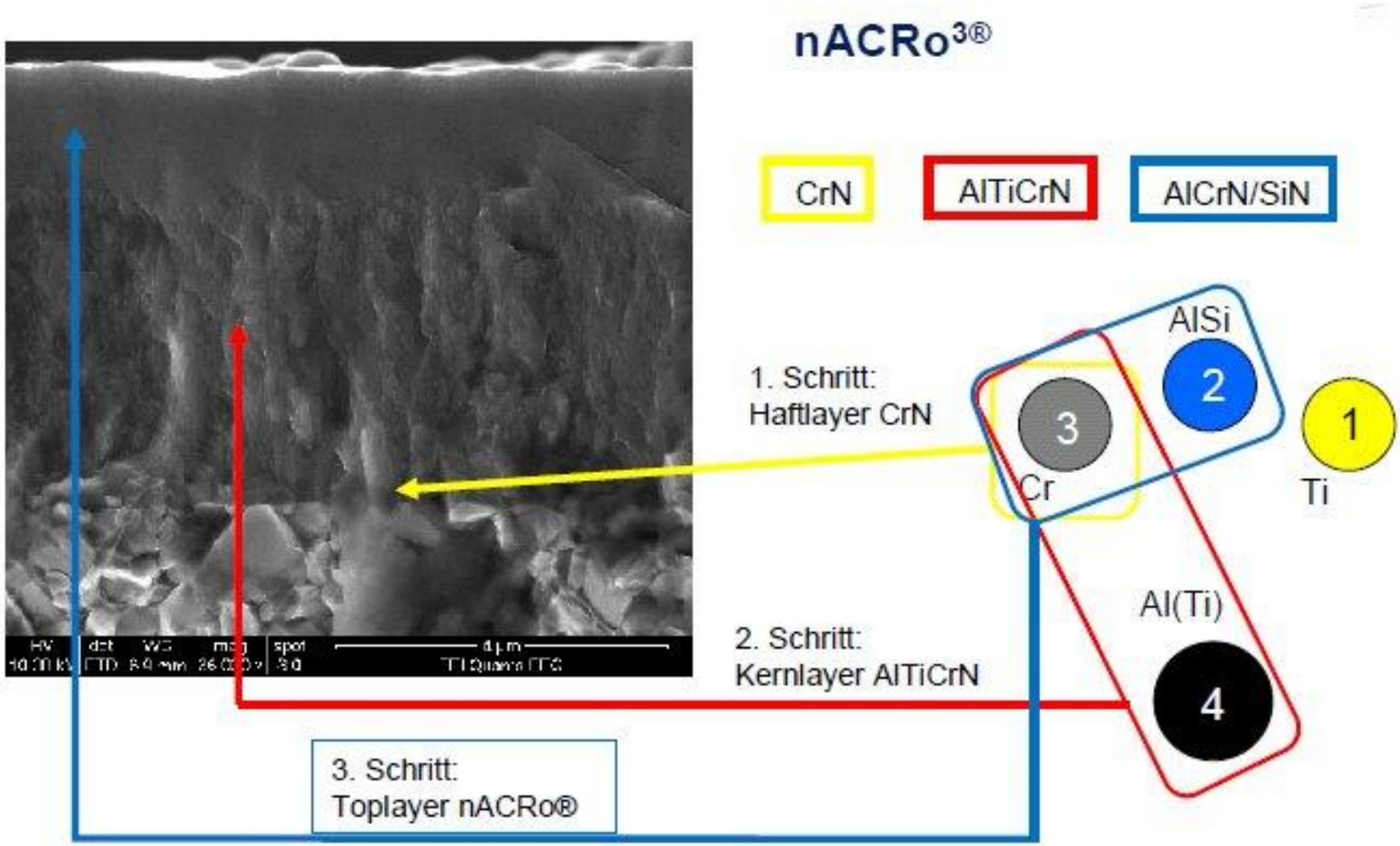
TiN: – Adhezní vrstva
- Měkký přechod,
- Podobný E-Modul
- Mezivrstva

AlTiN: - multivrstva
– Dobrá odplnost proti opotřebení
– Malé vnitřní napětí
– Dobrá tvrdost

nACo: - Vrchní vrstva
- Velmi dobrá tepelná bariéra
- Vysoká tvrdost
- Vysoká odolnost proti abrasivnímu opotřebení

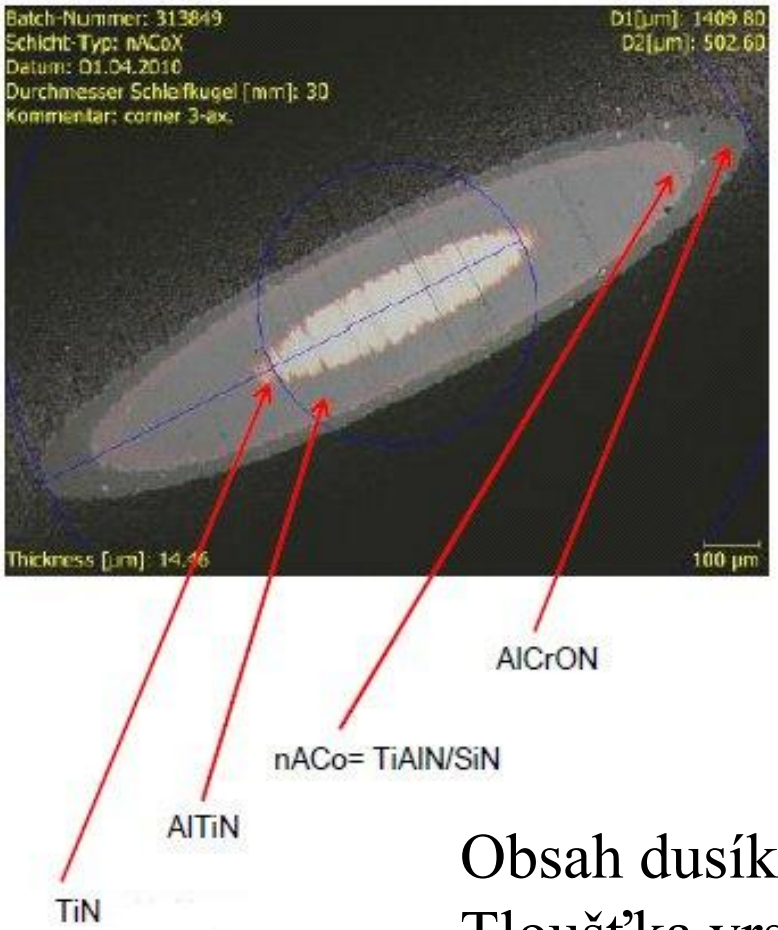
T. Cselle, M. Morstein. A. Luemkemann, PLATIT AG, Selzach, Schweiz

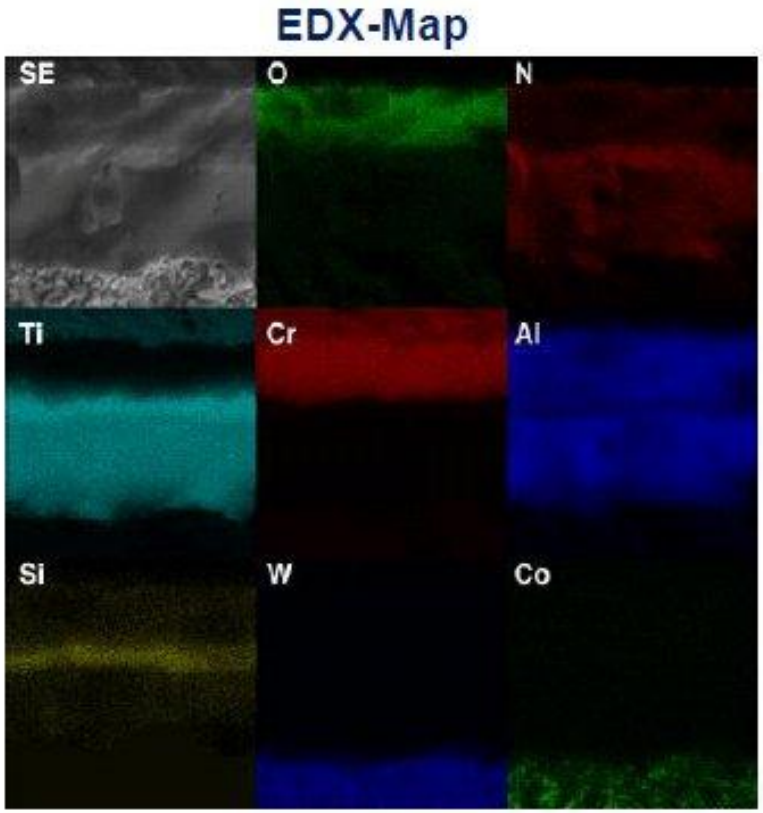
TripleCoatings ® : nACRo3®



T. Cselle, M. Morstein. A. Luemkemann,
PLATIT AG, Selzach, Schweiz

SiX3® - firemní (LISS Platit): TripleCoatings ® : nACoX3®





Obsah dusíku : kyslíku N/O: 50/50% – 80/20%
Tloušťka vrstvy pro VBD: 7 - 18 µm
Obvyklá tvrdost: 30 GPa
Běžný E-Modul: ~ 400 GPa

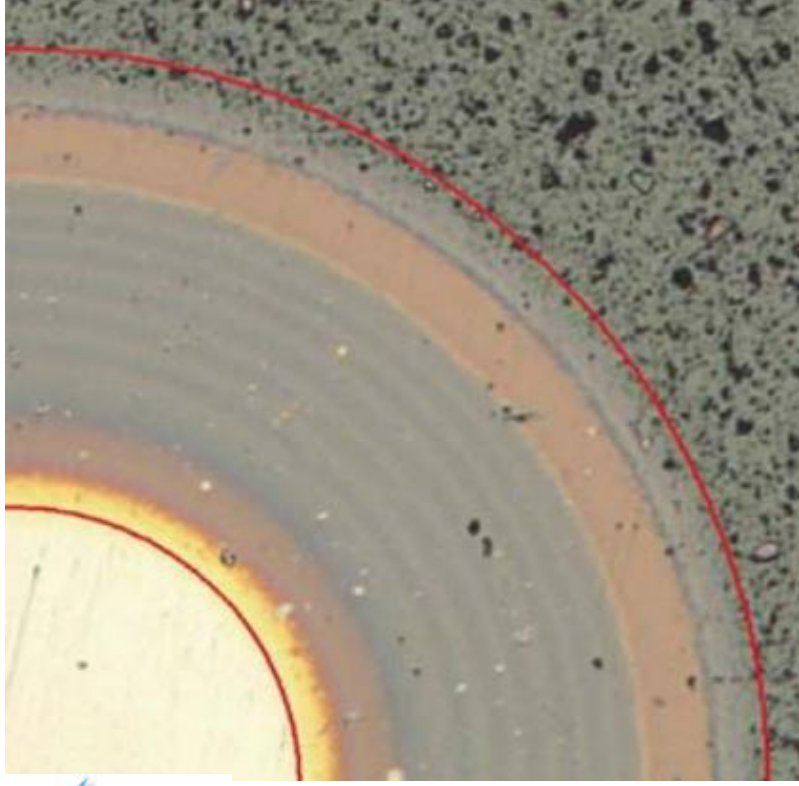
T. Cselle, M. Morstein. A. Luemkemann,
PLATIT AG, Selzach, Schweiz

QuadCoatings4®

TiXCo4®

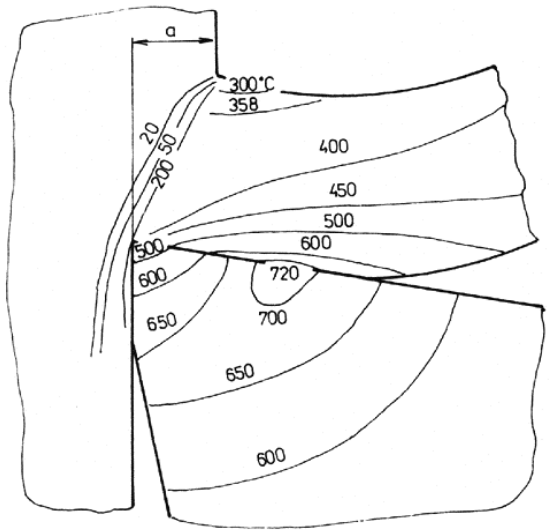
Struktura:TiN, AlCrTIN Gradient, AlCrTIN Multiplayer, TiSiN-Nanocomposite

Aplikace: Tvrdé frézování, vrtání.

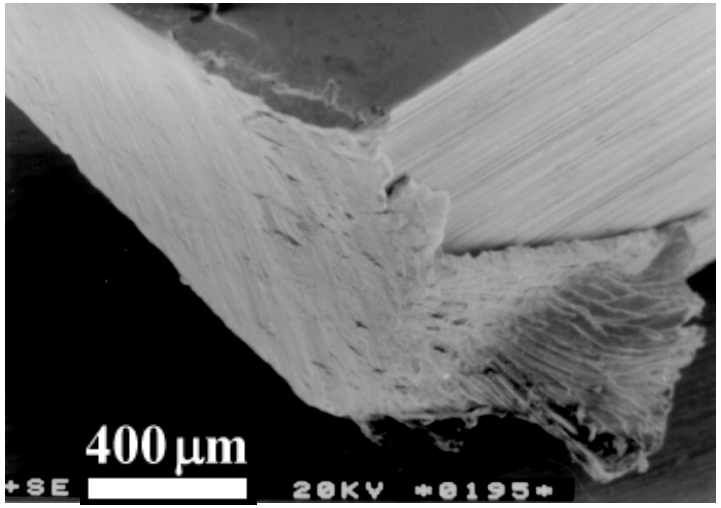


Zdroj: New Generation of PVD Coatings for Cutting Tools
T. Cselle – M. Morstein – A. Lümkemann, PLATIT AG, Selzach, Switzerland

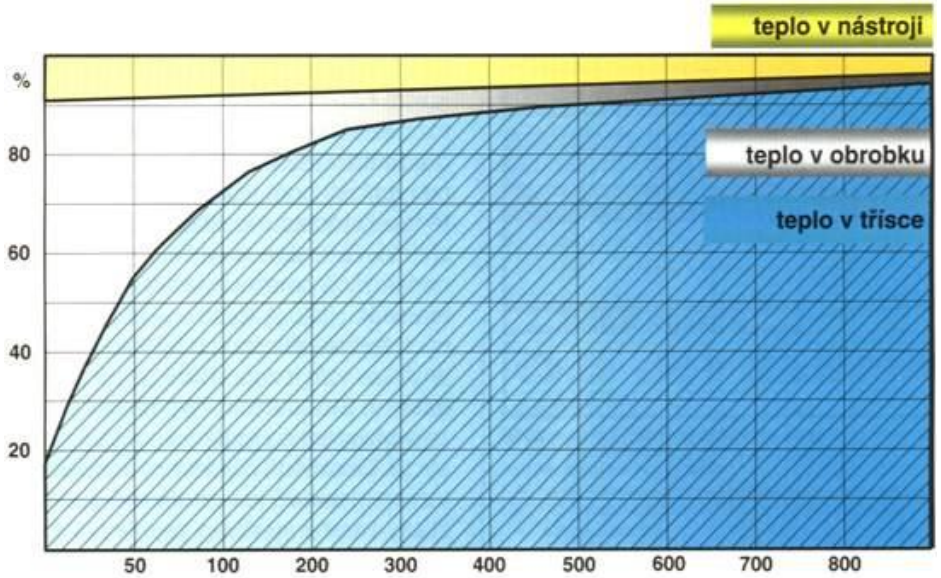
Teplotní přetížení nástroje – častá příčina jeho poškození



Vrstvy jako např. Al_2O_3 popř. AlTiN vytváří účinné tepelné bariéry

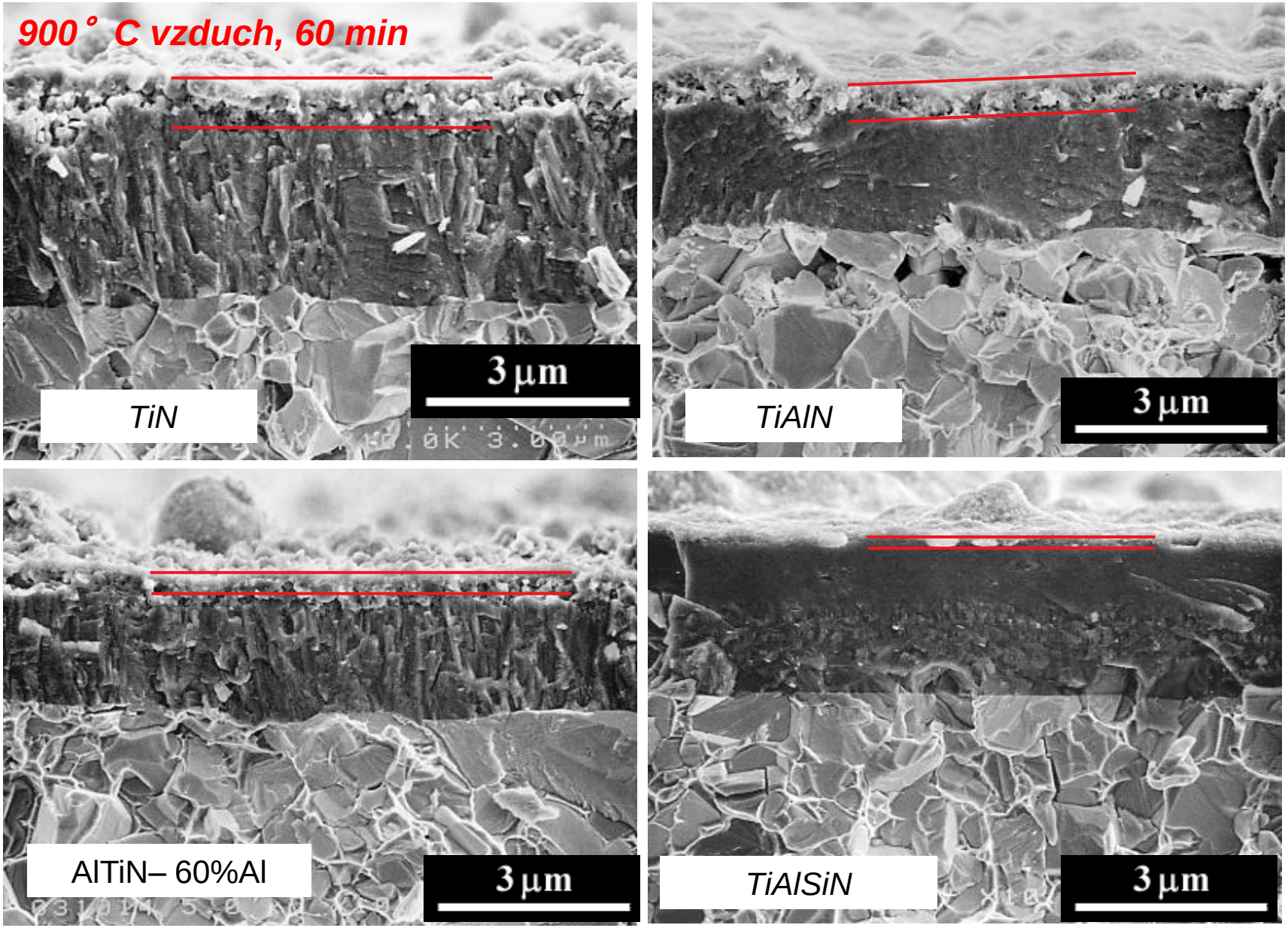


Lavinovitý otěr nástroje následkem tepelného i mechanického přetížení



Rozdělení odváděného tepla v závislosti na řezné rychlosti při obrábění oceli

Odolnost proti oxidaci u vrstev s obsahem Al a Si

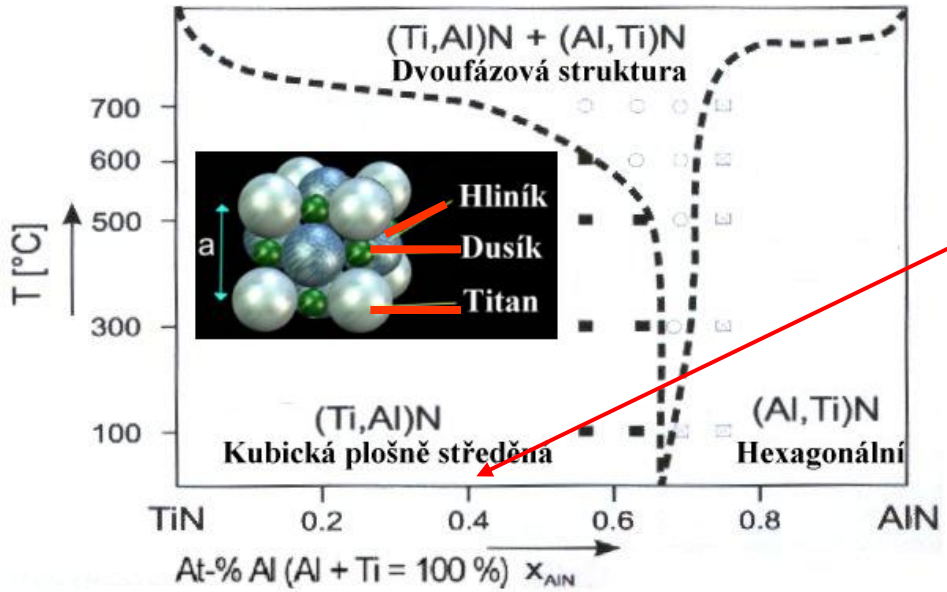


Vliv množství hliníku na vznik hexagonální strukturní mřížky

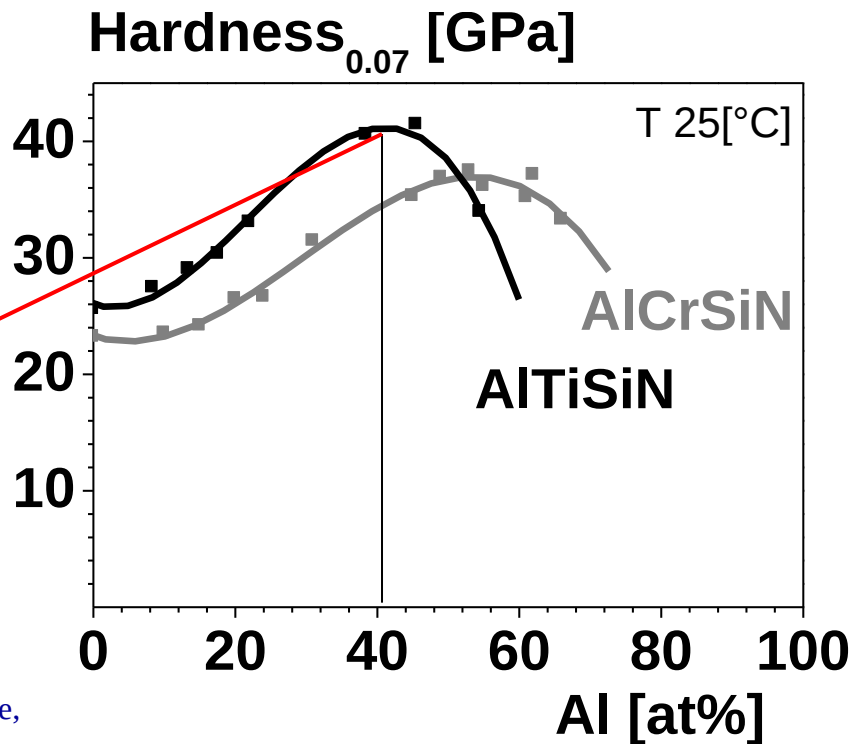
Base	CrN	VN	TiN	WN	NbN	ZrN	HfN
max. AlNc	77,2	72,4	65,3	53,9	52,9	33,4	21,2

