ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství

Studijní zaměření: 2301R016 Strojírenská technologie – technologie obrábění

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Akademický rok 2013/2014 Jarmila Halaburdová

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství

Studijní zaměření: 2301R016 Strojírenská technologie – technologie obrábění

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Možnosti zvyšování trvanlivosti nástrojů z rychlořezné oceli

Autor: **Jarmila Halaburdová**

Vedoucí práce: **Ing. Ivana Česáková**

Akademický rok 2013/2014

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: **2013/2014**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Jarmila HALABURDOVÁ**
Osobní číslo:	**S11B0133P**
Studijní program:	**B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor:	**Strojírenská technologie-technologie obrábění**
Název tématu:	**Možnosti zvýšení trvanlivosti nástrojů z rychlořezné oceli**
Zadávající katedra:	**Katedra technologie obrábění**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Rozbor současného stavu.
3. Zhodnocení.
4. Závěr.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Staněk, J. - Němejc, J.: Metodika zpracování a úprava diplomových prací. Plzeň, ZČU 2005
Sova, F.: Technologie obrábění a montáže. Plzeň, ZČU 1998
Fajt, J. - Štěpánek, I. - Boháč, D.: Optimalizace povrchových úprav nástrojů. MM průmysové spektrum č 12/2010, str. 14-16, MKČR E 7645, ISSN 1212-2572
Erkens, G. - Vetter, J. - Müller, J.: Plasma-assisted surface coating. Munich, Süddeutscher Verlag onpact GmbH 2011

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ivana Česáková**
Katedra technologie obrábění

Konzultant bakalářské práce: **RNDr. Ivo Štěpánek**
Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

Datum zadání bakalářské práce: **7. října 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **27. června 2014**

Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan

L.S.

Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 7. listopadu 2013

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: ……. **…….**

Podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	**Příjmení** Halaburdová	**Jméno** Jarmila
STUDIJNÍ OBOR	2301R016 Strojírenská technologie - technologie obrábění	
VEDOUCÍ PRÁCE	**Příjmení** Ing. Česáková	**Jméno** Ivana
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST – KTO	
DRUH PRÁCE	~~DIPLOMOVÁ~~	BAKALÁŘSKÁ
NÁZEV PRÁCE	Možnosti zvyšování trvanlivost nástrojů z rychlořezné oceli	

FAKULTA	strojní		**KATEDRA**	KTO		**ROK ODEVZD.**	2014

POČET STRAN

CELKEM	49		**TEXTOVÁ ČÁST**	36		**GRAFICKÁ ČÁST**	13

STRUČNÝ POPIS **ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY**	Práce je zaměřená na popis metod, které přispívají ke zvýšení trvanlivosti nástrojů z rychlořezné oceli, především se jedná o nejnovější metody. Dále práce srovnává soustružnické nože upravené dvěma podobnými metodami podle experimentálních výsledků a skutečných výsledků při soustružení.
KLÍČOVÁ SLOVA	trvanlivost nástrojů, povlakování, chemicko-tepelné zpracování, Kryogenní zpracování, iontová implantace, zkoušky nástrojů

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	**Surname** Halaburdová	**First name** Jarmila
FIELD OF STUDY	2301R016 Machine-industry technology - machining technology	
SUPERVISOR	**Surname** Ing. Česáková	**First name** Ivana
INSTITUTION	ZČU - FST – KTO	
TYPE OF WORK	~~DIPLOMA~~	BACHELOR
TITLE OF THE WORK	Options to increase cutting tool life of high speed steel	

FACULTY	Mechanical Engineering		**DEPARTMENT**	Machining Technology		**SUBMITTED IN**	2014

NUMBER OF PAGES

TOTALLLY	49		**TEXT PART**	36		**GRAPHICAL PART**	13

BRIEF DESCRIPTION **TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS**	The bachelor's work is focused on description of methods which contribute to increase the life of cutting tools made of high speed steel, this is primarilly about the latest methods. Work also compares turning tools modified by two similar methods acording to experimental results and real results during turning.
KEY WORDS	tool life, coating, termochemical treatment, cryogenic treatment, ion implantation, testing of tools

OBSAH

1 ÚVOD [1,14] 10
2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU 11
2.1 Povlakování řezných nástrojů 11
2.1.1 PVD 12
2.1.2 CVD [2] 15
2.2 Chemicko-tepelné zpracování 16
2.2.1 Nitridování [8,9,10] 17
2.2.2 Sulfonitridování [18] 17
2.2.3 Karbonitridování [18] 18
2.2.4 Boridování [11, 17] 18
2.3 Iontová implantace [12] 18
2.4 Kryogenní zpracování [13,14,18] 19
3 ZHODNOCENÍ 22
3.1 Zkoušky před obráběním 23
3.1.1 Vrypová zkouška 23
3.1.2 Nanoindentační zkouška 28
3.2 Obrábění [19] 30
3.3 Zkoušky po obrábění 33
3.4 Provázanost testů 33
4 ZÁVĚR 34

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

v_c – řezná rychlost [$m.min^{-1}$]

T – trvanlivost nástroje [min]

a_p – hloubka řezu [mm]

f – posuv [$mm.ot^{-1}$]

VB_B – kritérium opotřebení hřbetu břitu [μm]

α – úhel hřbetu [°]

γ – úhel čela [°]

χ – úhel nastavení hlavního ostří [°]

PVD – physical vapor deposition – povlakování fyzikálními procesy

CVD – chemical vapor deposition – povlakování chemickými procesy

EB-PVD – elektron beam physical vapor deposition - povlakování fyzikálními procesy za využití elektronového paprsku

PA-CVD – plasma asisted chemical vapor deposition - povlakování chemickými procesy s využitím plasmatu

MT-CVD – moderate temperature chemical vapor deposition - povlakování chemickými procesy při řízené teplotě

P3e – pulsed enhanced elektron emission – pulzně zesílená elektronová emise

S3p – scalable pulsed power plasma – pulzně zesílená energie plasmatu

AE – akustická emise [%]

F_n – normálová síla [N]

F_t – tečná síla [N]

F_t/F_n – koeficient tření [-]

HRC – tvrdost dle Rockwella

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Metody, které přidávají materiál na povrch materiálu. 11
Obrázek 2 – Metody, které přidávají materiál pod povrch. 11
Obrázek 3 – Schéma PVD odpařování [20]. 12
Obrázek 4 – Odpařování elektronovým paprskem [4]. 13
Obrázek 5 – Schéma PVD odprašování. 13
Obrázek 6 – Pulsed Enhanced Electron Emission [6]. 14
Obrázek 7 – Průběh tlaku a teploty na obráběcím nástroji [2]. 15
Obrázek 8 – Závislost teploty na rychlosti obrábění [2]. 15
Obrázek 9 – Závislost tlaku a teploty na technologii [2]. 16
Obrázek 10 – Závislost mezi životností a opotřebením [2]. 16
Obrázek 11 – Závislost životnosti na řezné rychlosti pro boridované nástroje [11]. 18
Obrázek 12 – Schéma iontové implantace [20]. 19
Obrázek 13 – Průběh ochlazování a ohřívání [13]. 20
Obrázek 14 – Přímé ochlazování [13]. 21
Obrázek 15 – Nepřímé ochlazování [13]. 21
Obrázek 16 – Obrábění [19]. 22
Obrázek 17 – Popis nožů 23
Obrázek 18 – Vrypy na noži 30-5. 24
Obrázek 19 – Porovnání nožů 30-2 až 30-5. 25
Obrázek 20 – Akustická emise na noži 30-1. 26
Obrázek 21 – Porovnání průběhu akustické emise všech nožů při použití indentoru 0,5 27
Obrázek 22 – Graf závislosti koeficientu tření na normálové síle pro všechny nože na čele. 28
Obrázek 23 – Indentační křivky na všech nožích při zatížení 200g. 29
Obrázek 24 – Cyklická indentace na všech nožích při zatížení 25g. 30
Obrázek 25 – Opotřebení břitů v průběhu obrábění [19]. 32
Obrázek 26 – Relativní trvanlivost nástrojů [19]. 32
Obrázek 27 – Opotřebení ostří po obrábění na noži 30-1 až 30-5. 33

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Ochlazovací prvky a možné teploty ochlazení. 20
Tabulka 2 – Značení nožů. 22
Tabulka 3 – Zhodnocení zkoušek. 30
Tabulka 4 – Průběh obrábění [19]. 31

1 ÚVOD [1,14]

V současné době je zvyšování trvanlivosti obráběcích nástrojů důležité především z ekonomického hlediska. Je nutné věnovat velkou pozornost volbě řezného nástroje, jeho geometrii, materiálu a úpravě, ale také řezným podmínkám.

Obráběcí nástroje jsou oproti běžným strojním součástem nesrovnatelně více namáhány. Mezi řeznou hranou nástroje a obráběnou plochou vzniká zatížení o velikosti řádově 10^3 MPa. Toto zatížení způsobuje otěr na řezných plochách a změnu geometrie břitu nástroje, tím se samozřejmě mění řezné podmínky, může se zhoršovat drsnost obráběného povrchu a může dojít až k porušení nástroje. Vlivem tření narůstá teplota obrobku i obráběcího nástroje a může dosáhnout až 10^3 °C. Při takto vysoké teplotě snadno dochází k difúzi prvků do materiálu nástroje a změně složení. Dále se mění struktura tepelně upraveného materiálu, snižuje se tvrdost a mez kluzu a pevnosti. Proto jsou na nástroj kladeny určité požadavky: otěruvzdornost při mechanickém zatížení, odolnost proti teplotnímu zatížení až do 600°C, optimální geometrie břitu a optimální geometrická stálost, tvrdost 62 – 65 HRC, obrobitelnost, integrita povrchu.

Na řezných hranách nástroje vznikají různé druhy otěrů:

- Brusný otěr – Vzniká vlivem tvrdých částic v materiálu obrobku na hřbet nástroje.
- Adhezní otěr – Dochází k němu především u nástrojových ocelí. Při působení vysoké teploty na kovově čistém povrchu vzniká mezi plochami mikrosvar a opět se rozrušuje, čímž se ničí řezná plocha.
- Difuzní otěr - Při dosažení určité teploty začínají difundovat atomy a molekuly z obráběné plochy do nástroje.
- Chemický otěr – Vzniká oxidací vzdušným kyslíkem.

Dále může také docházet k plastické deformaci a křehkému porušení. Nástroj je nutné proti takovýmto opotřebením chránit, k čemuž slouží různé metody. Rozbor takovýchto metod je náplní této bakalářské práce.

Trvanlivost obráběcího nástroje vyjadřuje dobu od naostření do otupení na předem stanovenou mez a označuje se T [min]. Je závislá na řezných podmínkách a pro tuto závislost byl experimentálně zjištěn vztah:

$$(a) \quad C_T = T \cdot v^m$$

Každý nástroj má daný maximální možný počet přeostření. Celková doba do vyřazení se nazývá životnost nástroje.

Cíle bakalářské práce: Hlavním cílem této bakalářské práce je popsat a zhodnotit možné úpravy obráběcích nástrojů z rychlořezné oceli, které zvyšují trvanlivost při obrábění. Součástí práce je také provést materiálové zkoušky na čtyřech soustružnických nožích upravených metodou nitrocementování povrchu v aktivním prášku a na jednom etalonovém, neupravovaném noži. A následně podle experimentálních výsledků rozhodnout, která úprava nástrojů by měla být vhodnější z hlediska trvanlivosti nástroje. Nakonec porovnat toto rozhodnutí se skutečnou trvanlivostí při obrábění těmito nástroji.

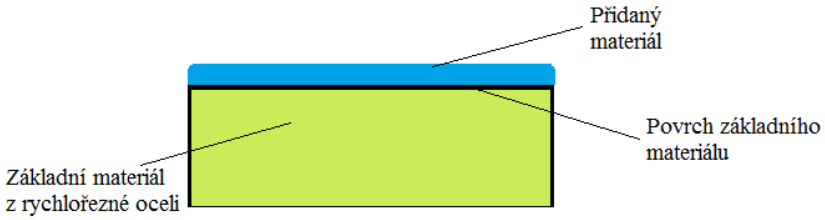
2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU

Možností jak zvýšit trvanlivost obráběcích nástrojů je mnoho. Ovlivňuje ji řezné prostředí, procesní kapaliny snižují teplotu nástroje a odvádí třísku pryč, čímž se snižuje rychlost opotřebení, řezných ploch. Dnes se ale klade důraz na snižování spotřeby procesních kapalin, především kvůli zdraví zaměstnanců, ale také kvůli likvidaci a vysokým pořizovacím nákladům, které často přesahují náklady na nové nástroje. Jako procesní kapaliny se používají vodné roztoky, emulzní kapaliny, oleje, syntetické kapaliny. [14]

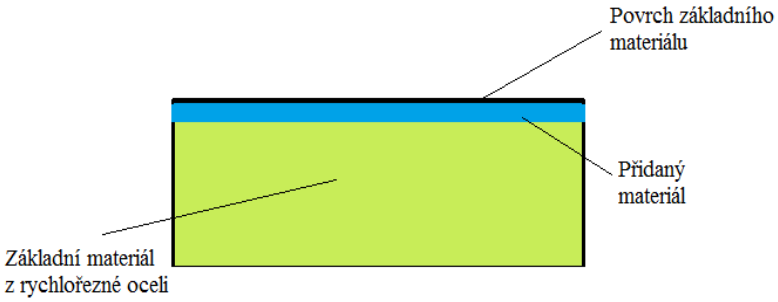
Trvanlivost ovlivňuje také geometrie nástroje. Velký vliv mají úhly čela, břitu a hřbetu. Ty určují velikost řezných sil, množství vyvinutého tepla, tření a také energii vynaloženou na oddělení třísky. Dále je možné uvést také řezné podmínky, které je proto nutné optimalizovat. Řezná rychlost se vypočítá dle Taylorova vztahu: [1]

$$(b) \quad v_c = \frac{C_v}{T^m . h^{x_v} . s^{y_v}}$$

Nejčastější způsoby zvyšování trvanlivosti obráběcích nástrojů jsou různé metody úpravy povrchu nástrojů, povlakování metodou PVD nebo na příklad chemicko-tepelné zpracování. Tyto metody se můžou rozdělit na metody, které přidávají materiál jako nástavbu na základní povrch (Viz Obr. 1), a metody, které přidávají materiál pod základní povrch (Viz Obr. 2). Na následujících stránkách se práce těmito, ale i dalšími metodami bude zabývat. Popsané metody jsou vhodné pro rychlořeznou ocel.



Obrázek 1 – Metody, které přidávají materiál na povrch materiálu.



Obrázek 2 – Metody, které přidávají materiál pod povrch.

