

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav materiálového inženýrství



Bakalářská práce

**Opotřebení břitů povlakovaných nástrojů pro
lékařské aplikace**

**Wear on cutting edges of coated tools for
medical applications**

Autor: Jakub Brzoň

Studijní program: Výroba a ekonomika ve strojírenství

Vedoucí práce: Ing. František Denk

Praha 2017

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Brzoň** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **424645**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav materiálového inženýrství**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Opotřebení břitů povlakovaných nástrojů pro lékařské aplikace

Název bakalářské práce anglicky:

Wear on cutting edges of coated tools for medical applications

Pokyny pro vypracování:

Cíl: Vyhodnotit opotřebení břitů řezných nástrojů pro lékařské účely s aplikovanými povlaky, které byly podrobeny simulovanému mechanickému opotřebení a opakovanému sterilizačnímu procesu.

Postup:

1. Literární rešerše.
2. Vliv teploty procesu nanášení povlaků na tepelně zušlechťený základní materiál.
3. Optické hodnocení řezných ploch a břitů.
4. Analýza povrchového a hloubkového korozního poškození.
5. Hodnocení tloušťky povlaku v místě opotřebení a po celé délce nástroje.
6. Diskuze a závěry

Seznam doporučené literatury:

[1] RUTALA, William A. a David J. WEBER. Guideline for Disinfection and Sterilization of Prion-Contaminated Medical Instruments. Infection Control and Hospital Epidemiology [online]. 2010, 31(2), 107-117 [cit. 2016-04-21]. DOI: 10.1086/650197. ISSN 0899-823x.

[2] Kadlec, J., Joska, Z., Kadlec, J., Jr. Study of Biokompatibilní ZrN a ZrN/DLC Coating Deposited on Medical Tools, ECS Trans, 2014 48(1): 315-318.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. František Denk, ústav materiálového inženýrství FS

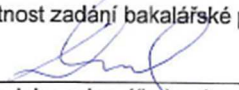
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

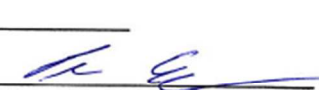
Ing. Stanislav Krum Ph.D., ústav materiálového inženýrství FS

Datum zadání bakalářské práce: **10.04.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


Podpis vedoucí(ho) práce

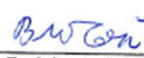

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

28.4.2017
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně, a to výhradně s použitím pramenů a literatury, uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne:

.....

Podpis

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá problematikou lékařských nástrojů. V teoretické části je uvedena problematika provádění lékařských úkonů, vhodných materiálů pro výrobu lékařských nástrojů a metody povlakování. V experimentální části je pozornost věnována hodnocení opotřebení nástrojů s různými druhy aplikovaných povlaků.

Klíčová slova: lékařské nástroje, povlakované řezné nástroje, PVD, CVD

Rozsah práce: 55 stran, 89 obrázků, 3 tabulky

ANNOTATION

The bachelor thesis deals with the problematics of medical instruments. The theoretical part focuses on the issue of performing medical tasks, suitable materials for the manufacture of medical instruments and coating methods. In the experimental part, attention is paid to the evaluation of wear of variously coated tools.

Key words: medical instruments, coated cutting tools, PVD, CVD

Scope of the thesis: 55 pages, 89 pictures, 3 tables

Poděkování

Poděkování patří vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Františkovi Denkovi za jeho odborné vedení, trpělivý a vstřícný přístup, poskytnuté informace, které byly zásadní pro úspěšné dokončení práce.

Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Stanislavu Krumovi Ph.D. za pomoc a odborné rady při plnění experimentální části této práce.

OBSAH

ZADÁNÍ	2
PROHLÁŠENÍ	3
ANOTACE	4
ANNOTATION	5
PODĚKOVÁNÍ	6
SEZNAM OBRÁZKŮ	15
SEZNAM TABULEK	13
SEZNAM ZKRATEK A POUŽITÝCH SYMBOLŮ	14
1. Úvod do problematiky provádění lékařských úkonů	15
1.1 Požadavky na lékařské instrumenty	15
2. Materiály vhodné pro výrobu řezných lékařských nástrojů	17
2.1 Oceli třídy 17 dle ČSN	17
2.1.1 Značení ocelí třídy 17 dle ČSN	18
2.1.2 Příklady ocelí používaných pro medicínské účely	19
2.2 Vývoj nových vhodných materiálů	21
3. Povrchové úpravy nástrojů – Povlakování	21
3.1 Důležité vlastnosti povlaků	21
3.2 Metody vytváření povlaků	22
3.2.1 Metody PVD	22
3.2.2 Metoda CVD	25
3.3 Mechanismus vytváření povlaků	27
4. Metody hodnocení řezných nástrojů	28
5. Hodnocení opotřebení fréz firmy ProSpon	30
5.1 . Příprava fréz na vyhodnocení - určení míst řezů	31
5.2 . Hodnocení opotřebení ostří	32
5.3 . Hodnocení povlaků	41
5.3.1 Kontrola hloubky, kontinuity povlaku v místě největšího opotřebení	41
5.3.2 Kontrola hloubky, kontinuity povlaku v celé délce nástroje	43

5.4	Vyhodnocení koroze u jednotlivých nástrojů.....	49
6.	Závěr.....	52
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	55

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Ukázka úpravy kostní tkáně při operaci křížového vazů v kolenu [4].	17
Obr. 2 Metoda reaktivního napařování (vlevo) a naprašování (vpravo) [9]	23
Obr. 3 Schéma systému ARE [9]	24
Obr. 4 Magnetronové naprašování [10].....	25
Obr. 5 Metoda CVD [9].....	26
Obr. 6 Schéma růstu ostrůvků až do finální fáze.....	28
Obr. 7 Optický světelný mikroskop.....	28
Obr. 8 Princip určení hloubky povlaku metodou kalotest	29
Obr. 9 Zkoumané frézy od firmy ProSpon.....	31
Obr. 10 Schéma odebrání vzorků	32
Obr. 11 ilustrační snímek zubu nástroje nástroj	32
Obr. 12 Celkový pohled na opotřebení ostří.....	33
Obr. 13 Celkový pohled na opotřebení ostří.....	33
Obr. 14 Detail přechodu mezi opotřebenou a neopotřebenou částí nástroje ...	33
Obr. 15 Detail opotřebení ostří v místě největšího namáhání	33
Obr. 16 Celkový pohled opotřebení ostří vzorek B.....	33
Obr. 17 Celkový pohled opotřebení ostří vzorek A.....	33
Obr. 18 Detail opotřebení ostří vzorek B	34
Obr. 19 Detail opotřebení ostří vzorek A	34
Obr. 20 Celkový pohled na opotřebení ostří.....	34
Obr. 21 Celkový pohled na opotřebení ostří.....	34
Obr. 22 Detail přechodu mezi opotřebenou a neopotřebenou částí čela nástroje	35
Obr. 23 Detail opotřebení povrchu ostří místo největšího opotřebení	35
Obr. 24 Celkový pohled opotřebení ostří vzorek B.....	35
Obr. 25 Celkový pohled opotřebení ostří vzorek A.....	35
Obr. 26 Detail opotřebení ostří vzorek B	35
Obr. 27 Detail opotřebení ostří vzorek A.....	35
Obr. 28 Celkový pohled na opotřebení ostří.....	36
Obr. 29 Celkový pohled na opotřebení ostří.....	36
Obr. 30 Detail přechodu mezi opotřebenou a neopotřebenou částí čela nástroje	36

Obr. 31 Detail opotřebení povrchu ostří místo největšího opotřebení	36
Obr. 32 Celkový pohled opotřebení ostří vzorek B.....	37
Obr. 33 Celkový pohled opotřebení ostří vzorek A.....	37
Obr. 34 Detail opotřebení ostří vzorek B	37
Obr. 35 Detail opotřebení ostří vzorek A	37
Obr. 36 Celkový pohled na opotřebení ostří.....	38
Obr. 37 Celkový pohled na opotřebení ostří.....	38
Obr. 38 Detail přechodu mezi opotřebenou a neopotřebenou částí čela nástroje	38
Obr. 39 Detail opotřebení povrchu ostří místo největšího opotřebení	38
Obr. 40 Celkový pohled opotřebení ostří vzorek B.....	38
Obr. 41 Celkový pohled opotřebení ostří vzorek A.....	38
Obr. 42 Detail opotřebení ostří vzorek B	39
Obr. 43 Detail opotřebení ostří vzorek A	39
Obr. 44 Celkový pohled na opotřebení ostří.....	39
Obr. 45 Celkový pohled na opotřebení ostří.....	39
Obr. 46 Detail přechodu mezi opotřebenou a neopotřebenou částí čela nástroje	40
Obr. 47 Detail opotřebení povrchu ostří místo největšího opotřebení	40
Obr. 48 Celkový pohled opotřebení ostří vzorek B.....	40
Obr. 49 Celkový pohled opotřebení ostří vzorek A.....	40
Obr. 50 Detail opotřebení ostří vzorek B	40
Obr. 51 Detail opotřebení ostří vzorek A	40
Obr. 52 Celkový pohled na povlak v oblasti ostří nástroje vzorek A.....	41
Obr. 53 Detail povlaku ostří v oblasti břitu nástroje vzorek A	41
Obr. 54 Celkový pohled na povlak v oblasti ostří nástroje vzorek A.....	42
Obr. 55 Detail povlaku ostří v oblasti břitu nástroje vzorek A	42
Obr. 56 Celkový pohled na povlak v oblasti ostří nástroje vzorek A.....	42
Obr. 57 Detail povlaku ostří v oblasti břitu nástroje vzorek A	42
Obr. 58 Celkový pohled na povlak v oblasti ostří nástroje vzorek A.....	43
Obr. 59 Detail povlaku ostří v oblasti břitu nástroje vzorek A	43
Obr. 60 Celkový pohled na povlak ostří nástroje v nenamáhané řezné části nástroje vzorek B	43

Obr. 61 Detail povlaku ostří nástroje v nenamáhané řezné části nástroje vzorek B.....	43
Obr. 62 Celkový pohled na povlak v oblasti stopky nástroje vzorek C	44
Obr. 63 Detail povlaku na stopce nástroje vzorek C	44
Obr. 64 Celkový pohled na povlak ostří nástroje v nenamáhané řezné části nástroje vzorek B	44
Obr. 65 Detail povlaku ostří nástroje v nenamáhané řezné části nástroje vzorek B.....	44
Obr. 66 Celkový pohled na povlak v oblasti stopky nástroje	45
Obr. 67 Detail povlaku na stopce nástroje vzorek C	45
Obr. 68 Celkový pohled na povlak ostří nástroje v nenamáhané řezné části nástroje vzorek B	45
Obr. 69 Detail povlaku ostří nástroje v nenamáhané řezné části nástroje vzorek B.....	45
Obr. 70 Celkový pohled na povlak v oblasti stopky nástroje	46
Obr. 71 Detail povlaku na stopce nástroje vzorek C	46
Obr. 72 Celkový pohled na povlak ostří nástroje v nenamáhané řezné části nástroje vzorek B	46
Obr. 73 Detail povlaku ostří nástroje v nenamáhané řezné části nástroje vzorek B.....	46
Obr. 74 Celkový pohled na povlak v oblasti stopky nástroje vzorek C	47
Obr. 75 Detail povlaku na stopce nástroje vzorek C	47
Obr. 76 Fréza č.2 kalotest.....	47
Obr. 77 Fréza č.3 kalotest.....	47
Obr. 78 Fréza č.4 kalotest.....	48
Obr. 79 Fréza č.4 kalotest.....	48
Obr. 80 Fréza č.1 celkový pohled koroze.....	50
Obr. 81 Fréza č. 1 detail koroze.....	50
Obr. 82 Fréza č.2 celkový pohled koroze.....	50
Obr. 83 Fréza č. 1 detail koroze.....	50
Obr. 84 Fréza č.3 celkový pohled koroze.....	50
Obr. 85 Fréza č. 1 detail koroze.....	50
Obr. 86 Fréza č.4 celkový pohled koroze.....	51
Obr. 87 Fréza č. 1 detail koroze.....	51

Obr. 88 Fréza č.5 celkový pohled koroze	51
Obr. 89 Fréza č. 1 detail koroze	51

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Přehled značení ocelí dle ČSN.....	19
Tab. 2 Přehled zkoumaných fréz.....	30
Tab. 3 Naměřené hodnoty kalotest.....	48

SEZNAM ZKRATEK A POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Zkratka	Popis
ČSN	Česká státní norma
CVD	Chemical Vapour Deposition
EN	Evropská norma
DIN (W.Nr)	Německá norma
RO	Rychlořezná ocel
PVD	Physical Vapor Deposition
ES	Elektronový svazek

Symbol	Popis	Jednotka
T	tloušťka povlakové vrstvy kalotest	μm
D	průměr ocelové kuličky kalotest	μm
D ₁	velký průměr vzniklého důlku kalotest	μm
D ₂	malý průměr důlku kalotest	μm
T ₁	tloušťka povlakové vrstvy mikroskop	μm

1. Úvod do problematiky provádění lékařských úkonů

V současnosti má moderní medicína mnoho požadavků, které jsou podmínkou úspěšného lékařského zákroku. Tyto požadavky jsou velmi důležité a musí se navzájem vhodně doplňovat.

Prvním požadavkem je určení správné diagnózy. Diagnostika je díky dnešním moderním technologiím a pokroku v oblasti medicíny na velmi dobré úrovni. Druhým takovým požadavkem je, aby operace byla prováděna zkušeným operátorem, který zároveň musí zvolit správný operační postup. Operační postup zahrnuje také použití správných instrumentů. V případě že je při operaci zaváděn do těla implantát, musí být tento implantát biokompatibilní s lidským tělem, aby implantát přijmulo. Poslední fází celého operačního cyklu je rekonvalescence, která je pro celkové uzdravení nezbytnou součástí.

První část práce je zaměřena na problematiku vzniku tepla při obrábění lidské tkáně, které má za následek vznik osteonekrózy a zvýšení opotřebení nástrojů. Dále je práce zaměřena na vhodné materiály a vývojové trendy pro výrobu těchto instrumentů. Třetí část je věnována teorii o metodice nanášení povlaků a seznámením se s danou problematikou. V jednotlivých kapitolách jsou nastíněny základní zákony a mechanismy, které probíhají při různých metodách povlakování.

Cílem experimentu je hodnocení opotřebení, koroze a kontinuity povlaků pěti různě povlakovaných nástrojů, které byly podrobeny simulovanému zatížení a následné sterilizaci.

1.1 Požadavky na lékařské instrumenty

Zdravotnické instrumenty musí být konstruovány tak, aby se hodily pro svůj medicínský účel nejenom designem, tvarem a povrchovou úpravou ale také základními výchozími materiály. Požadavky na chirurgické nástroje jsou např. pružnost, tvrdost, pevnost, odolnost vůči opotřebení, ostrost břitů, maximální odolnost proti korozi a biokompatibilita [1].

Spolu s vývojem nových chirurgických postupů a technik, se úprava kostních tkání stala převážně rutinním lékařským zákrokem. Ukázka úpravy kostní tkáně je na Obr. 1. Kostní tkáň je tvořena organickými a minerálními složkami, jejichž interakce vedou ke složitým mechanickým a tepelným vlivům. Obrábění zahrnuje tvorbu tepla v důsledku tření mezi nástrojem a kostí, které mohou významně ovlivnit pooperační zotavení. Přestože mechanismy tepelných poškození kostí ještě nejsou důkladně vysvětleny, je známo, že zvýšení teploty v obráběné zóně může způsobit tepelnou osteonekrózu, která brání kvalitní hojení tkání a regeneraci kostí. Tato teplota by neměla přesáhnout 47 °C [2].

Existuje několik faktorů ovlivňujících změny teploty řezání a možný výskyt tepelné osteonekrózy: mechanické vlastnosti kostí a jejich tloušťka, konstrukce a geometrie nástrojů, neúčinnost vnějšího ochlazování kvůli nízké tepelné vodivosti kostí, proměnlivé řezné rychlosti a rychlosti posuvu, nesprávná poloha nebo dráha nástroje, která zvyšuje tření mezi tělem nástroje a povrchem otvoru a opotřebení nástroje [2].