Množství (atomární) Al kdy převažuje hexagonální mřížka

Ref.: ISIJ International **38**, 925-934 (1998)

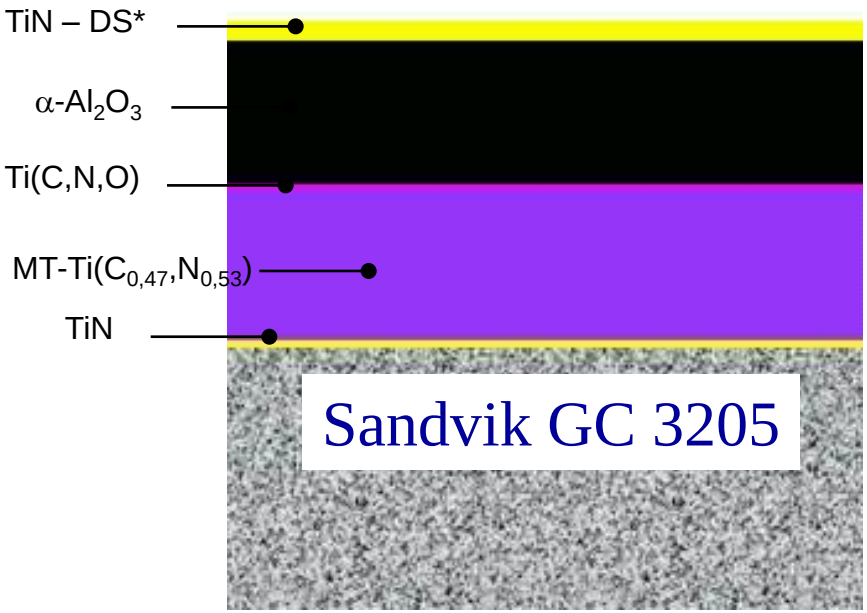


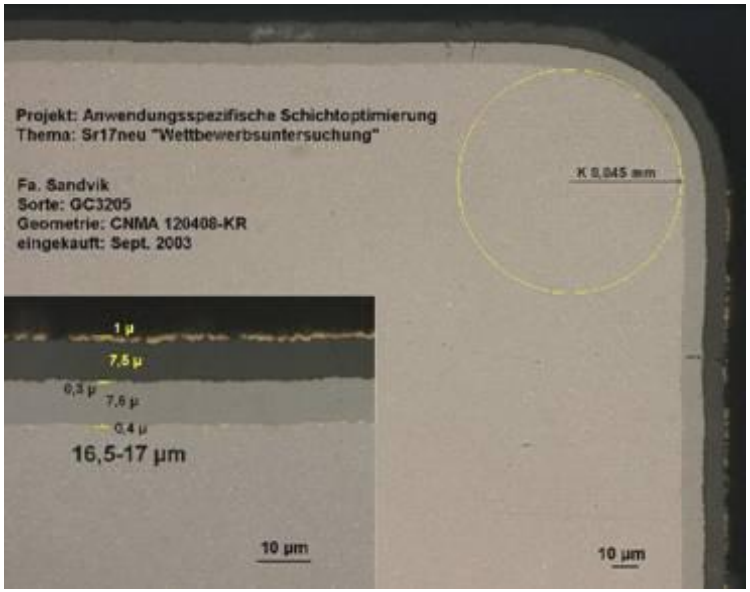
Zdroj: Ceme Con, Kunden Magazin fur Beschichtungstechnologie, Tools, Nr. 17, September 2004

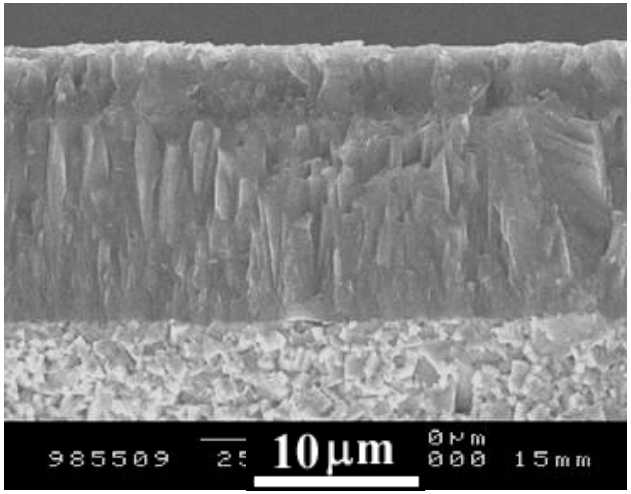


Zdroj: Cselle Tibor, přednáška Quo Vadis Coating, Vrstvy a Povlaky 2004

CVD depozice vrstvy TiN+ Al_2O_3+TiN
Substrát – ultrajemný SK







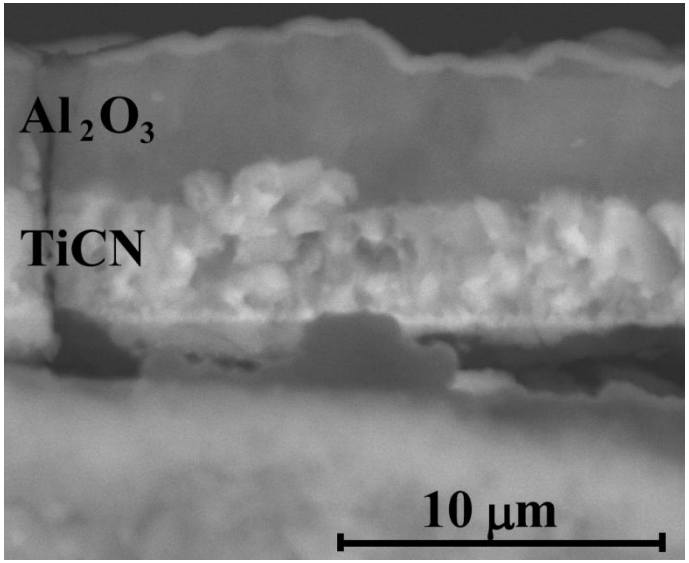
Zdroj: Martin Kathrein, Aktuelle Entwicklungen in der Hartmetallbeschichtung, Ceratizit - Seminarkunde

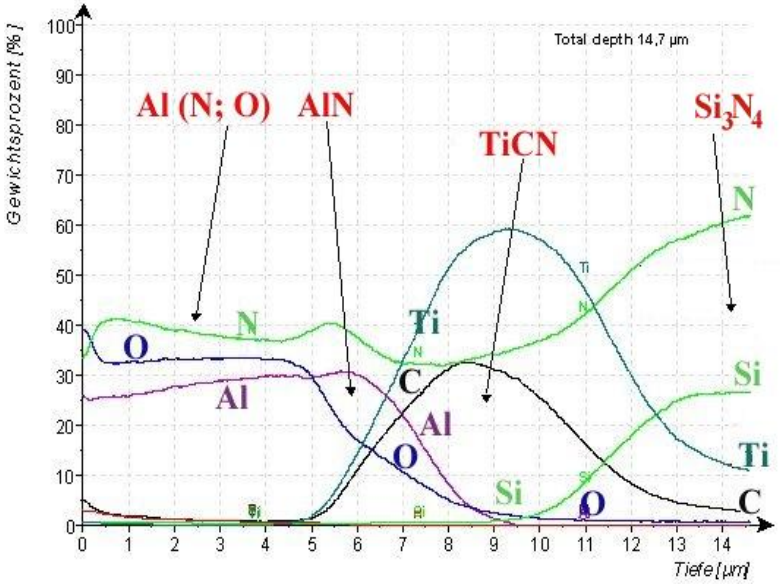
Při svém pracovním pobytu ve firmě Ceratizit (Rakousko) jsem měl za úkol sledovat trvanlivost VBD nejen jejich produkce, ale i konkurenčních společností, mezi nimiž právě Sandvik vykazoval velmi dobré výsledky. Vedle trvanlivosti jsem sledoval z metalografických výbrusů, tak i z fraktografického pozorování, skladbu vrstev. Celkem jsem takto zanalyzoval 9 konkurenčních a 9 vlastních systémů.

Další trendy depozic

Depozice řezné keramiky – moderní trend

CVD depozice vrstvy Ti(C,N)+ Al_2O_3+TiN
Substrát – neoxidická keramika Si_3N_4



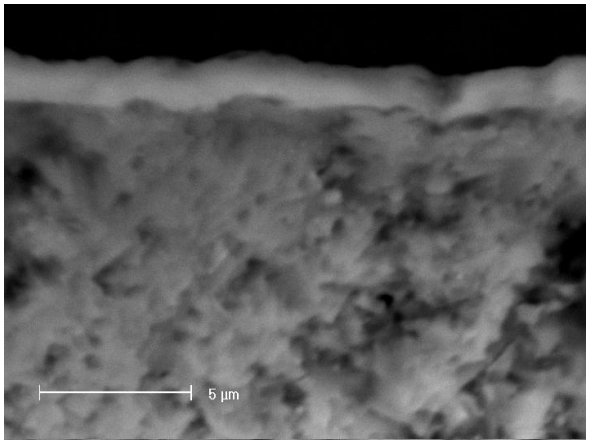


Lom systému a hloubkový koncentrační profil analýzy GD-OES
– na povrchu je nepatrná vrstva TiN, následuje „šedivá“ Al_2O_3 a TiCN

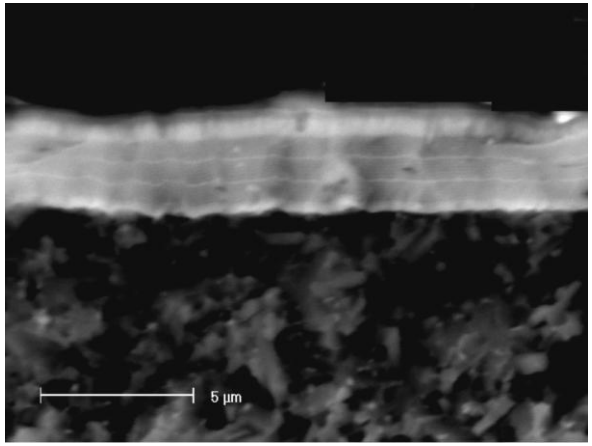
Depozice řezné keramiky Si_3N_4

Substrate	Coatings	Coating thickness, μm	Process type
Si_3N_4 nitride tool ceramics	TiN	0.8	PVD
	TiN+multi(Ti,Al,Si)N+TiN	4.0	PVD
	TiN+(Ti,Al,Si)N+TiN	2.0	PVD
	TiN+(Ti,Al,Si)N+(Al,Si,Ti)N	2.5	PVD
	Ti(C,N)+TiN	4.2	CVD
	Ti(C,N)+Al_2O_3+TiN	9.5	CVD
	TiC+TiN	5.4	CVD
	TiC+Ti(C,N)+Al_2O_3+TiN	7.8	CVD
	TiN+Al_2O_3	10.0	CVD
	TiN+Al_2O_3+TiN	3.8	CVD (1)*
	Al_2O_3+TiN	2.6	CVD (2)*
	Al_2O_3+TiN	1.7	CVD (3)*
	TiN+Al_2O_3+TiN+Al_2O_3+TiN	4.5	CVD (4)*
*(1) to (4) commercially available inserts from various manufacturers			

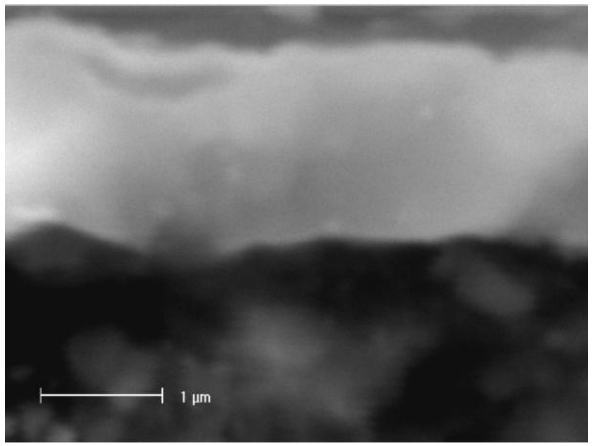
Struktura PVD a CVD vrstev



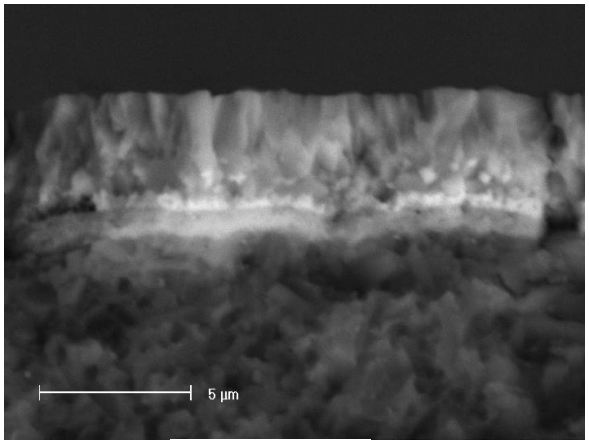
TiN+(Ti,Al,Si)N+(Al,Si,Ti)N



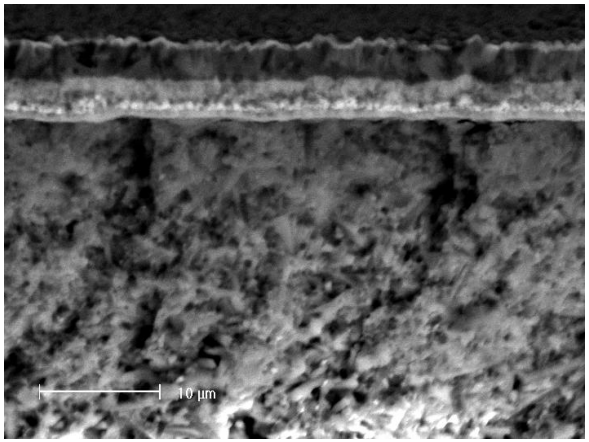
TiN+multi(Ti,Al,Si)N+TiN



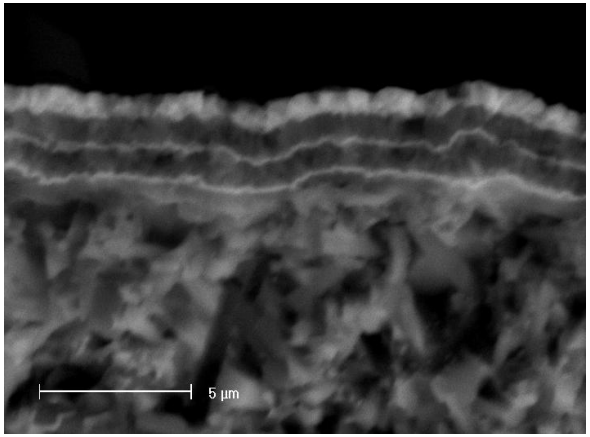
TiN+(Ti,Al,Si)N+TiN



TiC+TiN

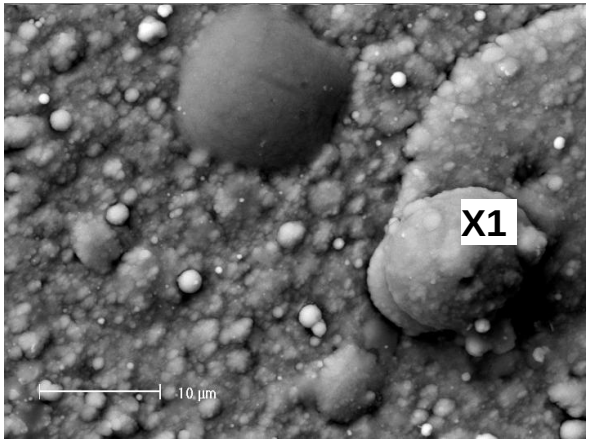


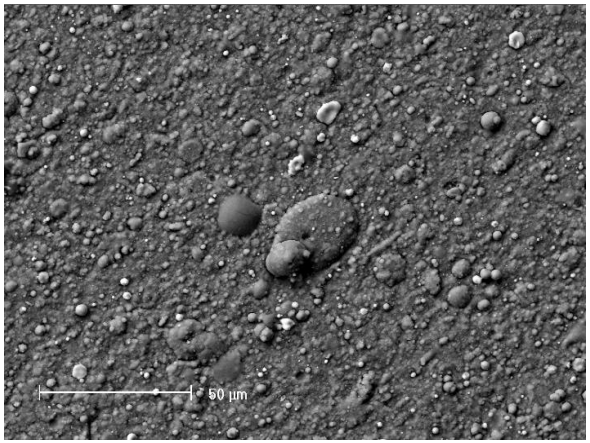
TiC+Ti(C,N)+Al_2O_3+TiN

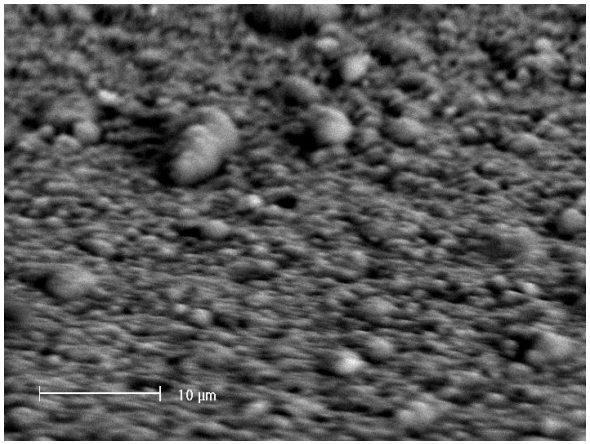


TiN+Al_2O_3+TiN+Al_2O_3+TiN

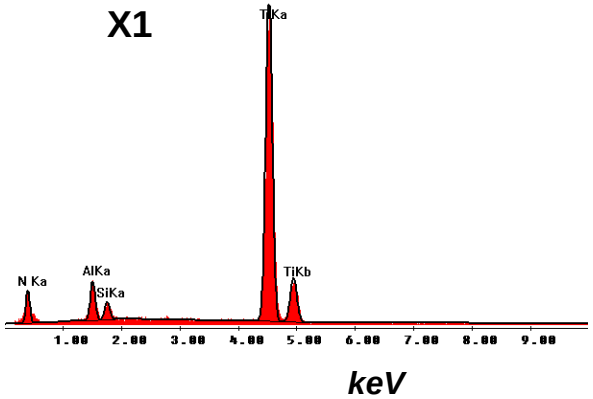
Topografie povrchu vrstev PVD







TiN+(Ti,Al,Si)N+TiN

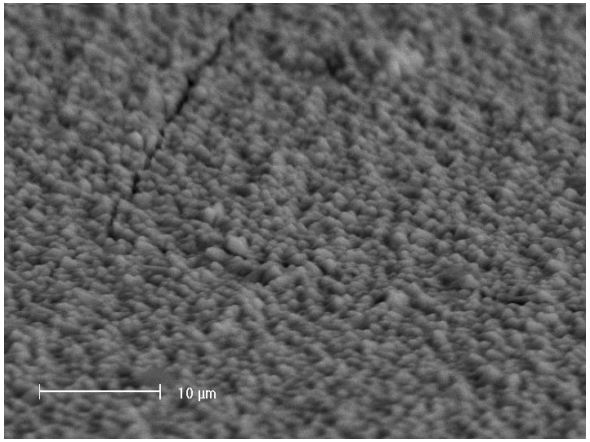


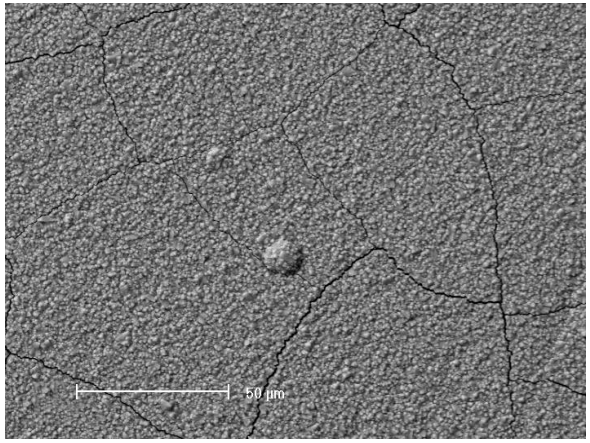
area X1

Element	Mass concentration of elements,%	Atomic concentration of elements, %
N	15,86	37,52
Al	6,00	7,36
Si	2,19	2,58
Ti	75,95	52,53
Sum	100,00	100,00