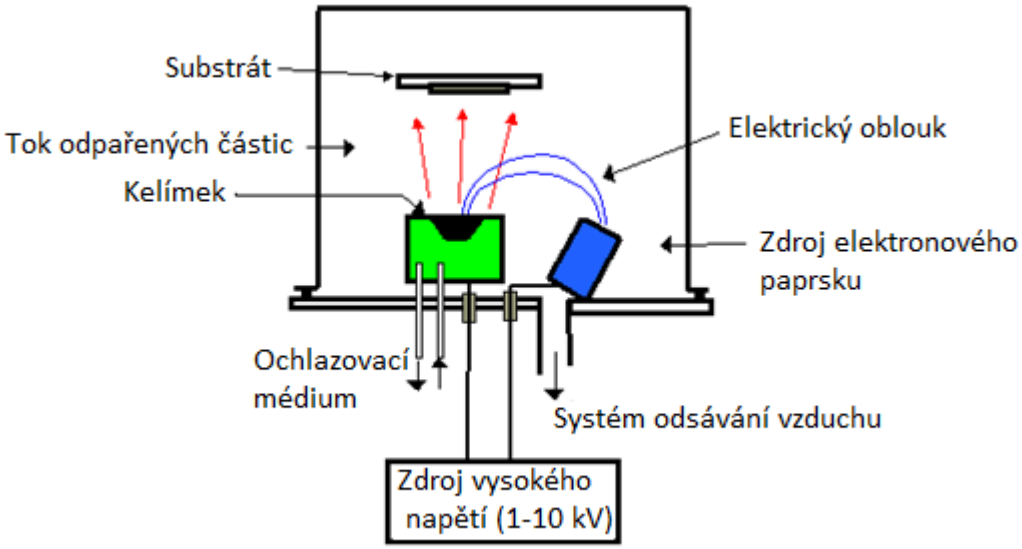
2.1 Povlakování řezných nástrojů

Povlakování má velký význam pro zvýšení trvanlivosti nástrojů. Dělí se do dvou hlavních skupin. Je to metoda PVD a CVD, které se dále ještě dělí. Povlakované nástroje lépe odolávají mechanickému a tepelnému namáhání. Tření a interakce mezi nástrojem a třískou jsou díky povlaku sníženy, čas kontaktu nástroje a třísky je 4,8 ms, a zvětšuje se otěruvzdornost. Substrát u nástrojů s vrstvou je méně namáhaný (~3 GPa) než u nástrojů bez vrstvy (>4,9 GPa). Podstata povlakování je v oddělení částic jednoho nebo více materiálů a nanesení v malé vrstvě na požadované místo. Vlastnosti takto vytvořené vrstvy jsou odlišné od původního materiálu, je to dáno rozměry. Šířka vrstvy se pohybuje obvykle okolo několika μm v závislosti na zvolené technologii. [2]

2.1.1 PVD

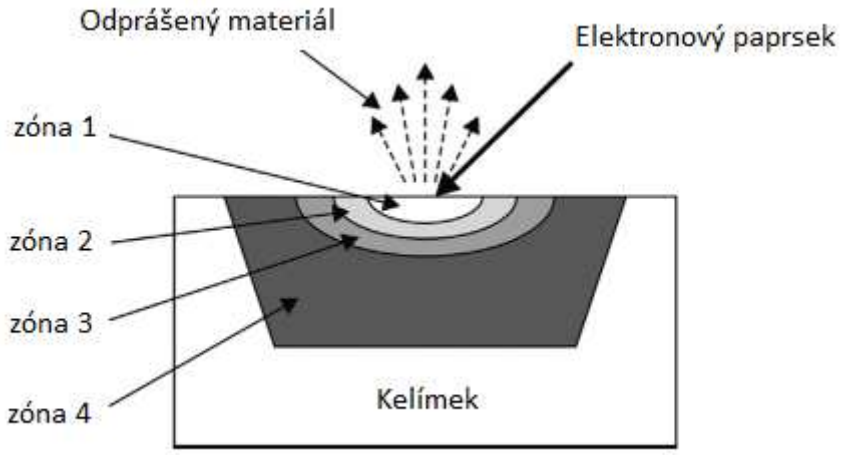
Zkratka PVD znamená physical vapor deposition. Metoda je založená na fyzikálních principech oddělování částic od zdroje. Její výhoda je v nízké teplotě procesu, ale oproti CVD metodě je přilnavost vrstvy nižší. [2,16]

Metoda odpařování – aby docházelo k odpařování látky, která se má nanést na substrát, je potřeba tuto látku roztavit. To se provádí nejčastěji umístěním látky do kelímku a ohříváním pomocí elektrického proudu (viz Obr. 3), čímž se roztaví celý objem, dále také pomocí laseru nebo elektronového paprsku. Tavení elektrickým proudem je použitelné pouze pro kovy s nízkou teplotou tavení, tedy Al, Cu, Ag. Tavení laserem a elektronovým paprskem je vhodné pro všechny kovy. Metoda odpařování se provádí ve vakuu, takže dochází k minimálním kolizím mezi odpařenými atomy a molekulami a okolním plynem. Odpařený materiál po průchodu atmosférou kondenzuje na substrátu. [2,5,15]



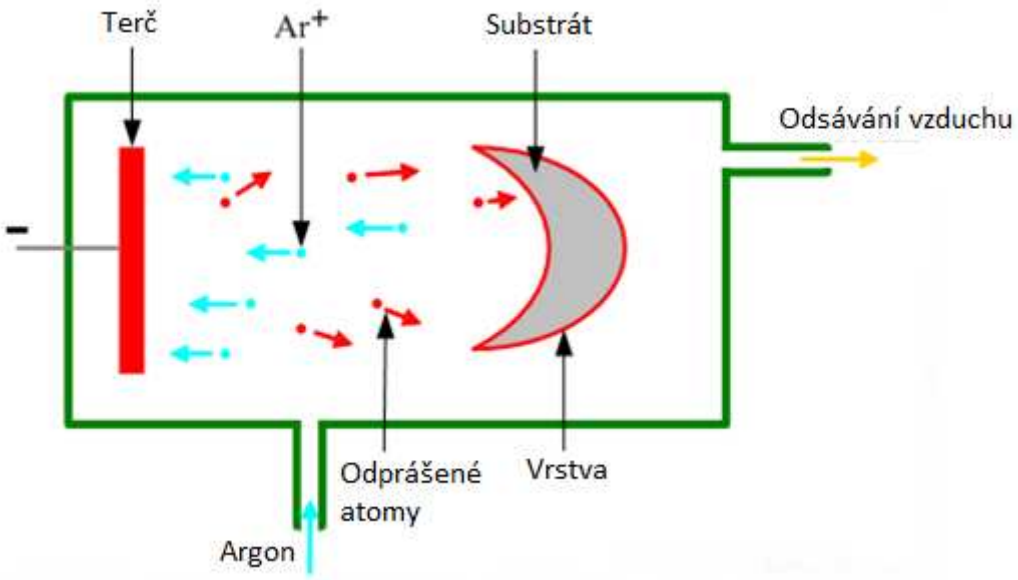
Obrázek 3 – Schéma PVD odpařování [21].

EB-PVD neboli electron beam physical vapour deposition je jedna z metod odpařování, která využívá svazek elektronů k ohřátí odpařovaného materiálu. Takto vytvořená vrstva vytváří tepelnou bariéru substrátu, snižuje tření a zvyšuje otěruvzdornost. Svazek je soustředěný do malé plochy materiálu, ale tepelně ovlivňuje i okolí (viz Obr. 4). Nejvyšší teplota je v zóně 1, tedy v místě dopadu elektronů. Zde je odpařování nejintenzivnější a může dojít k sublimaci materiálu. V zóně 2 je ohřátý materiál, teplota v tomto místě je vyšší než teplota odpařování materiálu, ale intenzita je nižší než v zóně 1 a dále se snižuje s rostoucí vzdáleností od místa dopadu elektronů. Zóna 2 postupně přechází do zóny 3, která se nazývá oblastí kapaliny, teplota je stále vyšší než teplota tavení materiálu. Mezi touto zónou a neporušenou oblastí je zóna 4, tedy zóna intenzivního ochlazování. Velikost interakce mezi elektrony a odpařovaným materiálem je závislá na energii svazku a vlastnostech materiálu, např. teplotě tavení, tepelné vodivosti. [3,4]



Obrázek 4 – Odpařování elektronovým paprskem [4].

Metoda odprašování – Tato metoda je založena na bombardování odprašovaného materiálu. Ionty plynu, obvykle argonu, jsou urychlovány a dopadají na materiál, předávají mu energii a tím vyrážejí jeho vlastní částice. (viz Obr. 5). Obvykle děj probíhá ve vakuu a používá se argon, protože je inertní a nenavazuje se v odprašovaném materiálu. [2,5,15]



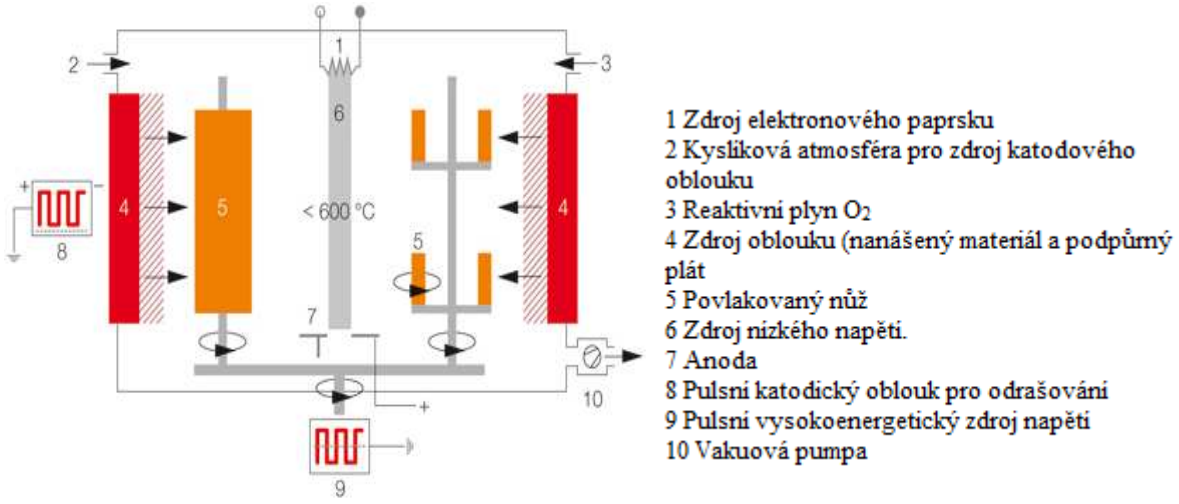
Obrázek 5 – Schéma PVD odprašování [22].

Oblouková metoda – Ve vakuu vzniká elektrický výboj mezi dvěma elektrodami. Dělí se na anodové a katodové, podle zapojení zdroje, ze kterého se odpařují ionty. Proud elektronů o 10 – 100 A prochází přes zdroj materiálu, odpařuje jeho povrch a zároveň vyráží ionty. Atomy a ionty jsou vyzařovány z materiálu společně s malými kuličkami kovu o rozměrech několika 100 nm až několik 10 μm. Katodový oblouk je využíván především pro odpařování kovů, jako je Ti, Al, Cr a jejich slitin. Tento způsob je nejvíce využíván pro povlakování nástrojů. [2,5]

Magnetronové odprašování – Je to modifikace klasického odprašování. Neprobíhá ve vakuu, ale v plazmatu s kladnými ionty Ar a elektrony. Využívá magnetického pole pro zintenzivnění ionizace plynu. Plyn je rozkládán a ionty jsou pomocí permanentních magnetů nebo cívky urychlovány na odprašovaný materiál. Magnetické pole pomáhá udržet zvýšenou

teplotu a ionizovaný plyn dále od substrátu, ale také zakřivuje dráhu iontů, tím ji prodlužují, dochází k více srážkám a ionty nabírají více energie. [15]

P3e – Pulsed Enhanced Electron Emission je nový process kombinující konvenční metody povlakování na bázi hliníku a oxidů. Přináší zlepšení vlastností ve velkém rozsahu. Podstata procesu, který může probíhat také v čisté kyslíkové atmosféře, je v obloukovém výboji využívajícím pulzní technologii. Tok elektronů a hustota plasmy jsou řízeny pulzním proudem. Vrstva je aplikována při teplotě nižší než 600°C. Schéma viz Obr. 6. Tento systém byl patentován firmou Oerlikon Balzers technology a byl vyvinut především pro obráběcí nástroje. [6]

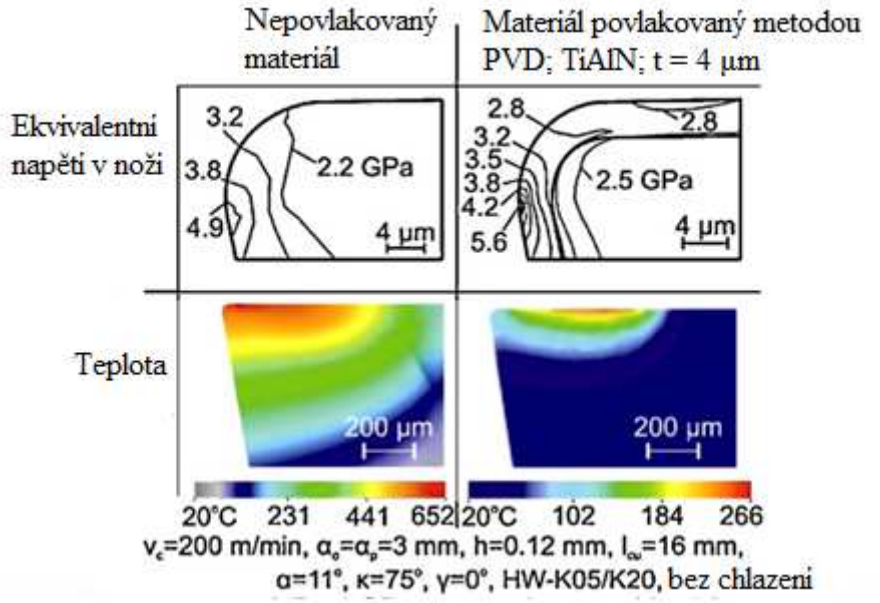


Obrázek 6 – Pulsed Enhanced Electron Emission [6].