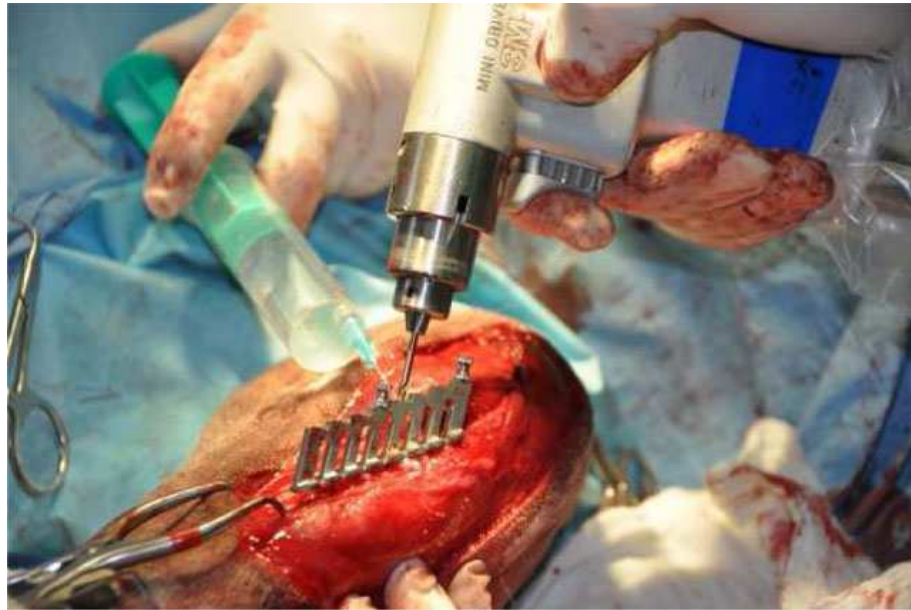
Opotřebení řezných nástrojů je jedním z faktorů s největším dopadem na tvorbu tepla při úpravě kostní tkáně. Je to nevyhnutelný a nevratný proces, který zvyšuje tření v oblasti řezání. Kromě nežádoucího vzniku tepla, způsobuje vyšší řezné síly a vibrace nástrojů, což může způsobit zlomení ostří nebo úplné zlomení nástroje. Tyto situace způsobují mechanické poškození kostní tkáně, které mají negativní dopad i na pooperační rekonvalescenci [3].

Průmyslové obrábění se liší od obrábění kostí, použitím různých druhů nástrojů, vlastností materiálů průmyslových obrobků, parametrů obrábění, metod ochlazování apod. Postup použitý při navrhování systémů monitorování opotřebení průmyslových nástrojů je založeno na více senzorech a nelineárním modelování [2].

Kvůli nedostatku znalostí v oblasti monitorování opotřebení lékařských nástrojů byly ve studiích použity průmyslové monitorovací systémy. Ačkoli bylo navrženo několik modelů pro odhad teploty obrábění kostí, žádná z nich neobsahuje identifikaci opotřebení nástroje [2].

Kvantifikace přesné úrovně opotřebení nástroje je velmi složitý proces. Kvůli stálému kontaktu mezi břitem nástroje a kostí, není možné přímé měření opotřebení nástroje během řezání. Odhad opotřebení je možný pomocí dat

extrahovaných z procesních signálů a dalších parametrů (rychlost řezání, rychlost posuvu, charakteristika obrábění). Průmyslové aplikace však ukázaly, že opotřebením nástroje je obvykle nelineární a v některých případech částečně stochastické. Podobné vlastnosti lze očekávat při úpravě kostní tkáně kvůli komplexní vzájemné souvislosti všech výše uvedených procesních parametrů [2].



Obr. 1 Ukázka úpravy kostní tkáně při operaci křížového vazů v kolenní [4].

2. Materiály vhodné pro výrobu rezných lékařských nástrojů

Pro výrobu lékařských nástrojů se nejčastěji používají chromové oceli třídy 17 dle ČSN. A to zejména pro jejich korozivzdornost, odolnosti proti otěru a pevnosti.

2.1 Oceli třídy 17 dle ČSN

Oceli třídy 17 patří mezi konstrukční kovové materiály, které se vyznačují typickým chemickým složením a obsahují zpravidla více než 12 % Cr (až 30 %), dále legujících prvků, hlavně Ni, Mn, Mo, a dalších, jako je V, Al. Charakteristické jsou nízké obsahy S a P. Tyto oceli patří do skupiny ušlechtilých legovaných ocelí, u nichž je zaručováno přesné chemické složení, speciální podmínky výroby včetně tepleného zpracování a specifické podmínky

zkoušení. Vyrábějí se jako tvářené, lité a vyrobené práškovou metalurgií. Oceli třídy 17 mají své ekvivalenty také u ocelí, vyráběných podle zahraničních norem. Složení těchto ocelí však nemusí být vždy totožné, nicméně odchylky složení a mechanických vlastností jsou zanedbatelné [5].

Korozivzdorné ocelí

Korozní odolnost korozivzdorných ocelí je založena na jejich schopnosti pasivace. Pasivace povrchu korozivzdorných ocelí závisí na přítomnosti dostatečného množství oxidačního činidla. V místech, kde je pasivní vrstva nehomogenní nebo poškozená, kde v důsledku mechanických namáhání vznikají další defekty, a povrch není v kontaktu s dostatečným množstvím oxidačních látek nebo v elektrolytech obsahujících halogenidy dochází k nestabilitě pasivní vrstvy a koroznímu napadení korozivzdorných ocelí. Pasivní vrstva tedy dává korozivzdorným ocelím dobrou odolnost proti všeobecné korozi. Za určitých podmínek může být pasivace místně porušena a dochází ke vzniku lokálních forem koroze. Každý druh koroze má svůj vlastní mechanismus a probíhá za určitých specifických podmínek [6].

Korozivzdorné oceli se rozdělují podle struktury do těchto skupin:

- martenzitické;
- feritické;
- austenitické;
- dvoufázové (duplexní) - austeniticko-feritické, martenziticko-feritické, martenziticko- austenitické;
- precipitačně vytvrditelné - martenzitické a austenitické.

2.1.1 Značení ocelí třídy 17 dle ČSN

První dvě číslice v základní číselné značce značí třídu oceli. Třetí číslice vyjadřuje typ legování ocelí jednotlivými legovacími prvky nebo skupinou hlavních legovacích prvků. Závislost číslování na legujícím prvku je uvedeno v Tab. 1.

Tab. 1 Přehled značení ocelí dle ČSN

Třetí číslice oceli	Druh oceli podle typu legování – hlavní legující prvek legující prvek nebo skupina prvků
17 0 xx	Oceli chromové
17 1 xx	Oceli chromové s dalšími přísadovými prvky (Al, Mo, Ni)
17 2 xx	Oceli chromniklové, popř. stabilizované (Ti, Nb)
17 3 xx	Oceli chromniklové, popř. stabilizované (Ti, Nb) a s dalšími přísadovými prvky (Mo, V, W,, aj.)
17 4 xx	Oceli mangano-chromové, mangano-chrom-niklové
17 5 xx	Oceli niklové
17 6 xx	Oceli manganové
17 7 xx	Oceli volné
17 8 xx	Oceli volné
17 9 xx	Oceli volné

Čtvrtá číslice v základní číselné značce vyjadřuje obsah hlavních legovacích prvků Cr, Mn a Ni v jednotlivých druzích ocelí podle typu legování.

2.1.2 Příklady ocelí používaných pro medicínské účely

Jak již bylo zmíněno, oceli se vyrábí dle norem, které definují jejich chemické složení, fyzikální vlastnosti a účel použití. U následujících příkladů používaných ocelí je k české normě ČSN, vždy uvedený ekvivalent oceli, vyráběné dle evropské normy EN a také německé normy DIN (Wr.Nr).

ČSN 17 021 (EN X6Cr12; W.Nr. 1.4006)

Obsah prvků činí max. 0,15% C, 13% Cr. Ocel se řadí mezi korozivzdorné, žáruvzdorné, chromové. Ocel je dobře tvárná za tepla, v žíhaném i zušlechtěném stavu dobře obrobitelná. Odolává korozi vzduchem, parou i vodou. V zušlechtěném stavu s kovově lesklým povrchem odolává oxidaci, zředěné kyselině dusičné a v pasivním stavu některým slabým organickým kyselinám za studena. Odolnost vůči korozi se zvyšuje leštěním. Používá se na zařízení pracujících s parami nebo kapalinami. Používá se pro výrobu tyčí broušených, loupáných a leštěných, plechů, bezešvých trubek, výkovek, lékařských instrumentů [5].

ČSN 17 027 (EN X20Cr13 W.Nr 1.4021)

Obsah prvků činí 0,25% C, 15% Cr. Ocel se řadí mezi korozivzdorné, chromové. Ocel je kalitelná, dobře tvárná za tepla a dobře obrobitelná. Oceli se nedoporučuje používat ve stavu žíhaném, v němž má nižší korozní odolnost. Používá se v zušlechtném stavu na součásti a armatury, pracující v prostředí páry, vody např. lopatky oběžných kol kompresorů, ventilové kroužky, písty, sedla, šrouby, matice, lékařských instrumentů [5].

ČSN 17 029 (EN X47Cr14 W.Nr 1.3541)

Obsah prvků činí 0,45% C, 15% Cr. Ocel se řadí mezi korozivzdorné, chromové. Ocel je kalitelná, dobře tvárná za tepla a dobře obrobitelná. Používá se v kaleném stavu. Ocel se nedoporučuje používat ve stavu žíhaném, v němž má nižší korozní odolnost. Ocel v kaleném stavu s kovově lesklým povrchem odolává rezivění, zředěné kyselině dusičné a slabým organickým kyselinám. Odolnost proti korozi se zvyšuje dokonalým vyleštěním povrchu. Používá se v kaleném stavu na součásti a výrobky, jež mají být tvrdé nebo odolávat opotřebení např. strojní, kuchyňské, stolní a kapesní nože, nůžky, měřidla, pánve a břity vah, lékařské instrumenty [5].

ČSN 17 042 (EN X90CrMoV18 W.Nr 1.4112)

Obsah prvků činí 1% C, 17% Cr. Ocel se řadí mezi korozivzdorné, chromové. Ocel je poloferitická, feromagnetická. Je dobře tvárná za tepla, za studena je dobře obrobitelná. Je vhodná k povrchovému hliníkování. S kovově lesklým povrchem odolává rezivění, zředěné kyselině dusičné a slabým organickým kyselinám. Používá se na výrobu různých kuchyňských zařízení, lze ji použít na trubky předehřivačů vzduchu, na rekuperátory a ochranné trubky termočlánků a pro výrobu lékařských instrumentů [5].

ČSN 17 351 (žádný přímý ekvivalent)

Obsah prvků činí 0,08% C, 15% Cr, 0,55% Mn, stopově Al a Ti. Ocel se řadí mezi korozivzdorné, chromové. Ocel je vytvrditelná. Má vysokou pevnost a mez kluzu. Používá se pro tvarově složité výrobky, lékařské instrumenty [5].

2.2 Vývoj nových vhodných materiálů

V současné době probíhá mnoho výzkumů na vývoj nových materiálů. Překážkou však většinou bývá vysoká pořizovací cena.

Slinuté karbidy

Slinuté karbidy, jsou velmi perspektivním a často užívaným materiálem pro výrobu řezných nástrojů. Problém u lékařských nástrojů vyrobených ze slinutého karbidu je křehkost těchto nástrojů, protože může dojít k uvolnění částiček nástroje do operovaného místa. Z toho důvodu se používají nástroje ze spékaného slinutého karbidu s co největší houževnatostí.

Polykrystalický diamant

Vyniká vysokou odolností proti opotřebení, zároveň je to nejtvrděší známý materiál. Je tvořen jemnými krystaly diamantu, spojenými za vysokých teplot a tlaků vhodným pojivem. Vzhledem k vysoké ceně, vyrábějí pouze malé řezné segmenty [7].

3. Povrchové úpravy nástrojů – Povlakování

3.1 Důležité vlastnosti povlaků

Povlaky, používané pro povlakování řezných nástrojů, musí splňovat určité požadavky na jejich vlastnosti.

Tvrдост - základní vlastnost všech povlaků. Tato hodnota nám udává odolnost proto abrazivnímu opotřebení. Tvrдост je schopnost materiálu odolávat vniknutí cizího tělesa [8].

Tloušťka vrstvy - pro každý povlak je určena ideální tloušťka vrstvy. Při nedodržení této tloušťky může dojít k horší trvanlivosti nástroje [8].

Drsnost - vyšší drsnost u povlaků může mít za následek zvýšení řezných sil při obrábění [8].

Adheze - je přilnavost vrstvy k povlakovanému nástroji. Pro dosažení nejlepších vlastností povlakovaných nástrojů musí být přilnavost povlaku k základnímu materiálu co nejvyšší [8].

Abraze - neboli ořez, k tomuto druhu opotřebení dochází vlivem mikročástic jak obráběného materiálu, tak obráběcího nástroje [8].

Kluzné vlastnosti - ovlivňují tepelné zatížení nástroje, vysoké tepelné zatížení má za následek zhoršení chemických i fyzikálních vlastností podkladu [8].

Odolnost vůči oxidaci - schopnost materiálu odolat korozi, je dělena na povrchovou, objemovou a povrchově objemovou [8].

Odolnost proti teplotním trhlinám - souvisí s odolností proti oxidaci. Čím bude nižší odolnost proti teplotním trhlinám, tím bude materiál více oxidovat a naopak [8].

3.2 Metody vytváření povlaků

PVD (Physical Vapour Deposition) Tato metoda je postavena na fyzikálních principech, kdy jsou pevné materiály napařovány nebo napařovány na povrch součásti za teplot do 500 °C. Tato metoda se dříve používala pro povlakování nástrojů z rychlořezné oceli, díky nižší depoziční teplotě, nedošlo k tepelnému ovlivnění nástroje [9].

CVD (Chemical Vapour Deposition) K vytváření povlaků dochází chemickým napařováním z chemicky reaktivních plynů, jako jsou např. $TiCl_3$, $AlCl_3$, CH_4 , apod. Použití této metody je omezeno vysokými teplotami při procesu depozice, které negativně ovlivňují mechanické vlastnosti povlakovaných základních materiálů. Metoda CVD může být realizována v různých variantách, kde jsou plynné složky aktivovány buď klasicky tepelně, pomocí laseru, elektronového paprsku či plazmatu [9].

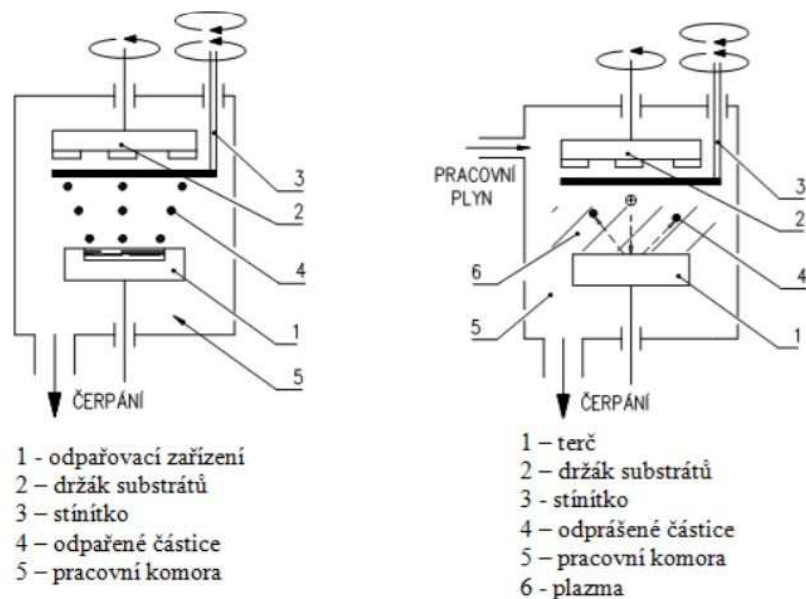
3.2.1 Metody PVD

Při této metodě se odpařuje materiál ve vakuu nebo se odprašuje ve výboji za nižších depozičních teplot 150 až 500 °C. Používají se povlaky kovových materiálů pro rychlořezné oceli, plasty a velmi tenké fólie z polypropylenu, polyethylenu, polyesteru, součástkách z hliníku, hliníkových slitin a dalších materiálů, u kterých vlivem nižších depozičních teplot nedojde k degradaci během depozice [9]. Tato metoda je jedna z ekologicky nejšetrnějších, protože nedochází k odpařování toxických plynů [10].

Procesy metody PVD jsou děleny do tří skupin:

- 1) napařování (Obr.2)
- 2) napařování (Obr. 2)
- 3) iontové plátování.

Tyto jmenované metody mohou probíhat jako reaktivní po vpuštění reaktivního plynu (O_2 , N_2 atd.).



Obr. 2 Metoda reaktivního napařování (vlevo) a napařování (vpravo) [9]

3.2.1.1 Metody vytváření povlaků na principu odpařování

Odpařování můžeme provádět dvěma způsoby, obloukovým výbojem nebo elektronovým svazkem (ES). U obou metod se musí dodržovat určité zásady [9].