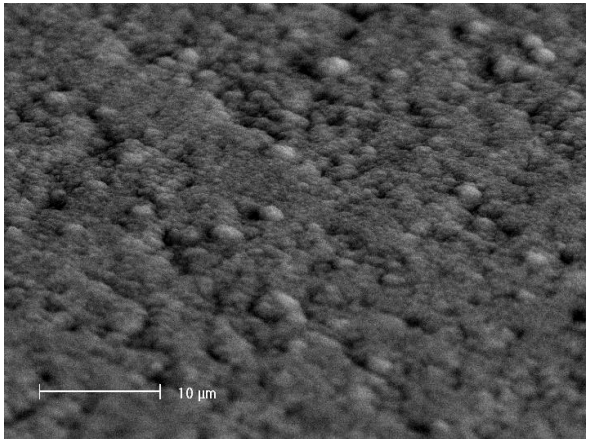
Topografie povrchu vrstev CVD

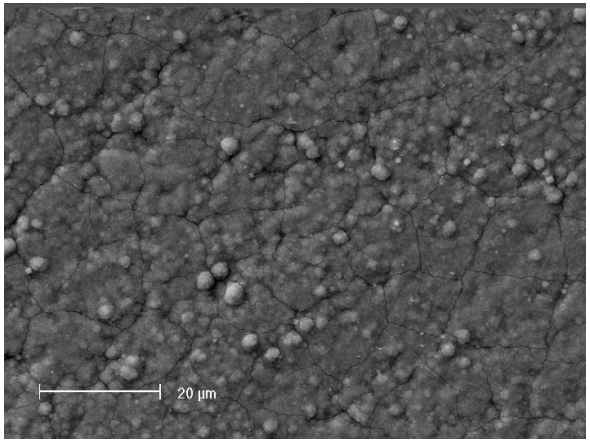
TiC+Ti(C,N)+Al_2O_3+TiN



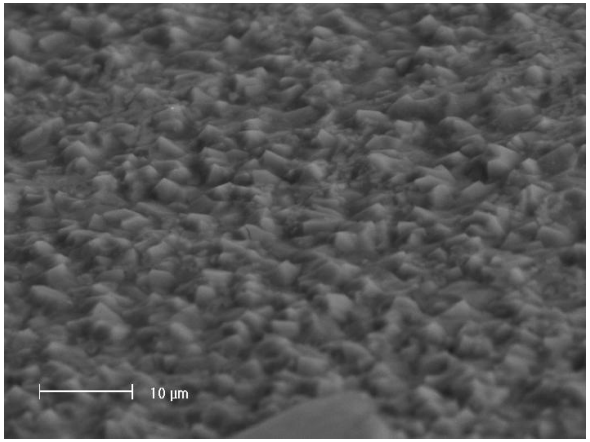


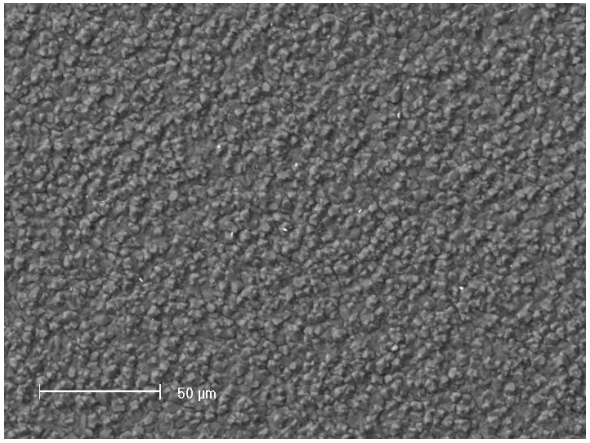
TiN+Al_2O_3+TiN





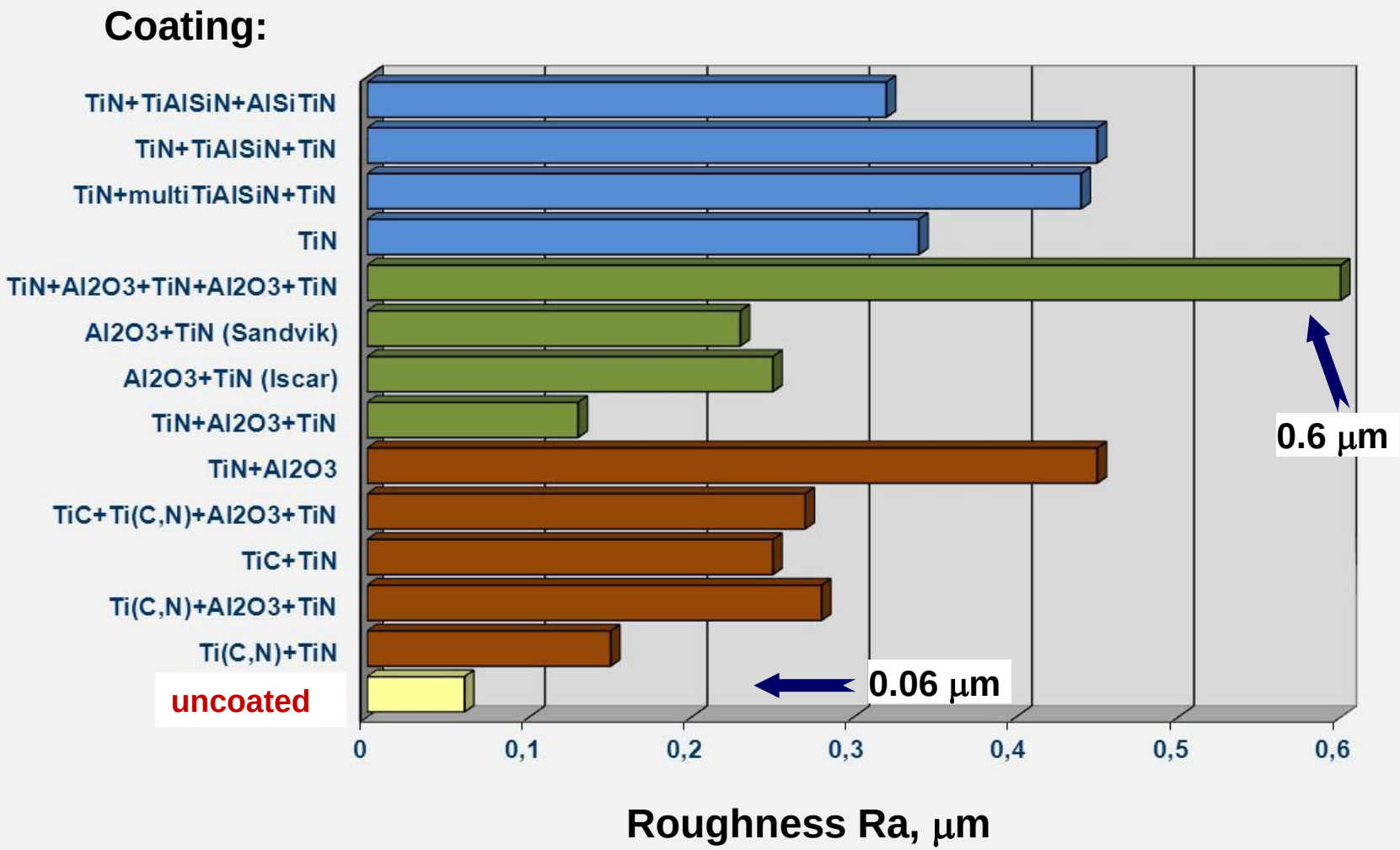
TiN+Al_2O_3



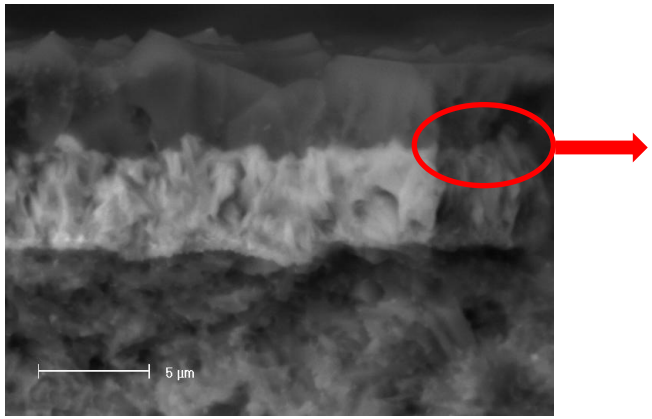


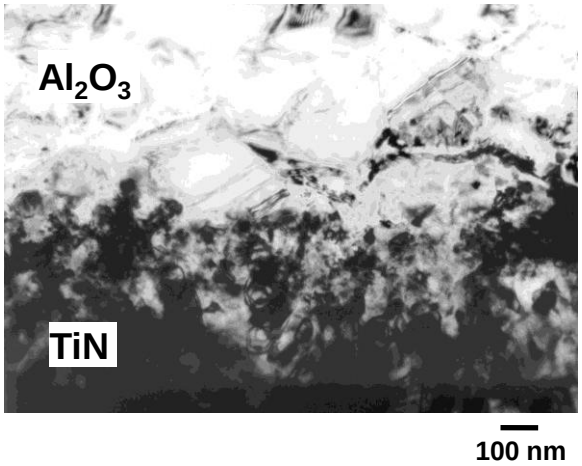
Drsnost systémů tenká vrstva - substrát

measuring length l = 0.25 mm
measuring accuracy = 0.01 μm



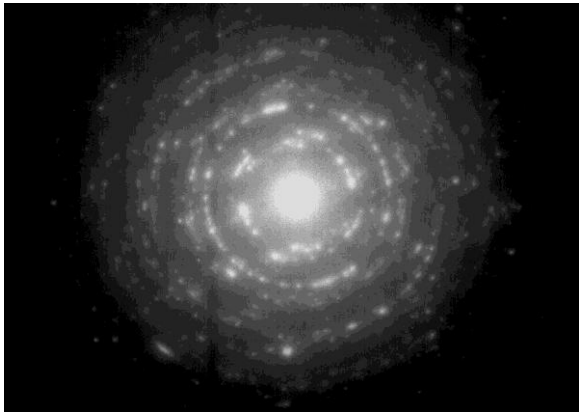
Struktura TiN+Al_2O_3 vrstvy

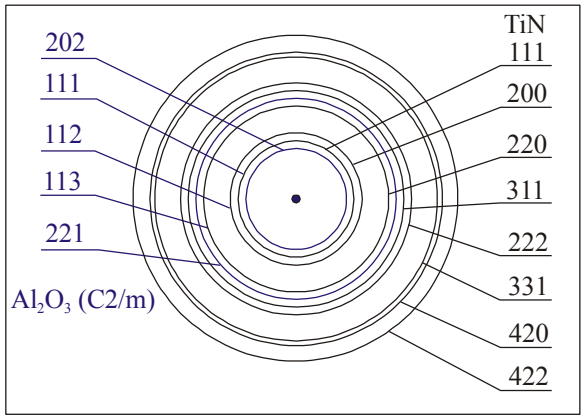




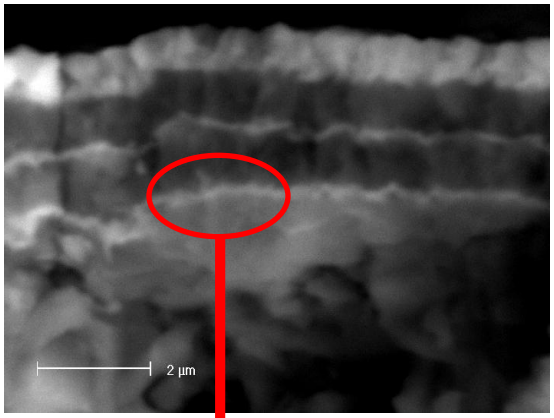
The transition zone

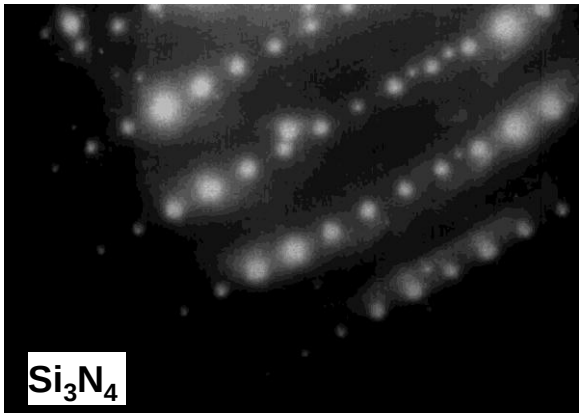
Cross-section perpendicular to a layer surface

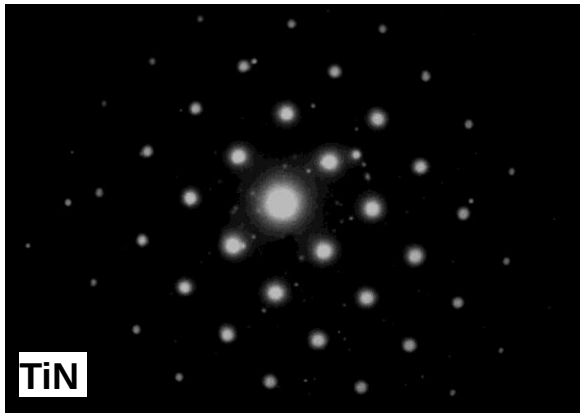




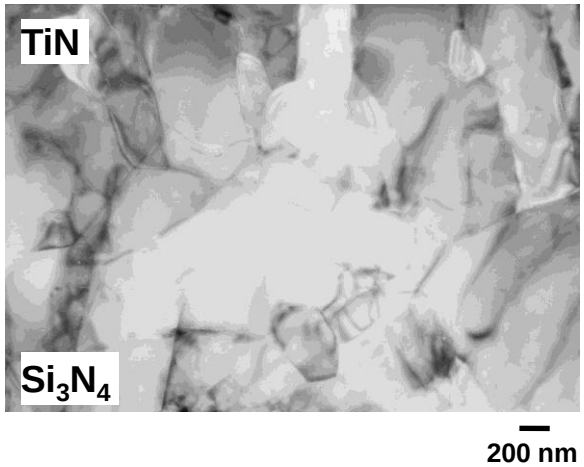
Struktura vrstvy TiN+Al_2O_3+TiN+Al_2O_3+TiN