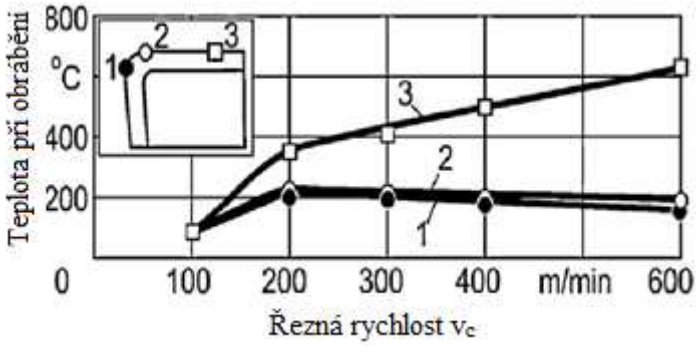
S3p – Scalable Pulsed Power Plasma je metoda, která vznikla zdokonalením magnetického odprašování. Při procesu se vytváří plasma o vysoké koncentraci ionizovaných atomů, ze kterých se následné také vytváří povlak. Takto vytvořená vrstva je velmi hladká, homogenní a zhuštěná, má optimální vlastnosti pro široké spektrum využití. [7]

PVD povlakování má mnoho výhod. Nezatěžuje životní prostředí. Možnosti povlakovaných vrstev jsou velmi rozmanité. Teplota procesu je relativně nízká. Tloušťka vrstvy je přesná. Snižuje se koeficient tření a zvyšuje otěruvzdornost. Oproti tomu má proces i své nevýhody. Otvory mohou být povlakovány pouze do hloubky, která se rovná průměru otvoru. Odolnost proti korozi je pouze za určitých podmínek. Pro dosažení jednotné vrstvy, musí nástroj během procesu rotovat. [16]

Na následujících obrázcích můžeme vidět průběh tlaku a teploty na soustružnickém noži nepovlakovaném a povlakovaném metodou PVD s vrstvou TiAlN, pod obrázkem jsou uvedené podmínky při obrábění (Obr. 7) a na grafu závislost teploty na rychlosti obrábění v_c (Obr. 8). [2]



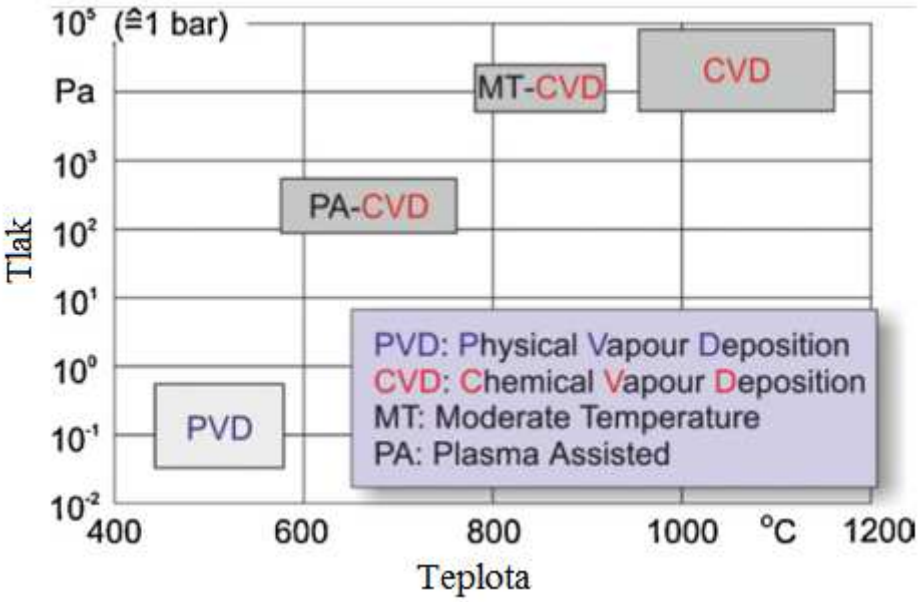
Obrázek 7 – Průběh tlaku a teploty na obráběcím nástroji [2].



Obrázek 8 – Závislost teploty na rychlosti obrábění [2].

2.1.2 CVD [2]

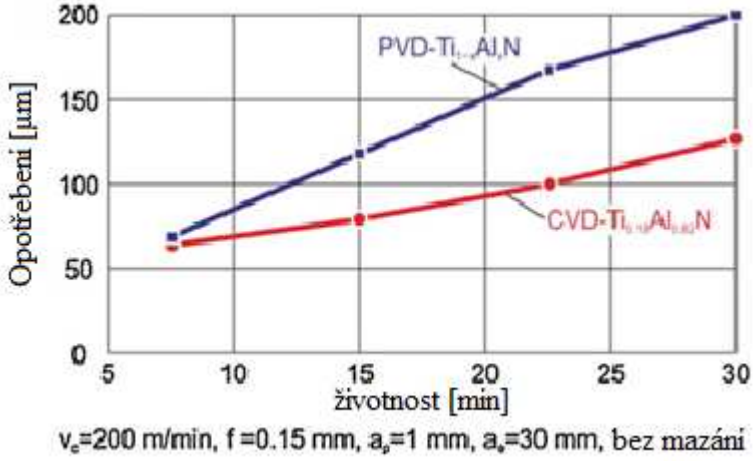
Tedy chemical vapor deposition, tato metoda je založená na chemických principech disociace částic při vysokých teplotách a reakce s okolím. Zdroj se rozkládá a částice jsou přiváděny na substrát, kde vytváří reakcemi vrstvu. Vysokou teplotou částice difundují i do určité hloubky pod povrch, díky tomu vrstva lépe přilne na substrát. Velikost této vrstvy se pohybuje od 10 do 25 µm. Teplota při CVD technologii se pohybuje kolem 800 – 1200°C, tlak musí být zvýšený (viz Obr. 9). Teplota se snižuje při technologii PA-CVD, plasma asisted chemical vapor deposition, ale ta nedosahuje ani takových výsledků jako PVD. Dále se teplota může snižovat také použitím dvou komor, kdy se v jedné komoře plyn rozkládá a přivádí se do druhé komory se substrátem. Metody CVD jsou pro nástroje z rychlořezné oceli téměř nepoužitelné, protože při teplotách, při jakých se procesy aktivují, by docházelo k popouštění zakalené oceli.



Obrázek 9 – Závislost tlaku a teploty na technologii [2].

Výhody této metody jsou ve zvýšené otěruvzdornosti a ekonomické produkci. A díky vysokému tlaku je použitelná i pro otvory, tedy např. pro závitové čelisti a závitořezné hlavy. Nevýhody metody pro rychlořezné oceli jsou především vysoká teplota procesu a zaoblování hran, ke kterému dochází během procesu, mění se tedy geometrie nástroje. Dále je také metoda neekologická kvůli používání toxických látek.

Na následujícím grafu je závislost mezi životností nástroje a opotřebením při použití technologie PVD a CVD, pod grafem jsou opět uvedené podmínky při obrábění (Obr. 10).



Obrázek 10 – Závislost mezi životností a opotřebením [2].

2.2 Chemicko-tepelné zpracování

Chemicko-tepelné zpracování znamená nasycování povrchu materiálu určitým prvkem, nejčastěji uhlíkem a dusíkem. Zvyšuje tvrdost povrchu materiálu a jeho otěruvzdornost, někdy také odolnost vůči zvýšeným teplotám. Proces nasycování může probíhat v prostředí tuhém, kapalném i plynném a vždy probíhá za zvýšené teploty. Vrstva takto upraveného povrchu je stejnoměrná. Pro nástroje z rychlořezné oceli jsou použitelné metody: nitridování, karbonitridování a sulfonitridování. Cementování, nitrocementování a

sycení dalšími prvky probíhá při hodně vysokých teplotách, daleko přesahující popouštěcí teplotu. Pro cementování je to více než 1000°C, pro nitrocementování přes 900°C. Při těchto technologiích tedy musí kalení následovat až po chemicko-tepelném zpracování, jinak by došlo k popuštění. Pro obráběcí nástroje se využívá také chromování, titanování a boridování. [14,18]

2.2.1 Nitridování [8,9,10]

Při nitridování se nasycuje povrch dusíkem. Je to jedna z nejčastějších úprav povrchu nástrojů. Nitridování může probíhat v solné lázni, v plynu, nebo v plazmatu. Teplota nitridace se pohybuje od 500 do 590°C, ale nesmí překročit popouštěcí teplotu. Dusík se v železe intersticiálně rozpouští, rozpustnost je větší v austenitu než ve feritu. Na povrchu vznikají ε nitridy, které zvyšují tvrdost, otěruvzdornost a korozivzdornost.

Nitridování v solné lázni – Lázeň obsahuje kyanidy a kyanatany, tyto látky ze solné lázně napřed oxidují:

$$2NaCN + 2\ O_2 = Na_2Co_3 + CO + 2N$$

$$2KCN + 2\ O_2 = K_2CO_3 + CO + 2N$$

Následně atomární dusík vniká do povrchu nástroje, kde se slučuje se železem a legujícími prvky.

$$4W + 2\ N = 2\ W_2N$$
$$2Cr + 2\ N = 2\ CrN$$

Nitridování v plynu – Metoda využívá čpavku, který se snadno rozkládá na dusík a vodík:

$$2NH_3 = N_2 + 3H_2$$

Nitridace v plazmatu – Využívá doutnavého výboje pro zavedení dusíku do povrchu a následnou difúzi. Povrch je záporně nabit na několik tisíc voltů. Plyn při nízkém tlaku a doutnavém výboji ionizuje a poté je urychlován směrem k záporně nabitému povrchu. Výhodou této metody je jednotná vrstva, nezávislá na geometrii nástroje.

Nitridace laserem – Laser nepůsobí pouze jako zdroj tepla, ale má v této aplikaci mnoho významů, napomáhá absorpci, ohřívání, tavení, odpařování, tvorbě plazmatu a má ještě další funkce.

Povrch musí být před nitridací jemně broušený a vyhlazený. Teplota se pohybuje 10 - 20°C pod popouštěcí teplotou. Doba nitridování je 5 – 40 min a je závislá na požadované hloubce vrstvy, ta se pohybuje v setinách mm.

2.2.2 Sulfonitridování [18]

Při sulfonitridování se zvyšuje tvrdost, na povrchu se vylučují nejen nitridy ale i sirníky, které fungují jako tuhé mazadlo, snižuje se tím tedy tření a zvyšuje se otěruvzdornost. Povrch nástroje se sytí zároveň sírou a dusíkem, přičemž hlavním prvkem je dusík. Proces probíhá v solné lázni obsahující opět kyanidy a kyanatany, ale obohacené o 2 – 5 % siřičitanu sodného. Při teplotě 500 – 580°C trvá obvykle 30 – 60 min.

Stejně jako při nitridaci se může povrch nasycovat také ve čpavku s přísadou 2%sirovodíku a to při stejných teplotách a dobách.

2.2.3 Karbonitridování [18]

Podstata je v nasycování povrchu nástroje uhlíkem a především dusíkem při teplotách od 560°C. Vytváří se při tom homogenní vrstva ε karbonitridů. Hloubka difúzní vrstvy může být 10 – 50.10^{-3} mm. Proces může probíhat v prostředí pevném, plynném, nebo solné lázni.

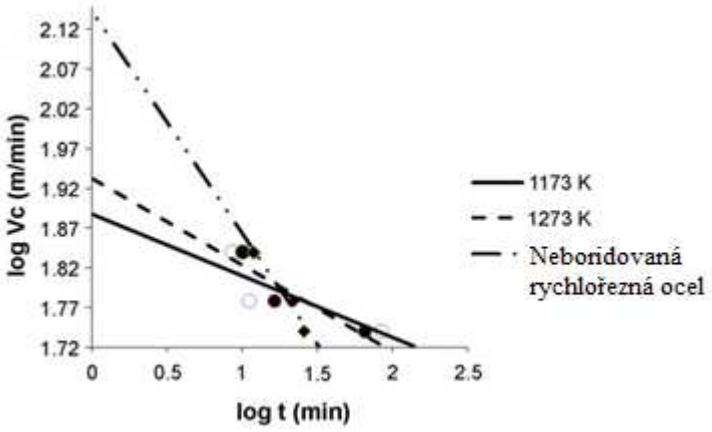
2.2.4 Boridování [11, 17]

Je to postup chemicko-tepelného zpracování, který obohacuje povrch nástroje bórem. Upravená vrstva je především mnohem více odolná proti adhezivnímu a abrazivnímu otěru, ale také zvyšuje tvrdost, tedy upravuje hlavně vlastnosti důležité pro nástroje.

Bór obvykle difunduje do povrchu z pasty, ta se nanáší ve vrstvě několika milimetrů na povrch a následně je nutné nástroj ve dvou krocích zahřát. Napřed na teplotu 100°C na 15 minut, v tomto kroku se pasta vysušuje, kvůli odstranění zbytků vody v pastě. Následně se v klasické peci ohřívá na teplotu 900 – 1000°C při výdrži na teplotě 4 hodiny. Proces musí probíhat v ochranné atmosféře, např. v atmosféře čistého argonu. Po ukončení difúze se nástroj ochlazuje v oleji.

Při boridování vznikají vrstvy boridu železa FeB a Fe_2B, které vykazují vysokou tvrdost a soudržnost s původním materiálem. Struktura po úpravě odpovídá oceli ve vyžíhaném stavu. Pro další zlepšení vlastností je možné kalit nebo zušlechťovat.

Na následujícím grafu je závislost životnosti nástroje na řezné rychlosti pro nástroj upravený boridováním při dvou teplotách a nástroj neupravený (Obr. 11).



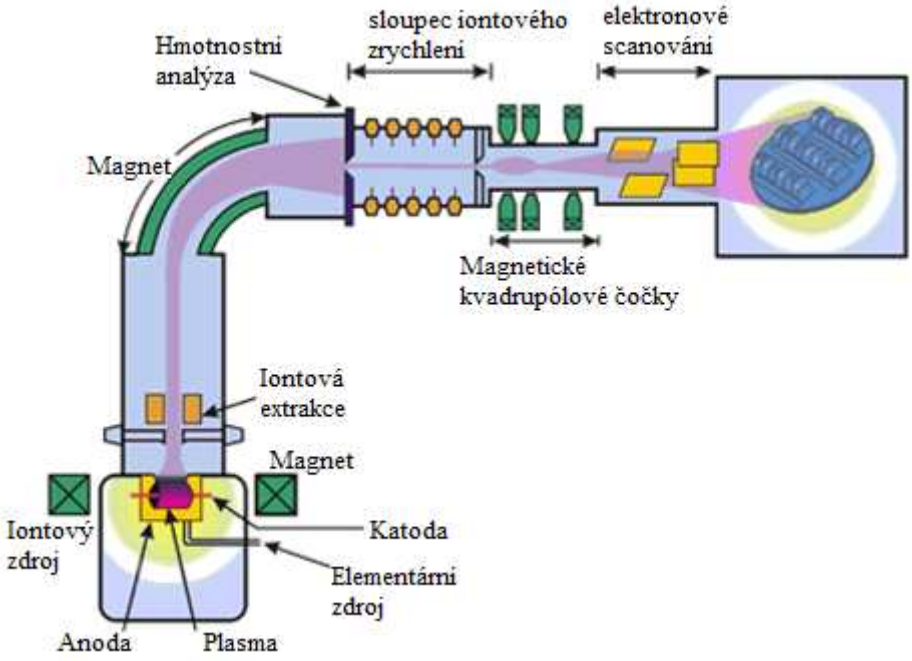
Obrázek 11 – Závislost životnosti na řezné rychlosti pro boridované nástroje [11].

2.3 Iontová implantace [12]

Tato metoda je z části podobná předešlým popsaným technologiím. Na povrch ošetřovaného nástroje dopadají urychlené vysokoenergetické svazky iontů, které modifikují strukturu materiálu. Proces ale probíhá při teplotě nižší než 100°C, tlaku okolo 10^{-2} Pa a energie iontů se pohybuje v rozsahu 50 – 200 keV. Ionty s takovouto energií se snadno dostávají pod povrch, kde narážejí na jiné atomy a ionty a tím ztrácejí svoji energii, až úplně zastaví, další rozdíl je tedy v tom, že částice nedifundují, což by při nízké teplotě ani nešlo. Vzdálenost od povrchu, do které se ionty dostanou, se pohybuje do 100 nm.