Metoda odpařování elektronovým svazkem (ES) je prováděna odpařováním materiálu v roztaveném stavu. Takto roztavený materiál musí být uložen jakožto odpařovač ve dolní části napařovací komory. Při obloukovém odpařování není materiál v roztaveném stavu, a proto může být v napařovací komoře v libovolné pozici [9].

Odpařování elektronovým svazkem:

Metody odpařování (ES) dělíme do dvou základních skupin:

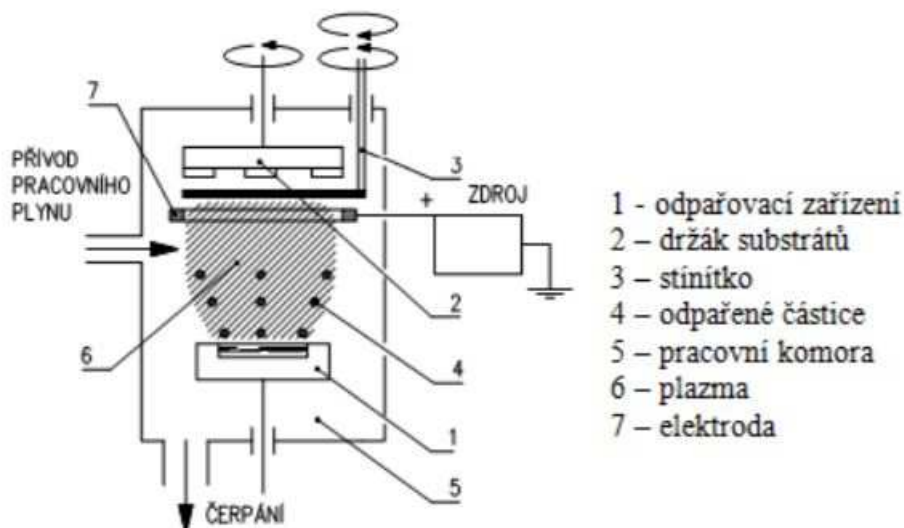
- nízkoenergetické (cca 100 W) s katodou dutou nebo žhavenou
- vysokoenergetické (cca 10 kW) s katodou žhavenou nebo studenou

Dalšími modifikacemi odpařování je zaměření elektronového svazku, který je směřován buď do jednoho místa materiálu, nebo rastruje po povrchu materiálu [9].

Podstatou této metody je aktivace částic směsi plynu dusíku a opařovaného základního materiálu. Intenzivní ionizací se této aktivace automaticky dosáhne. U vysokoenergetické metody je nutno elektronový svazek doplnit pomocným výbojem, který aktivuje směs [9].

Způsoby aktivace:

- 1) Systém ARE (viz. Obr.3)
- 2) Triodový systém s žhaveným vláknem emitujícím elektrony
- 3) Pomocným ES umístěným mezi odpařovač a základní materiál
- 4) Vysokofrekvenční pomocný výboj



Obr. 3 Schéma systému ARE [9]

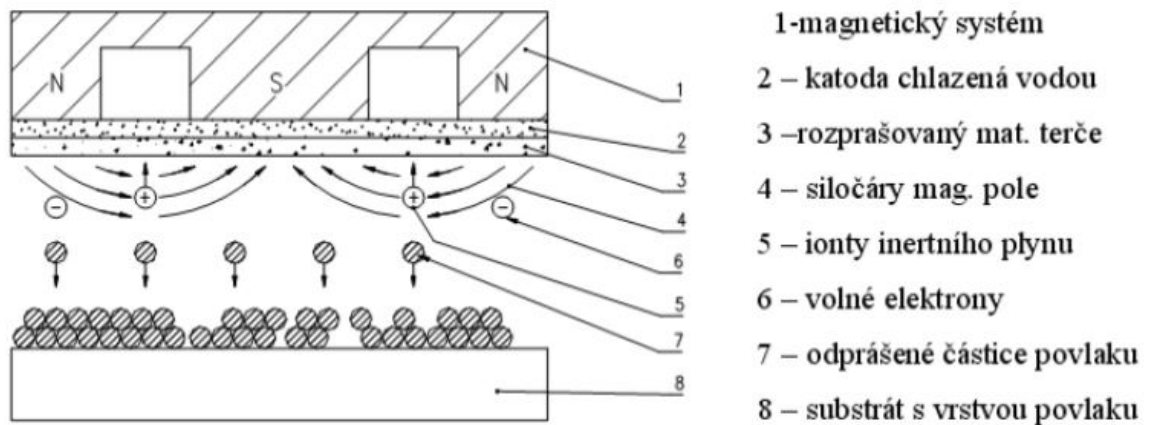
3.2.1.2 Metody vytváření povlaků na principu naprašování

Naprašování můžeme dělit do dvou skupin na základě přítomnosti magnetického pole a to na naprašování bez magnetického pole, které se dělí na stejnosměrné nebo vysokofrekvenční, diodové a triodové a na naprašování s magnetickým polem, tzv. magnetronové naprašování, které je znázorněné na Obr. 4 [9].

Dále je pozornost věnována pouze magnetronovému naprašování. Využívá se zde magnetického pole, které zrychluje naprašovací rychlosti, zintenzivňuje bombardování terče, zhušťuje plazma v okolí magnetronu a prodlužuje dráhu elektronů. Při magnetronovém naprašování mechanismu jsou atomy nebo molekuly vyráženy z terče materiálu a následně je povlakován základní materiál prostřednictvím bombardování vysokoenergetickými částicemi nejčastěji argonu. Zmíněný proces probíhá ve vakuové komoře, která je uzpůsobena vysokému vakuu s pracovním tlakem řádově 1 Pa. V komoře je umístěn buď jeden terč se slitinou materiálů k povlakování, nebo terče dva, kde jsou materiály oddělené a držák pro základní materiál připravený

na naprašování. Pro odprašování terče se nejčastěji používají částice argonu. Díky gradientu elektrického pole a přítomnosti vakua je zažehnut doutnavý výboj před terčem, který se projeví jako zdroj světla, a ionty argonu začnou odprašovat povrch terče/terčů, z kterého je uvolňován materiál, který je deponován na substrát [10].

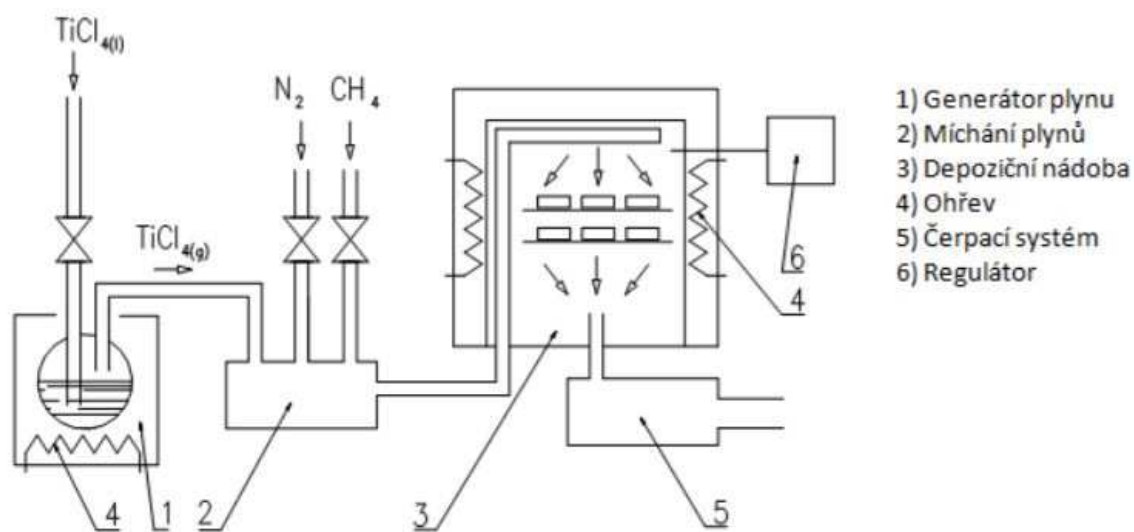
Pomocí této metody je možné vytvořit povlaky na velkých plochách se zachováním poměru složek materiálu na terči, ze kterých byl materiál rozprašován na substrát [10].



Obr. 4 Magnetronové naprašování [10]

3.2.2 Metoda CVD

Chemická depozice povlaků probíhá v depoziční komoře při slučování plynů dle požadovaných parametrů daného povlaku. Povlak se vytváří pomocí chemické syntézy, kdy je směs plynů přivedena do depoziční nádoby, kde probíhá heterogenní reakce se substrátem. Depoziční nádoba a popis jejích částí je na Obr. 5 [9].



Obr. 5 Metoda CVD [9]

Tato metoda vytváření povlaků se využívá zejména pro povrchové úpravy vyměnitelných břitových destiček a slinutých karbidů. Metoda CVD povlakování je nejčastěji využívána u těžce přístupných otvorů a drážek, nebo za účelem vytvoření povlaků s velkou hloubkou povlakové vrstvy [10].

Využití metody CVD vytváření povlaků je však velmi omezené pro jeho vysokou teplotu při depozičním procesu, která je příliš vysoká pro povlakování např. nástrojů z rychlořezné oceli (RO). Pro povlakování rychlořezných ocelí se depoziční teploty pohybují v rozmezí 200 až 500 °C (obvyklé depoziční teploty metody CVD se pohybují mezi 300 – 900 °C) pro zachování vlastností oceli bez tepelné degradace základního materiálu. Další nedostatky této metody jsou ve velké míře spojeny s vysokou depoziční teplotou, která zapříčiňuje dlouhý pracovní cyklus, což je důsledkem pomalého dosažení pracovní teploty (vysoká energetická náročnost) a následného chladnutí [9].

Aplikace diamantových povlaků

Jak již bylo zmíněno v minulé kapitole, použití polykrystalického diamantu má nevýhodu vysoké ceny, proto se používají pouze diamantové povlaky. Aplikace diamantových povlaků na nástroje z cementovaného karbidu wolframu (WC-Co) byla v posledních letech předmětem velké pozornosti, a to zejména kvůli zlepšení výkonu řezných nástrojů a životnosti nástrojů v chirurgických

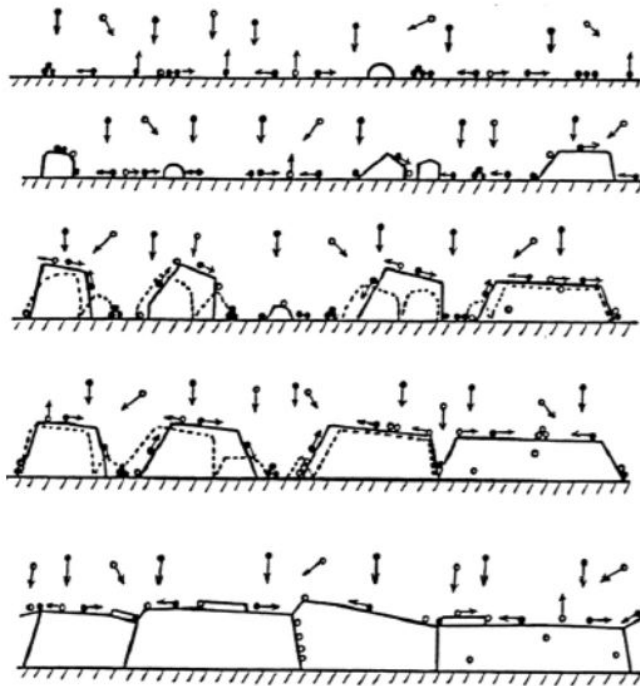
aplikacích. Povlakují se nástroje WC-Co, obsahující 6% kovu a 94% substrátů WC s průměrnou velikostí zrna 1 až 3 mikrometry. Aby se zlepšila přilnavost mezi diamantovými povlaky a WC substráty, je nutné připravit kobalt na povrchu pro následný růst diamantu. Alternativně může být před nanášením diamantu použita mezivrstva titan nitridu (TiN). Ukazuje se, že použití mezivrstvy, jako je TiN před depozicí diamantového povlaku, zajišťuje nejlepší přípravu povrchu pro výrobu chirurgických nástrojů [7].

3.3 Mechanismus vytváření povlaků

Zkoumání vytváření tenkých povlaků elektronovým mikroskopem ukázalo, že povlakové vrstvy lze rozdělit do určitých stádií, které se dají rozdělit:

- 1) vytváření jader neboli nukleaci, přičemž vznikají malé zárodky staticky rozložené po povrchu podložky
- 2) růst jader a vytváření větších ostrůvků, které mají často tvar malých krystalků (krystalitů)
- 3) srůstání ostrůvků a vytvoření téměř souvislé sítě prostoupené kanálky
- 4) zaplňování kanálků

Průběh vytváření povlaků je ukázán na Obr. 6. V první řadě se jedná pouze o kondenzaci atomů a povrchové šíření, na co však navazuje nukleace izolovaných ostrůvků a jejich následný růst. V dalších fázích dochází ke srážkám a koalescenci ostrovů přičemž vznikají polykrystalické ostrovy a kanály. V samém konci vytváření povlaků dochází k rozvoji souvislých povlaků a k hrubnutí [7].

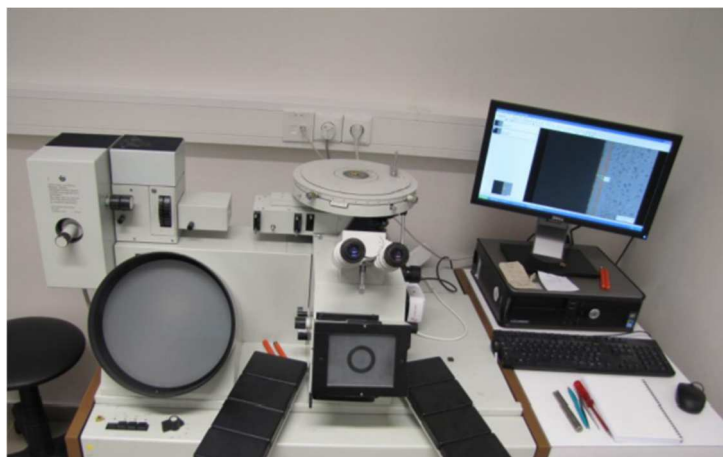


Obr. 6 Schéma růstu ostrůvků až do finální fáze [7].

4. Metody hodnocení řezných nástrojů

Světelný mikroskop

Pro hodnocení opotřebení nástrojů, hloubky a kontinuity povlaků, se po správné úpravě zkoumaných vzorků, používají optické mikroskopy. Příklad světelného mikroskopu je na Obr. 7. V experimentální části bude mikroskop použit pro hodnocení opotřebení a kvality povlaků u odebraných vzorků.



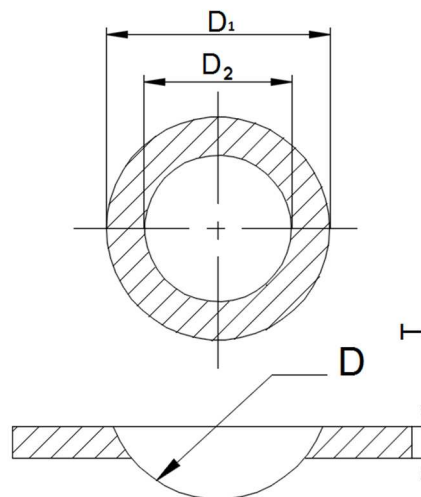
Obr. 7 Optický světelný mikroskop

Kalotest

Je metoda původně vyvinutá ke zjištění tloušťky povlaku. Tuto zkoušku lze použít také ke zjištění otěruvzdornosti. Měřící krok se provádí za pomoci kalené ocelové kuličky s přesně daným průměrem za přítomnosti brusné pasty. Kulička se valí a tlačí do povrchu po dobu několika sekund. Tímto tlakem vznikne ve zkoumané vrstvě povrchový důlek. Princip této metody je zobrazen na Obr. 8 [10].

Oblast měření při použití této metody je od 1 – 100 μm . Pro přesné měření musí být povrch vyleštěný nebo s maximální drsností povrchu $R_2 \geq 0,4 \mu\text{m}$ [10].

V experimentální části práce bude kalotest použit pro zhodnocení hloubky nanesených povlakových vrstev na povlakovaných frézách.