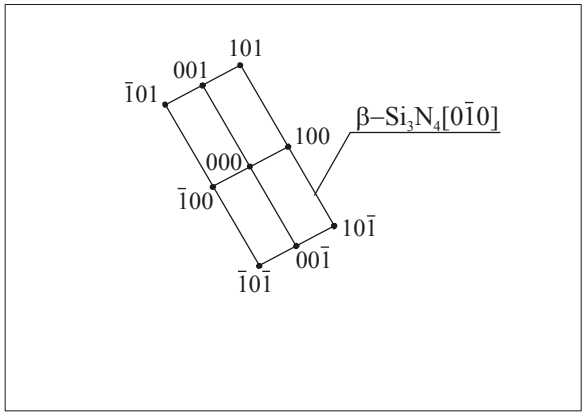


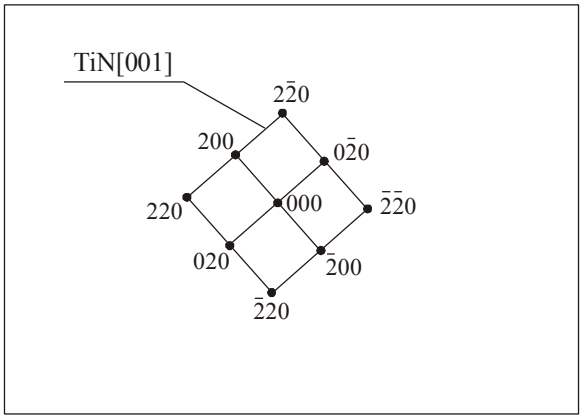




The transition zone

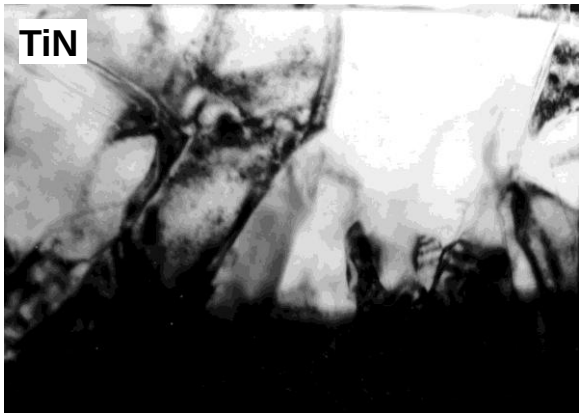




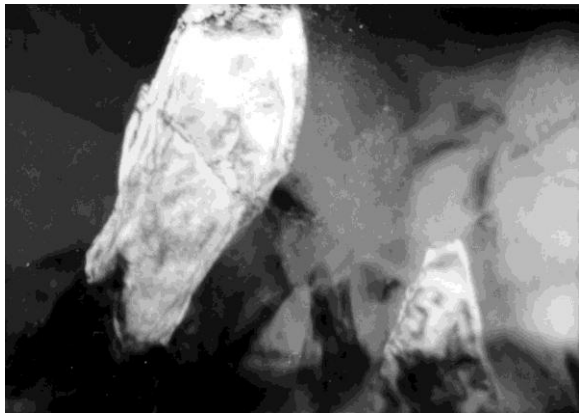


Cross-section perpendicular to a layer surface

Struktura vrstvy TiN+Al_2O_3+TiN+Al_2O_3+TiN

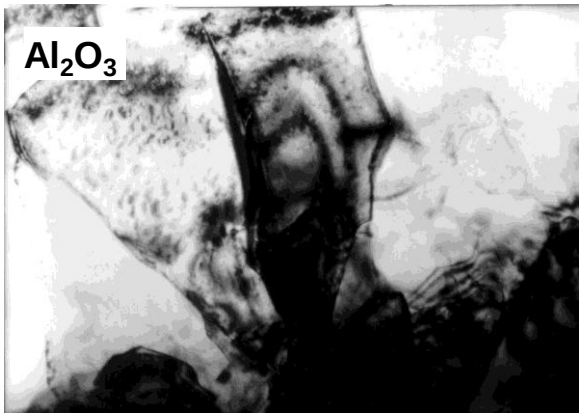


100 nm

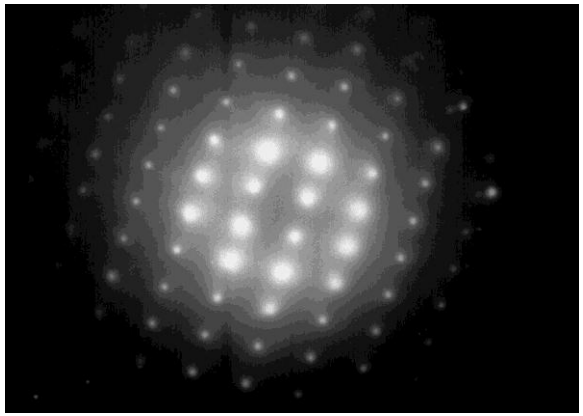


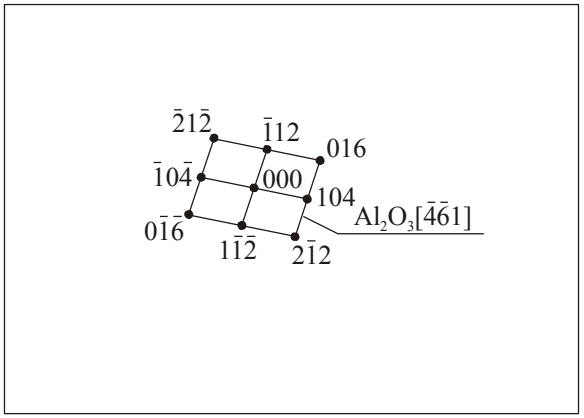
100 nm

Cross-section perpendicular to a layer surface

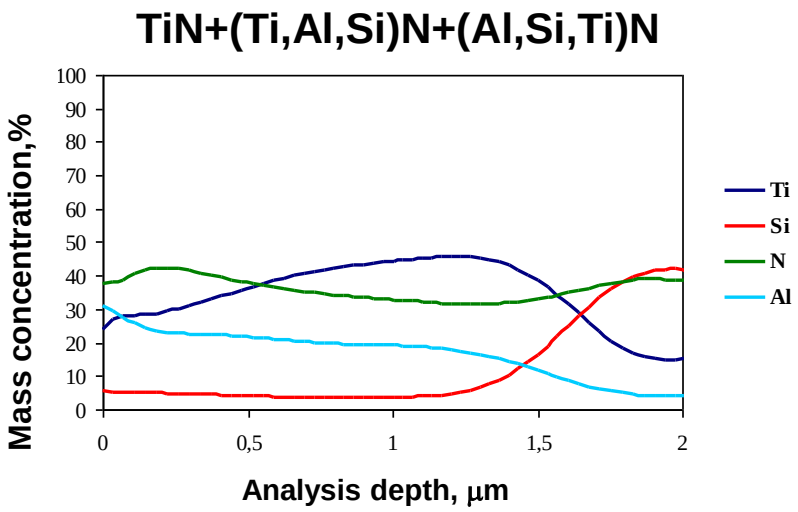


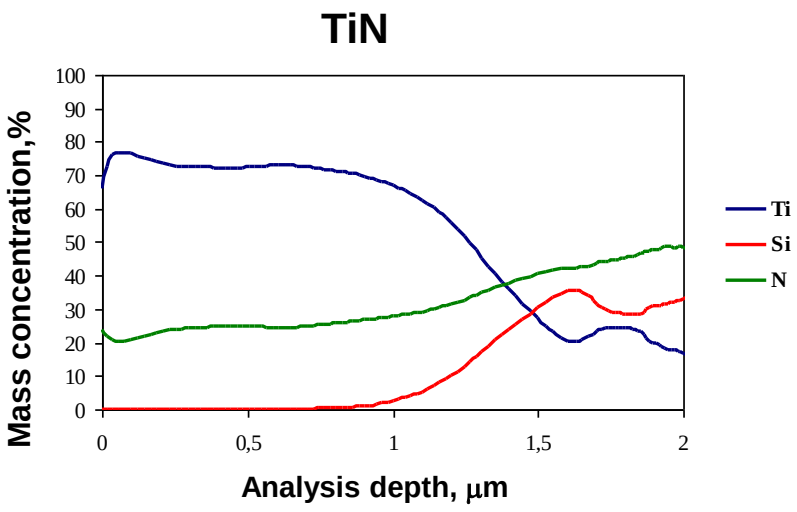
100 nm

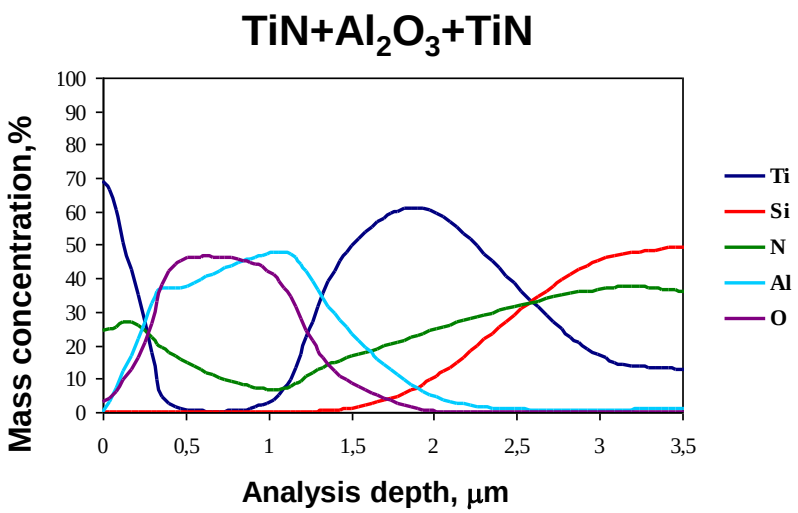


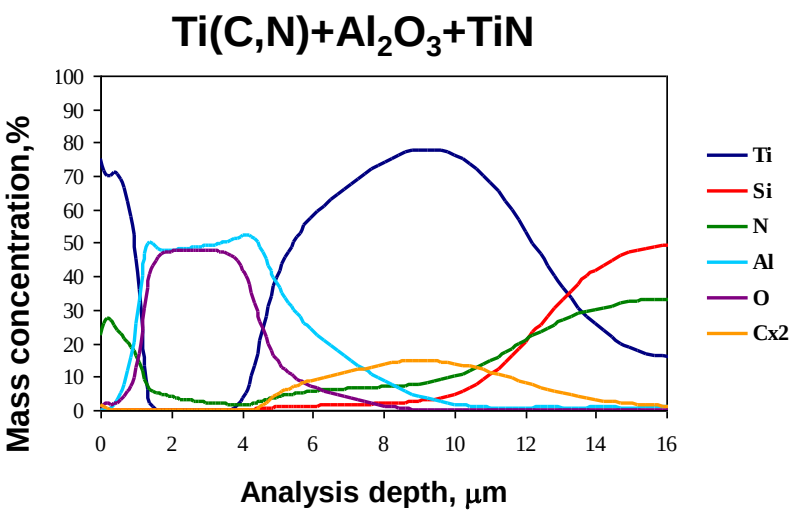


Chemická skladba vrstvy – výsledky z GDOES



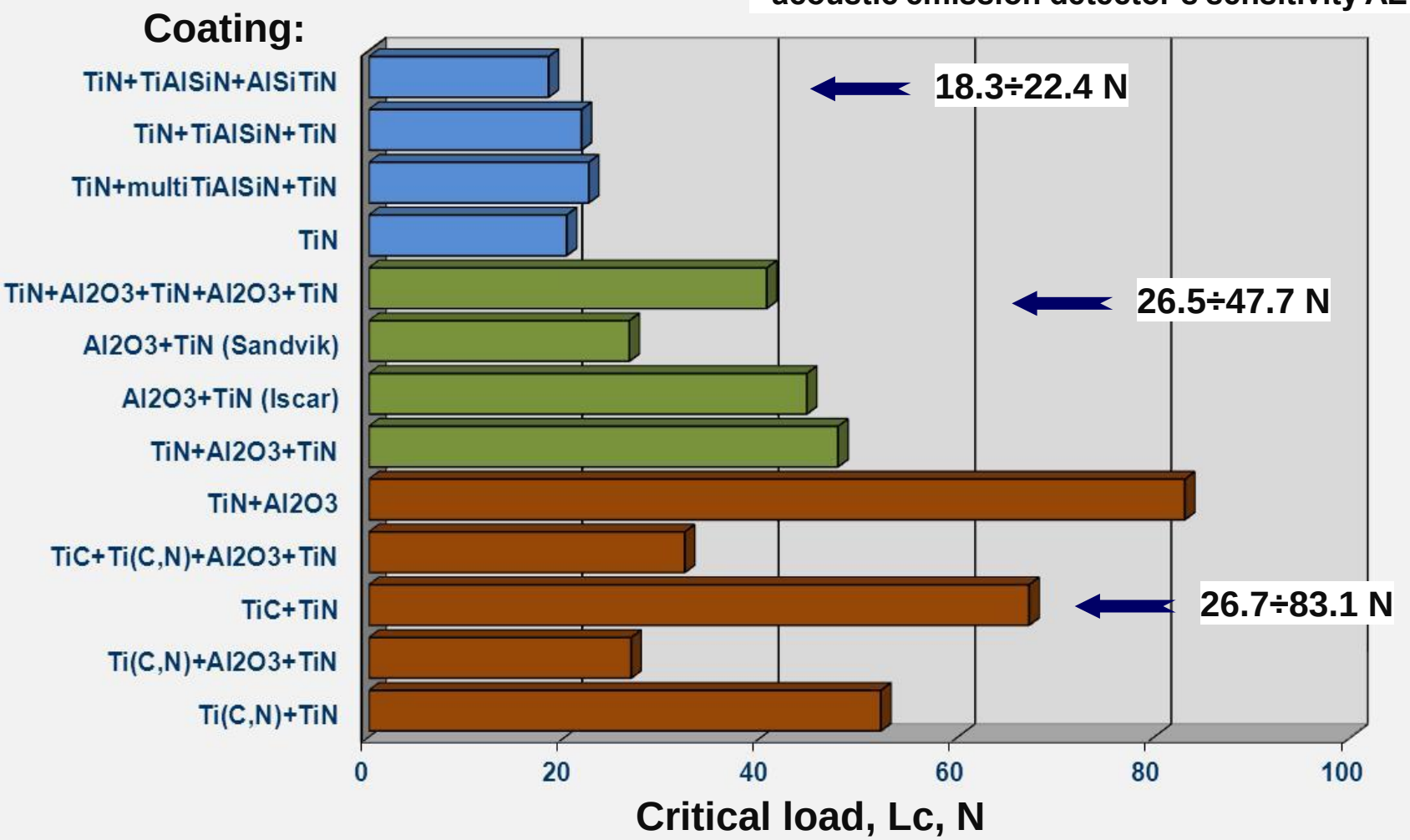






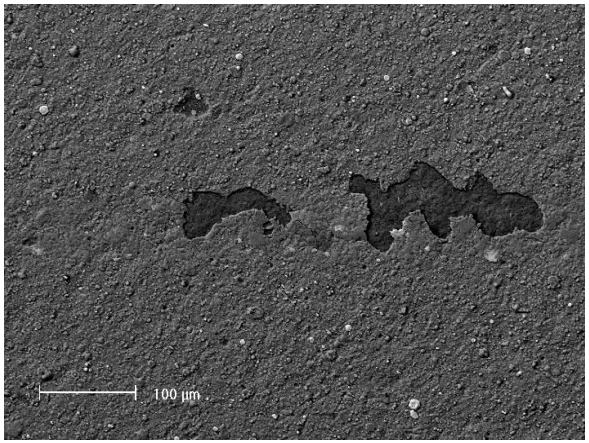
Adhezní vlastnosti

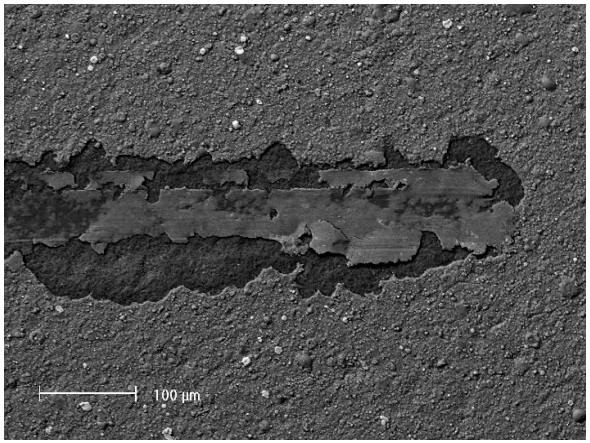
load range 0-100 N
load increase rate (dL/dt) 100 N/min
penetrator's travel speed (dx/dt) 10 mm/min
acoustic emission detector's sensitivity AE 1