Tato technologie byla dříve používána výhradně v oblasti elektrotechniky, pro polovodiče. Dnes je ale rozšířená v mnoha jiných oblastech. Výhody iontové implantace pro obráběcí nástroje jsou: zvýšení tvrdosti a otěruvzdornosti, zvýšení odolnosti proti chemickým interakcím, snížení tření.

Ionty jsou vytvářeny v plazmatu oddělením elektronů, následně jsou vytaženy a prochází přes magnety, které propouštějí pouze požadované ionty. Nakonec jsou urychlovány a přichází do oblasti s upravovanou součástí (viz Obr. 12).



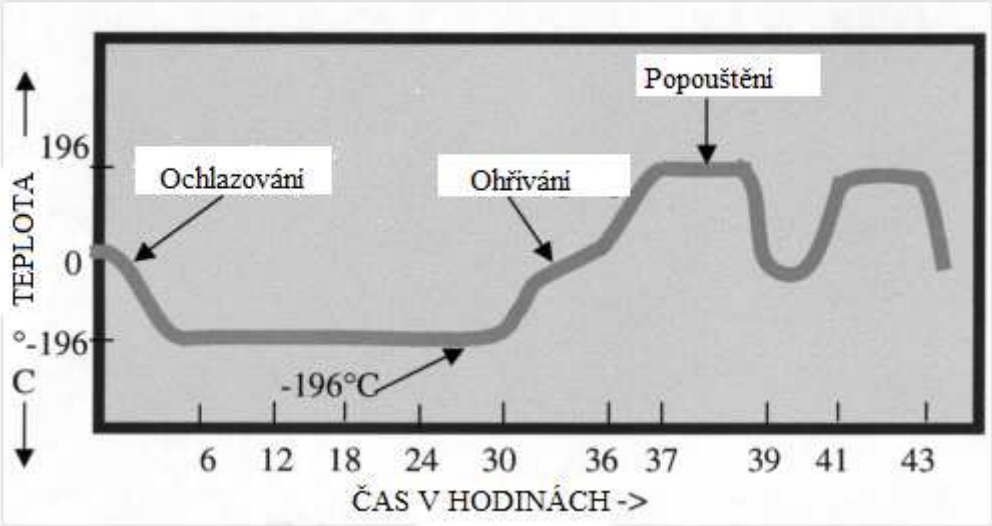
Obrázek 12 – Schéma iontové implantace [20].

Pro implantaci se využívají zejména prvky: C, N, B, Cr, Al, Ti, Ni.

Modifikací je iontová implantace v plazmatu. Vzorek je při nízkém tlaku, v plynové atmosféře, obklopen plazmatem, a je připojený na záporné napětí o 45 kV. Ionty v plazmatu jsou urychlovány a implantovány do vzorku. Technologie je kombinací iontové implantace a chemicko-tepelného zpracování v plazmatu.

2.4 Kryogenní zpracování [13,14,18]

Jedná se o zpracování, kdy se nástroj ihned po kalení vysoce podchladí, u rychlořezných ocelí se podchlazuje na teplotu nižší než -100°C, a následně se musí popustit. Tímto postupem se dosáhne téměř úplného rozpadu zbytkového austenitu, zlepšení struktury martenzitu a precipitace jemných disperzních karbidů legujících prvků. Zpracování musí následovat těsně po kalení, jinak se zbytkový austenit stabilizuje. Tento postup zvyšuje tvrdost, odolnost proti opotřebení, houževnatost, únavovou pevnost a pevnost v ohybu. Teplota podchlazení u rychlořezných ocelí se obvykle pohybuje okolo -180°C po 30 hodin (viz Obr. 13).



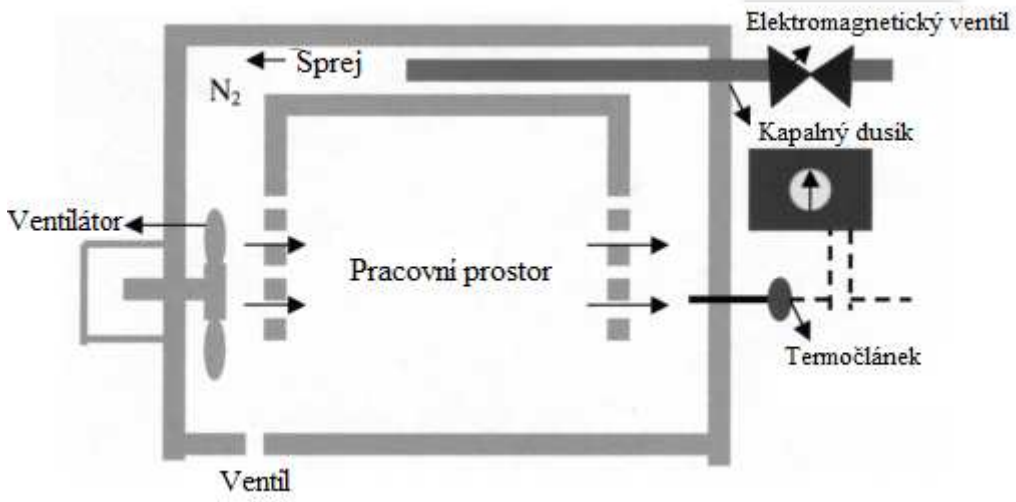
Obrázek 13 – Průběh ochlazování a ohřívání [13].

Dříve se zkoušelo ochlazování v tekutém dusíku po dobu několika minut, ale protože součást se rychle ponořovala do nádoby s dusíkem, ochlazování bylo příliš rychlé a povrch praskal. K ochlazení se používalo také tuhého oxidu uhličitého, ale tím je možné ochlazovat pouze na -80°C. Na -100°C je možné zchladit freony, ty se dnes již nepoužívají kvůli špatnému vlivu na životní prostředí. Poslední možností je ochlazení zkapalněný plynem, touto metodou je možné ochlazovat na míň než -250°C. Používá se kyslík, dusík, vodík, neon a helium (viz Tab. 1).

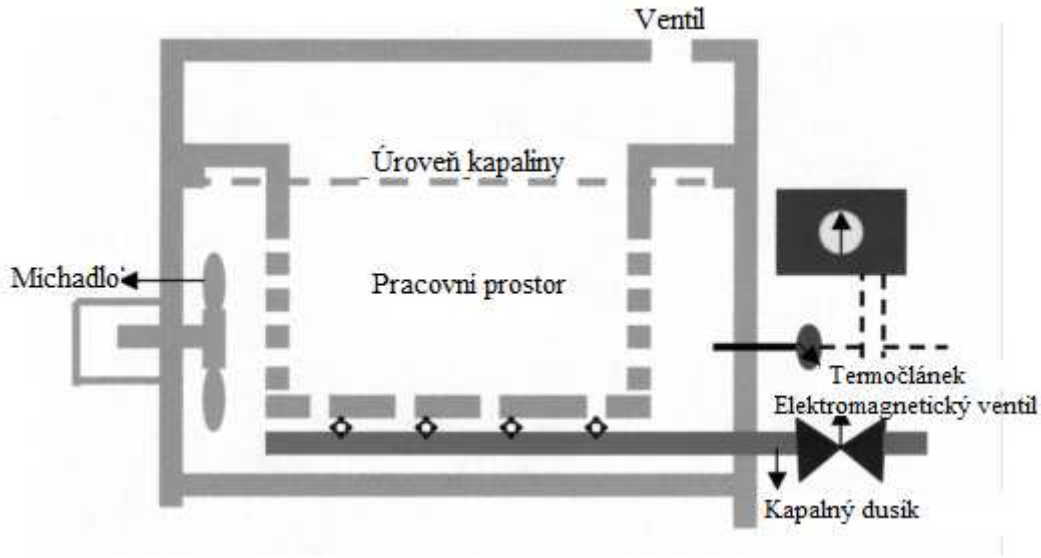
Prvek	teplota[°C]
kyslík	-183
dusík	-196
neon	-247
vodík	-253
helium	-269
oxidy uhlíku	-80

Tabulka 1 – Ochlazovací prvky a možné teploty ochlazení.

Technologie ochlazování je založena na dvou metodách. První je nucené proudění ochlazeného dusíku skrz pracovní prostor při -196°C (viz Obr. 14), druhé je nepřímé ochlazování v lázni, např. v alkoholu, která je ochlazovaná tekutým dusíkem o teplotě -150°C (viz Obr. 15).



Obrázek 14 – Přímé ochlazování [13].



Obrázek 15 – Nepřímé ochlazování [13].

Existují dvě vysvětlení pro zvýšenou tvrdost, otěruvzdornost a další vlastnosti. Podle jedné je to dáno rozpadem zbytkového austenitu, podle druhé precipitací jemných karbidů a snížením zbytkového pnutí. Při podchlazování a následném popouštění dochází k oběma jevům, ale není jisté, který z nich zvyšuje zmíněné vlastnosti.

3 ZHODNOCENÍ

Cílem experimentu je provést na pěti soustružnických nožích materiálové testy, které by co nejvíce vypověděly o pravděpodobné životnosti těchto nožů. Dále se s noži provede zkouška obráběním, ze které se vyhodnotí skutečná životnost těchto nožů. Z experimentů se nakonec porovná skutečná a předpokládaná životnost.

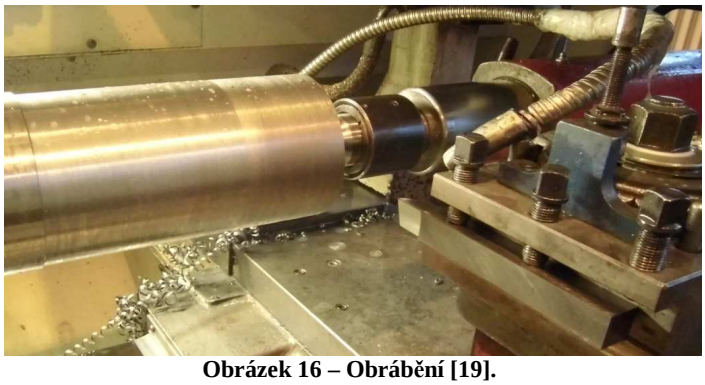
Dodané nože jsou chemicko-tepelně upravené metodou karbonitridace, přičemž na dvou nožích je úprava provedena v prášku s pomocí profukování, na dalších dvou je úprava provedena v prášku bez profukování a jeden nůž je bez chemicko-tepelného zpracování. Nože byly dodány již s označením 30-1 až 30-5. 30-1 je etalonový nůž, 30-2 a 30-3 jsou nože upravené s profukováním, 30-4 a 30-5 jsou nože upravené bez profukování. Úkolem je tedy vybrat z těchto úprav tu, která je z hlediska životnosti nejvhodnější pro soustružnické nože. Materiálové testy jsou provedené před i po obrábění, pro zjištění změn, které proběhly v materiálu během procesu obrábění.

30-1	bez úprav - etalonový				
30-2	nitrocementovaný s profukováním				
30-3	nitrocementovaný s profukováním				
30-4	nitrocementovaný bez profukování				
30-5	nitrocementovaný bez profukování				
značení u grafů	o - na čele blíže k ostří	d - na čele dále od ostří	b - na boku	2 - indentor o poloměru 0,2 mm	5 – indentor o poloměru 0,5 mm

Tabulka 2 – Značení nožů.

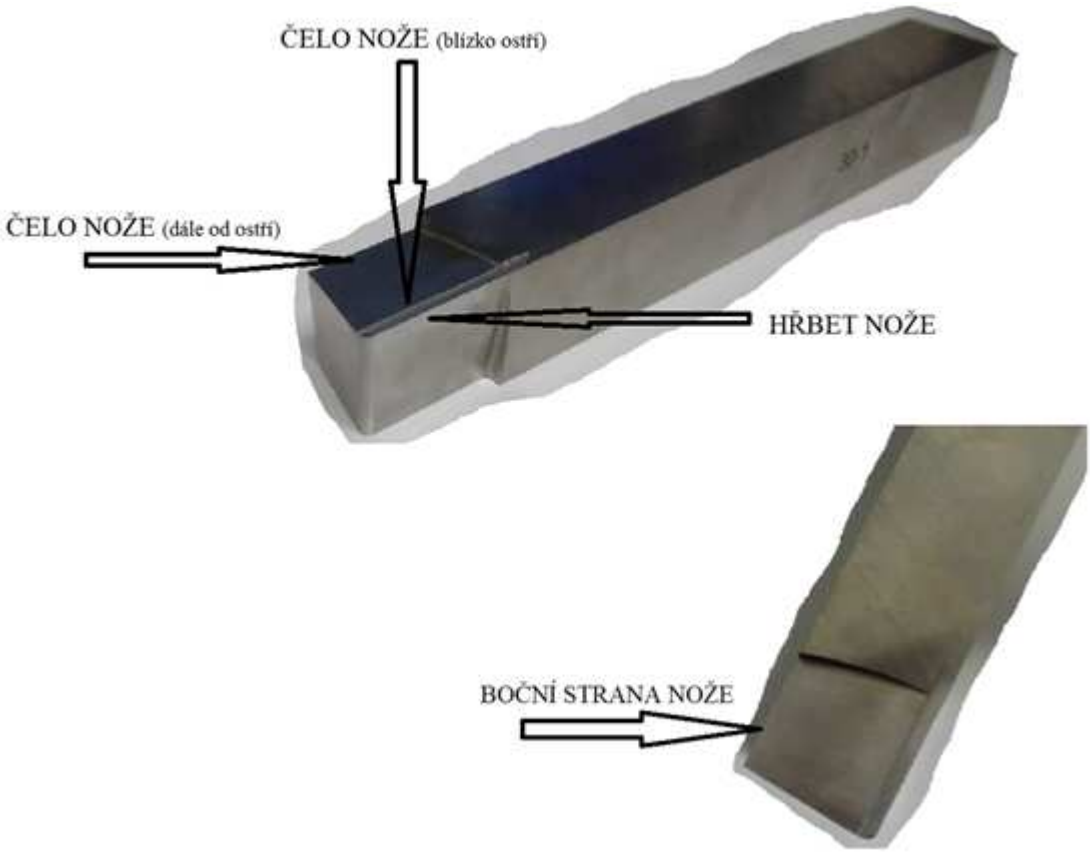
Pro zkoušky před obráběním byly zvolené: vrypová zkouška a nanoindentační zkouška. Vrypová zkouška by vzhledem k obrábění měla ukazovat na tvrdost materiálu a na náchylnost k vylamování a otírání během zatěžování. Nanoindentační zkouška je důležitá pro obrábění, protože vypovídá o tvrdosti materiálu, především tvrdosti jednotlivých zrn materiálu. Pouze vysoká tvrdost při obrábění ovšem nezaručuje dlouhou životnost nástroje. Tvrdá zrna se mohou vylamovat a ještě při dotyku obrušovat nůž, čímž by naopak zkracovala životnost. Proto je důležité, aby materiál byl tvrdý, ale zároveň také houževnatý. Pro zkoušky po obrábění byly zvolené: fluorescenční analýza a další vtisky. Fluorescenční analýza je umístěna uvnitř vrypu po celé jeho délce. Při správném provedení zkoušky a správném seřízení stroje by měla ukazovat složení vrstvy v různých hloubkách pod povrchem.