Obr. 8 Princip určení hloubky povlaku metodou kalotest

Pro výpočet tloušťky povlaku se použije vzorec

$$(1) \quad T = \frac{D_1^2 + D_2^2}{4 \cdot D}$$

kde

T [μm] je tloušťka povlakové vrstvy

D [μm] je průměr ocelové kuličky

D_1 [μm] je velký průměr vzniklého důlku

D_2 [μm] je malý průměr vzniklého důlku

5. Hodnocení opotřebení fréz firmy ProSpon

Předmětem experimentu je pět různě velkých a různě povlakovaných fréz, vyrobených firmou ProSpon (Obr. 9). Tyto frézy jsou vyrobeny z materiálu ČSN 17 351 (tato ocel nemá přímý ekvivalent v zahraničních normách) a jsou dlouhé 300 mm. Čtyři z těchto fréz jsou povlakované čtyřmi různými povlaky a jedna je nechána pro porovnání bez povlaku. Každou z těchto fréz bylo vyvrtáno 1 120 děr o velikosti třísky 0,5 mm do bukového dřeva, které nám simuluje kostní tkáň. Hloubka obrábění byla polovina délky řezné části nástroje. Následně byly tyto frézy vloženy na 24 hodin do biologického roztoku (krev) a poté podrobeny sterilizaci. Rozměry a povlakové vrstvy na frézách jsou v Tab. 2.

Tab. 2 Přehled testovaných fréz

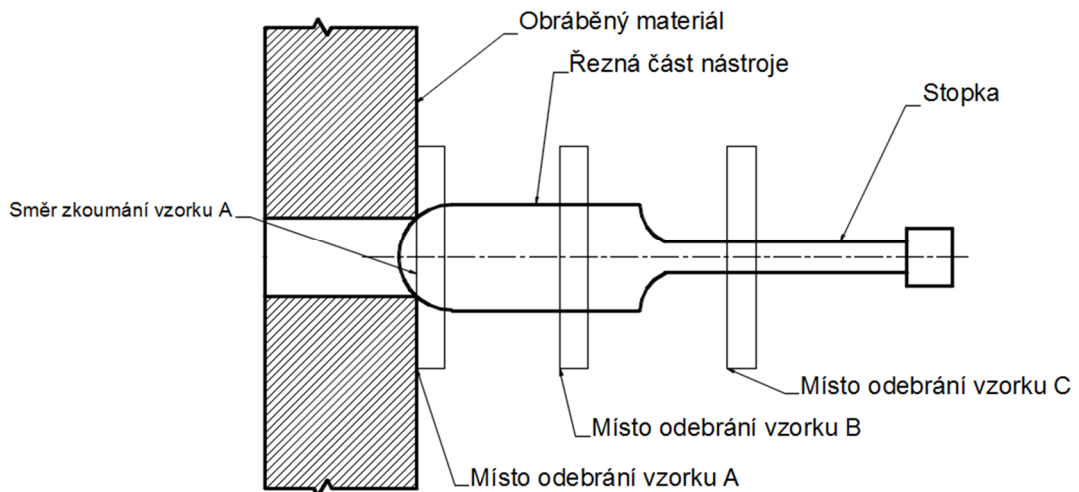
Fréza č.	Prům. frézy [mm]	Povlak	Barva
1	9	bez povlaku	stříbrná
2	10	TiAlN	fialová
3	11	ZrN	bílo-zlatá
4	12	a-C:H	černá
5	13	TiCN	zlatá



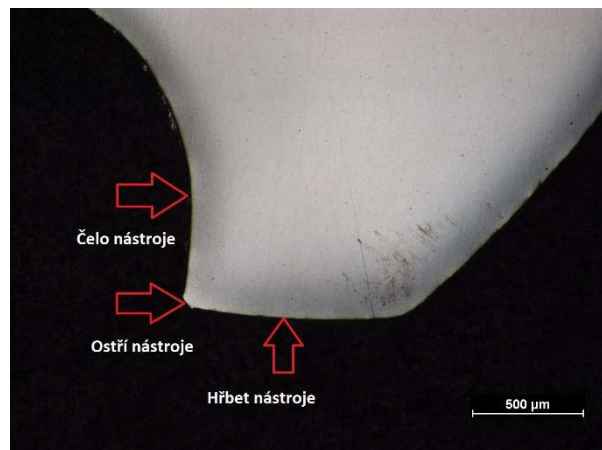
Obr. 9 Testované frézy od firmy ProSpon

5.1 Příprava fréz na vyhodnocení - určení míst řezů

Z každé frézy byly odebrány celkem 3 vzorky, jak je znázorněno na Obr. 10. Vzorek A byl odebrán v místě, kde řezná část frézy zabírá do obráběného materiálu. V této části předpokládáme největší opotřebení. Vzorek B byl odebrán v řezné části nástroje, kde nebyla fréza namáhána tudíž v této části nepředpokládáme opotřebení. V této části tedy budeme moci pozorovat kvalitu výroby nástroje a povlakové vrstvy. Vzorek č. 3 byl odebrán ze stopky nástroje. V těchto místech mají všechny vzorky stejný průměr. Tento vzorek nám umožní zhodnocení kontinuity povlaku v celé délce nástroje. Vzorky byly odděleny pomocí přesné laboratorní pily. Dále byli zaliti do pomocného materiálu a následně broušeny a leštěny. Na závěr byli vzorky po zhodnocení opotřebení naleptány roztokem vilyly a nitanu v poměru 3:1. Naleptání vzorků nám umožní kontrolu povlakových vrstev. Na Obr. 11 je znázorněn zub nástroje.



Obr. 10 Schéma odebrání vzorků

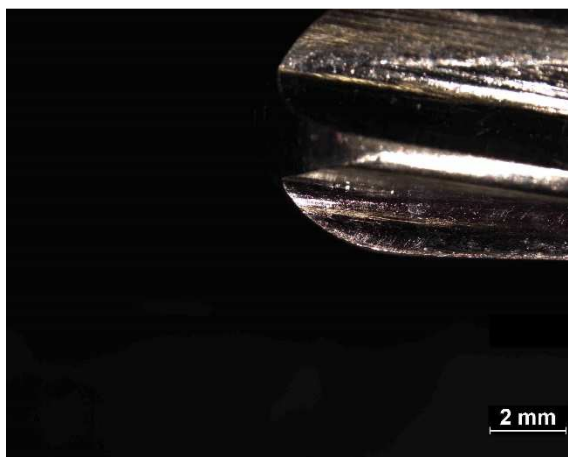


Obr. 11 ilustrační snímek zubu nástroje nástroj

5.2 Hodnocení opotřeбенí ostří

Před odebráním vzorků byly frézy nejdříve pozorovány na stereomikroskopu. Následně po odebrání vzorků a jejich úpravě proběhl výzkum na světelném mikroskopu.

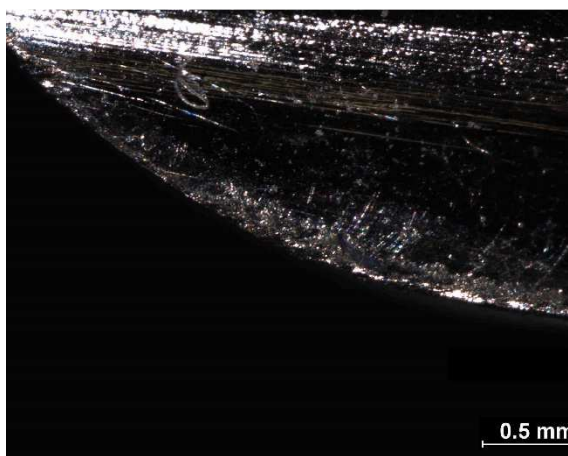
Fréza č. 1 - bez povlaku (stříbrná)



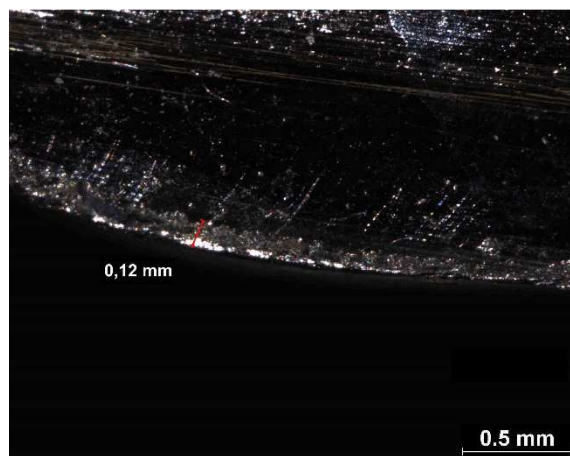
Obr. 12 Celkový pohled na opotřebení ostří



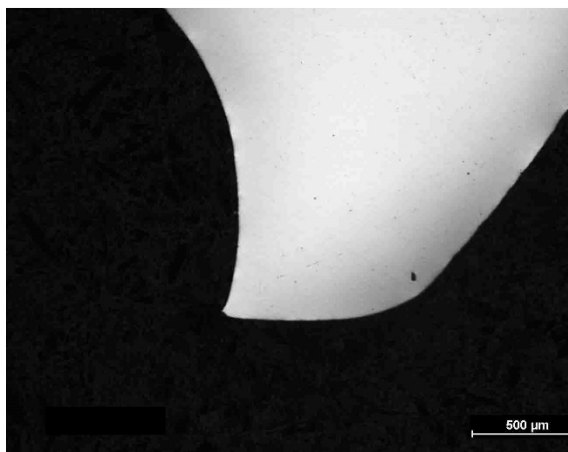
Obr. 13 Celkový pohled na opotřebení ostří



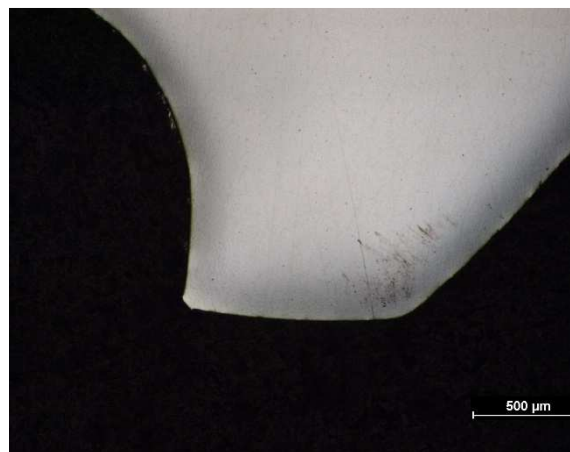
Obr. 14 Detail přechodu mezi opotřebenou a neopotřebenou částí nástroje



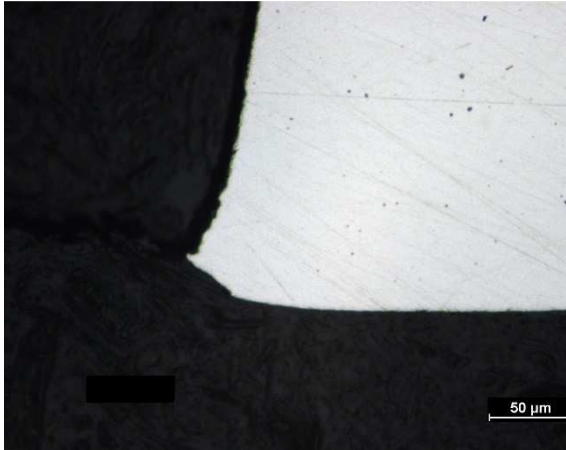
Obr. 15 Detail opotřebení ostří v místě největšího namáhání



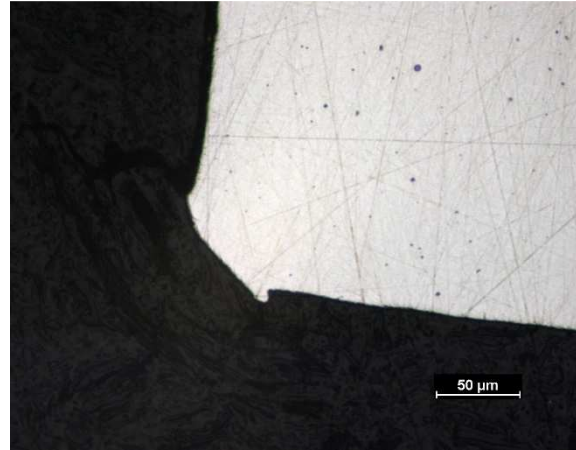
Obr. 16 Celkový pohled opotřebení ostří vzorek B



Obr. 17 Celkový pohled opotřebení ostří vzorek A



Obr. 18 Detail opotřebení ostří vzorek B

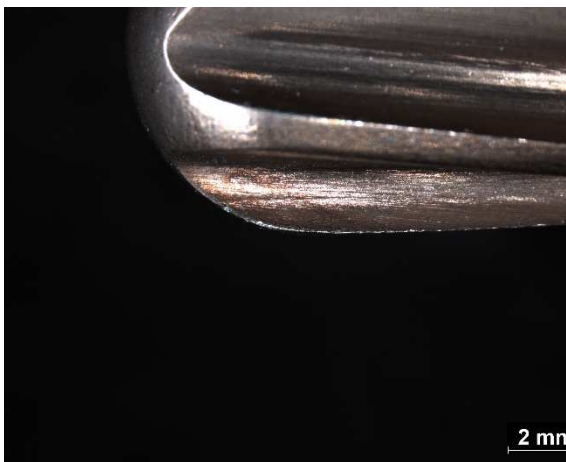


Obr. 19 Detail opotřebení ostří vzorek A

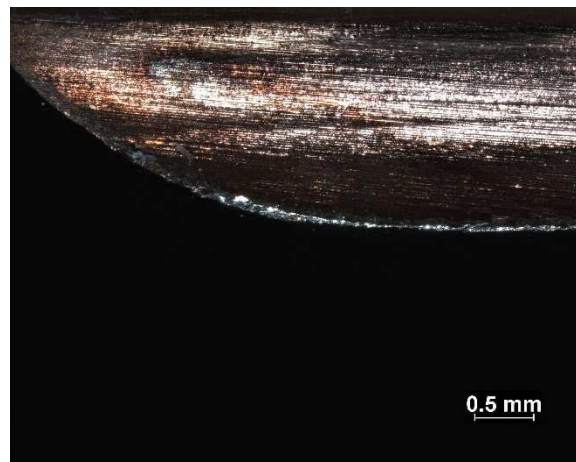
Na Obr. 12 - 15 můžeme pozorovat větší opotřebení povrchu čela nástroje, šířka opotřebení dosahuje až 0,12 mm. Na Obr. 19 ,tedy v nejnamáhanějším místě, je vidět na ostří nástroje ploška, která značí velkou deformaci ostří v daném místě. Deformace je však znatelná i na Obr.18, tedy v místě kde fréza nebyla namáhána.

Hodnocení: U této frézy došlo k velkým deformacím v namáhané části nástroje. Lze předpokládat, že jsou důsledkem opotřebení při simulovaném obrábění. Deformace ostří byly pozorovány také v nenamáhané části. Tyto deformace můžeme přisoudit chybné dokončovací operaci při výrobě nebo špatné manipulaci s nástrojem.