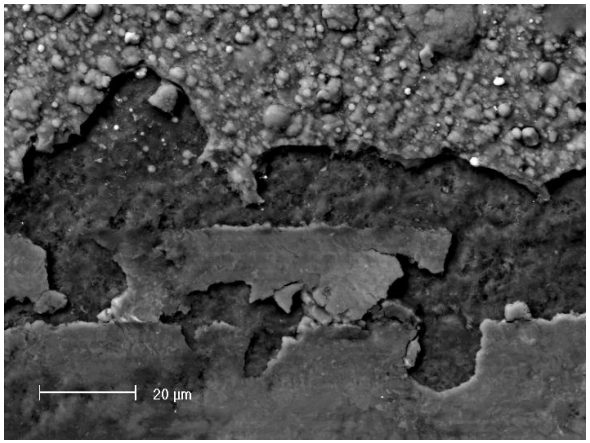


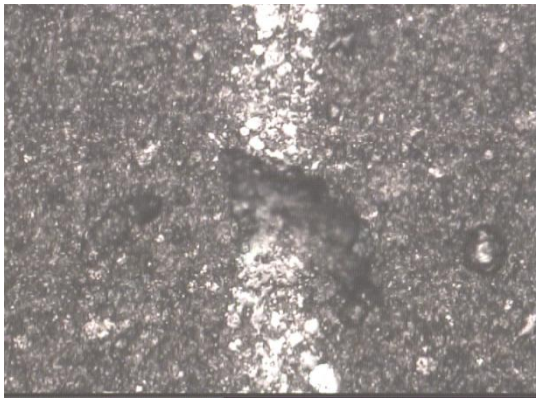
Adhezní vlastnosti

TiN+(Ti,Al,Si)N+TiN

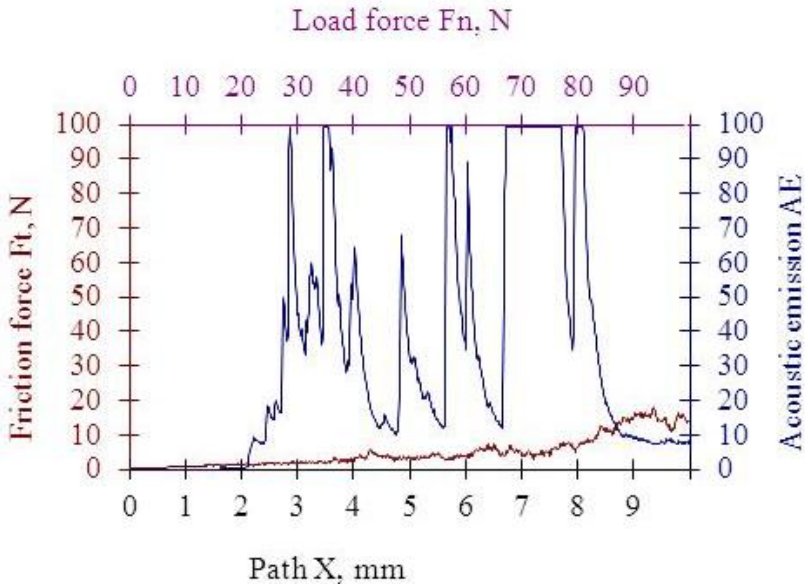






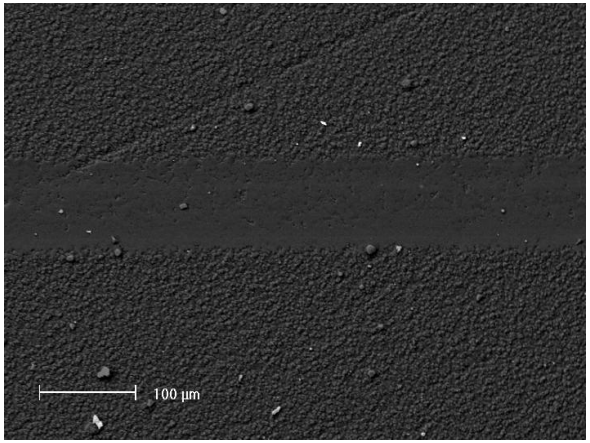


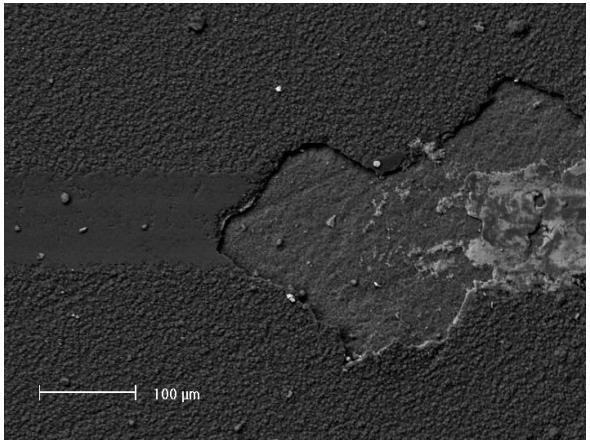
L_c = 21,65 N

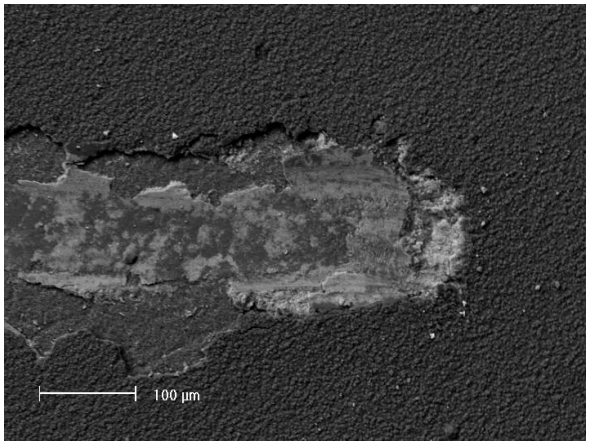


Adhezní vlastnosti

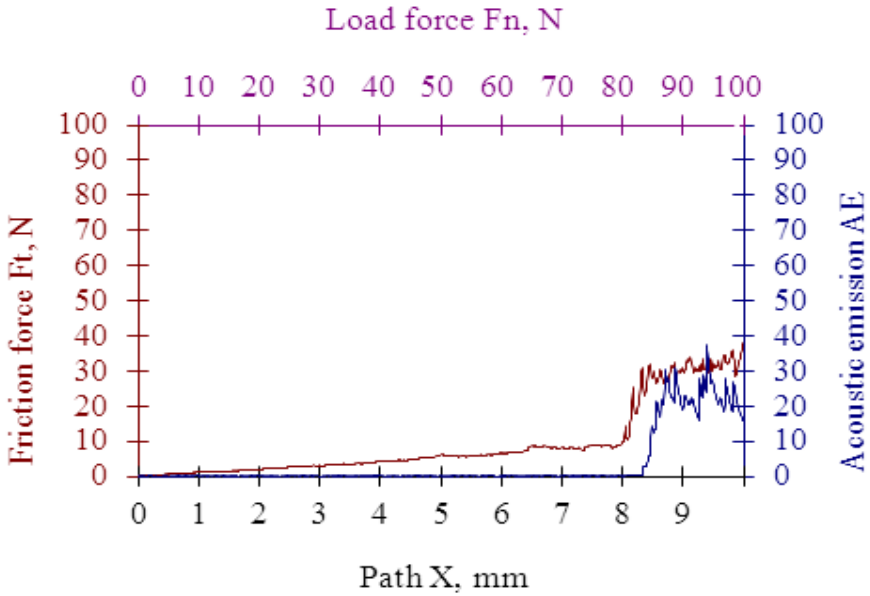
$TiN+Al_2O_3$





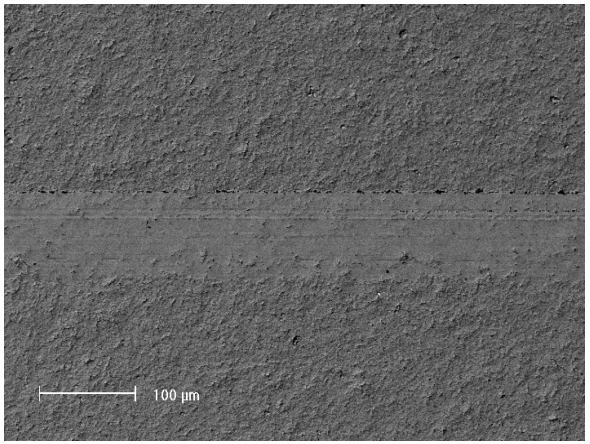


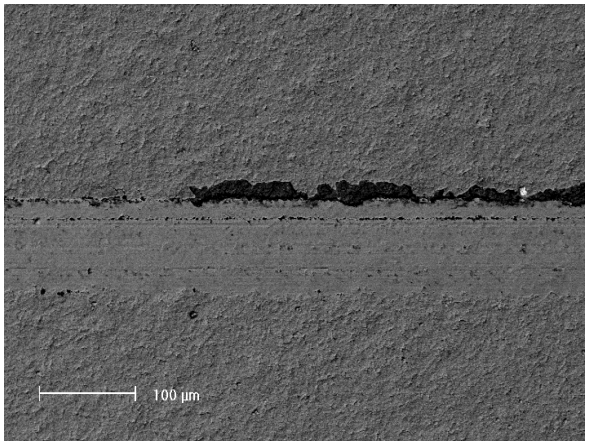
L_c = 82 N

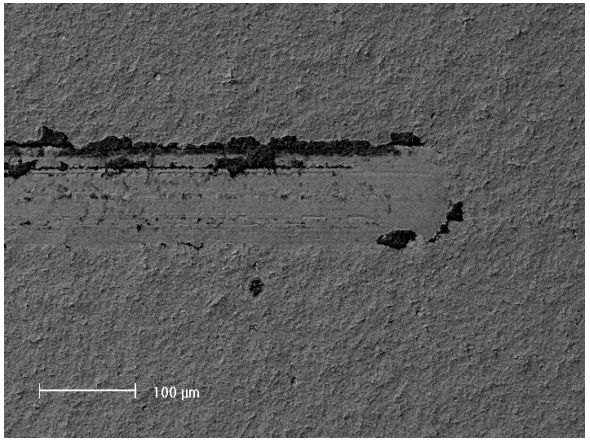


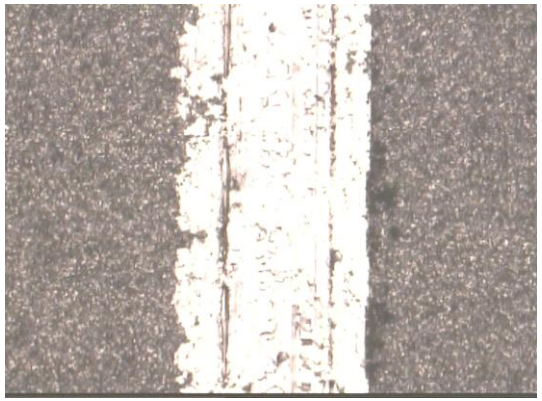
Adhezní vlastnosti

Al_2O_3 +TiN

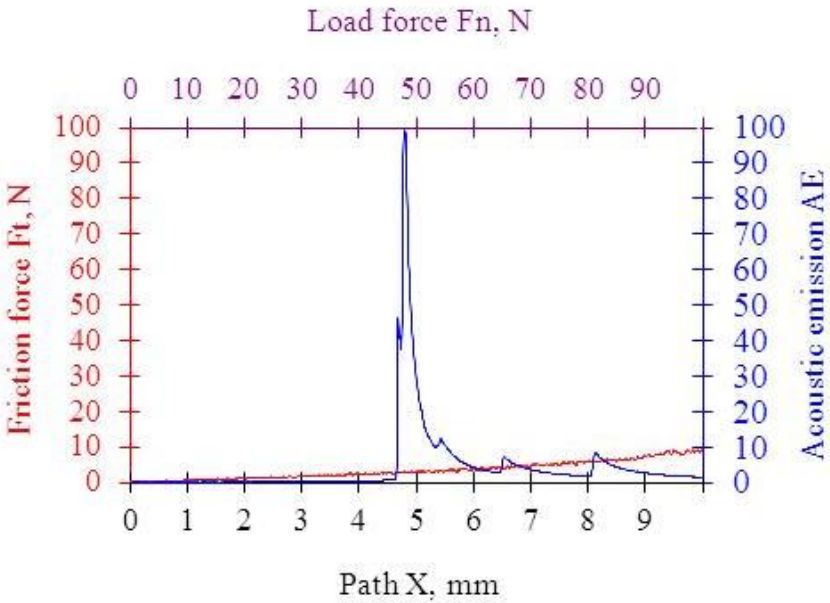




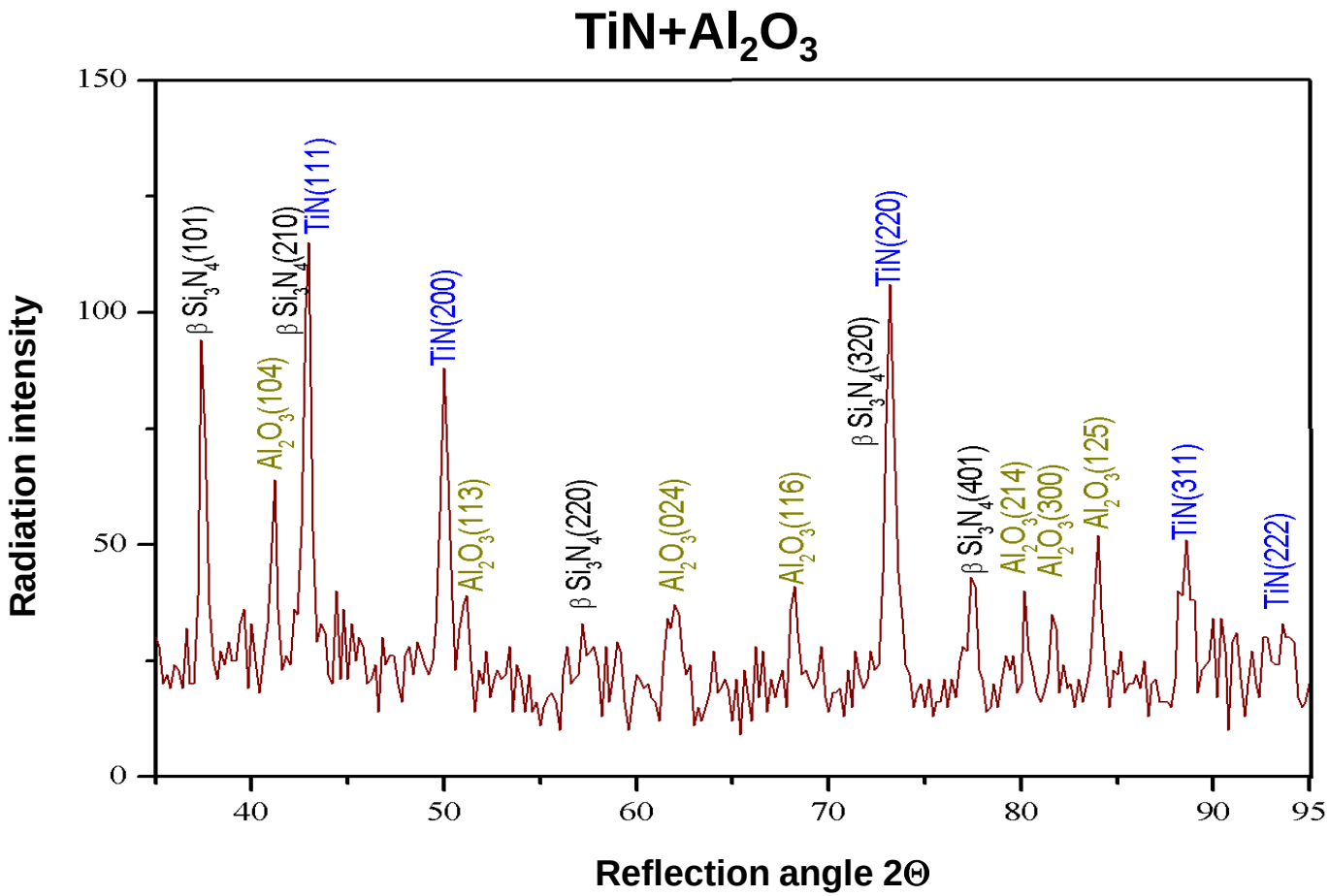




L_c = 48 N

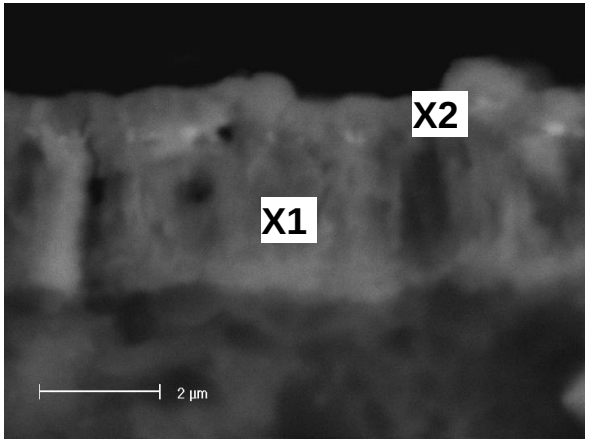


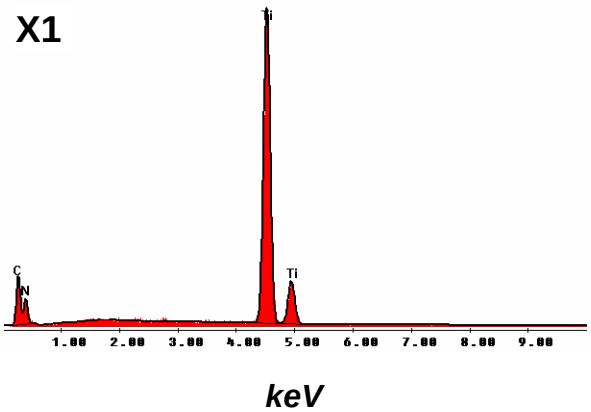
RTG fázová analýza

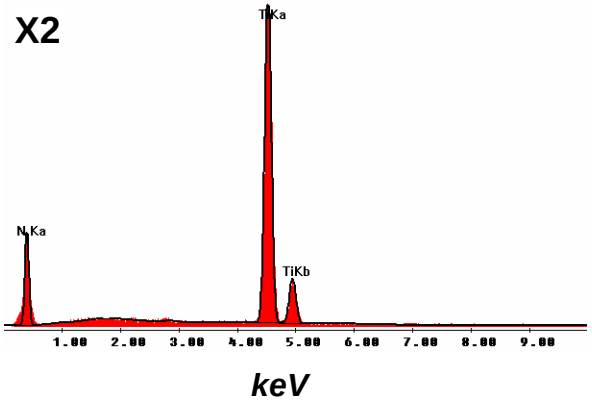


Chemická skladba vrstev

Ti(C,N)+TiN







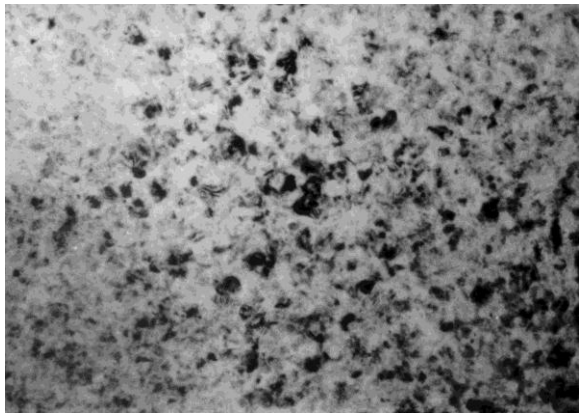
area X1

Element	Mass concentration of elements,%	Atomic concentration of elements, %
C	15,01	30,54
N	11,38	26,18
Ti	73,61	43,28
Sum	100,00	100,00

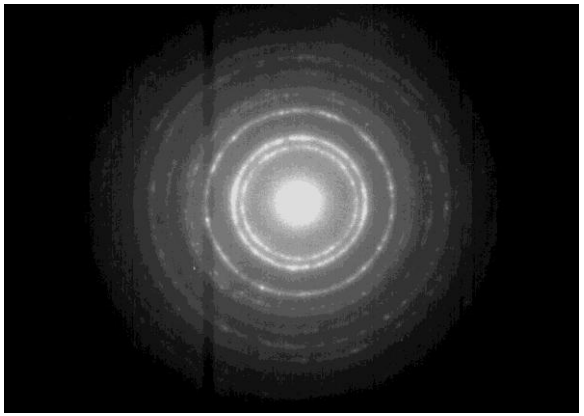
area X2

Element	Mass concentration of elements,%	Atomic concentration of elements, %
N	23,69	51,28
Ti	76,31	48,72
Sum	100,00	100,00