Pro obrábění byl použit materiál 11 523 o počátečním průměru 119 mm při řezných podmínkách: řezná rychlost v_c = 56 m/min, hloubka řezu a_p = 2 mm, posuv na otáčku f_{ot} = 0,12 mm. Bylo zvoleno chlazení s vnějším přívodem chladicí kapaliny přímo do místa řezu a jako majoritní opotřebení se předpokládalo opotřebení hřbetu, kriteriální hodnota opotřebení byla zvolena VB_B = 0,2 mm. Obrábění viz Obr. 16.



Obrázek 16 – Obrábění [19].

Následující obrázek (Obr. 17) slouží k pochopení, na kterých místech byly prováděny materiálové zkoušky.



Obrázek 17 – Popis nožů

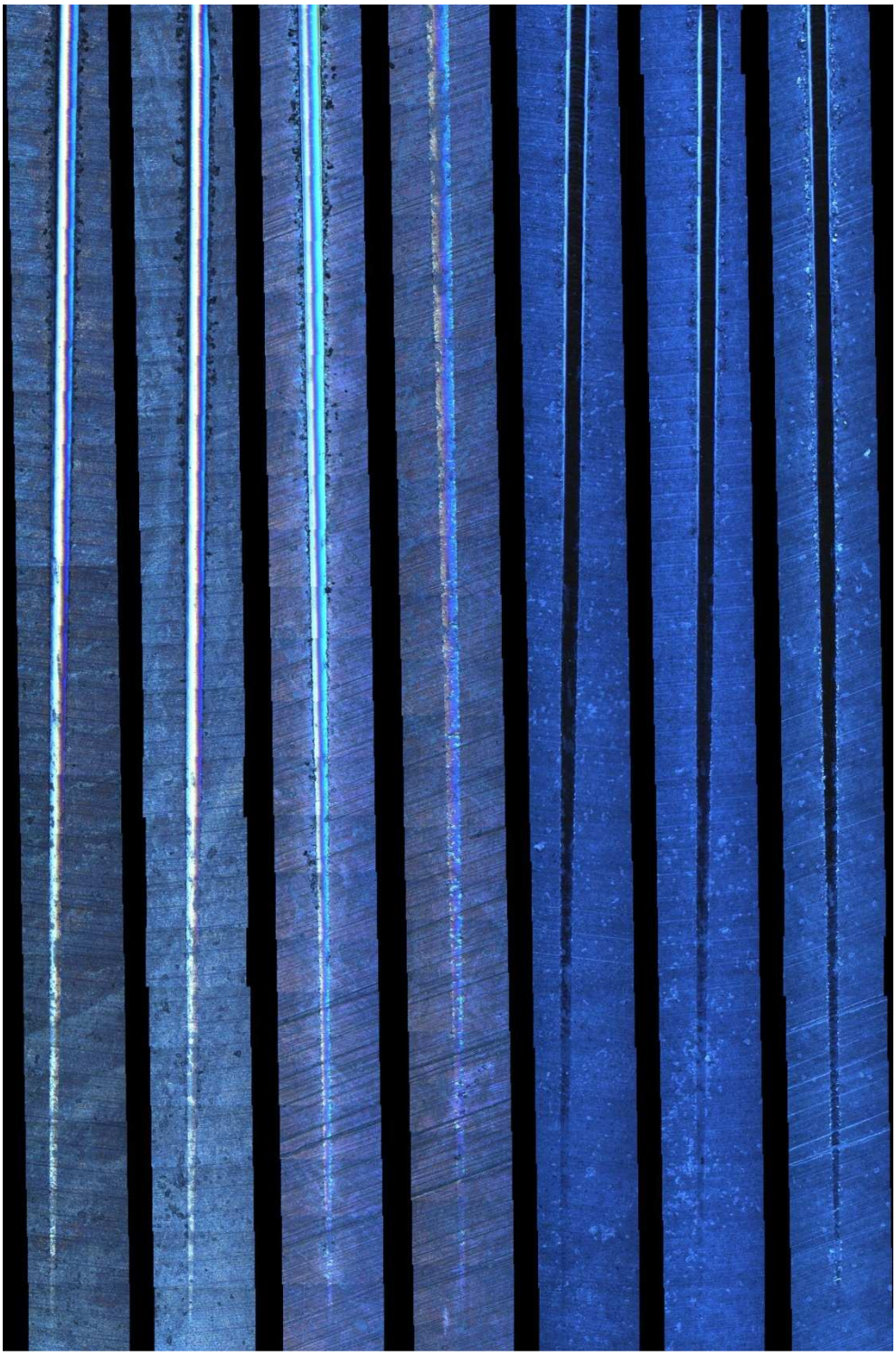
3.1 Zkoušky před obráběním

Na nožích byly provedené zkoušky: vrypová zkouška a nanoindentační zkouška. Tyto zkoušky byly provedeny na všech vzorcích a na různých místech jednotlivých vzorků.

3.1.1 Vrypová zkouška

Na následujícím obrázku (Obr. 18) jsou vrypy na noži 30-5 focené pod mikroskopem při zvětšení 200x. Vrypy jsou focené ve světlém i v tmavém poli a platí: první vryp na obrázku je vryp provedený těsně u ostří na čele nože, další vryp je také na čele nože, ale dále od ostří, třetí a čtvrtý vryp je provedený na boční, hladší straně indentorem se špičkou o poloměru 0,2 a 0,5, další vrypy jsou stejné, pouze focené v tmavém poli. Vrypy na ostatních nožích jsou v příloze.

.

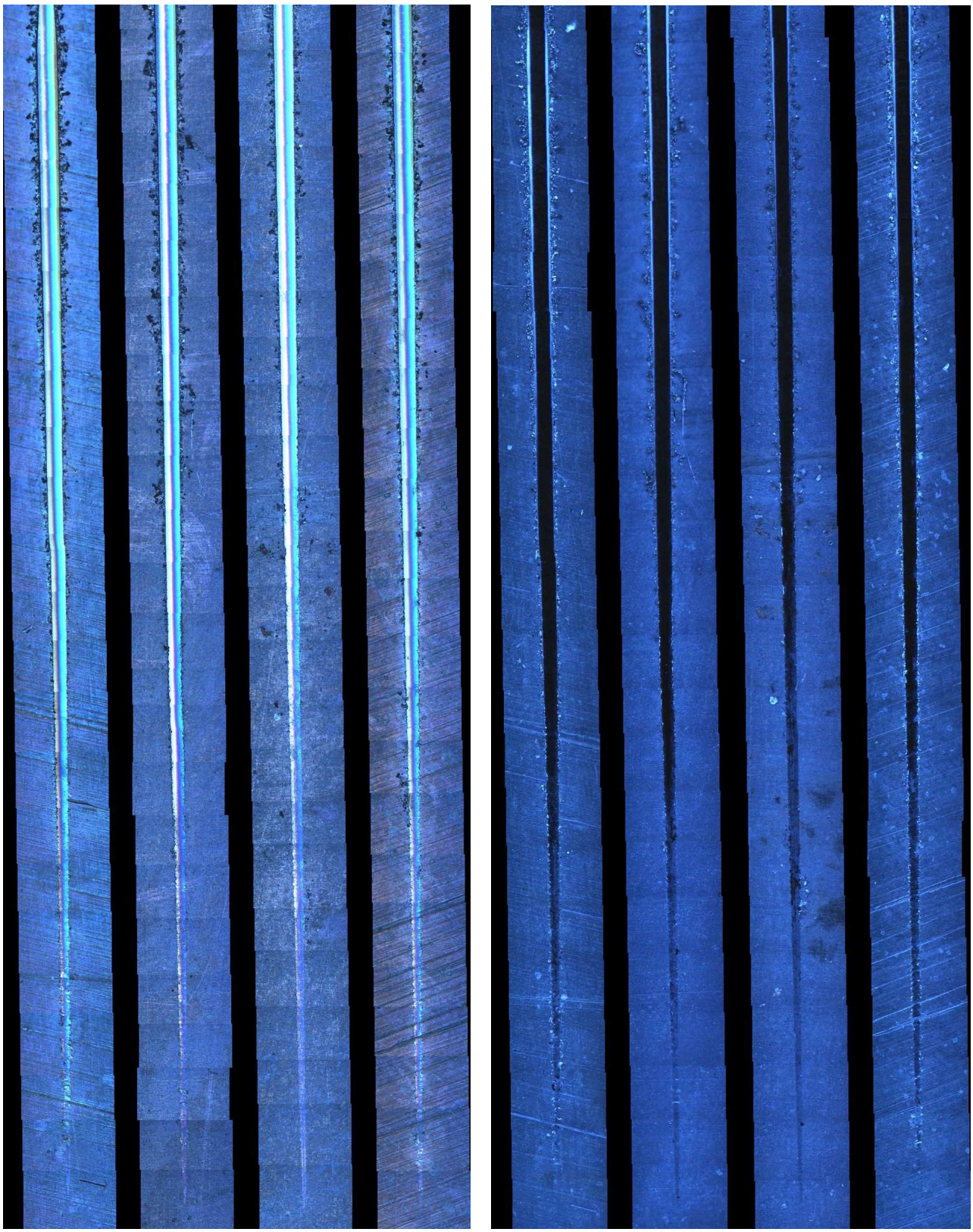


Obrázek 18 – Vrypy na noži 30-5.

Z obrázků je patrné, že první dva vrypy provedené na různých místech jednoho nože, se nijak významně neliší, třetí vryp se porušuje méně než předcházející, je to vidět na intenzitě odlamování po okraji vrypu, především při větším zatížení. Je to pravděpodobně dané jinou drsností plochy, na které se prováděl. Vryp prováděný indentorem se špičkou o poloměru 0,5 mm ukazuje menší odlamování po okraji, ale větší opotřebení třením uvnitř vrypu, což vypovídá o intenzivnějším odlamování při zanesení většího pnutí do materiálu. Zkoušky byly prováděny na více místech nože pro zjištění rozložení vrstvy v různých

místech, ta je přibližně srovnatelná po celé řezné části nože. Více je vidět v porovnání jednotlivých nožů, viz následující obrázek.

Na Obr.19 je porovnání vrypů na nožích 30-2 až 30-5 provedených na boční straně, tedy na straně s menší drsností, ve světlém i tmavém poli.

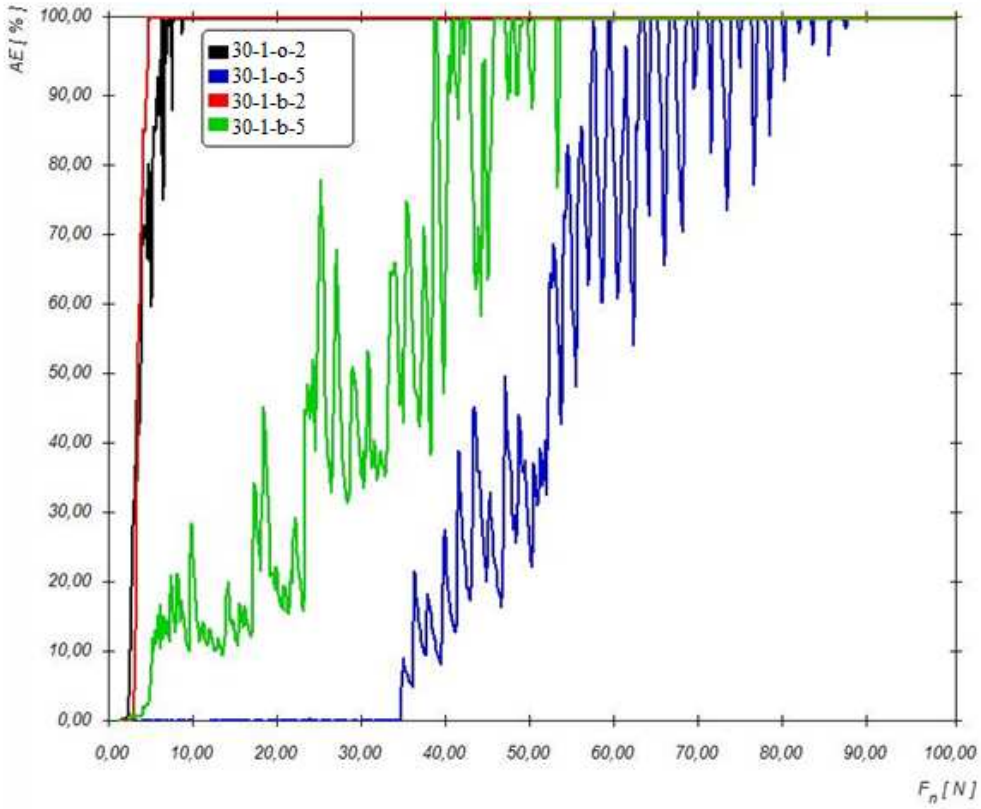


Obrázek 19 – Porovnání nožů 30-2 až 30-5.

Z obrázků je patrné, že opotřebení začalo nejdříve na nožích 30-4 a 30-5, ale se zvětšující se silou se nezvětšovalo tolik jako na nožích 30-1 a 30-2, při největší síle bylo tedy opotřebení největší na noži 30-1 a dále na noži 30-2, nejlépe dopadl nůž 30-4. Z vrypové zkoušky ve vztahu k obrábění by se dalo usuzovat na nejintenzivnější opotřebovávání nože během procesu obrábění. Předpokládáme tedy, že při velkém zatížení při obrábění se nejrychleji budou opotřebovávat nože 30-1 a 30-2 naopak největší odolnost by měl mít nůž 30-4.

Graf akustické emise je provázaný s vrypy, vzniká během zatěžování a posouvání indentoru po noži. Zaznamenává šíření signálu materiálem. Tento signál vzniká při porušování a praskání materiálu, čím silnější signál, tím strměji křivka roste.