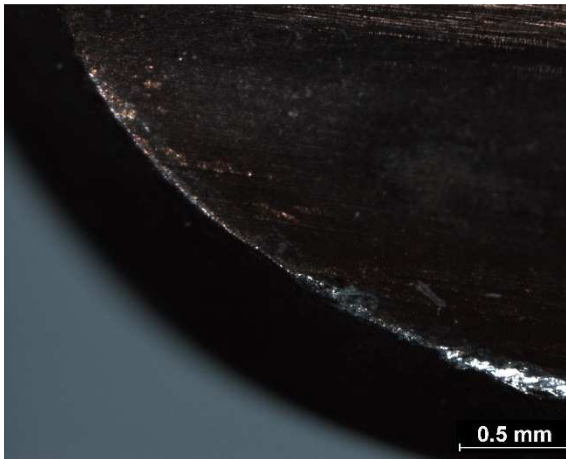
Fréza č. 2 povlak TiAlN (fialová)



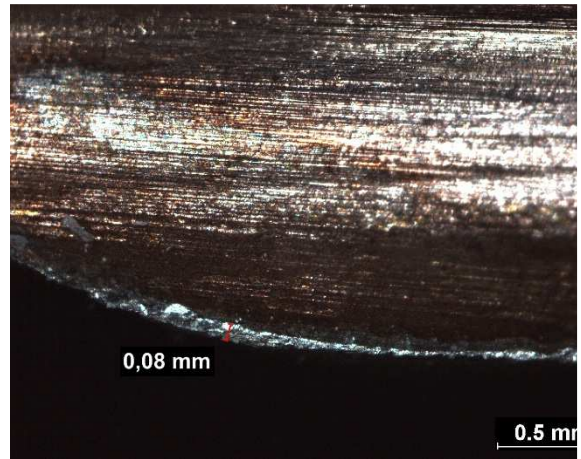
Obr. 20 Celkový pohled na opotřebení ostří



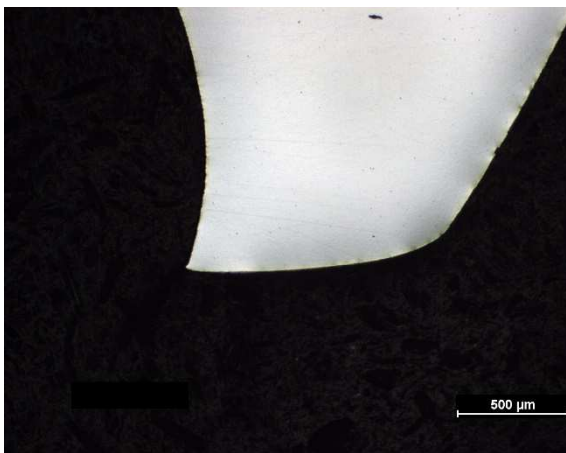
Obr. 21 Celkový pohled na opotřebení ostří



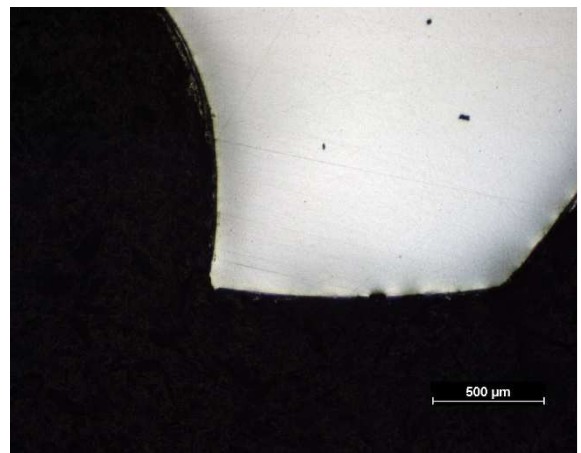
Obr. 22 Detail přechodu mezi opotřebenou a neopotřebenou částí čela nástroje



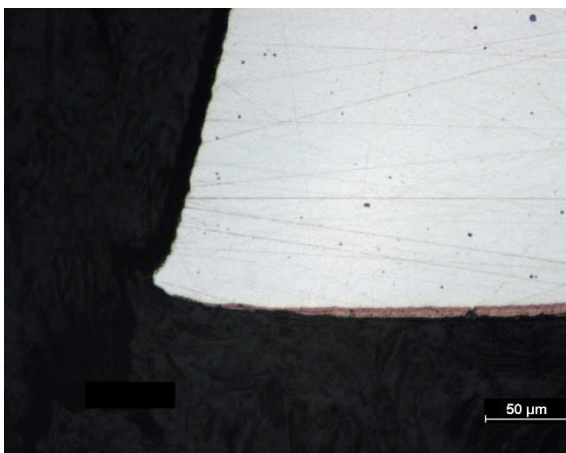
Obr. 23 Detail opotřebení povrchu ostří místo největšího opotřebení



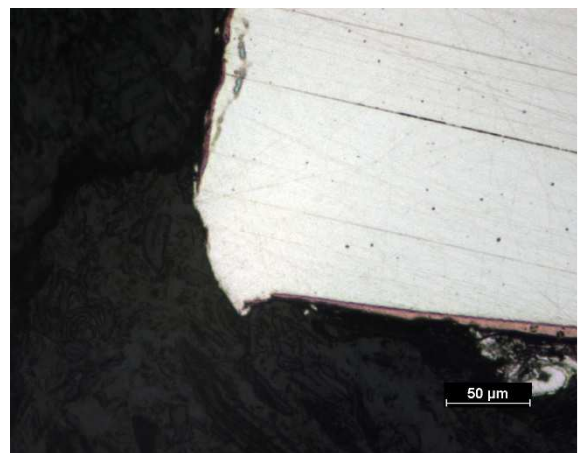
Obr. 24 Celkový pohled opotřebení ostří vzorek B



Obr. 25 Celkový pohled opotřebení ostří vzorek A



Obr. 26 Detail opotřebení ostří vzorek B



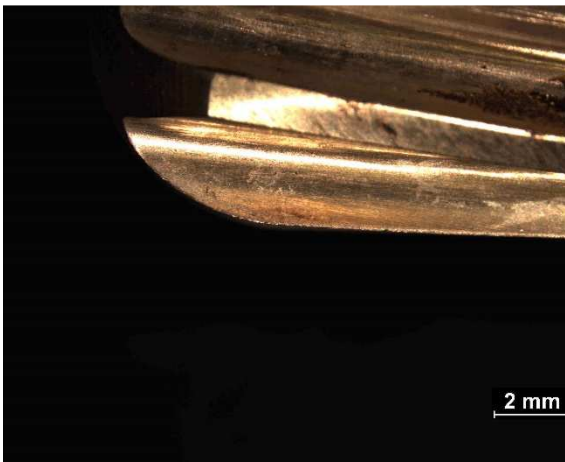
Obr. 27 Detail opotřebení ostří vzorek A

Na Obr. 20 můžeme pozorovat značné opotřebení povrchu čela nástroje a také přechod mezi opotřebenou a neopotřebenou částí čela Obr. 21 a 22. Na Obr. 23 detailu čela nástroje je vidět, že toto opotřebení má maximální šířku v této oblasti 0,08 mm. Obr. 25 a 27 nám ukazují úplnou deformaci ostří

nástroje na vzorku A, která jde proti směru obrábění. Z Obr. 24 a 26 je patrná deformace i u vzorku B tedy nenamáhané oblasti řezné části nástroje.

Hodnocení: Tato fréza podlela největším deformacím v oblasti největšího namáhání ze všech testovaných fréz, kdy došlo uplné deformaci ostří nástroje. Tato deformace pravděpodobně vznikla při simulovaném zatížení nástroje. Deformace v nenamáhaném místě mají pravděpodobně stejný důvod jako u frézy č. 1.

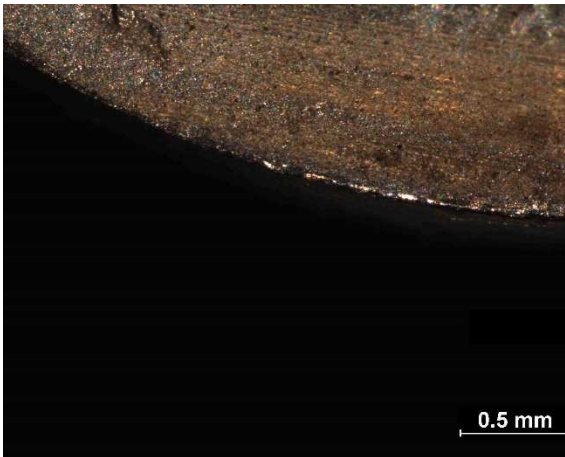
Fréza č. 3 povlak ZrN (bílo-zlatá)



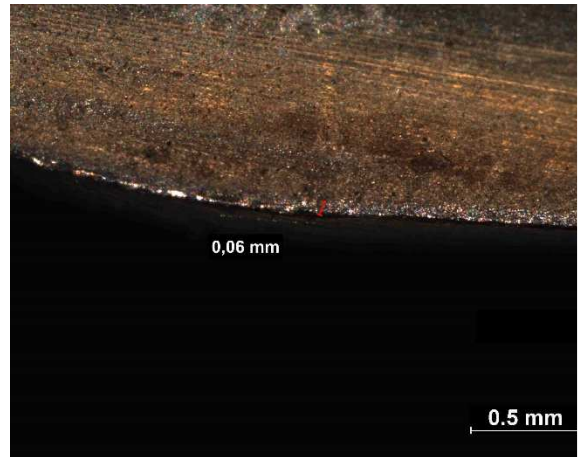
Obr. 28 Celkový pohled na opotřebení ostří



Obr. 29 Celkový pohled na opotřebení ostří



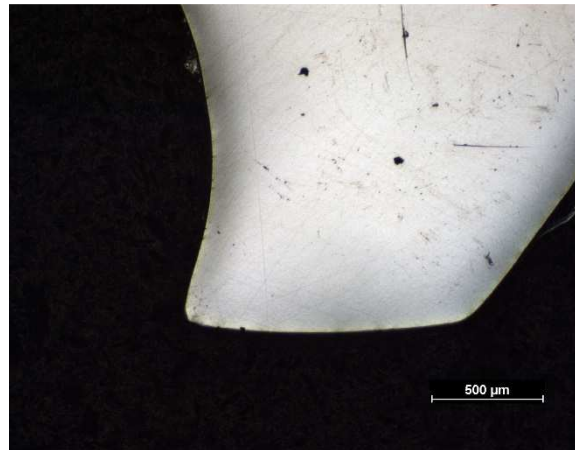
Obr. 30 Detail přechodu mezi opotřebenou a neopotřebenou částí čela nástroje



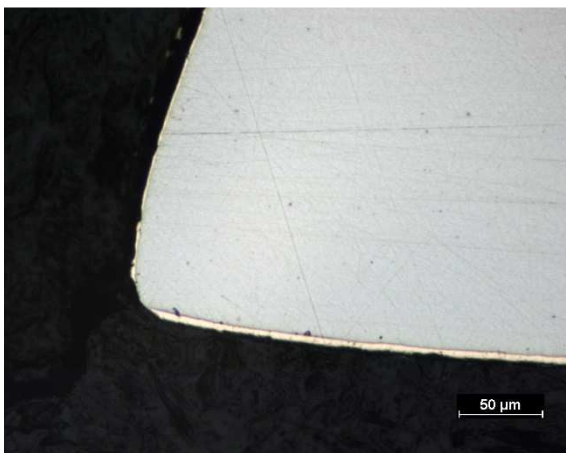
Obr. 31 Detail opotřebení povrchu ostří místo největšího opotřebení



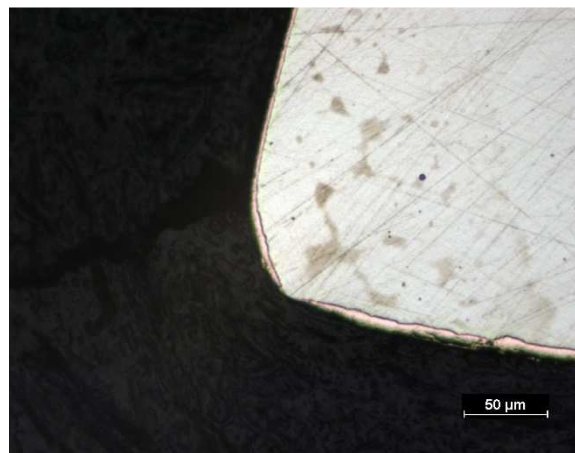
Obr. 32 Celkový pohled opotřebení ostří vzorek B



Obr. 33 Celkový pohled opotřebení ostří vzorek A



Obr. 34 Detail opotřebení ostří vzorek B



Obr. 35 Detail opotřebení ostří vzorek A

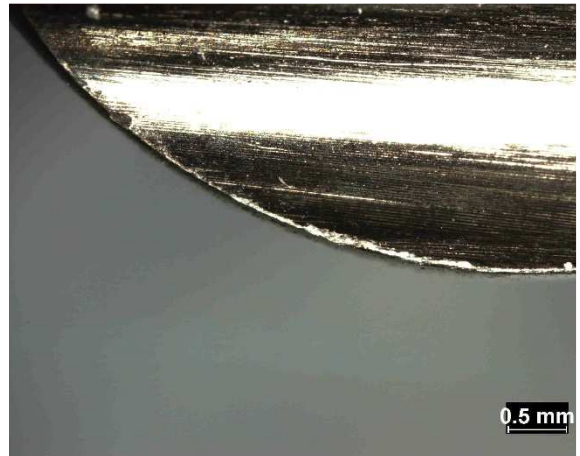
Na Obr. 28 a 29 pozorujeme lehké opotřebení povrchu čela nástroje. Na Obr. 30 je vidět přechod mezi opotřebenou a neopotřebenou částí nástroje. Detail v neopotřebenějším místě Obr. 31 nám ukazuje, že šíře opotřebeného povrchu dosahuje 0,06 mm. Z Obr. 33 a 35 je patrné zaoblení ostří nástroje v místech největšího opotřebení, které je však možné vidět i na Obr. 32 a 34 tedy v nenamáhaném místě nástroje.

Hodnocení: U této frézy nebyla pozorována zásadní deformace ostří v oblasti největšího namáhání. Lehká deformace v nenamáhané části je přisouzena stejně jako u fréz 1 a 2 chybné dokončovací operaci při výrobě nebo špatné manipulaci s nástrojem. Na povrchu ostří je zachována vrstva povlaku.

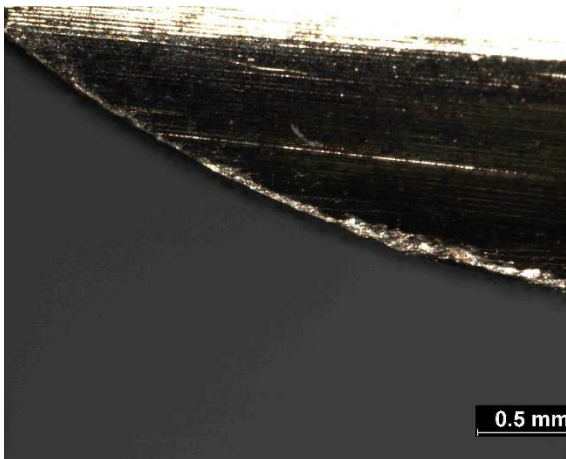
Fréza č. 4 povlak a-C:H(černá)



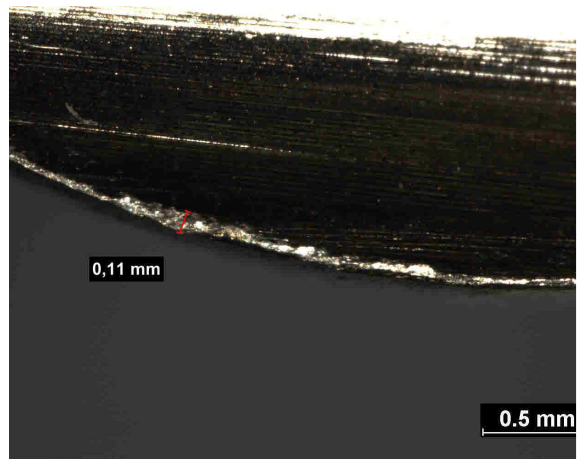
Obr. 36 Celkový pohled na opotřebení ostří



Obr. 37 Celkový pohled na opotřebení ostří



Obr. 38 Detail přechodu mezi opotřebenou a neopotřebenou částí čela nástroje



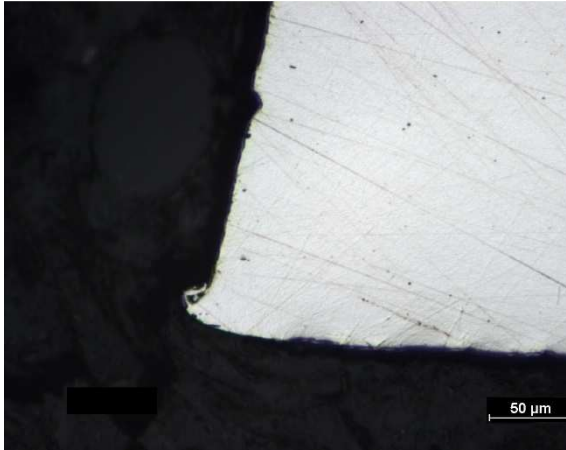
Obr. 39 Detail opotřebení povrchu ostří místo největšího opotřebení



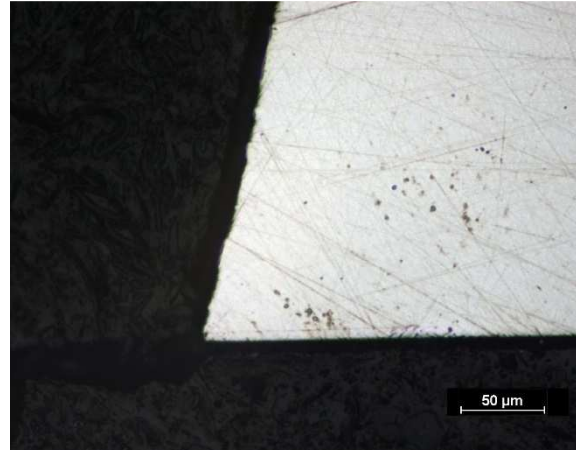
Obr. 40 Celkový pohled opotřebení ostří vzorek B



Obr. 41 Celkový pohled opotřebení ostří vzorek A



Obr. 42 Detail opotřebení ostří vzorek B

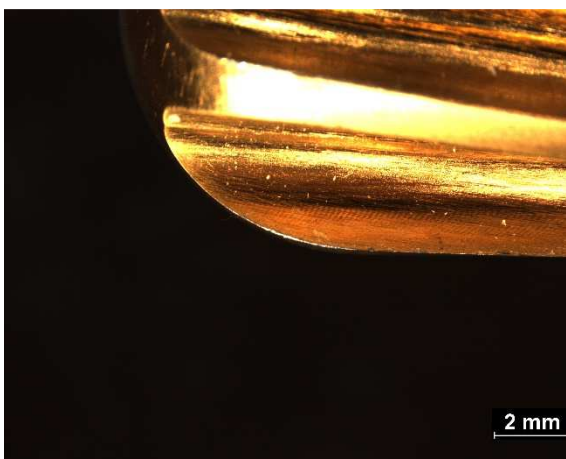


Obr. 43 Detail opotřebení ostří vzorek A

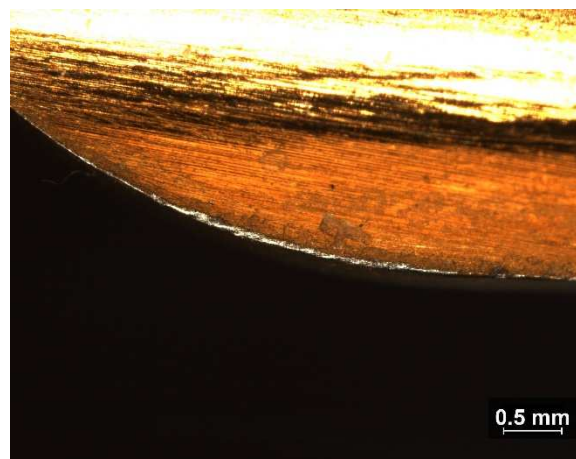
Na Obr. 36,37 vidíme stejně jako u frézy č. 1 značné opotřebení povrchu čela nástroje. Toto opotřebení je nejlépe vidět na Obr. 38, tedy na přechodu opotřebené a neopotřebené části čela nástroje. Obr. 39 nám ukazuje, že v místě největšího opotřebení, je hloubka opotřebení povrchu 0,11 mm. Obr. 41 a 43 nám ukazují, vysokou odolnost proti deformaci ostří u této frézy v místě nejvyšší zátěže. Ostří v této části nevykazuje výrazné známky deformace. Obr. 40 a 42 dokazují nedokonalost ostří v nenamáhané řezné části nástroje.