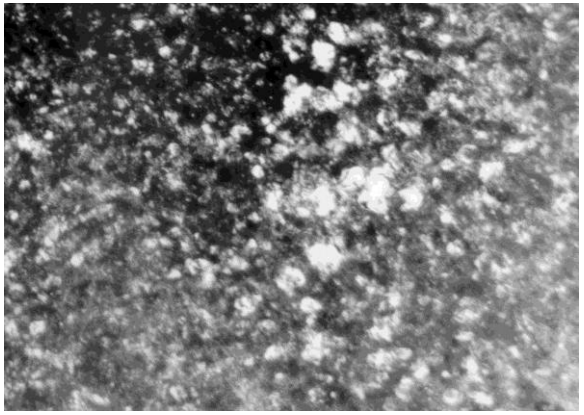
Struktura vrstvy TiN+multiTiAlSiN+TiN



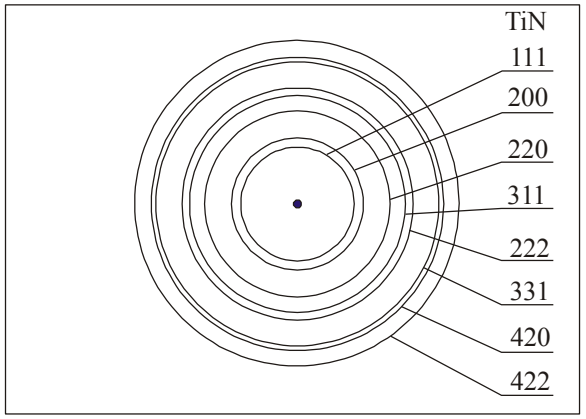
50 nm



Cross-section parallel to a layer surface

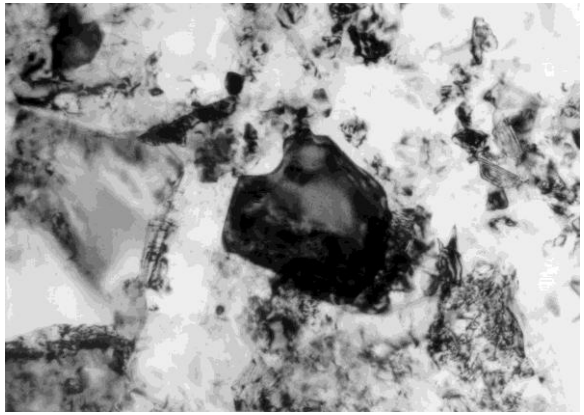


50 nm

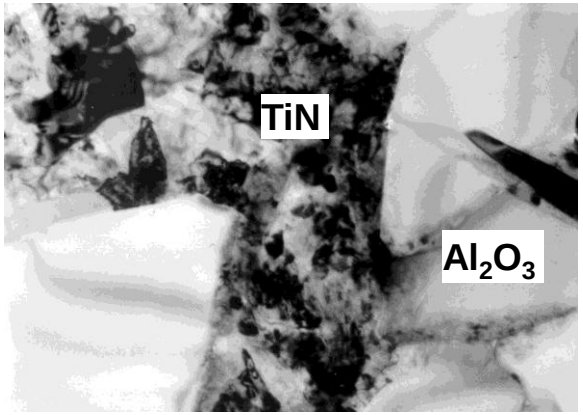


Dark field of reflexes (111) TiN

Struktura vrstvy TiN+Al_2O_3+TiN+Al_2O_3+TiN

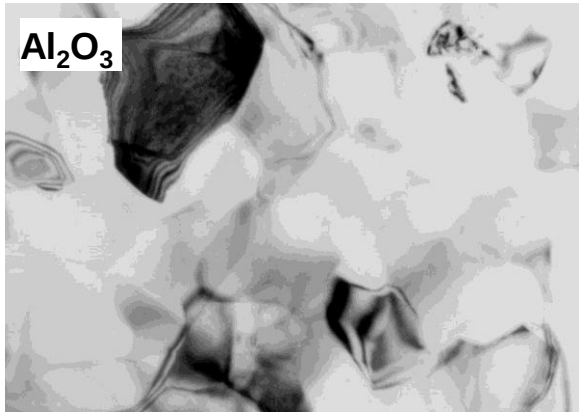


200 nm

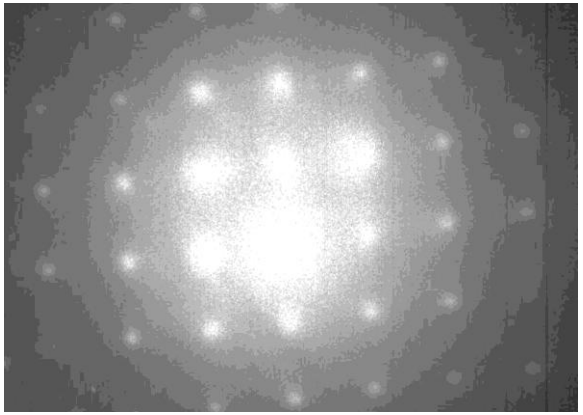


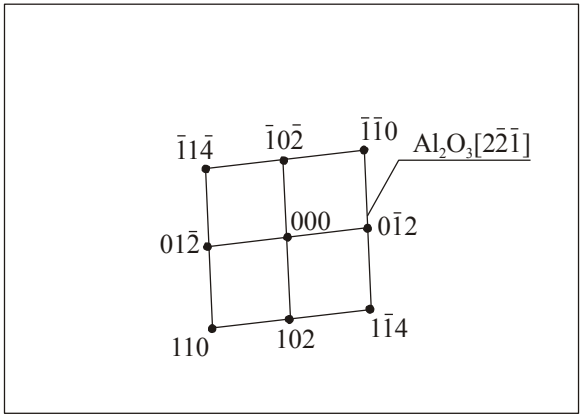
200 nm

Cross-section parallel to a layer surface



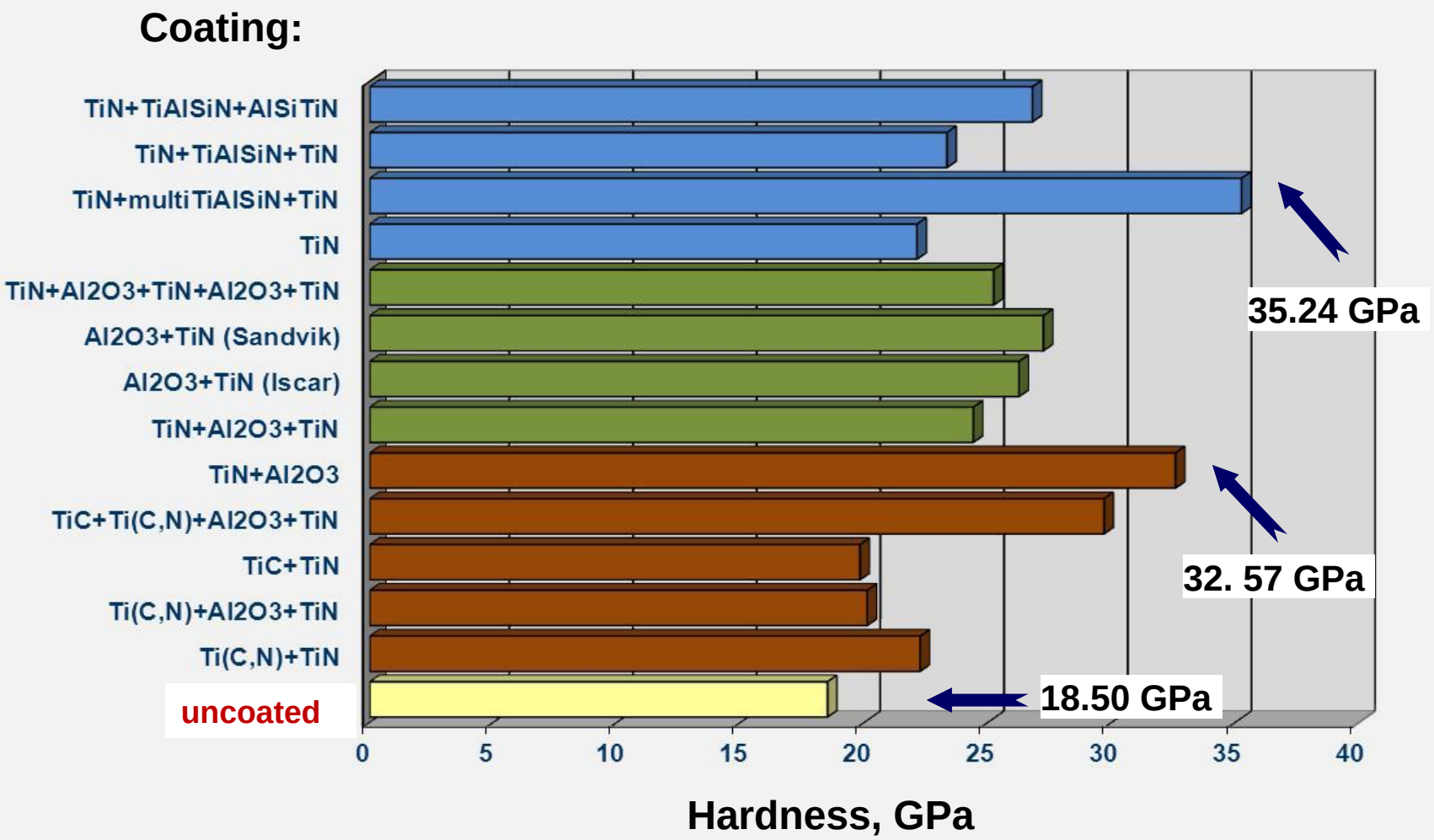
200 nm



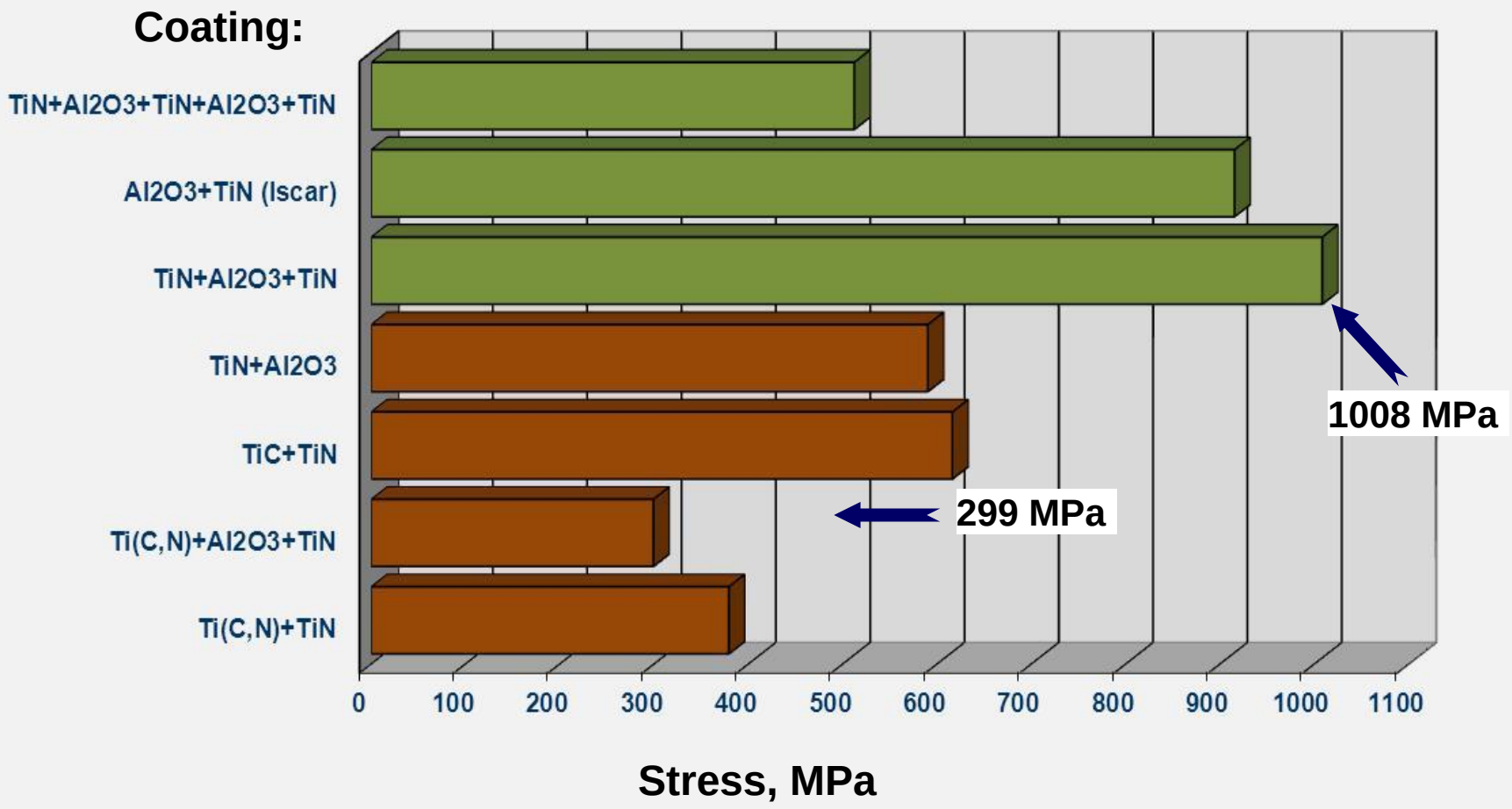


Nanotvrdost systémů tenká vrstva - substrát

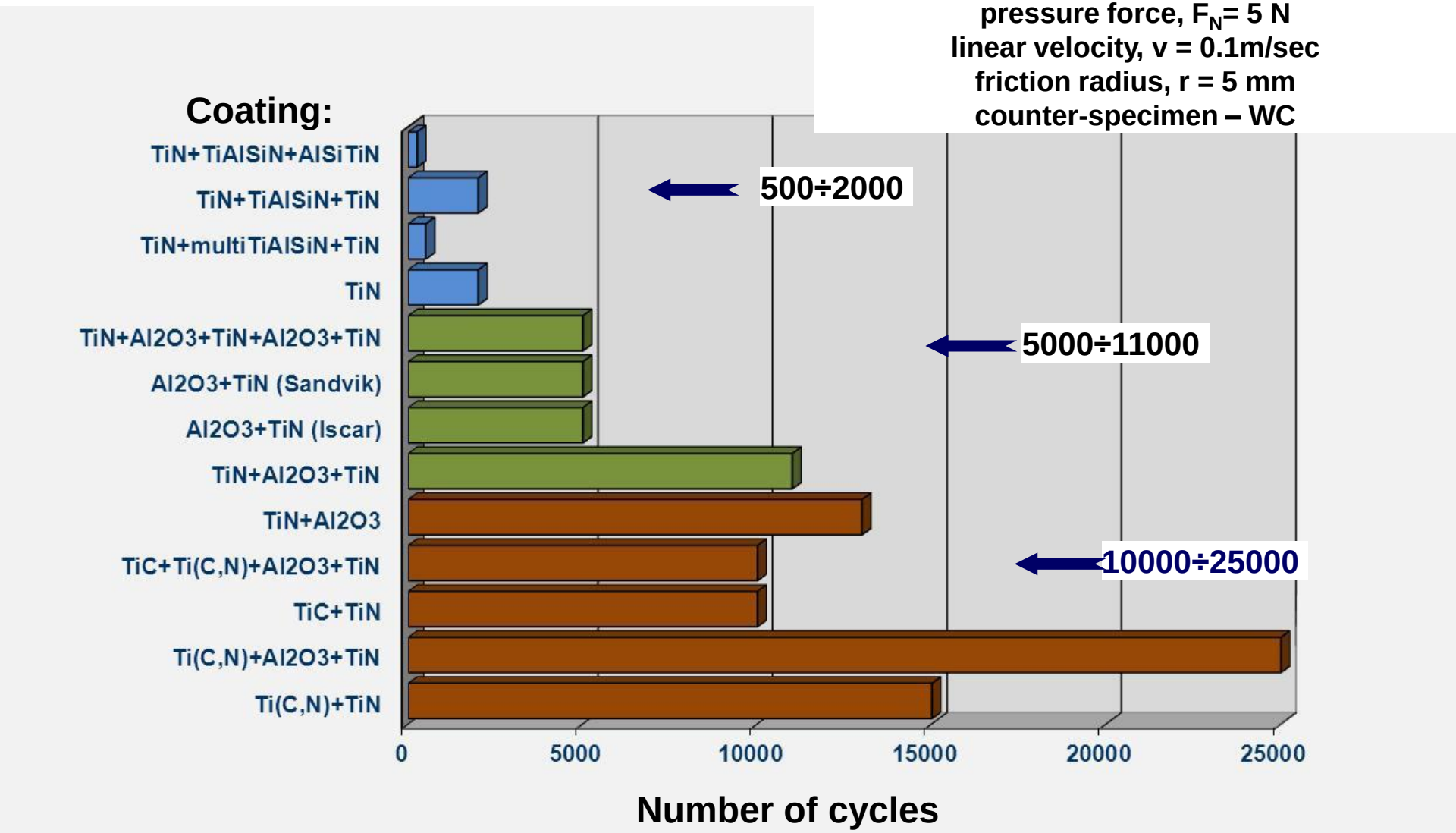
load, F = 70 mN



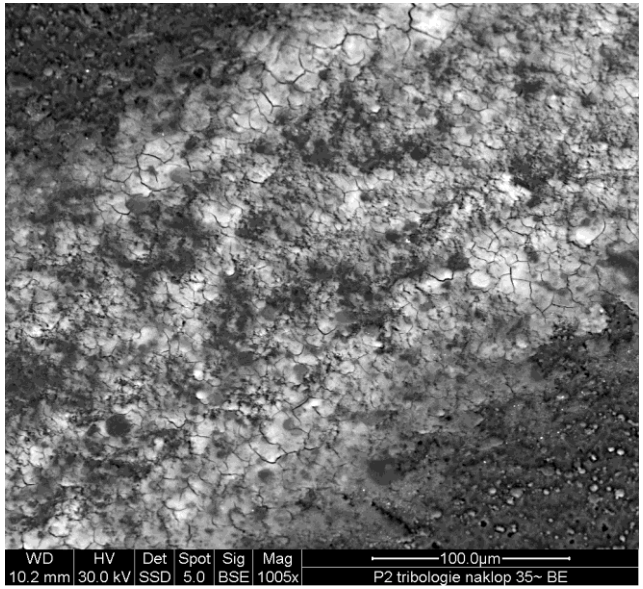
Zbytkové napětí v systému tenká vrstva-substrát

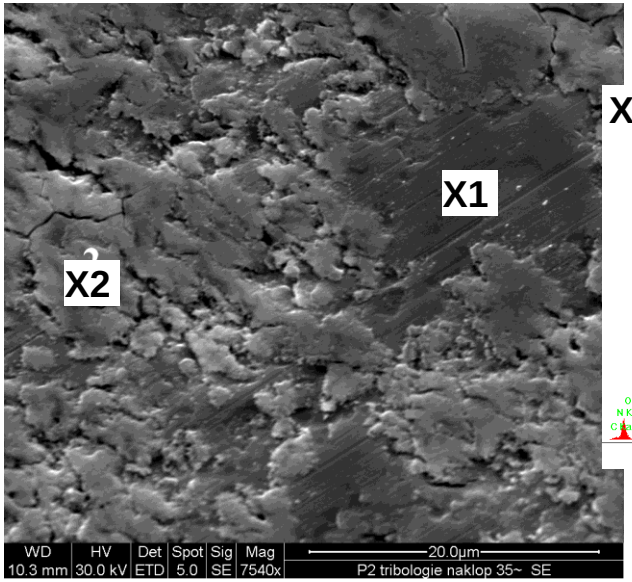


Odolnost proti opotřebení

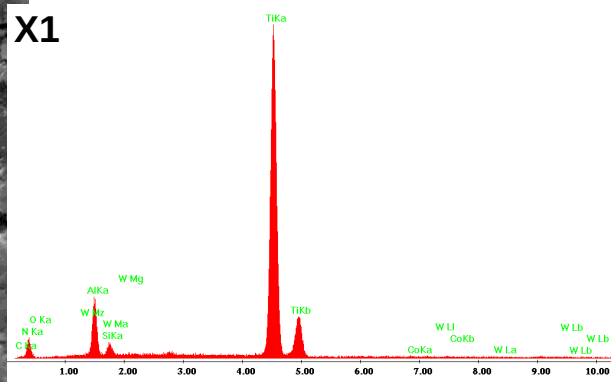


Odolnost proti opotřebení

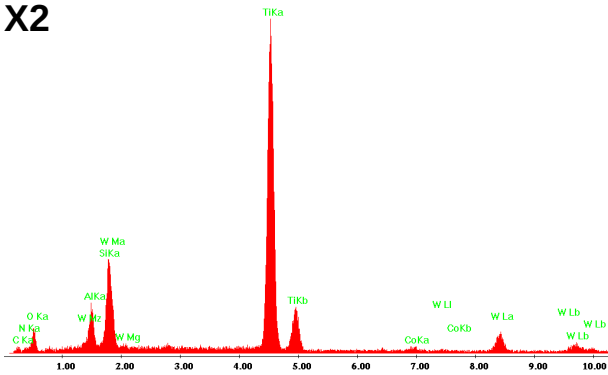




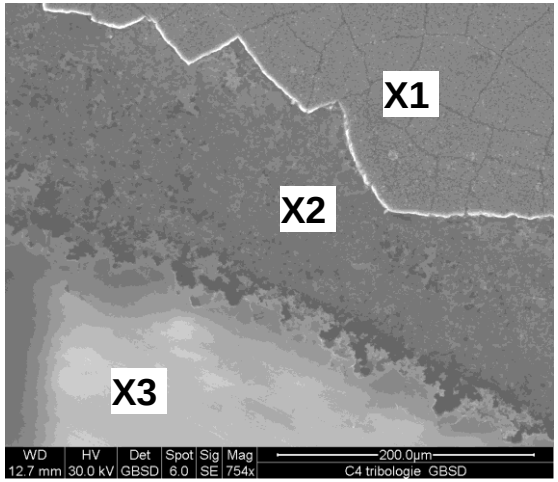
X1

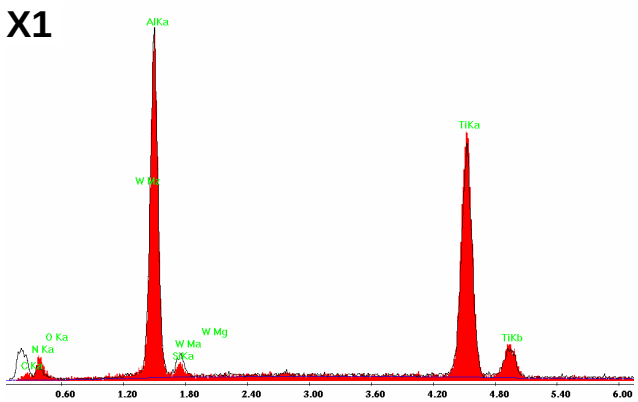


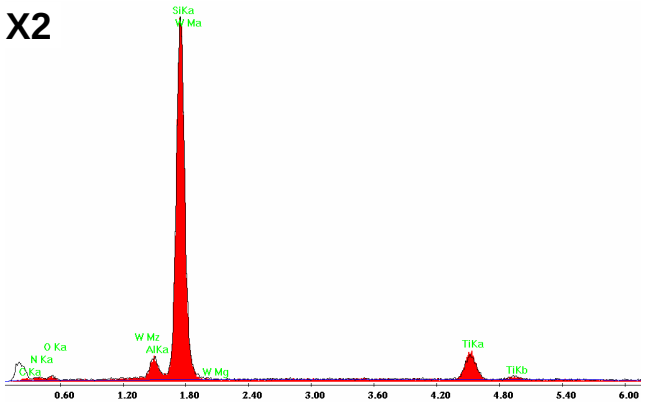
X2

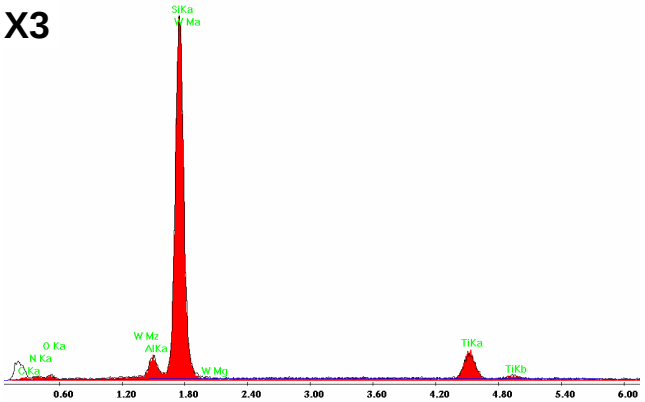


Trace of the tribological failure on the surface of TiN+multi(Ti,Al,Si)N+TiN coating deposited onto the Si_3N_4 nitride ceramics, number of cycles 500 and X-ray energy dispersive plots from the surface of TiN+multiTiAlSiN+TiN coating, c) region 1, d) region 2



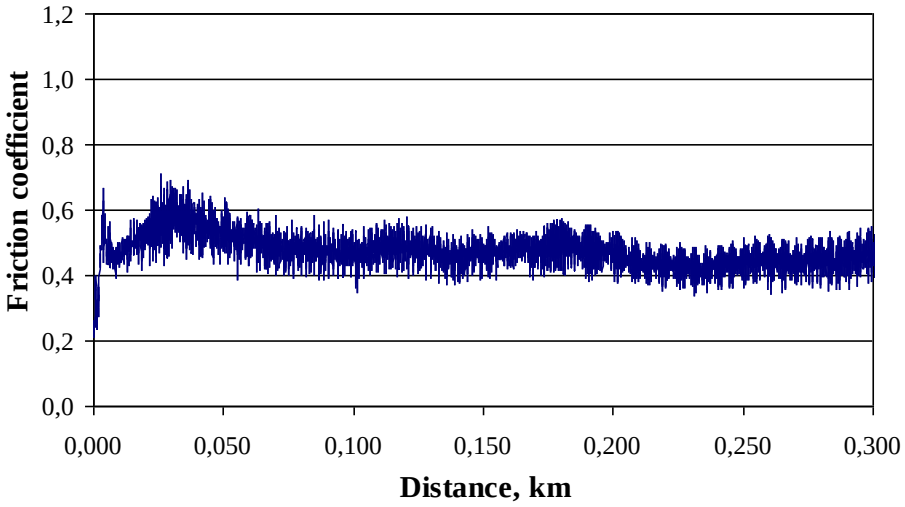






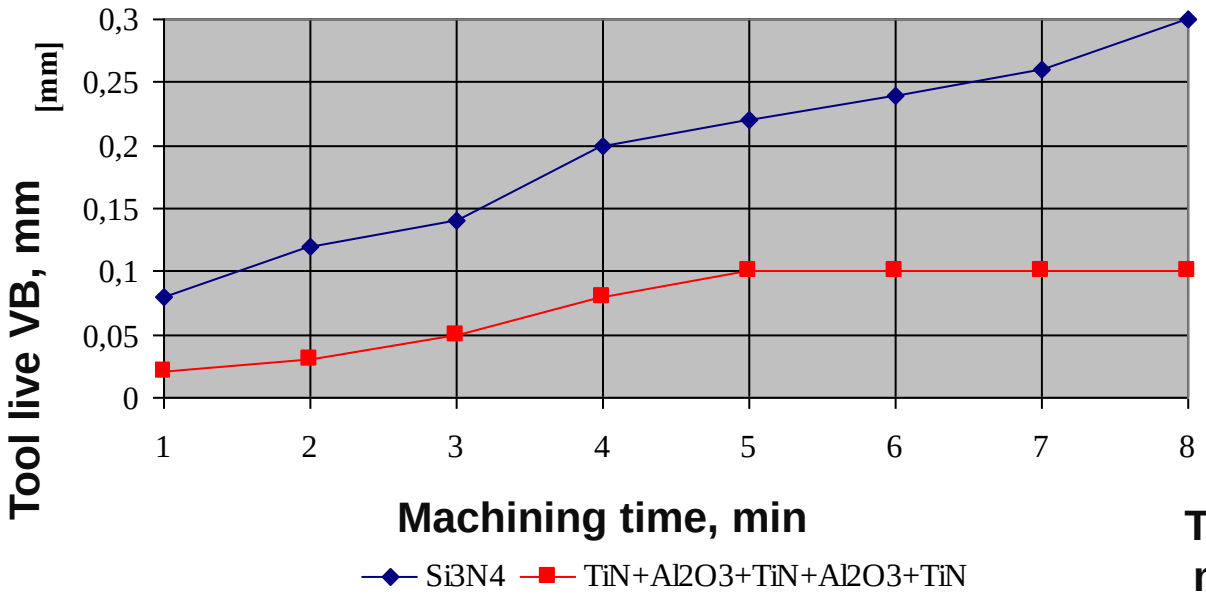
Trace of the tribological failure on the surface of TiC+Ti(C,N)+Al_2O_3+TiN coating deposited onto the Si_3N_4 nitride ceramics, number of cycles 500 and X-ray energy dispersive plots from the surface of TiC+Ti(C,N)+Al_2O_3+TiN coating, b) region 1, c) region 2, d) region 3.