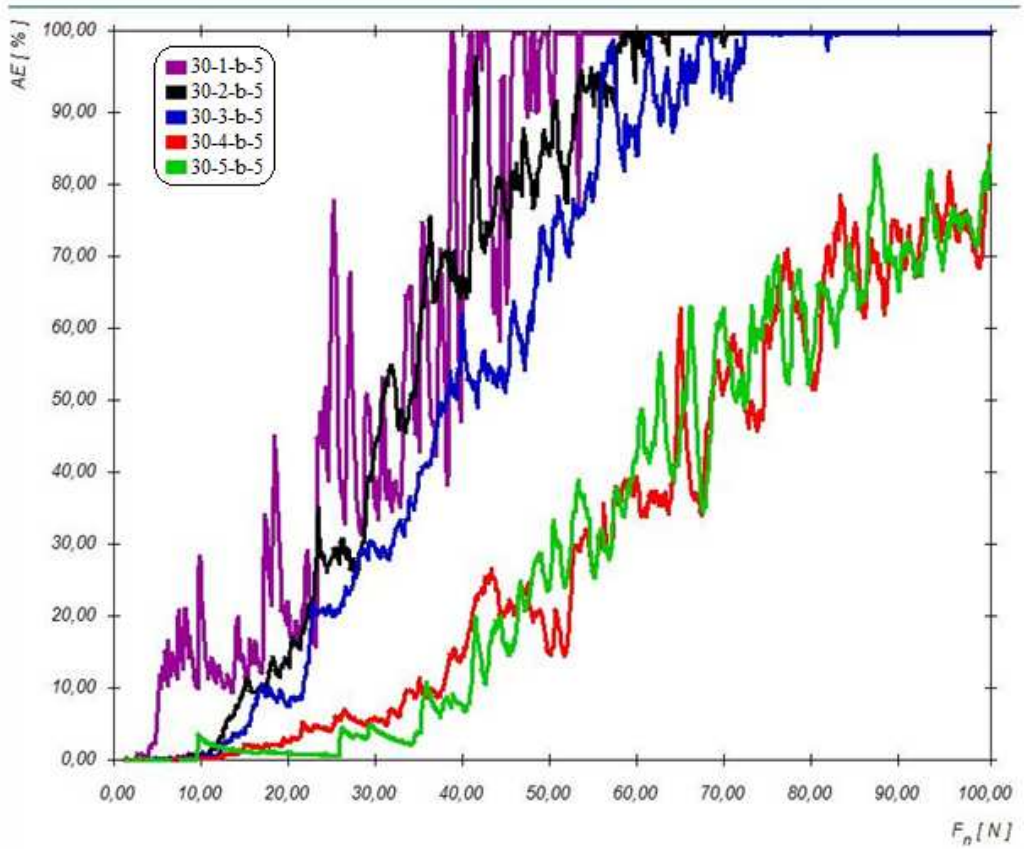
AKUSTICKÁ EMISE



Obrázek 20 – Akustická emise na noži 30-1.

Průběh *30-1-o-2* je pro vryp provedený na čele nástroje indentorem o poloměru 0,2 mm, průběh *30-1-o-5* je pro vryp provedený na čele nástroje indentorem o poloměru 0,5 mm, další dva průběhy (30-1-b-2 a 30-1-b-5) jsou pro vrypy na boční straně opět indentorem 0,2 mm a 0,5 mm. Grafy průběhu akustické emise na ostatních nožích jsou přiložené v příloze a jsou roztažené ve vodorovné ose pro větší přehlednost.

Pro všechny nože platí, že na prvních třech průbězích je patrný vliv drsnosti povrchu na vznik akustické emise, strmý růst křivky je pravděpodobně způsobený narážení indentoru do nerovností povrchu a jejich odlamováním. Indentor o poloměru 0,5 mm proniká do menší hloubky pod povrch, proto vnáší do materiálu menší vnitřní pnutí a povrch se porušuje méně křehce, ale více třením.

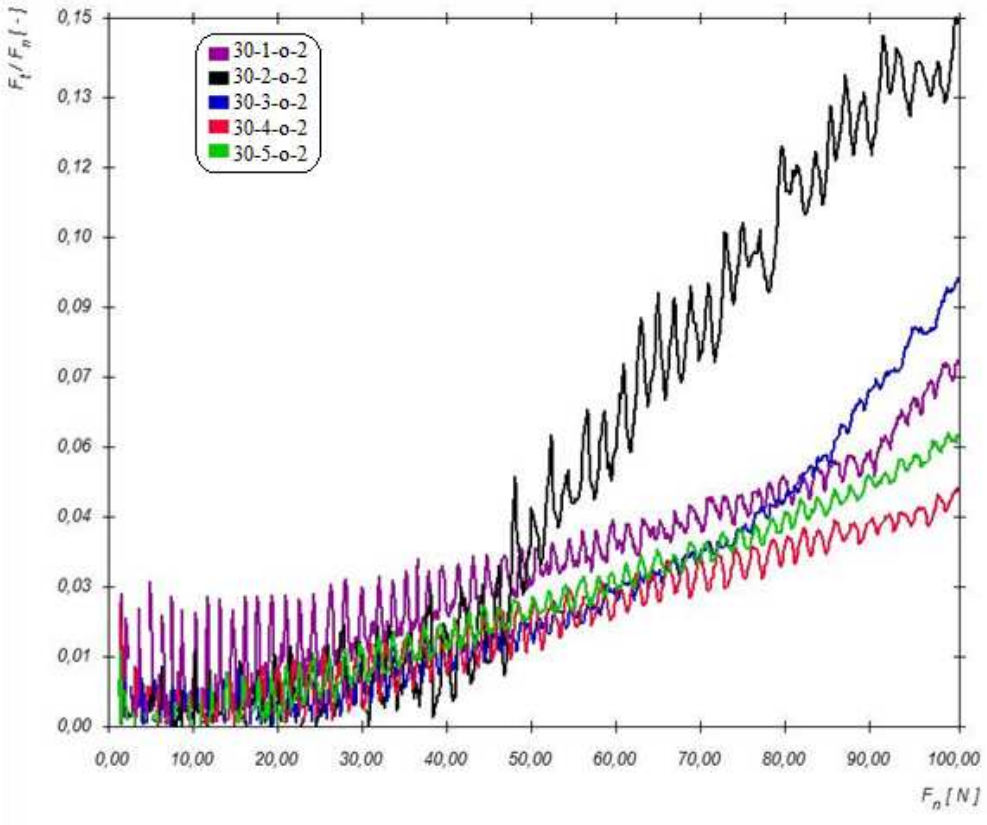


Obrázek 21 – Porovnání průběhu akustické emise všech nožů při použití indentoru 0,5.

Další průběh ukazuje, že nejvyšší odolnost proti opotřebení vykazují nože 30-4 a 30-5, naopak nejnižší nůž 30-1, to je možná dáno pnutím vneseným do materiálu při výrobě nože, které na nožích 30-2 až 30-5 poklesne při tepelném zpracování. Závěr je tedy opět téměř stejný, ovšem nůž 30-4 je srovnatelný s nožem 30-5. Praskání materiálu zaznamenané při akustické emisi by mohlo odpovídat praskání nože při obrábění, ovšem podmínky při obrábění a při experimentu nejsou stejné, takže nemůžeme s jistotou tvrdit, jak dopadnou nože při obrábění. Graf průběhu akustické emise při použití indentoru 0,2 je v příloze.

KOEFICIENT TŘENÍ:

Koeficient tření opět vychází z vrypové indentace a vypovídá o odporu materiálu vůči pronikání indentoru. Na grafech je stejně jako na předchozích vidět velký vliv drsnosti materiálu.

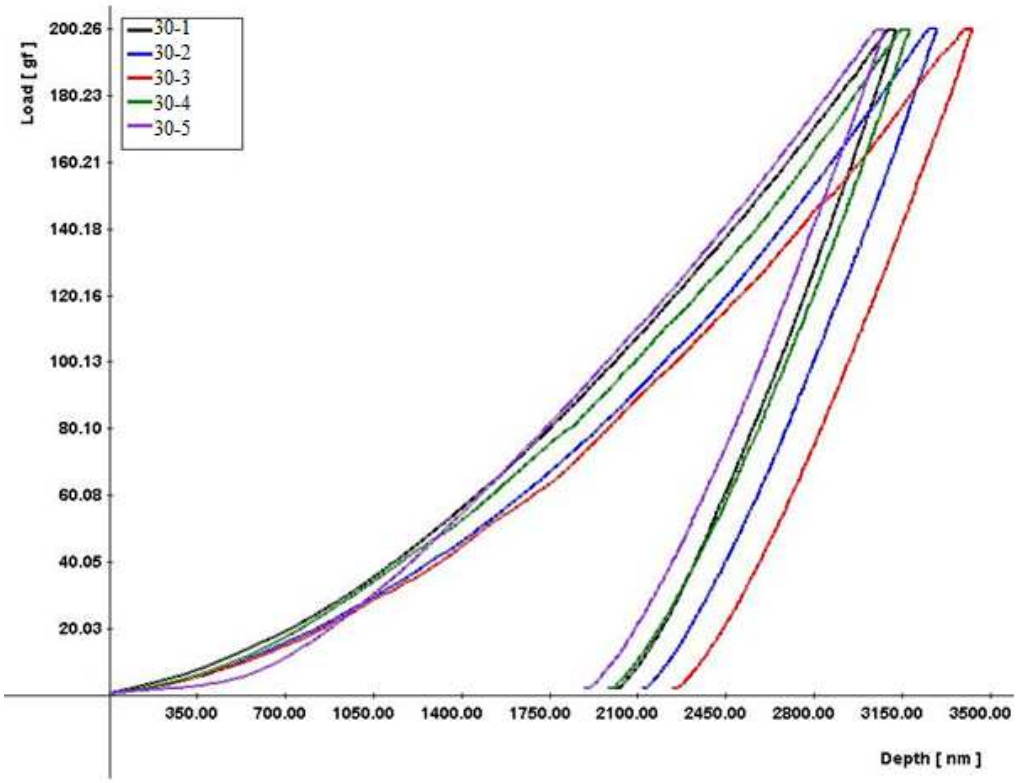


Obrázek 22 – Graf závislosti koeficientu tření na normálové síle pro všechny nože na čele.

Nejmenší tření je na nožích 30-4 a 30-5, největší tření je na noži 30-2, kde se začíná přibližně od 50 N rychle zvětšovat. Koeficient tření by mohl vypovídat o tření během obrábění. Se zvětšujícím se koeficientem tření by se měla zvětšovat třecí síla na nůž a tím by rostla i teplota a se zvětšující se teplotou nůž rychleji opotřebovává.

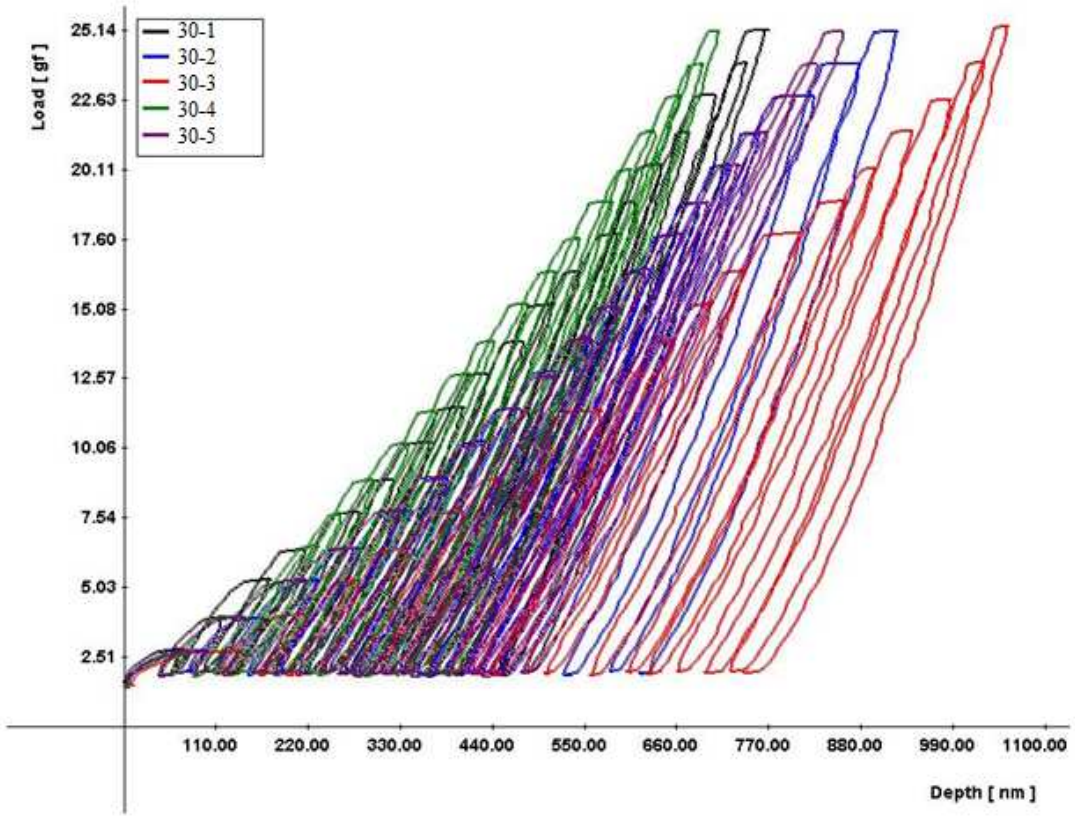
3.1.2 Nanoindentační zkouška

Na nožích byla dále provedena zkouška nanotvrdosti, která je pro obrábění také velice důležitá, protože zjišťuje tvrdost jednotlivých částic materiálu. Nože byly zatěžovány 200 g, 25 g a 5 g. Při zatížení 200 g proniká indentor do větší hloubky pod povrch, ve které by už neměl být materiál ovlivněn chemicko-tepelným zpracováním, tedy se jedná o samotný substrát. Při zatížení 25 g by se měl indentor pohybovat v hloubce, která odpovídá přechodu mezi vrstvou a substrátem. A při zatížení 5 g proniká indentor do malé hloubky, tedy do chemicko-tepelně upravované vrstvy. Na nanoindentoru byla provedená také zkouška cyklickým zatěžováním.



Obrázek 23 – Indentační křivky na všech nožích při zatížení 200g.

Do nejmenší hloubky jde křivka odpovídající noži 30-5, průběh tedy ukazuje vyšší zpevnění na nožích 30-5 a dále 30-4, to je ale přibližně srovnatelné se zpevněním na noži 30-1. Nůž 30-3 vykazuje o trochu větší elasticitu než ostatní nože, vyplývá to z odlehčující větve, která se vrací relativně hodně zpět do menší hloubky. Elasticita ovšem není u soustružnických nožů požadována. Závěr z této zkoušky je takový, že nejvhodnější z hlediska tvrdosti by měl být nůž 30-5. Záznam z nanoindentace při zatížení 25 g a 5 g je v příloze, výsledek z této zkoušky je opět podobný, nejlépe dopadly nože 30-1, 30-4 a 30-5.



Obrázek 24 – Cyklická indentace na všech nožích při zatížení 25g.

Z menší hloubky proniknutí do materiálu a většího zhuštění křivek je patrné největší zpevnění na noži 30-4. Ten vychází ze všech dosavadních výsledků nejlépe z těchto nožů.

ZHODNOCENÍ ZKOUŠEK:

ZKOUŠKA	NEJLEPŠÍ	NEJHORŠÍ
Vrypová indentace	30-4	30-2 a 30-3
Akustická emise	30-4 a 30-5	30-2
Koeficient tření	30-4	30-2
Nanoindentace 200g	30-5	30-3
Cyklická nanoindentace	30-4	30-3

Tabulka 3 – Zhodnocení zkoušek.

Podle těchto zkoušek dopadl tedy nejlépe nůž 30-4 a nejhůře nože 30-2 a 30-3.

3.2 Obrábění [19]

Tento experiment byl prováděn v rámci jiné práce (diplomové), ale já jsem se experimentu také zúčastnila a výsledky spolu souvisí. Pro úplnost je tedy začleněn i do této práce. Řezné podmínky a materiál byly uvedeny již na začátku této kapitoly, proto zde již nebudou znovu popsány.