Hodnocení: U této frézy pozorujeme nejlepší odolnost vůči opotřebení v místech největšího namáhání ze všech posuzovaných fréz. Lehké deformace v nenamáhané části jsou stejné jako u ostatních fréz a mají pravděpodobně stejné příčiny.

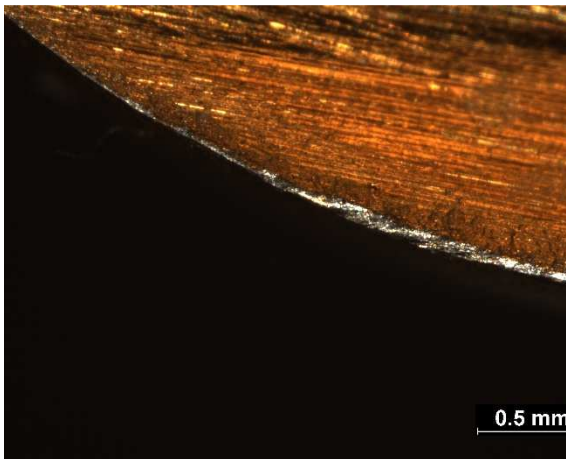
Fréza č.5 povlak TiCN (zlatá)



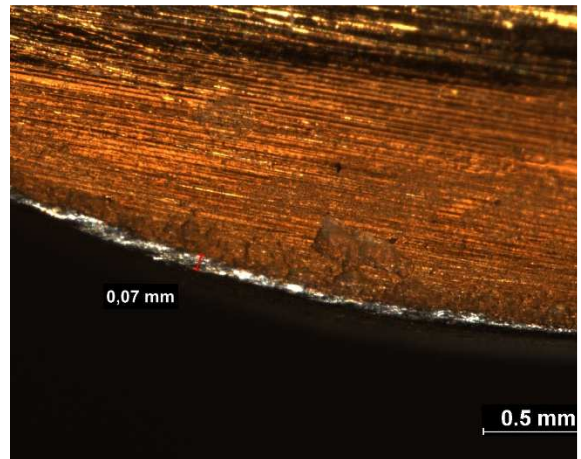
Obr. 44 Celkový pohled na opotřebení ostří



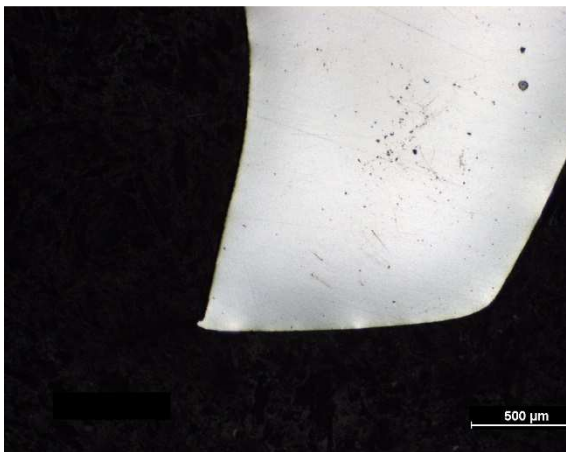
Obr. 45 Celkový pohled na opotřebení ostří



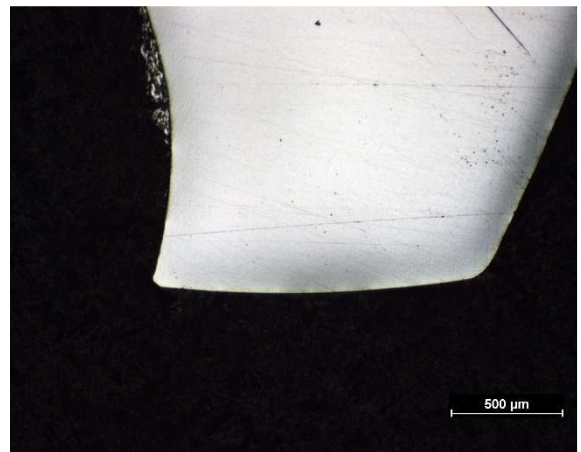
Obr. 46 Detail přechodu mezi opotřebenou a neopotřebenou částí čela nástroje



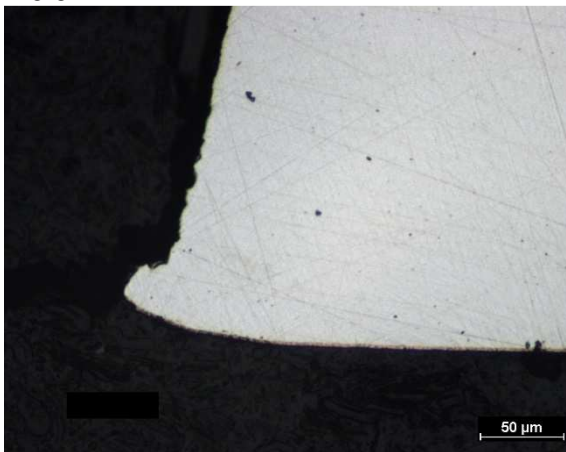
Obr. 47 Detail opotřebení povrchu ostří místo největšího opotřebení



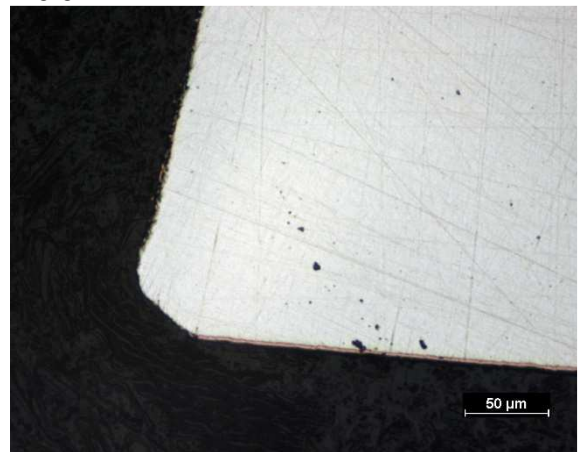
Obr. 48 Celkový pohled opotřebení ostří vzorek B



Obr. 49 Celkový pohled opotřebení ostří vzorek A



Obr. 50 Detail opotřebení ostří vzorek B



Obr. 51 Detail opotřebení ostří vzorek A

U této frézy je na Obr. 44 a 45 zjevné opotřebení povrchu čela nástroje, které je nejlépe znatelné na Obr. 46, tedy na přechodu opotřebené a neopotřebené části čela nástroje. Obr. 47 ukazuje že šířka tohoto opotřebení dosahuje hodnoty až 0,07 mm. Na Obr. 49 a 51 je vidět stejně jako u frézy č. 1

ploška na ostří nástroje. Obr. 48,50 ukazují nedokonalost ostří v nenamáhané řezné části nástroje.

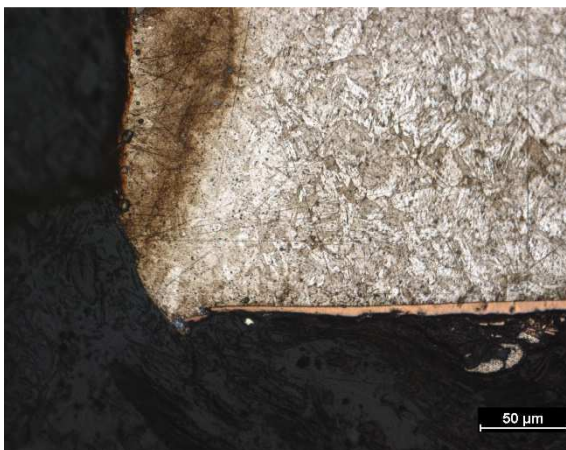
Hodnocení: Tato fréza vykazuje značnou deformaci v místech největšího namáhání, která je velmi podobná jako u frézy č.1. Deformace v nenamáhané části je opět podobná jako u ostatních fréz a má pravděpodobně i stejné příčiny.

5.3 Hodnocení povlaků

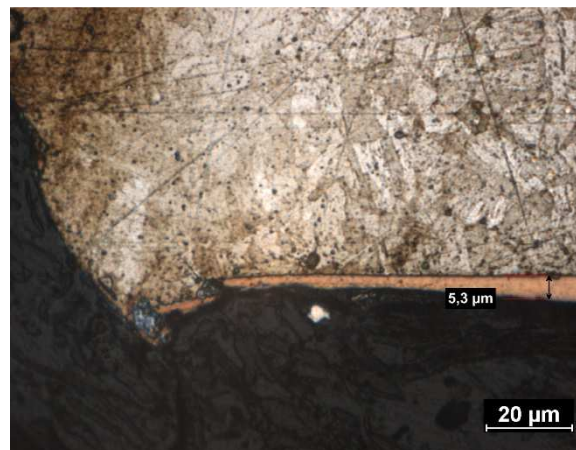
5.3.1 Kontrola hloubky, kontinuity povlaku v místě největšího opotřebení

V této části hodnotíme pouze vzorky A. Před zkoumáním byly tyto vzorky naleptány a následně proběhl výzkum na světelném mikroskopu. Frézu č. 1 nehodnotíme, jelikož tato fréza není povlakována.

Fréza č. 2 povlak TiAlN (fialová)



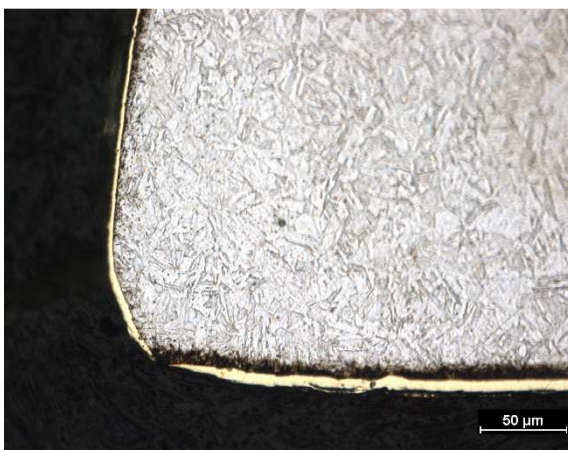
Obr. 52 Celkový pohled na povlak v oblasti ostří nástroje vzorek A



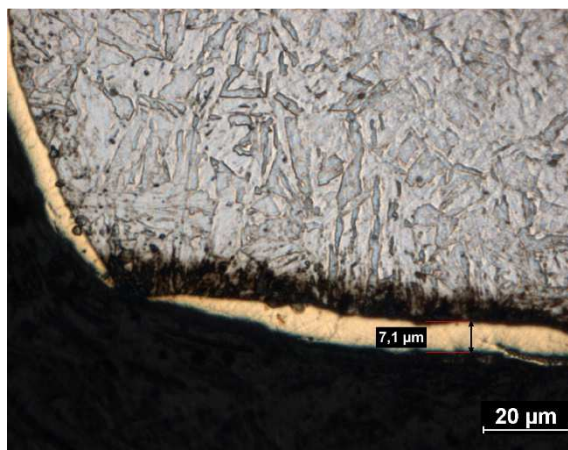
Obr. 53 Detail povlaku ostří v oblasti břítu nástroje vzorek A

Na Obr. 52 je vidět nesourodost povlakové vrstvy v oblasti břítu nástroje. Z obrázku je patrné že hloubka povlaku na čele nástroje je několikanásobně nižší než na hřbetu nástroje, kde dosahuje hodnoty 5,3 μm. Obr. 53 ukazuje, že na deformovaném břítu nástroje je částečně zachován povlak.

Fréza č. 3 povlak ZrN (bílo-zlatá)



Obr. 54 Celkový pohled na povlak v oblasti ostří nástroje vzorek A



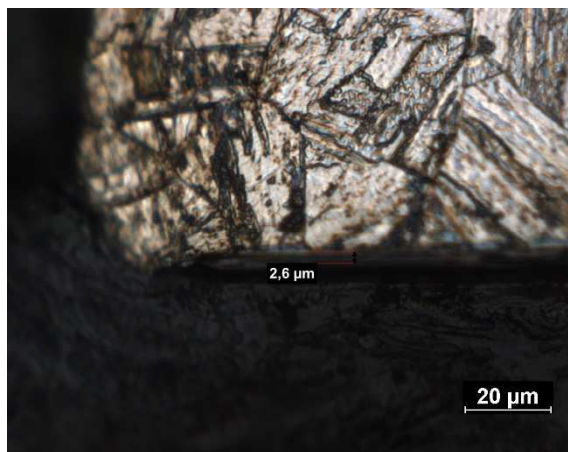
Obr. 55 Detail povlaku ostří v oblasti břitu nástroje vzorek A

Na Obr. 54 je vidět vrstva povlaku, která odolala opotřebení a pokrývá téměř celý břit nástroje. Opět se však projevila rozdílná hloubka vrstvy na čele a hřbetu nástroje, kde hodnota hloubky povlaku dosahuje 7,1 μm a je téměř dvojnásobná oproti čelu.

Fréza č. 4 povlak a-C:H (černá)



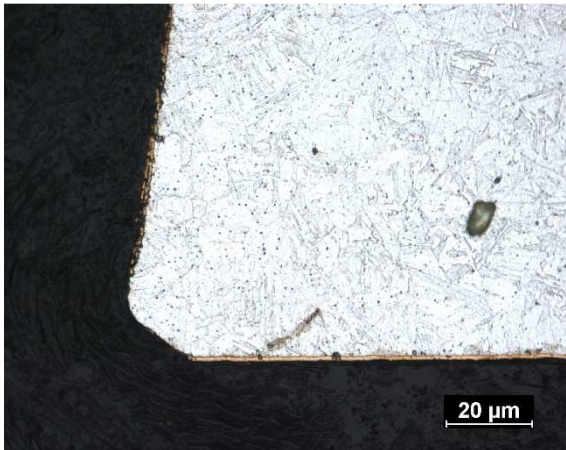
Obr. 56 Celkový pohled na povlak v oblasti ostří nástroje vzorek A



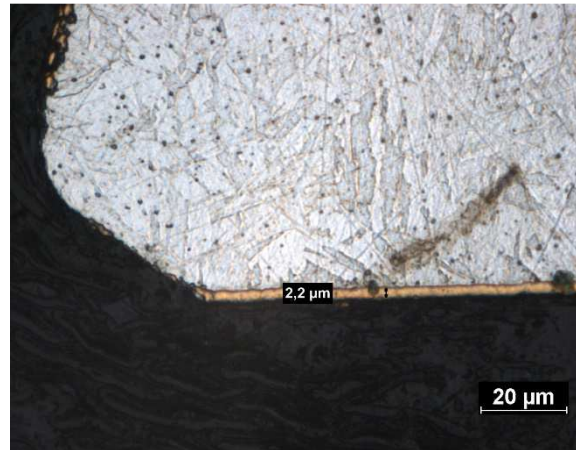
Obr. 57 Detail povlaku ostří v oblasti břitu nástroje vzorek A

Na Obr. 56 je pozorována nesouvislá vrstva povlaku. Na Obr. 57 pozorujeme přítomnosti povlakové vrstvy na ostří nástroje. U tohoto povlaku se opět projevilo rozdílné v hloubce povlakové vrstvy na čele a hřbetu nástroje, kde je maximální hloubka povlaku 2,6 μm. Tento rozdíl však není tak markantní jako u ostatních povlaků.