Trace of the tribological failure on the surface of TiN+Al_2O_3+TiN coating deposited onto the Si_3N_4 nitride ceramics, number of cycles 11000

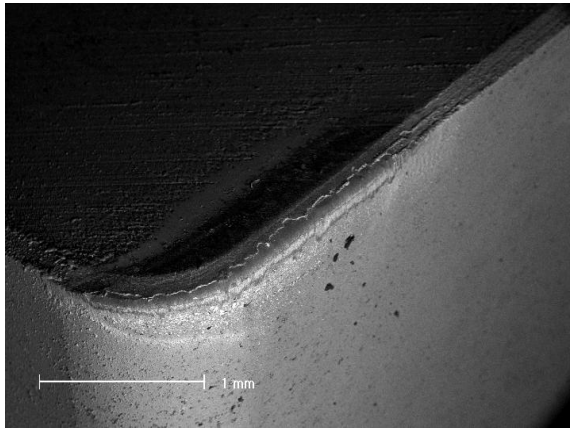


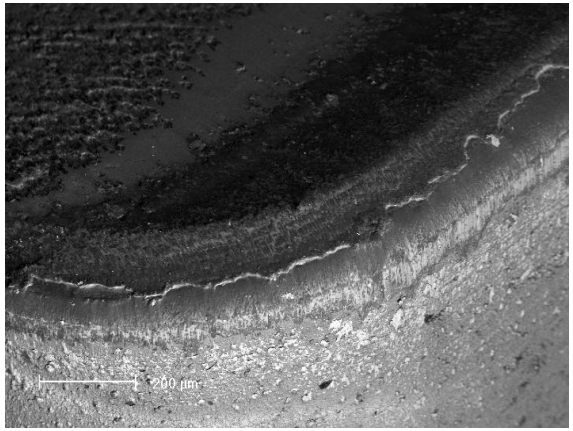
Friction coefficient plot versus friction trace length during the „pin-on-disk" test for the TiC+Ti(C,N)+Al_2O_3+TiN coating deposited onto the Si_3N_4 nitride ceramics substrate

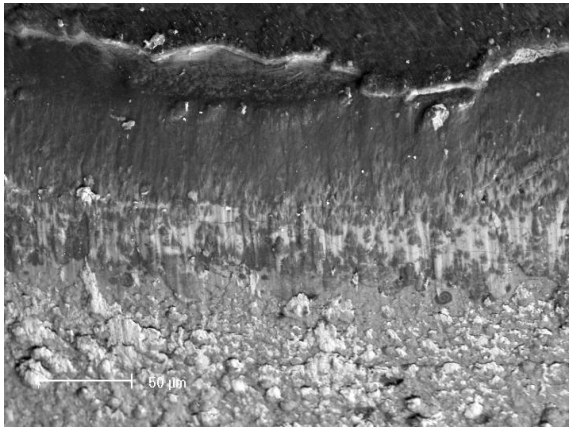
Řezné vlastnosti – trvanlivost břitu



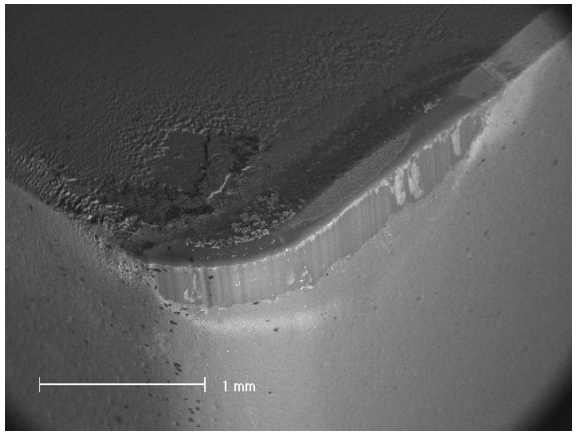
$TiN+Al_2O_3+TiN+Al_2O_3+TiN$
machining time t = 8 min
VB = 0.10 mm

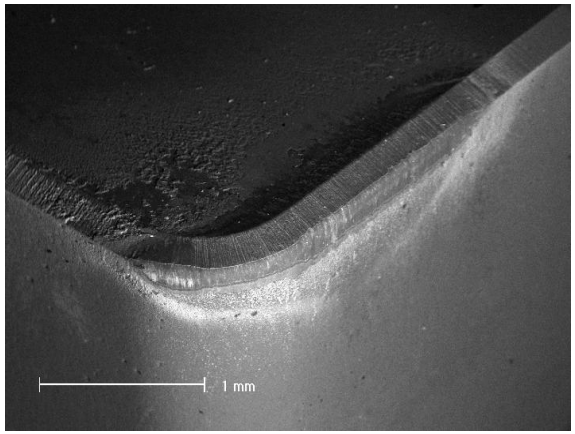


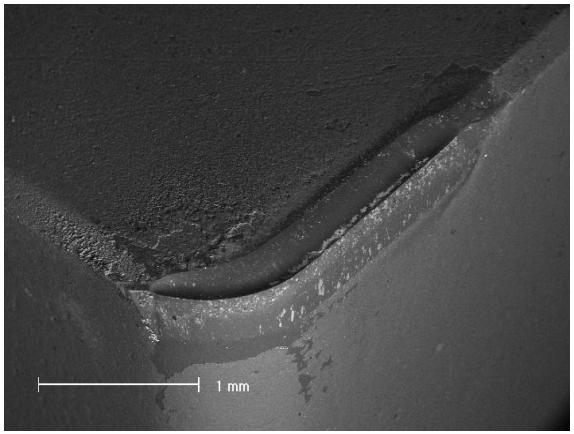


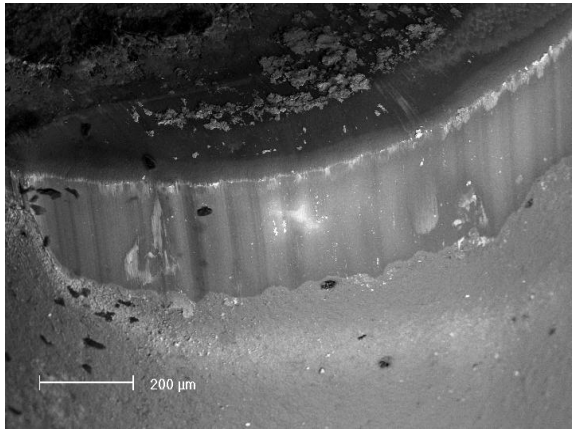


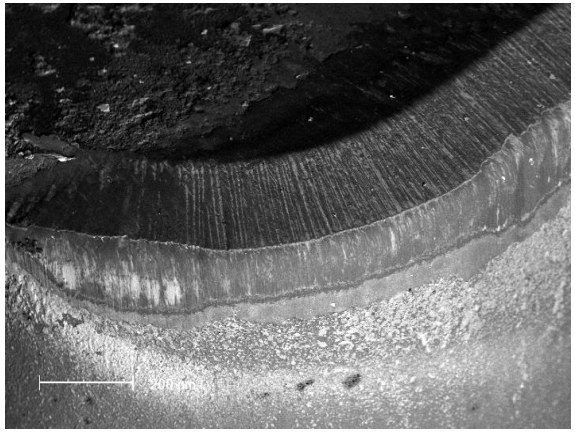
Řezné vlastnosti – praktické testy

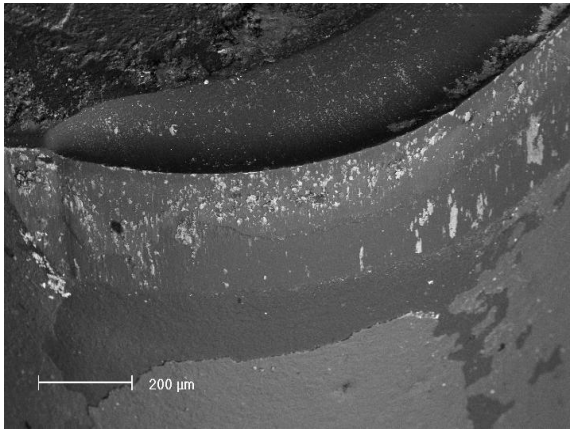












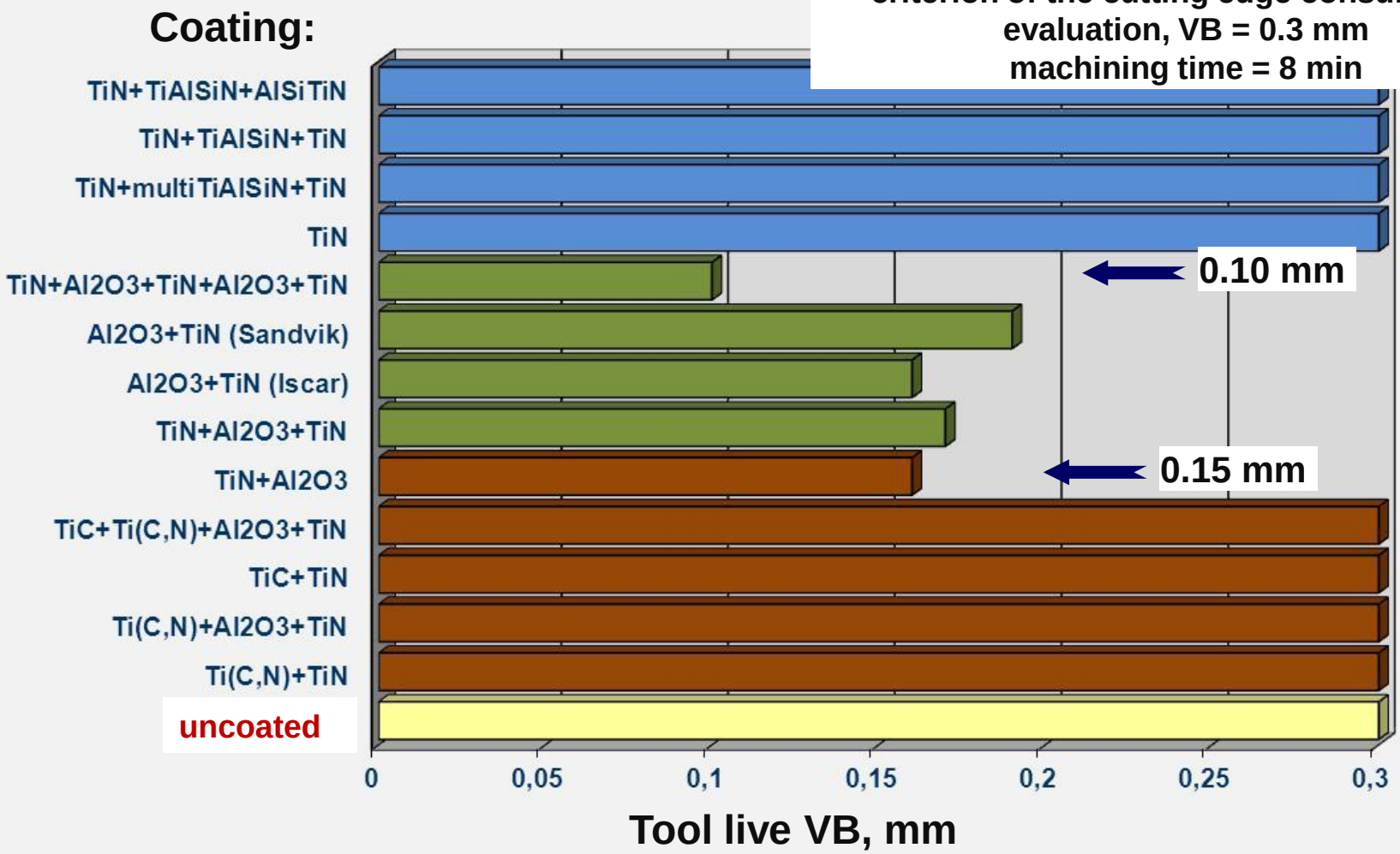
uncoated Si_3N_4

$TiN+Al_2O_3$

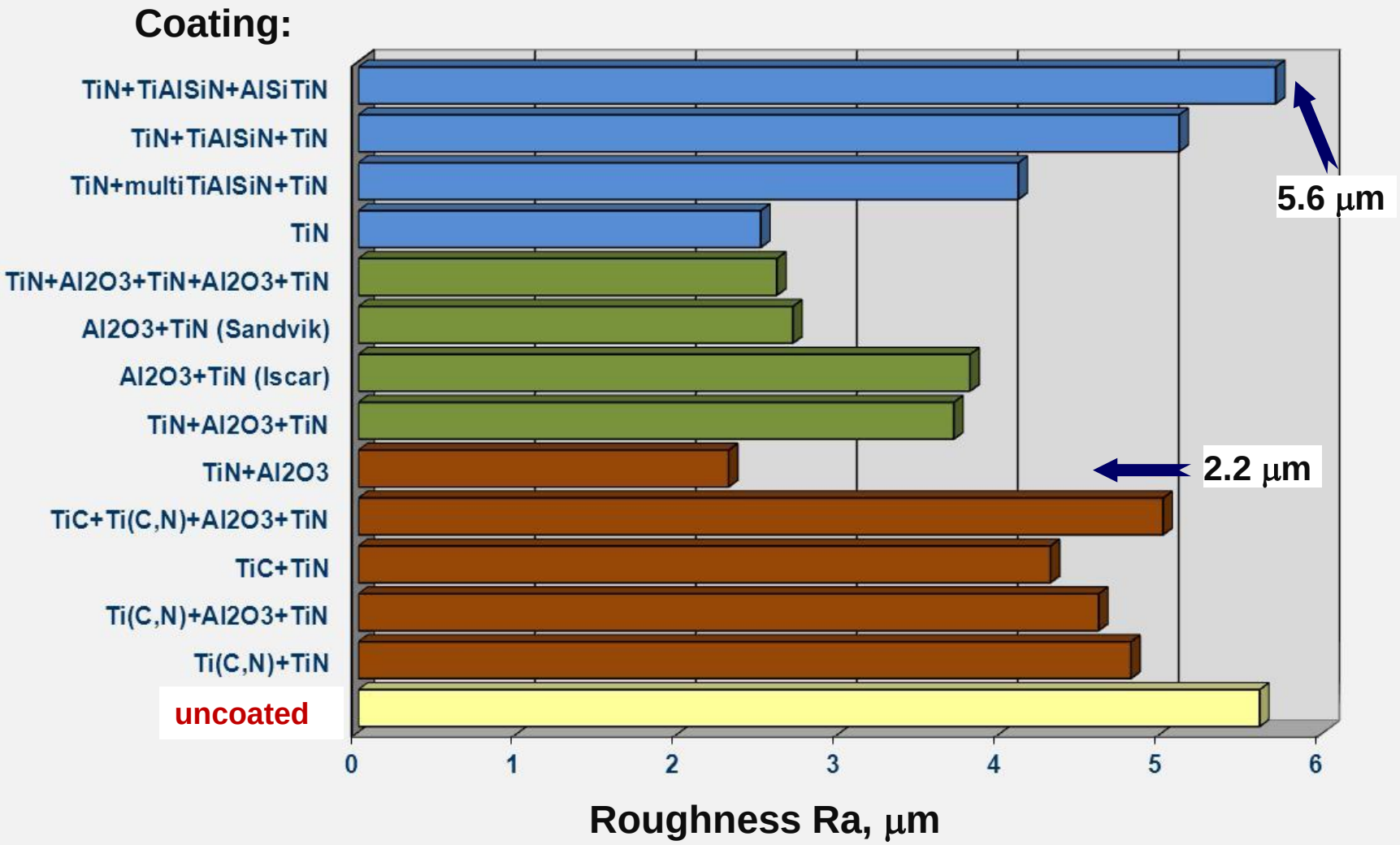
TiN+(Ti,Al,Si)N+TiN

Výsledky řezných zkoušek

cutting speed, v_c = 400 mm/min
feed rate, f = 0.2 mm/rev
depth of cut, a_p = 2 mm
criterion of the cutting edge consumption evaluation, VB = 0.3 mm
machining time = 8 min

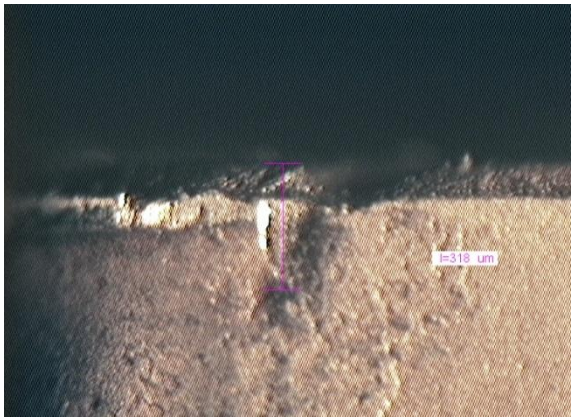


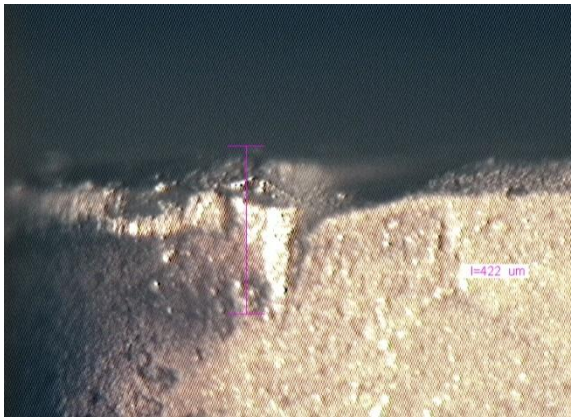
Výsledky řezných zkoušek



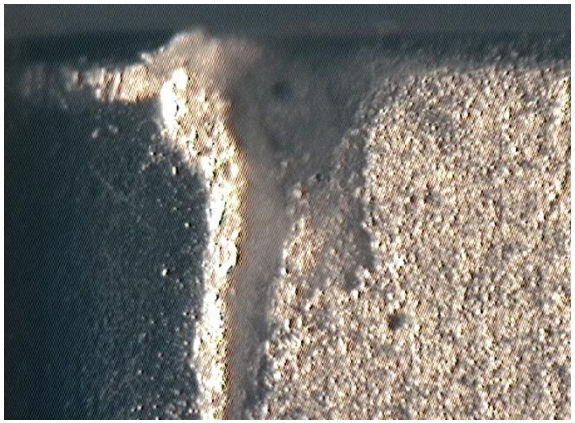
Výsledky řezných zkoušek

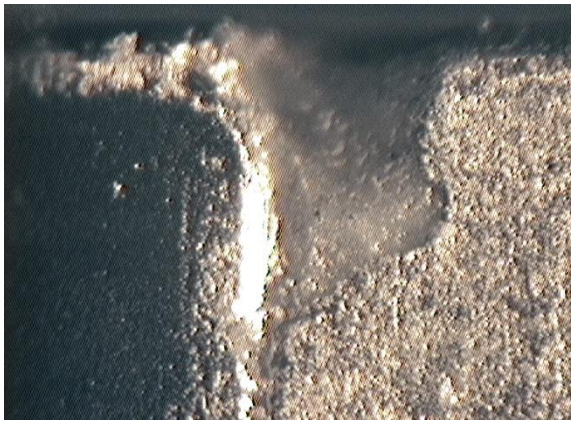
STAV BŘITU NÁSTROJE





TiN+multi(Ti,Al,Si)N+TiN
machining time = 1.5 min
VB = 0.42 mm



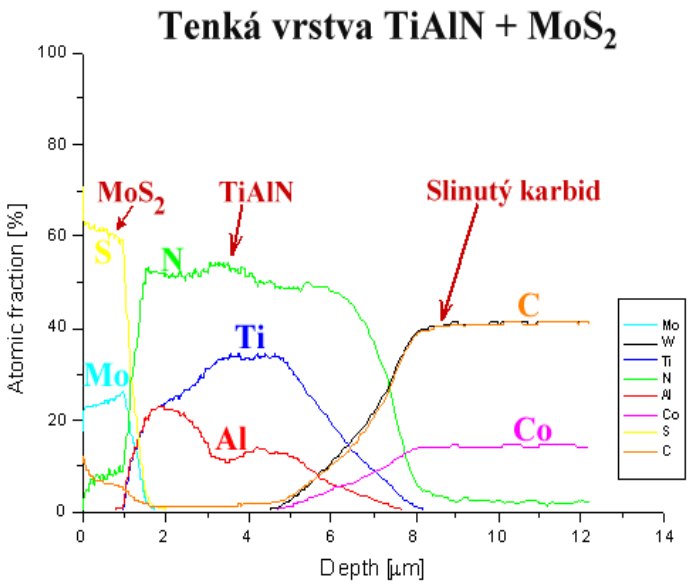


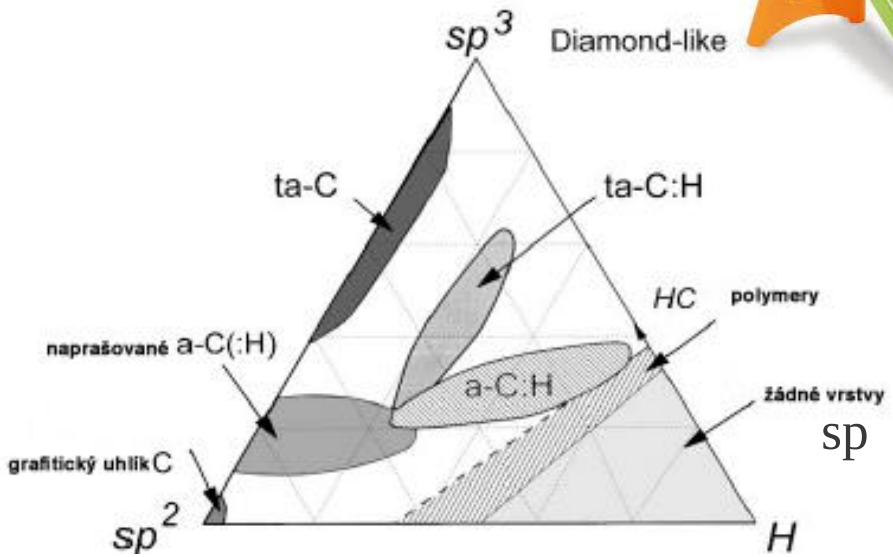
TiN+Al_2O_3
machining time = 0.5 min
VB = 0.98 mm

Shrnutí výsledků

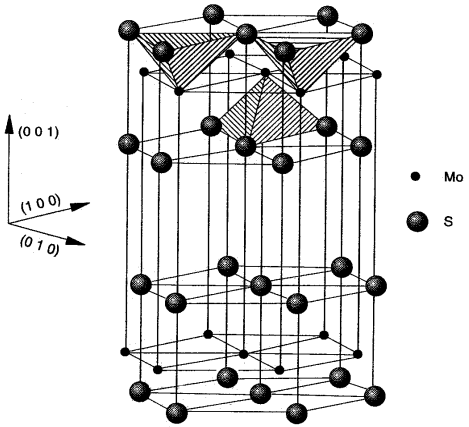
High hardness, good adhesion, and very good abrasion wear resistance - especially noticeable for the nitride ceramics with the Al_2O_3+TiN combination of layers and with the TiN+Al_2O_3 coating, increase the cutting tool flank life and therefore, and also because of the possibility of their use in the pro-ecological dry-cutting processes, without employment of any cutting fluids, make these coatings suitable for many industrial applications on cutting tools.