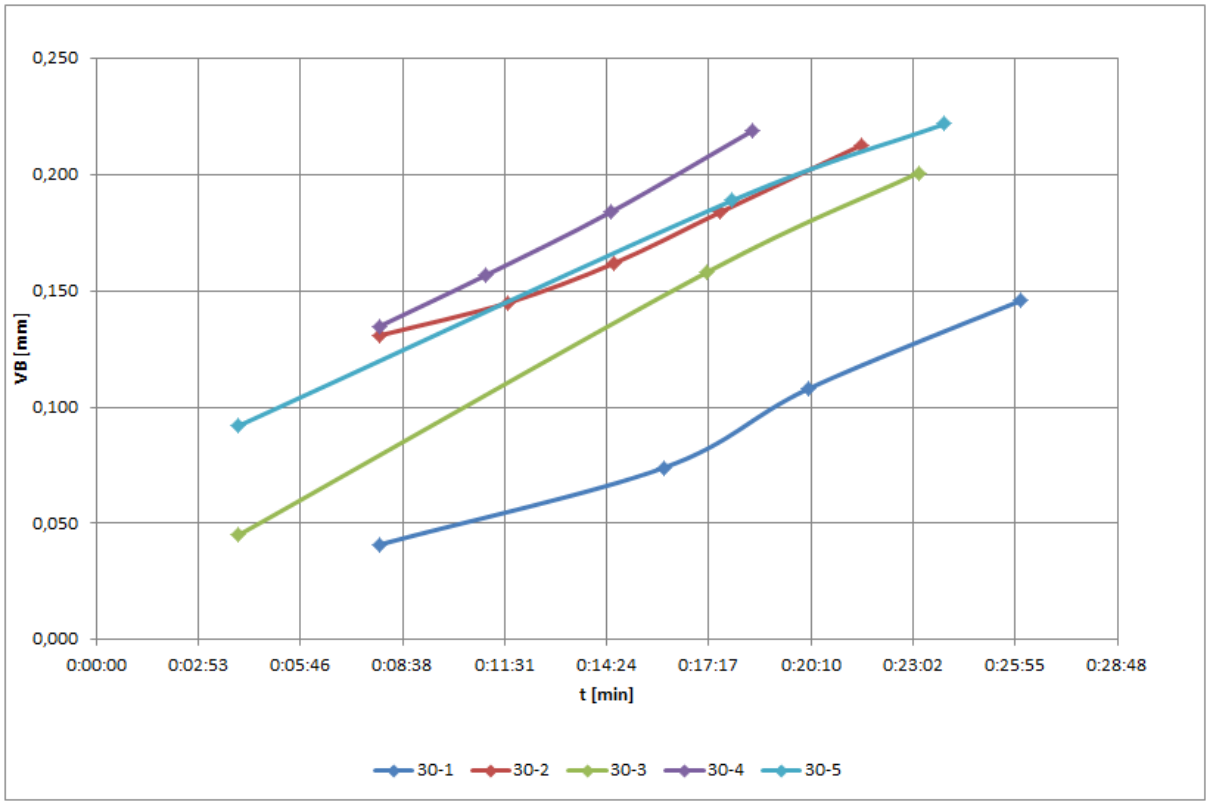
V následující tabulce (Tab. 4) jsou zapsána data získaná v průběhu obrábění, z těchto dat pak vychází grafy vyjadřující životnost jednotlivých nožů (Obr. 28 a Obr. 29). Noži bylo postupně obráběno v několika krocích, dokud nebylo dosaženo určitého minimálního opotřebení VB_{KRIT}. Po každém kroku následovalo měření VB_B, VB_{Bkrit}, Ra, Rz. VB_B znamená opotřebení hřbetu břitu, patřící mezi abrazivní formy opotřebení, je to obvyklý typ opotřebení.

VB_{Bkrit} je maximální hodnota opotřebení hřbetu břitu. Ra a Rz jsou hodnoty drsnosti obrobené plochy.

Testování soustružnických nožů - 11523						
Vc=56m/min, fo=0,12mm, ap=2mm, VBkrit=0,2mm						
Nástroj	Měření	1	2	3	4	5
30-1	t [min]	0:08:00	0:16:00	0:20:05	0:26:05	
	VB_B [mm]	0,041	0,074	0,108	0,146	
	VB_B krit. [mm]	0,141	0,195	0,235	0,289	
	Ra [µm]	2,04	1,95	1,96	2,17	
	Rz [µm]	11,08	11,40	11,52	12,49	
30-2	t [min]	0:08:00	0:11:36	0:14:36	0:17:36	0:21:36
	VB_B [mm]	0,131	0,145	0,162	0,184	0,213
	VB_B krit. [mm]	0,131	0,145	0,189	0,209	0,229
	Ra [µm]	2,08	1,96	1,90	1,80	1,70
	Rz [µm]	11,70	11,50	10,70	10,78	10,60
30-3	t [min]	0:04:00	0:17:12	0:23:12		
	VB_B [mm]	0,045	0,158	0,201		
	VB_B krit. [mm]	0,075	0,212	0,244		
	Ra [µm]	1,95	1,80	1,66		
	Rz [µm]	10,70	10,90	9,66		
30-4	t [min]	0:08:00	0:11:00	0:14:30	0:18:30	
	VB_B [mm]	0,135	0,157	0,184	0,219	
	VB_B krit. [mm]	0,295	0,296	0,321	0,340	
	Ra [µm]	1,70	2,07	2,04	1,81	
	Rz [µm]	9,80	11,05	11,24	9,93	
30-5	t [min]	0:04:00	0:17:56	0:23:56		
	VB_B [mm]	0,092	0,189	0,222		
	VB_B krit. [mm]	0,128	0,257	0,280		
	Ra [µm]	1,60	1,70	1,80		
	Rz [µm]	8,97	9,50	10,69		

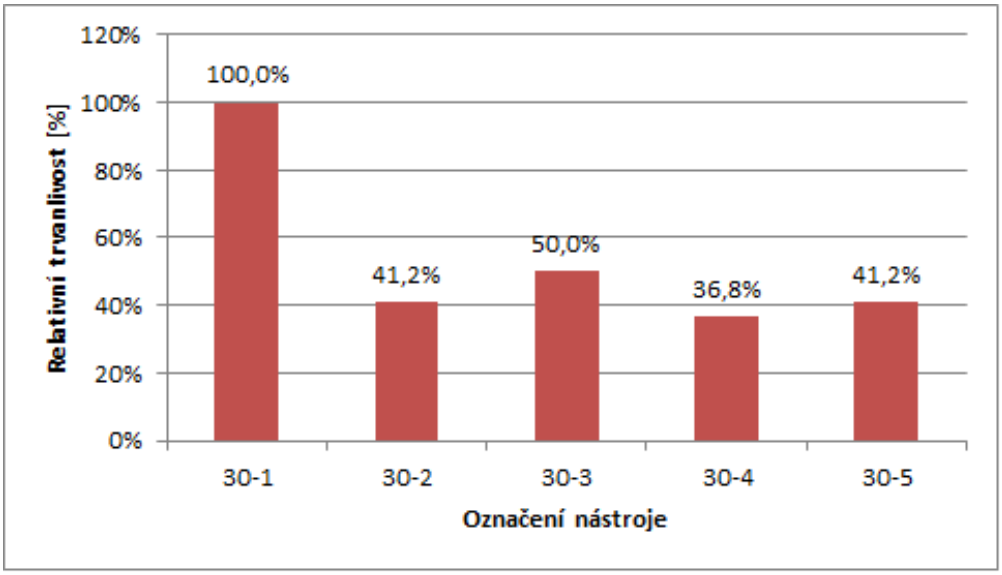
Tabulka 4 – Průběh obrábění [19].

Tabulka ukazuje, jak postupně rostlo opotřebení břitu VB a především jaké bylo konečné opotřebení břitu v určitém čase. Názornější je následující graf, který prokládá jednotlivé body křivkou, a tedy ukazuje, jak opotřebení rostlo v každém čase obrábění.



Obrázek 25 – Opotřebení břitů v průběhu obrábění [19].

Z grafu už je dobře vidět, který nůž dopadl nejlépe. Je to tedy nůž 30-1, další i když už o dost horší je podle grafu nůž 30-3, nože 30-2 a 30-5 jsou přibližně srovnatelné a nejhůře dopadl nůž 30-4. Poslední graf zobrazuje relativní trvanlivost jednotlivých nástrojů, přičemž u nože 30-1 je uvažována 100% trvanlivost.

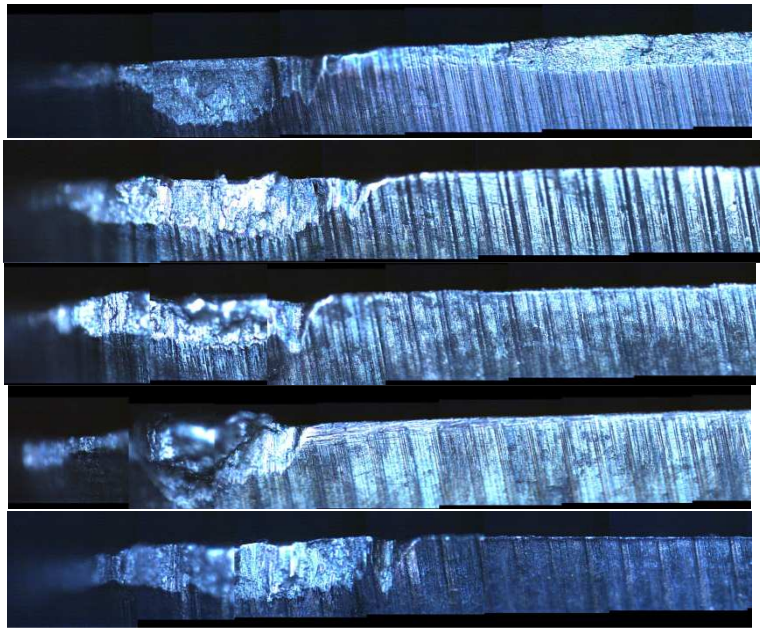


Obrázek 26 – Relativní trvanlivost nástrojů [19].

Z grafu je vidět, že nůž 30-1 dopadl dvakrát lépe než nůž 30-3, tedy druhý nejlepší nůž, další nože už jsou jen o málo horší než nůž 30-3.

3.3 Zkoušky po obrábění

Stav ostří po obrábění byl v první řadě nafocen pod mikroskopem, viz Obr. 27. Z vrypů provedených po obrábění jsou výsledky totožné jako z vrypů provedených před obráběním, byly umístěné na hřbetu nože. Vrypy jsou v příloze. Výsledky z fluorescenční analýzy nejsou moc přínosné a nedopadly podle očekávání, jsou tedy umístěné také pouze v příloze.



Obrázek 27 – Opotřebení ostří po obrábění na noži 30-1 až 30-5.

3.4 Provázanost testů

Závěr z obou experimentů je takový, že v obou případech dopadl nejlépe nůž 30-1, ovšem další výsledky si vůbec nekorespondují. Z materiálových testů dopadl jako další nejlépe nůž 30-4 a pak 30-5, ale z testů z obrábění dopadl nejlépe nůž 30-3.

Rozdílnost výsledků by mohla být dána tím, že při materiálových testech se zjišťovala především tvrdost materiálu, ale pro obrábění je důležité najít kompromis mezi tvrdostí a houževnatostí, nože 30-4 a 30-5 jsou tedy pravděpodobně hodně tvrdé, ale snadno se odlamují. Vrypová zkouška tomuto předpokladu sice přesně neodpovídá, ale také se proto nedá vyloučit, protože při obrábění jsou jiné podmínky než při vrypové indentaci. Podle této hypotézy by se tedy křehký upravený povrch snadno ubrousil a následně se začal porušovat základní materiál. Naopak nože 30-2 a 30-3 pravděpodobně nemají takovou tvrdost, ale jsou houževnatější. A protože podle obou testů dopadl nejlépe nůž 30-1, dalo by se usoudit, že výše popsaná úprava těchto nožů jejich tvrdost v podstatě nezvyšuje, ale naopak snižuje jejich houževnatost. Není tedy pro obráběcí nástroje alespoň v tomto experimentu vhodná.

4 ZÁVĚR

Tato práce se zabývala obráběcími nástroji, jejich životností a možnostmi, jak životnost zvyšovat, především tedy nejnovějšími metodami a především metodami vhodnými pro rychlořeznou ocel. Práce se rozděluje na dvě části, na teoretickou část a experimentální část. V teoretické části jsou popsané metody zvyšování trvanlivosti nástrojů, od nejčastěji používaných metod jakými jsou povlakování a nitridování, tedy chemicko-tepelné úpravy, po ty méně používané jako je kryogenní zpracování a iontová implantace. U každé metody je vždy popsáno na jakém principu funguje, tedy jak pomáhá ke zvýšení životnosti, jak se používá nebo také jaké jsou její výhody a nevýhody. Součástí popisů jsou samozřejmě také názorné obrázky.

V experimentální části bylo hlavním úkolem provést materiálové testy na pěti soustružnických nožích, jejichž úprava je popsána výše ve 3. kapitole, a následně je porovnat s výsledky z obrábění. Ačkoliv obrábění bylo prováděno v rámci jiné práce, zúčastnila jsem se ho také a výsledky a popis obrábění je součástí i této práce. Experimentální část tedy obsahuje výsledky z materiálových testů a jejich popis, ale i výsledky z obrábění.

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo popsat a zhodnotit možné úpravy obráběcích nástrojů z rychlořezné oceli, které zvyšují trvanlivost při obrábění. Cíl byl splněn popsáním těchto metod: PVD a CVD povlakování, přičemž PVD se rozděluje na podkapitoly jako odpařování, odprašování a další, dále chemicko-tepelné zpracování, rozdělující se na nitridování, sulfonitridování, karbonitridování a boridování, iontová implantace a nakonec kryogenní zpracování. Popisy jsou zaměřené především na hlavní princip metody a její výhody a nevýhody.

Vedlejším cílem práce bylo popsat životnost pěti soustružnických nožů v závislosti na materiálových testech a ve vztahu k obrábění. Pro splnění tohoto cíle byli nože napřed materiálově zkoušeny. Na nožích byly provedeny vrypy a nanoindentace, pro posouzení, který nůž by se mohl opotřebovávat během obrábění nejméně. Dále se s noži provedl experiment obráběním, aby se zjistilo, který nůž se ve skutečnosti opotřebovával nejméně. Nakonec se na nožích provedl další vryp a fluorescenční analýza a zhodnotily se výsledky z testování i s popsáním, proč asi výsledky dopadly tak, jak dopadly.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] Sova, F.: Technologie obrábění a motáže. Plzeň, ZČU 2001.

[2] Bouzakis, K-D.; Michailidis, N.; Skordaris, G.; Bouzakis, E.; Biermann, D.;M´Saoubi, R.: Cutting with coated tools: Coating technologies, characterization methods and performance optimization. CIRP Annals – Manufacturing technology 61 (2012) 703 – 723.