Fréza č. 5 povlak TiCN (zlatá)



Obr. 58 Celkový pohled na povlak v oblasti ostří nástroje vzorek A



Obr. 59 Detail povlaku ostří v oblasti bříty nástroje vzorek A

Na Obr. 58 vidíme nesouvislou vrstvu povlaku v oblasti ostří nástroje. Povlak je souvislý pouze na hřbetu nástroje, kde hodnota jeho hloubky dosahuje 2,2 μm. V oblasti ostří a čela nástroje není povlaková vrstva přítomna nebo je velmi nesourodá.

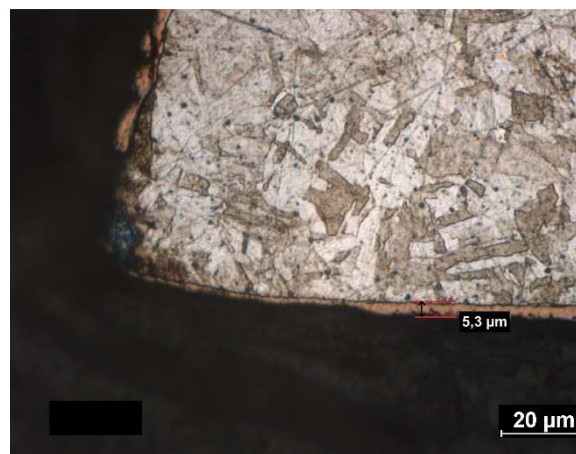
5.3.2 Kontrola hloubky, kontinuity povlaku v celé délce nástroje

V této části proběhl výzkum na vzorcích B a C, které byli stejně jako v předešlém případě naleptány a následně pozorovány na světelném mikroskopu. Pozorovaná místa vzorků B a C nám ukazují kvalitu a rovnoměrnost povlakové vrstvy v celé délce nástroje.

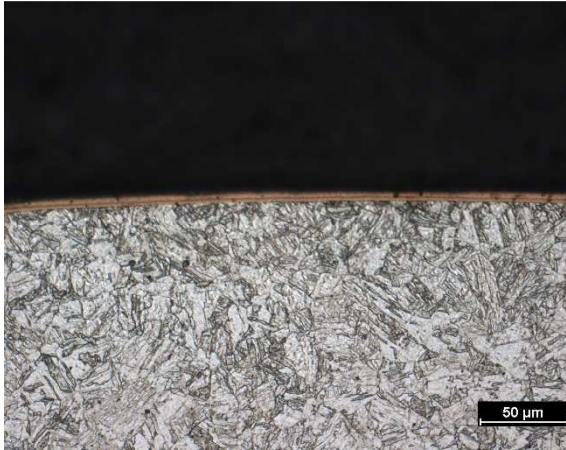
Fréza č. 2 povlak TiAlN (fialová)



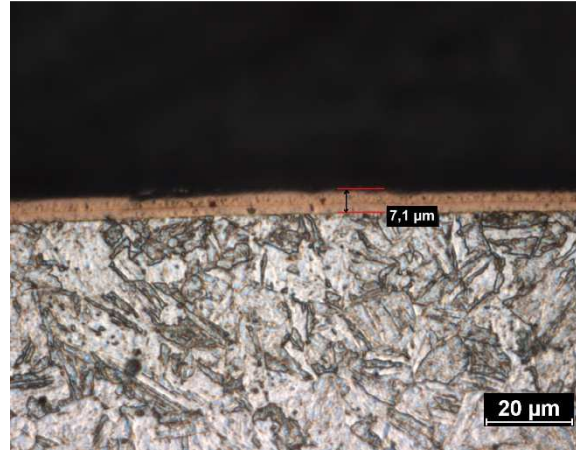
Obr. 60 Celkový pohled na povlak ostří nástroje v nenamáhané řezné části nástroje vzorek B



Obr. 61 Detail povlaku ostří nástroje v nenamáhané řezné části nástroje vzorek B



Obr. 62 Celkový pohled na povlak v oblasti stopky nástroje vzorek C



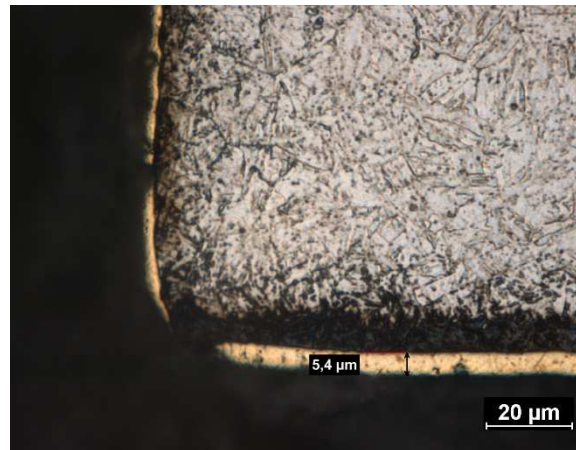
Obr. 63 Detail povlaku na stopce nástroje vzorek C

Na Obr.60 je vidět nesouvislá vrstva povlaku zejména na ostří nástroje. Obr. 62 ukazuje souvislou vrstvu na stopce nástroje jejíž maximální hloubka je 5,3 μm. Obr. 61 a 63 poukazují na rozdílnou hloubku povlakové vrstvy na stopce a řezné části nástroje, kde rozdíl činí 2,2 μm.

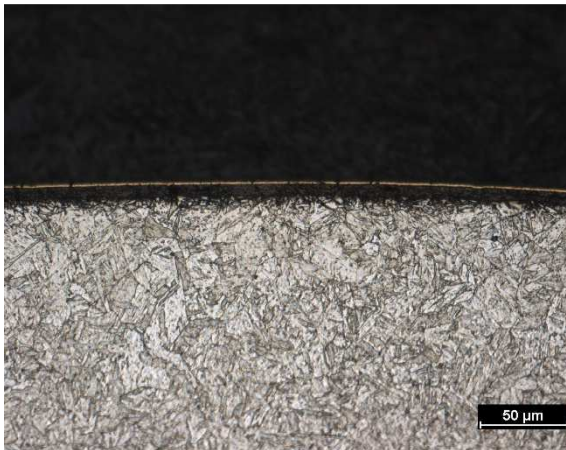
Fréza č. 3 povlak ZrN (bílo-zlatá)



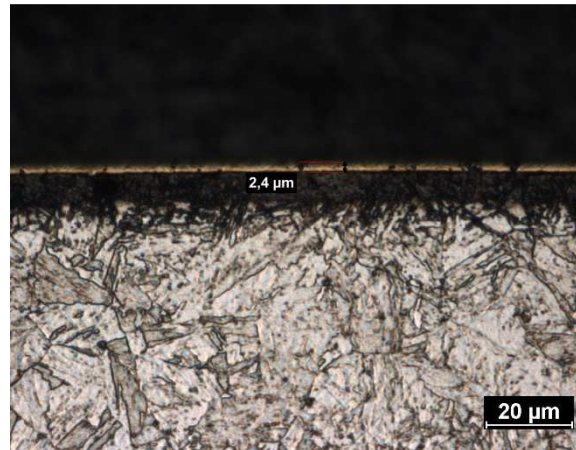
Obr. 64 Celkový pohled na povlak ostří nástroje v nenamáhané řezné části nástroje vzorek B



Obr. 65 Detail povlaku ostří nástroje v nenamáhané řezné části nástroje vzorek B



Obr. 66 Celkový pohled na povlak v oblasti stopky nástroje



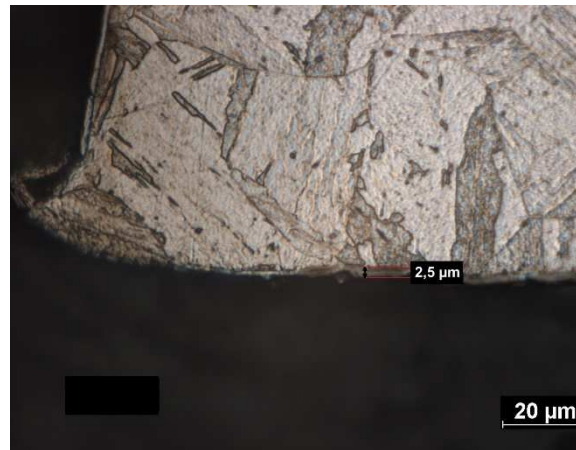
Obr. 67 Detail povlaku na stopce nástroje vzorek C

Na Obr. 64 je vidět nesouvislá vrstva povlaku, stejně jako u frézy č. 2 není povlak na ostří nástroje. Obr. 66 ukazuje souvislou vrstvu povlaku na stopce nástroje. Obr. 65,67 opět poukazují na výraznou rozdílnou hloubku povlaku na stopce a řezné části nástroje, kde tento rozdíl činí 2 μm .

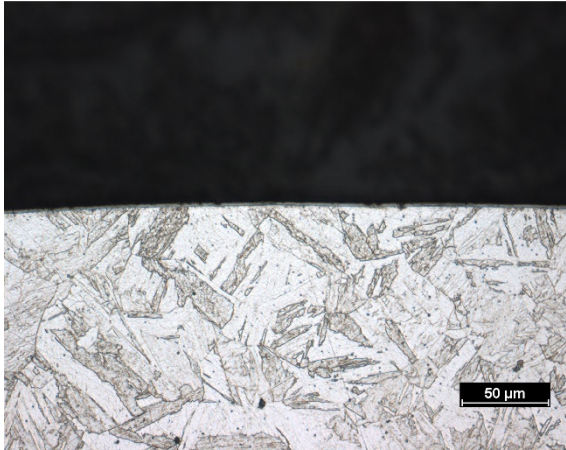
Fréza č. 4 povlak a-C:H (černá)



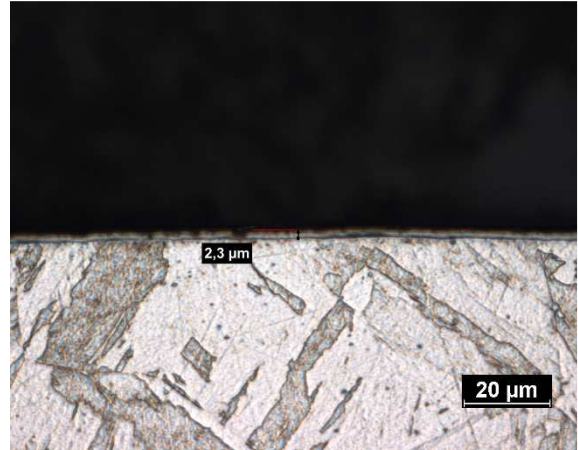
Obr. 68 Celkový pohled na povlak ostří nástroje v nenamáhané řezné části nástroje vzorek B



Obr. 69 Detail povlaku ostří nástroje v nenamáhané řezné části nástroje vzorek B



Obr. 70 Celkový pohled na povlak v oblasti stopky nástroje



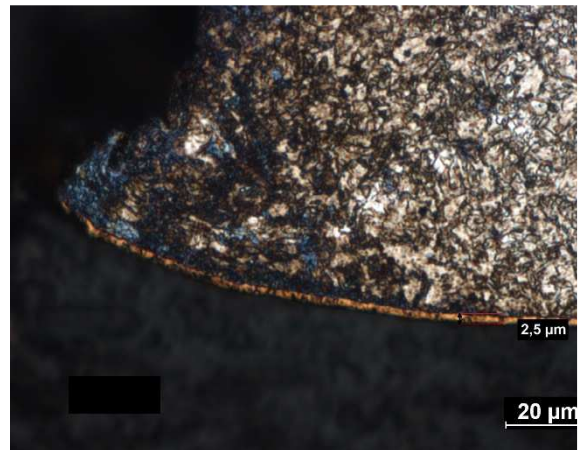
Obr. 71 Detail povlaku na stopce nástroje vzorek C

Na Obr. 68 a 70 je vidět souvislá vrstva jak v celé oblasti břitu, tak v oblasti stopky nástroje. Obr. 69 a 71 nám ukazují, že rozdíl mezi hloubkami vrstvy břitu a stopky je zanedbatelný.

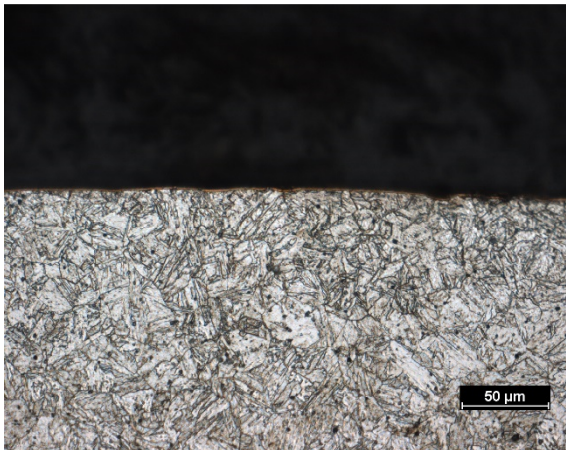
Fréza č.5 povlak TiCN (zlatá)



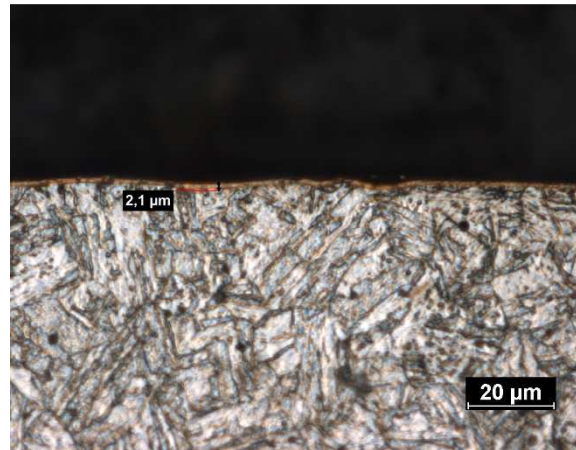
Obr. 72 Celkový pohled na povlak ostří nástroje v nenamáhané řezné části nástroje vzorek B



Obr. 73 Detail povlaku ostří nástroje v nenamáhané řezné části nástroje vzorek B



Obr. 74 Celkový pohled na povlak v oblasti stopky nástroje vzorek C

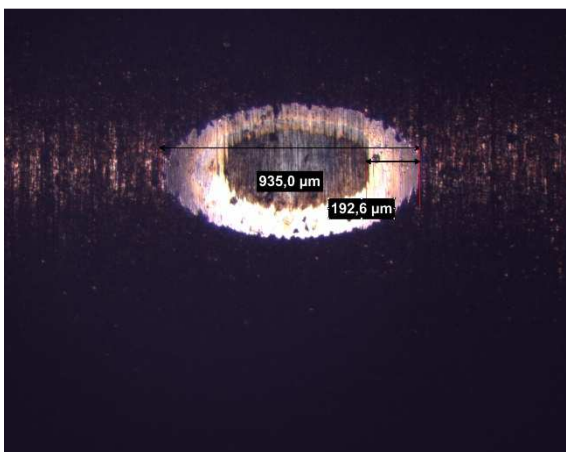


Obr. 75 Detail povlaku na stopce nástroje vzorek C

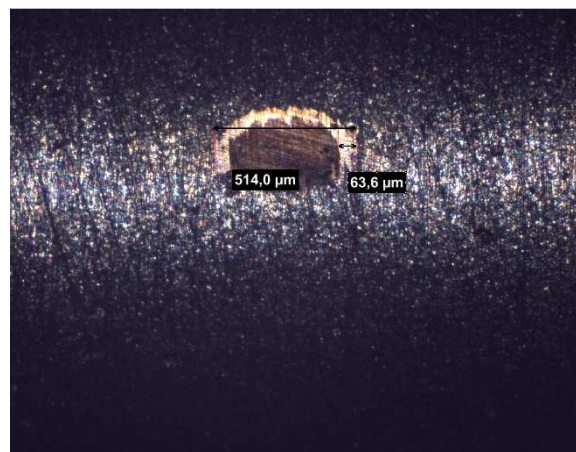
Z Obr. 72 a 73 je patrná nesouvislost povlaku v oblasti břitu nástroje, kde na ostří a čele nástroje není povlaková vrstva. Obr. 74 nám ukazuje souvislou vrstvu na stopce nástroje a Obr. 73 a 75 nepatrný rozdíl mezi hloubkami povlakových vrstev na stopce a neopotřeбенé řezné části nástroje.