Frikční („kluzné“) vrstvy

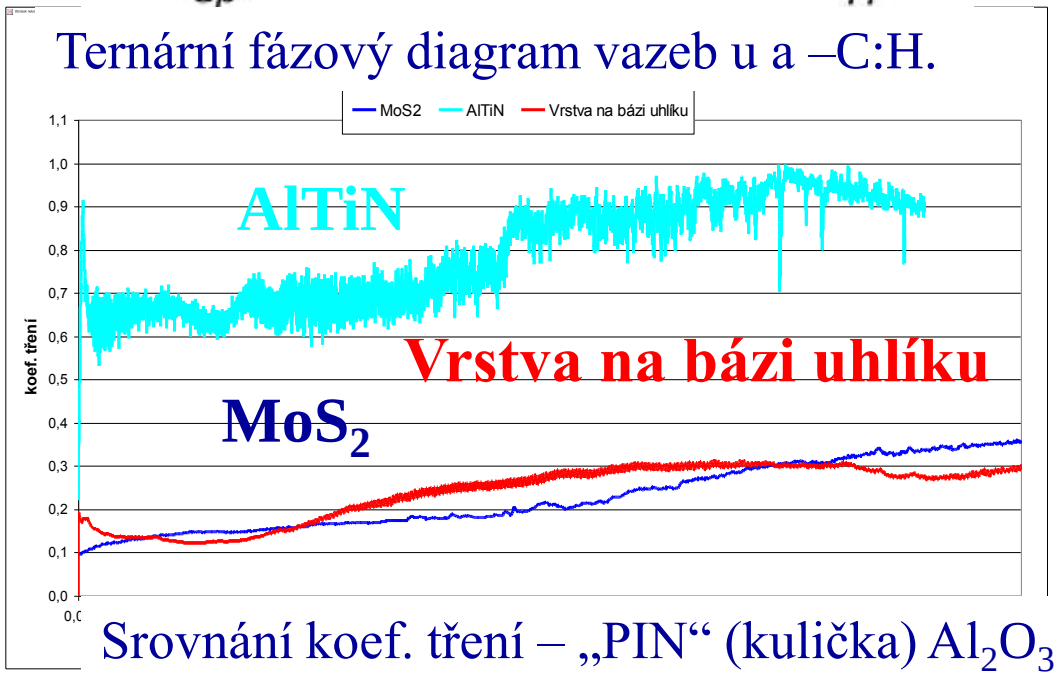




Ternární fázový diagram vazeb u a –C:H.



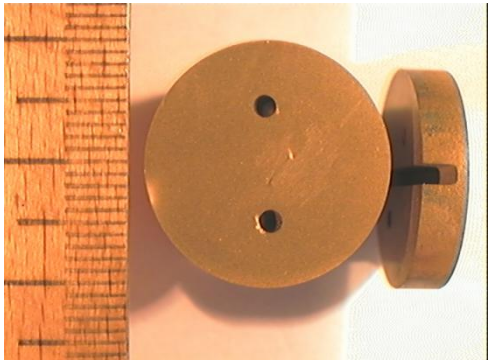
Krystalografická mřížka MoS_2



Srovnání koef. tření – „PIN“ (kulička) Al_2O_3

Podle jakých kritérií rychle a levně poznat špatnou vrstvu?

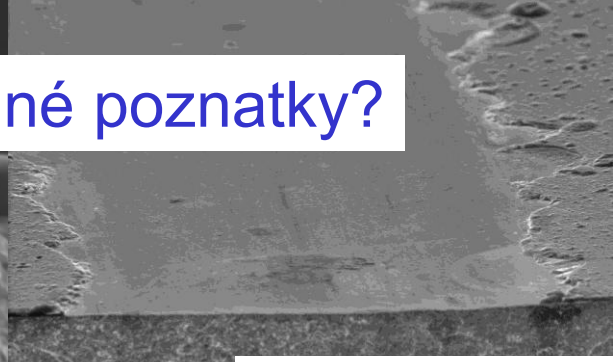
- Testování vzorků

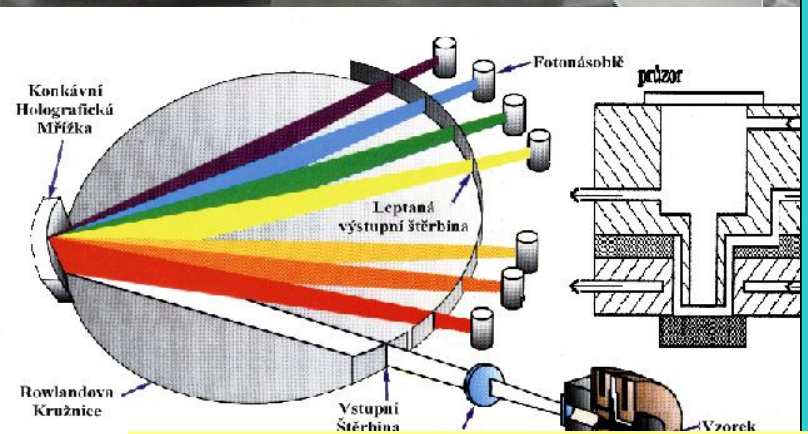


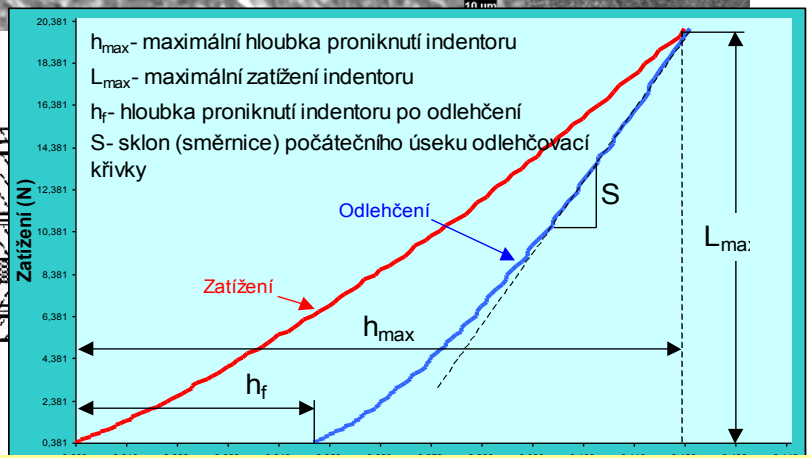
zkušební vzorek

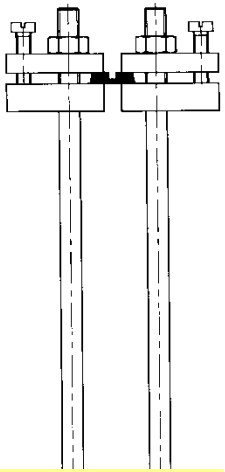
- Stanovení tloušťky vrstev
- Tribologické analýzy
- Analýza GD-OES – hloubkové koncentrační profily
- Mikrotvrdost systému tenká vrstva-substrát
- Adhezivně-kohezivní chování systému tenká vrstva-substrát
- a) vnikací metoda
- b) scratch test
- Zkoušky o vyšší teplotě
- Povrchové kontaktní zkoušky
- Impact test

Jaká zkouška dává důvěryhodné poznatky?

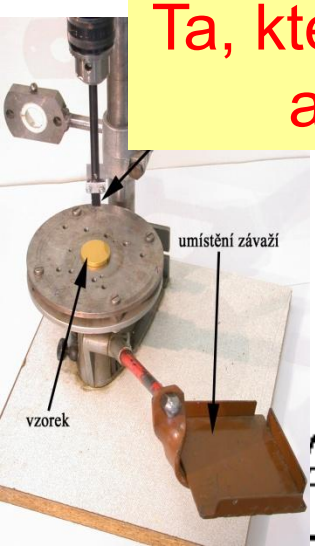


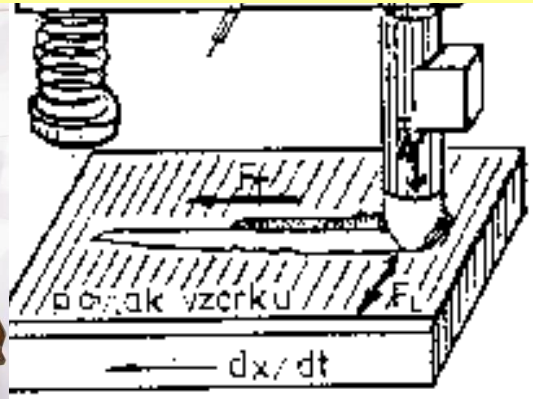


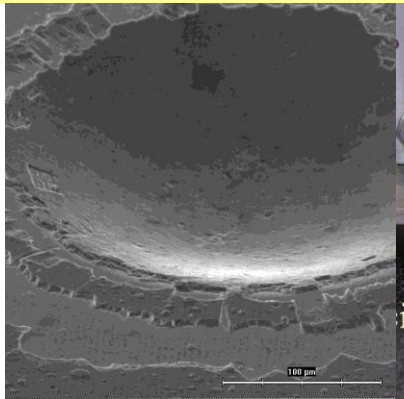


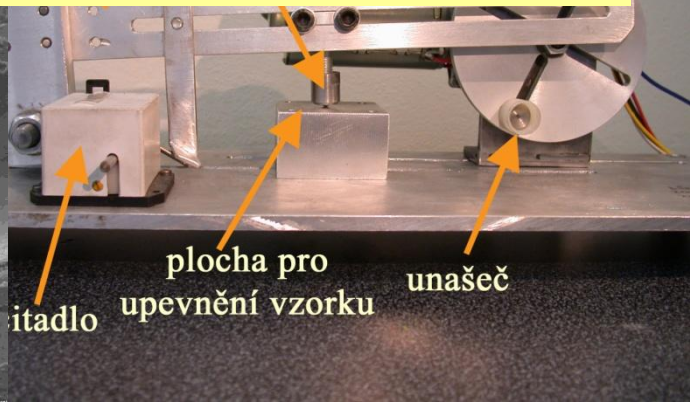


Ta, která se nejvíce přiblíží praxi a odhalí nejrychleji závadu a příčinu nefunkčnosti popř. další využití systému.



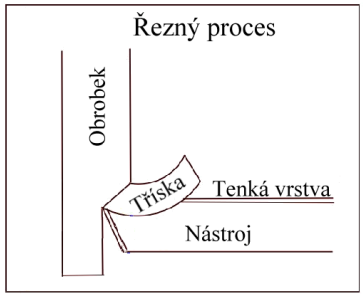


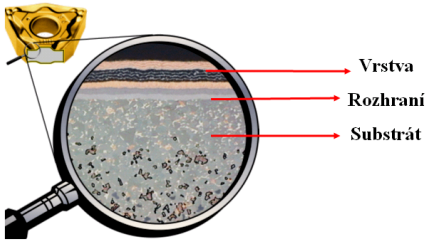




Spojitost mezi laboratorními analýzami a technologickou zkouškou trvanlivosti ostří při obráběcím procesu

Řezný proces

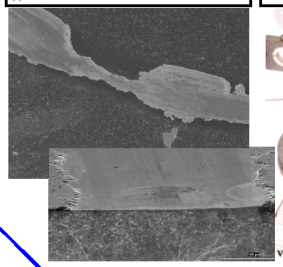




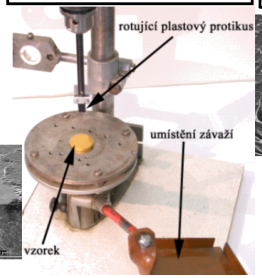
Simulační procesy

Tepelná zátěž, abrazivní opotřebení, adhezivně-kohezivní porušení

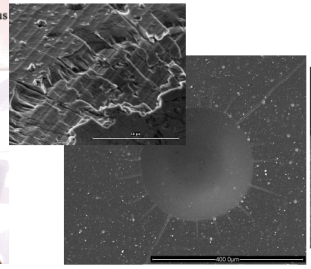
„PIN-on-DISC“ test



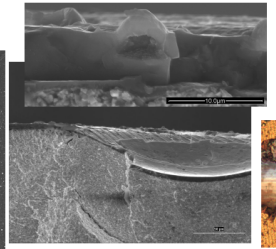
Tribologický test



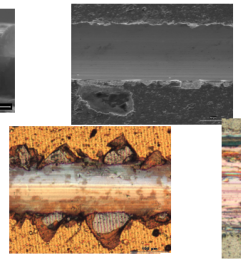
Vnikací zkouška



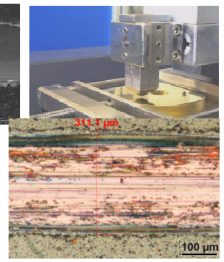
Fraktografie



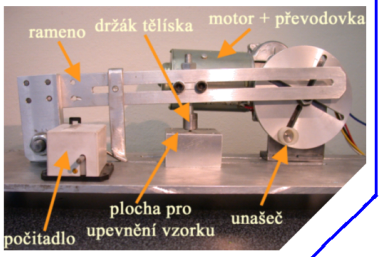
Scratch test



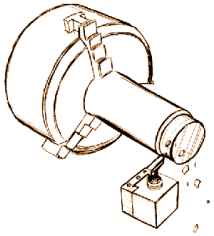
Fretting test

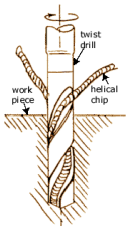


IMPACT test



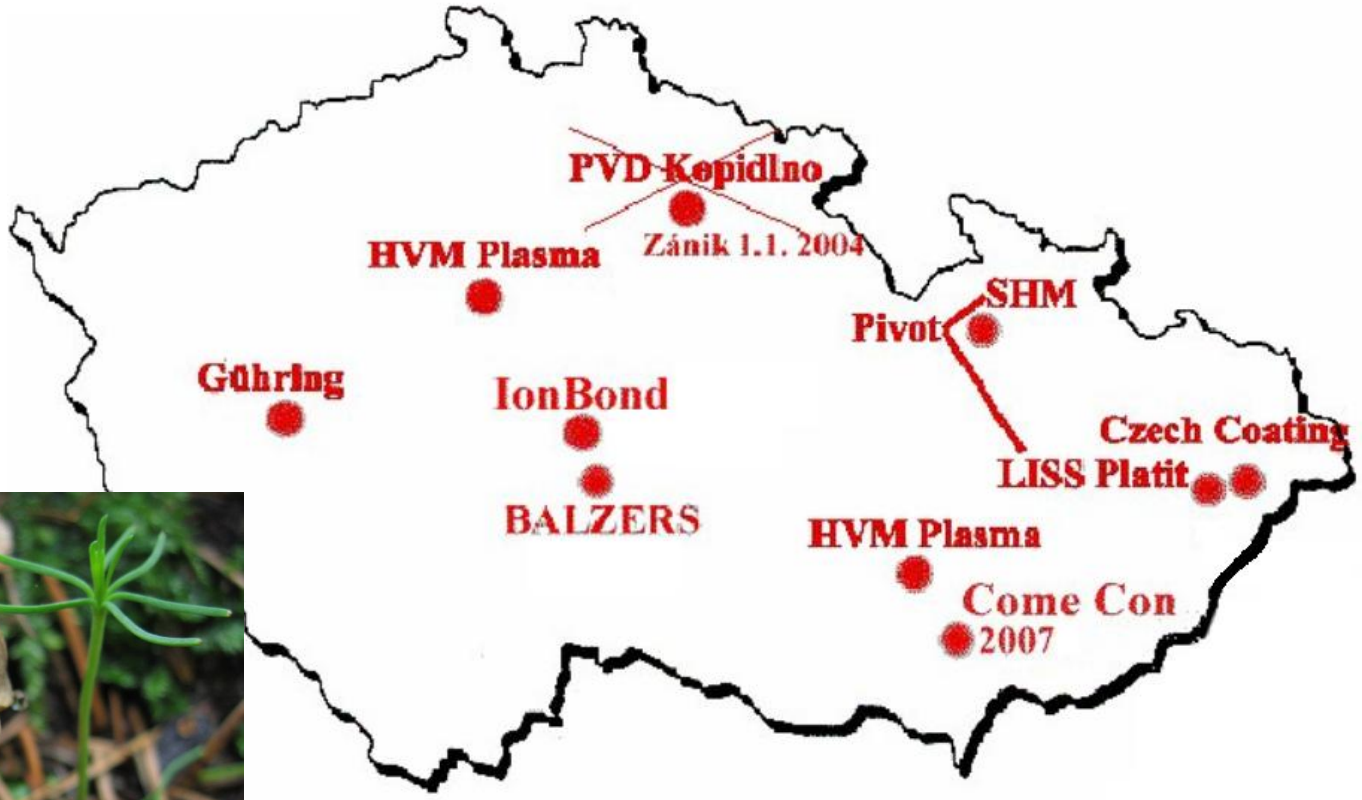
Zkouška trvanlivosti ostří





České firmy zabývající se depozicí tenkých vrstev

Depozice se v praxi neřídí jen podle jasných výsledků, ale velký vliv má i odběratel, značnou roli hraje čas, kterého se na konci výrobního procesu nedostává, ale také konzervativní přístup neumožňující rychlé prosazení nových trendů.



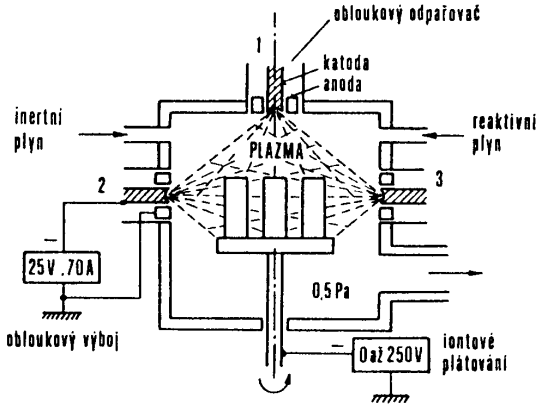
Rozložení depozičních firem v České republice

Stále jsme na startovní čáře a stále nějaký závod začíná.
Mnohdy jsme v pozici malého dítěte, který jde cestou pokus – omyl.

Závěr

Tenkou vrstvu ve spojení s nástrojem lze považovat za citlivý systém, kdy mnoho faktorů spolurozhoduje o konečných užitných vlastnostech. Aby vše správně fungovalo je třeba hledat vzájemné vazby.

Tyto vazby lze vytvořit pouze za předpokladu, že je profesionální přístup dodavatele polotovaru, výrobce nástrojů, zkušebních laboratoří, výrobců tenké vrstvy a konečného uživatele. Mnohdy se společné zájmy těchto subjektů vytváří dlouhou dobu a musí být založeny na profesionalitě, důvěře a komunikaci.



Depozice vrstvy

Vývoj vrstvy a její testování

Výrobce nástroje

Uživatel nástroje