Kalotest

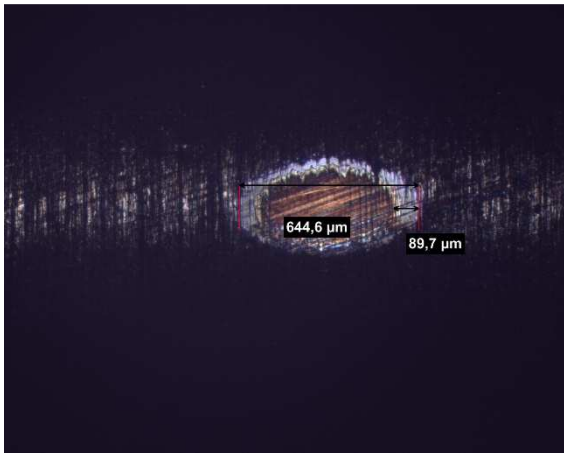
Kalotest byl proveden na stopkách nástrojů. V těchto místech, jak již bylo zmíněno, mají všechny frézy stejný průměr. Jelikož je kalotest prováděn na válcových plochách, bude mít důlek od kuličky eliptický tvar. Výsledky kalotestu jsou znázorněny na Obr. 76,77,78,79 a souhrnně uvedeny v Tab. 3.



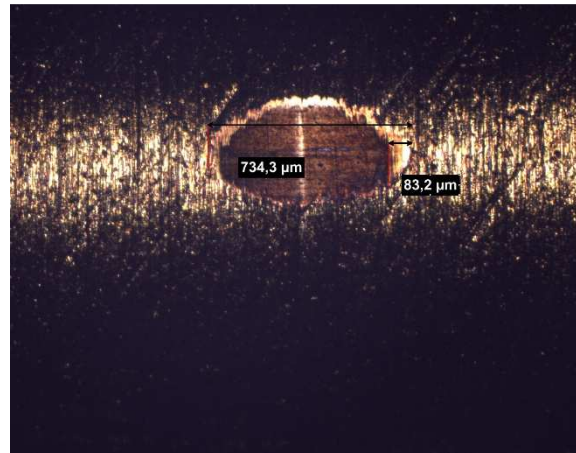
Obr. 76 Fréza č.2 kalotest



Obr. 77 Fréza č.3 kalotest



Obr. 78 Fréza č.4 kalotest



Obr. 79 Fréza č.5 kalotest

Tab. 3 Naměřené hodnoty kalotest

Fréza č.	Vnější prům. D ₁ [μm]	Vnitřní prům. D ₂ [μm]	Prům. kuličky D [μm]	Tloušťka vrstvy T [μm]	Tloušťka vrstvy T ₁ [μm]
2	935,0	549,8	20000	7,1	7,1
3	514,0	386,8	20000	1,4	2,4
4	644,6	465,2	20000	2,4	2,3
5	734,3	567,9	20000	2,7	2,1

T₁ - Hodnota měřená na světelném mikroskopu

T - Hodnota měřená metodou kalotest

Z Tab.3 vyplývá že hodnoty hloubky povlaků měřené metodou kalotest a hloubky zjištěné na světelném mikroskopu se až na jednu výjimku téměř shodují.

Hodnocení povlaků na frézách:

Fréza č. 2 povlak TiAlN (fialová) - Tento povlak měl největší hloubku povlakové vrstvy ze všech testovaných nástrojů, která se pohybovala v rozmezí 5,3 až 7,1 μm. U tohoto povlaku byla také pozorována velmi dobrá adheze, jelikož vrstvu povlaku bylo možné pozorovat i na velmi deformovaném ostří. Souvislost povlaku po obvodu nástroje zejména v oblasti ostří je špatná.

To může být důsledkem chybného povlakovacího procesu nebo nesprávně připraveného povrchu základního materiálu před povlakováním.

Fréza č. 3 povlak ZrN (bílo-zlatá) - Hloubka povlakové vrstvy na této fréze se pohybovala v rozmezí 2,4 - 7,1 μm . Tento povlak se vyznačuje nejlepší adhezí ze všech testovaných povlaků, jelikož souvislá vrstva povlaku byla pozorována na zatíženém ostří nástroje. Souvislost povlaku v obvodu nástroje je také velmi dobrá.

Fréza č. 4 povlak a-C:H (černá) - Hloubka povlakové vrstvy na této fréze se pohyboval v rozmezí 2,3 - 2,6 μm , což značí rovnoměrnost povlaku v celé délce nástroje. Dobrá souvislost povlaku byla také pozorována v celém obvodu nástroje. Povlak se také vyznačuje velmi dobrou adhezí, protože vrstva povlaku byla přítomna na zatíženém ostří nástroje.

Fréza č. 5 povlak TiCN (zlatá) - Hloubka povlakové vrstvy na této fréze se pohybovala v rozmezí 2,1 - 2,7 μm . U této frézy byla také pozorována špatná kontinuita povlaku po obvodu nástroje a také adheze nástroje, jelikož je patrná absence povlakové vrstvy na ostří nástroje. To může být důsledkem chybného povlakovacího procesu nebo špatnou úpravou povrchu základního materiálu před povlakováním.

U všech fréz (mimo frézy č. 4) byl pozorován rozdíl v hloubkách povlakových vrstev mezi řeznou částí a stopkou. Příčinou rozdílu může být délka nástroje (300 mm) a také poloha fréz při povlakovacím procesu.

5.4 Vyhodnocení koroze u jednotlivých nástrojů

Neméně důležitým parametrem hodnocení povlaků je jejich odolnost proti povrchové korozi. Pro tento účel byly nástroje vloženy na 24 hodin do biologického roztoku a následně sterilizovány. Korozní odolnost jednotlivých nástrojů byla posouzena pouze vizuální kontrolou jako základní informace pro případné další testy.



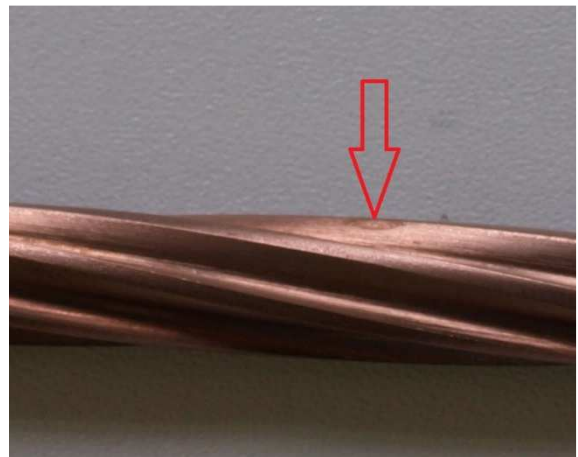
Obr. 80 Fréza č.1 celkový pohled koroze



Obr. 81 Fréza č. 1 detail koroze šipka značí místo defektu



Obr. 82 Fréza č.2 celkový pohled koroze



Obr. 83 Fréza č. 2 detail koroze šipka značí místo defektu



Obr. 84 Fréza č.3 celkový pohled koroze



Obr. 85 Fréza č. 3 detail koroze šipka značí místo defektu



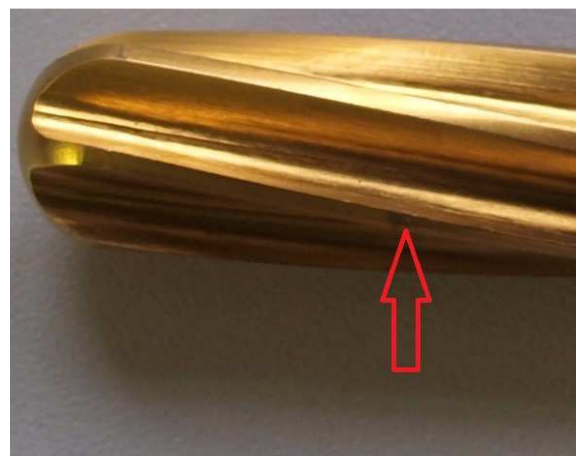
Obr. 86 Fréza č.4 celkový pohled koroze



Obr. 87 Fréza č. 4 detail koroze šipka značí místo defektu



Obr. 88 Fréza č.5 celkový pohled koroze



Obr. 89 Fréza č. 5 detail koroze šipka značí místo defektu

Hodnocení: Vizualní kontrolou byly na fréze č. 3 zjištěny rozsáhlé povrchové vady (Obr. 85), které mají fialově černou barvu. U ostatních fréz byly zjištěny pouze drobné povrchové vady až po velice detailní prohlídce celého povrchu nástroje (Obr. 81, 83, 87 a 89). Z optického zkoumání není však zcela průkazné, zda se na povrchu nástrojů skutečně jedná o korozi nebo o reakci na chybně zvolené sterilizační a čistící prostředky.

6. Závěr

Cílem práce bylo vyhodnocení opotřebení, kvality a koroze povlakovaných vrstev u pěti fréz dodaných firmou ProSpon, které byly podrobeny simulovanému mechanickému opotřebení, působení biologického roztoku a sterilizačnímu procesu. Hodnocení bylo provedeno pomocí stereo a světelného mikroskopu, kalotestu a vizuální kontrole na povrchovou korozi. Každá fréza byla zkoumána na třech místech, a to v místě řezné části nástroje s předpokládaným největším opotřebením, v místě, kde řezná část nástroje nebyla namáhána a v místě stopky nástroje.

Prvním vyhodnocovaným aspektem bylo opotřebení jednotlivých fréz v místě předpokládaného největší opotřebení a v nenamáhaném místě. Experiment ukázal značné opotřebení a deformaci ostří u některých nástrojů. Současně však také ukázal deformaci ostří v nenamáhané části nástroje, což může být následkem nesprávné manipulace s frézami nebo chybným postupem při výrobě fréz.

Další oblastí zkoumání byla kontrola hloubky a rovnoměrnosti povlaků a to v celé délce nástrojů. Zde se ukázala u některých povlakovaných nástrojů nerovnoměrnost povlaku, jak po celé délce, tak po jejich obvodu. Tyto nerovnoměrnosti mohou být následkem špatných dokončovacích operací při výrobě nástrojů, chybně nastavených povlakovacích procesů nebo velkých rozměrů nástrojů (délka 300 mm).

Poslední hodnocený aspekt byla koroze nástrojů. U všech nástrojů byly vizuální kontrolou pozorovány známky povrchových vad, avšak použitá metoda zcela neprokázala, zdali se skutečně jedná o korozi nebo pouze o povrchovou reakci s desinfekčními a čistícími prostředky, kterým byly nástroje vystaveny.

Z celkových výsledků experimentu vyplývá, že některé povlakované nástroje mnohem lépe odolávají opotřebení a korozi oproti nepovlakovaným nástrojům a lze je tedy doporučit pro povlakování těchto nástrojů. Výrobce by se však měl zaměřit na kvalitní přípravu povrchu pro povlakovací proces (drsnot povrchu, odstranění ostřin, atd.) a samotný povlakovací proces, který musí být zejména u takto dlouhých nástrojů správně nastavený.

Celkové hodnocení jednotlivých fréz a povlaků

Fréza č. 1 - bez povlaku (stříbrná) - u této frézy byla pozorována značná deformace v namáhané oblasti ostří a také lehká deformace v nenamáhané části. Vizualní kontrolou byly zjištěny drobné vady povrchu, které mohou být hodnoceny jako povrchová koroze vzniklá reakcí s desinfekčními či čistícími prostředky v průběhu sterilizačního procesu.

Fréza č. 2 povlak TiAlN (fialová) - tato fréza vykazovala největší deformaci ostří ze všech testovaných fréz a také lehkou deformaci na nenamáhané části. Povlak na této fréze vykazuje známky velmi dobré adheze, jelikož vrstva povlaku byla i na velmi deformovaném ostří. Nerovnoměrnost povlaku po obvodu a celé délce nástroje však vykazuje značné odchylky až 2,2 μ m. Vizualní kontrola povrchu odhalila u tohoto povlaku známky lehkých povrchových defektů, které mohou mít stejné příčiny jako u frézy č.1. Z důvodu velkých opotřebení, které byly větší než u frézy č.1, je třeba pečlivě zvážit použití tohoto povlaku u lékařských nástrojů.

Fréza č. 3 povlak ZrN (bílo-zlatá) - tato fréza vykazovala velmi dobrou odolnost proti opotřebení v namáhané části nástroje. Zásadní deformace nebyly pozorovány ani v nenamáhané části nástroje. Adheze u tohoto povlaku byla nejlepší z testovaných nástrojů, protože se zachovala souvislá vrstva povlaku i na namáhaném ostří nástroje. Povlak po obvodu nástroje je rovnoměrný ale po délce nástroje byly zjištěny velké odchylky až 4,7 μ m. V hodnocení koroze vykazoval tento povlak nejvýraznější povrchové defekty, které mohou být hodnoceny jako koroze. Tento povlak lze doporučit pro výrobu nástrojů pod podmínkou provedení podrobnějších korozních testů.

Fréza č. 4 povlak a-C:H (černá) - fréza s tímto povlakem nejlépe odolala opotřebení v oblasti ostří. A také deformace v nenamáhané oblasti nebyly zásadní. Povlak vykazuje velmi dobrou adhezi a kontinuitu, kde maximální odchylka hloubky povlaku byla 0,3 μ m. Korozní zkoumání ukázalo přítomnost lehkých povrchových defektů, které jsou podobné jako u fréz č. 1 a 2 a mají pravděpodobně i stejnou příčinu. Tento povlak lze doporučit pro výrobu lékařských nástrojů.

Fréza č. 5 povlak TiCN (zlatá) - u této frézy byly pozorovány deformace v oblasti ostří a také v nenamáhané části. Kontinuita povlaku v celé délce

nástroje je bez větších odchylek. Nepřítomnost povlakové vrstvy na ostří v namáhané i nenamáhané části nástroje nám však vede k úvaze, zda byl vhodně zvolen výrobní nebo povlakovací postup u této frézy. Korozní zkoumání odhalilo přítomnost lehkých povrchových defektů, které jsou podobné jako u fréz 1, 2 a 3. Tento povlak lze doporučit za podmínek zlepšení výrobního a povlakovacího procesu při výrobě nástroje.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] RUTALA, W. A. a D. J.WEBER *Guideline for Disinfection and Sterilization of Prion-Contaminated Medical Instruments*. Infection Control and Hospital Epimemilogy [online]. 2010,31(2), 107-117 [cit. 2017-07-23]. DOI:10.1086/650197.ISSN 0899-823x.
- [2] STRAVESKI, T, D. BREZAK a T. UDILJAK. *Drill Wear Monitoring in Cortical Bone Drilling*. Ivana Lucica 5, Zagreb, Croatia., 2012. Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb.
- [3] Kadlec, J., Joska, Z., Kadlec, J., Jr: *Study of Biokompatible ZrN and ZrNDLC Coating Deposited on Medical Tolls,ECS* , 2014 48(1): 315-318.
- [4] TTA – nová technika řešení ruptury předního zkříženého vazy. In: *Klinika Arvet Písek* [online]. 2010 [cit. 2017-07-23]. Dostupné z: <http://www.arvet.cz/fotogalerie/operace/klouby/tta.php>
- [5] Korozivzdorné a žárupevné oceli třídy 17,jejich složení a tepelné zpracování. *Tumlikovo* [online]. b.r. [cit. 2017-06-26]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/korozivzdorne-a-zarupevne-oceli-tridy-17jejich-slozeni-a-tepelne-zpracovani/>
- [6] Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály. *Průmyslové spektrum: Řezné nástroje*. 2009, 2008(56), 6.
- [7] JACKSON, M. a W. AHMED. Novel diamond-coated tools for dental drilling applications. *Journal of Medical Engineering & Technology*. 2007, (31), 13.
- [8] ŠÍMA, M. a Zidulka O. *Měření vlastností povlaků na nástrojích* [online]. [online]. 2004 [cit. 2017-07-23]. Dostupné z: <http://www.shm.cz/files/literatura/29.pdf>
- [9] MUSIL, J. a J. VYSKOČIL. *Tenké vrstvy nitridu titanu*. 1. Praha: Československé akademie věd, 1989.
- [10] SOSNOVÁ, M. a A. KŘÍŽ. *Kluzné vrstvy a metody hodnocení adhezivně-kohezivního a tribologického chování* [online]. Plzeň, 2006 [cit. 2017-06-26]. Dostupné z: [www.](http://ateam.zcu.cz/FRVS_zprava_dalsi_studium_sosnova.pdf)
http://ateam.zcu.cz/FRVS_zprava_dalsi_studium_sosnova.pdf.
Západočeská universita v plzni.