[3] Reinhold, E.; Faber, J.: Large area electron beam physical vapor deposition (EB-PVD) and plasma activated electron beam (EB) evaporation – Status and prospects. Surface and coatings technology 206 (2011) 1653 – 1659.

[4] Mazurkiewicz, A.; Smolik, J.; Zbrowski, A.; Kacprsyńska, J.: Innovative technical solutions for evaporation of multilayer coatings by EB-PVD method. Archives of civil and mechanical engineering (2013).

[5] Erkens, G.; Vetter, J.; Müller, J.; Thomas auf dem Brinke; Fromme, M.; Mohnfeld, A.: Plasma-Assisted surface Coating. Munich, Süddeutscher Verlag onpact GmbH 2011.

[6] OERLIKON. Oerlikon balzers: P3e [online]. [cit. 2013-11-13]. Dostupné z: http://www.oerlikon.com/balzers/en/know-how/coating-technologies/p3e/

[7] OERLIKON. Oerlikon balzers: S3p [online]. [cit. 2013-11-13]. Dostupné z: http://www.oerlikon.com/balzers/en/know-how/coating-technologies/s3p/

[8] Sakamoto, Y.; Takaya, M.; Ishii, Y.; Igarashi, S.: Surface modified tool fabricated by radical nitriding. Surface and Coatings Technology 142 – 144 (2001) 152 – 155.

[9] Uma Devi, M.; Chakraborty, T.K.; Mohanty, O.N.:Wear behaviour of plasma nitrided tool steels. Surface and Coatings Technology 116 – 119 (1999) 212 – 221.

[10] Schaaf, P: Laser nitriding of metals. Progress in Materials Science 47 (2002) 1 – 161.

[11] Campos, I; Farah, M.; López, N.; Bermúdez, G.; Rodríguez, G.; VillaVelázquez, C.: Evaluation of the tool life and fracture toughness of cutting tools boronized by the paste boriding process. Applied Surface Science 254 (2008) 2967 – 2974.

[12] Marest, G: Surface treatment by ion implantation. Hyperfine Interactions 111 (1998) 121 – 127.

[13] Yugandhar, T.; Krishnan, P.K.: Cryogenic treatment and it's effect on tool steel. 6th international tooling conference, p. 671 – 684.

[14] Němec, J.: Výzkum vzájemných vazeb procesních a technologických parametrů u řezných nástrojů s povlaky. ZČU Plzeň 2010.

[15] Železný, J.: Progresivní tenké vrstvy v aplikaci na nástroje. ZČU Plzeň 2013.

[16] Nosek, J.: Nástroje z rychlořezné oceli a jejich aplikace v současnosti. VUT Brno 2008.

[17] Vytváření otěruvzdorných povrchových vrstev boridováním. MM Spektrum 4/2003, str. 60. Online dostupné z: http://www.mmspektrum.com/clanek/vytvareni-oteruvzdornych-povrchovych-vrstev-boridovanim.html.

[18] Nižňanská, J.: Moderní metody zpracování nástrojových ocelí. ZČU Plzeň 2012.

[19] Černohorský, J.: Možnosti zvyšování řezivosti nástrojů z RO. ZČU Plzeň 2014.

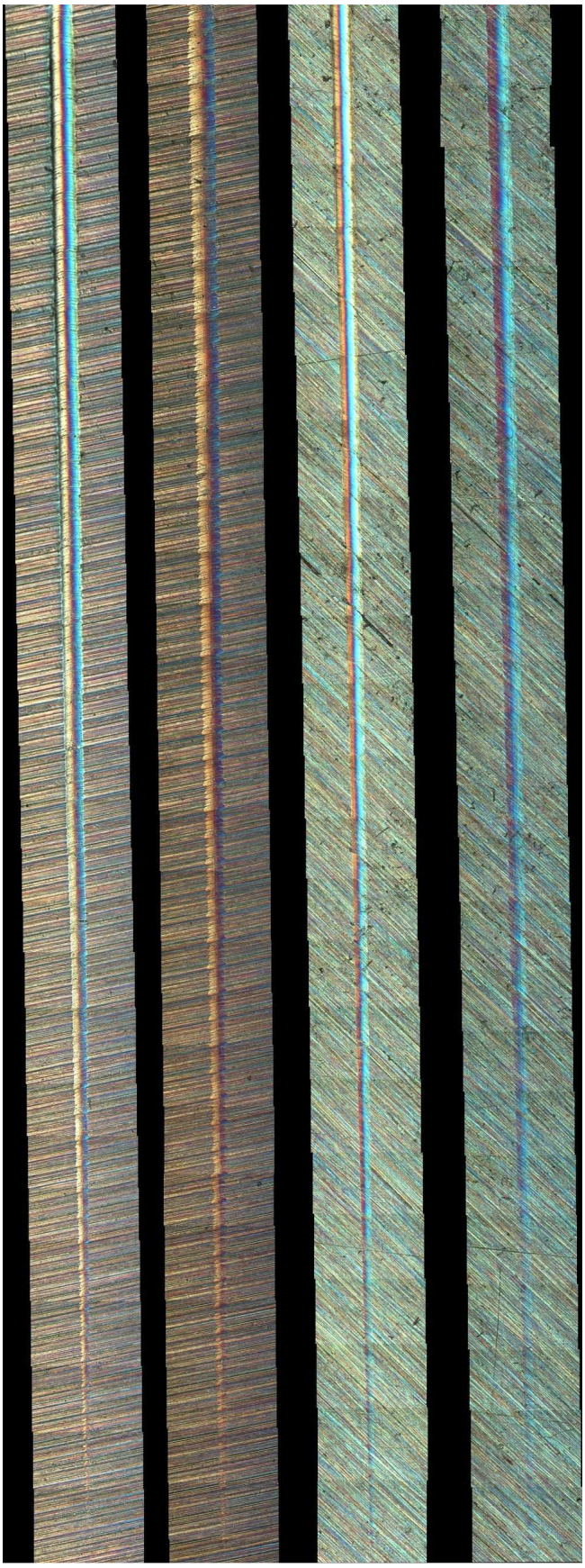
[20] N2Bio: Ion implantation [online]. [cit. 2014-5-24]. Dostupné z http://www.n2bio.com/surface-modification-technology/ion-implantation.php

[21] Wilkinson, P.: Spectacle lens production [online]. 2012 [cit. 30.1.2012]. Dostupné z: http://www.optometry.myzen.co.uk/articles/docs/0c9b3c6d2a48dc4eeaaa08a21d930b79_CETWilkinson_19506.pdf

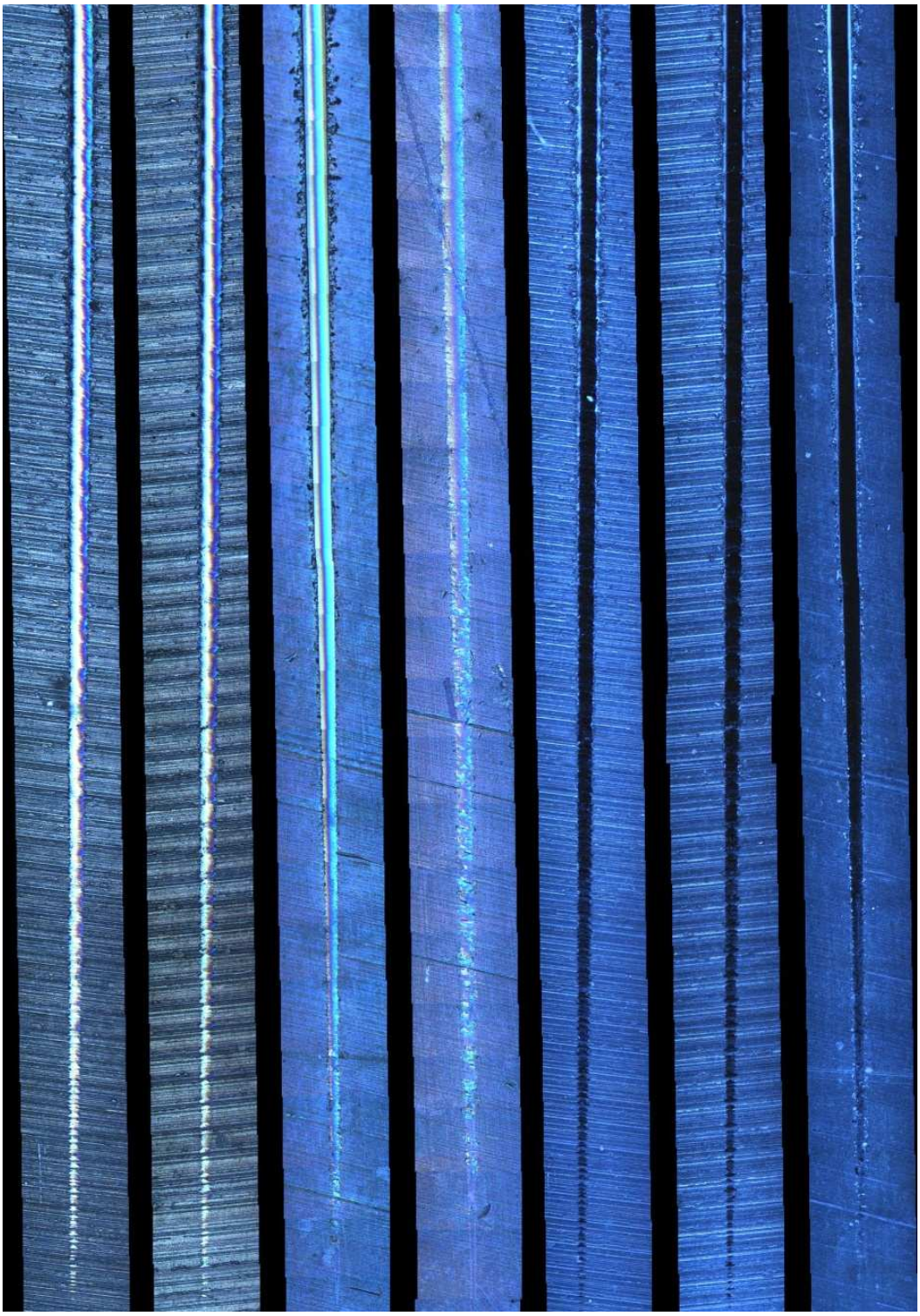
[22] Substances and Technologies: Vapor deposition [online]. [cit. 2014-1-20]. Dostupné z http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=vapor_deposition

PŘÍLOHY

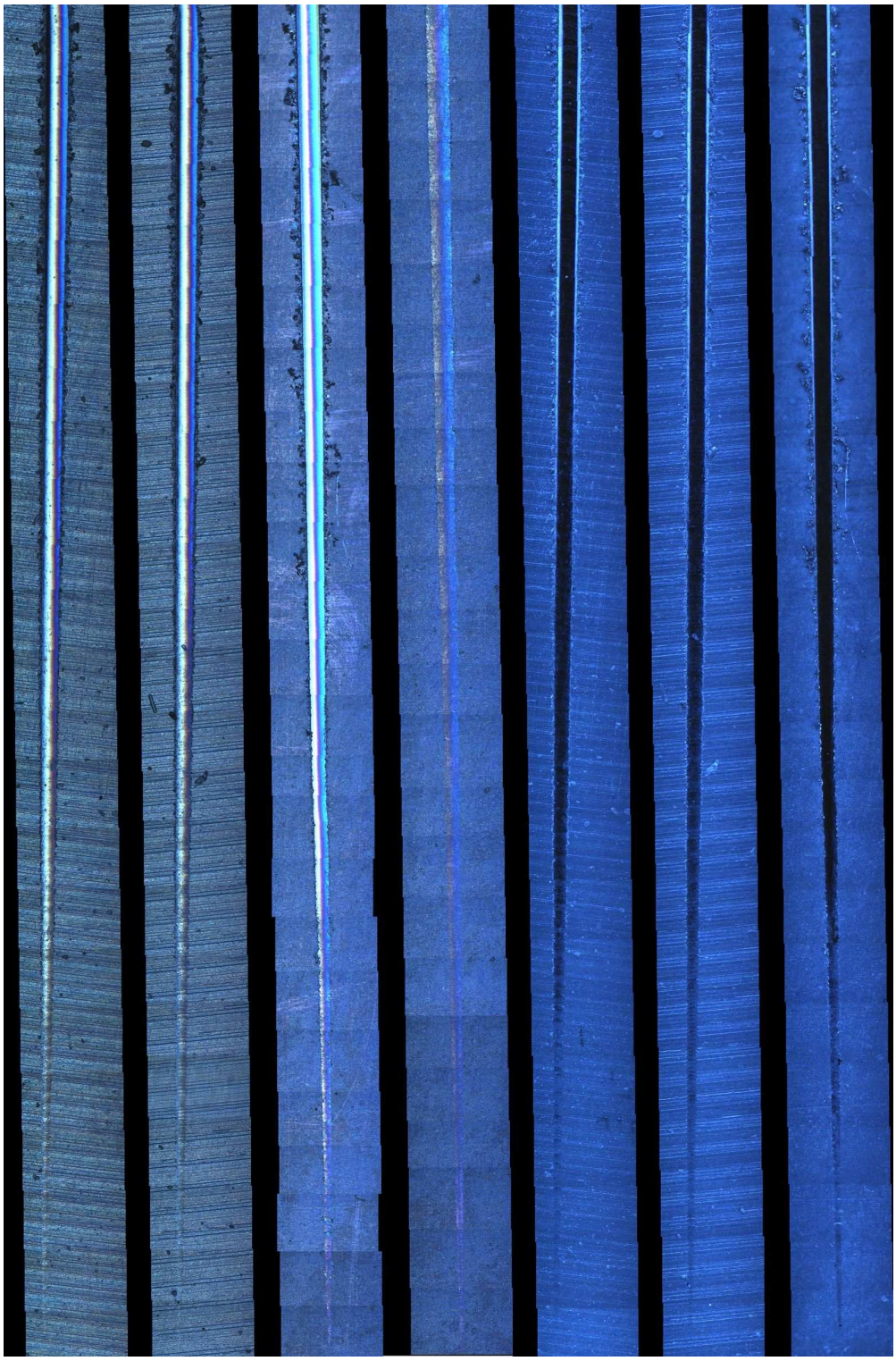
Příloha 1 – Vrypy na noži 30-1. 38
Příloha 2 – Vrypy na noži 30-2. 39
Příloha 3 – Vrypy na noži 30-3. 40
Příloha 4 – Vrypy na noži 30-4. 41
Příloha 5 – Akustická emise na noži 30-2. 42
Příloha 6 – Akustická emise na noži 30-3. 42
Příloha 7 – Akustická emise na noži 30-4. 43
Příloha 8 – Akustická emise na noži 30-5. 43
Příloha 9 – Srovnání průběhů akustické emise při použití indentoru s poloměrem 0,2. 44
Příloha 10 - Graf závislosti koeficientu tření na normálové síle pro všechny nože na boční straně indentorem 0,5. 44
Příloha 11 – Nanoindentační křivky na všech nožích při zatížení 25 g. 45
Příloha 12 – Nanoindentační křivky na všech nožích při zatížení 5g. 45
Příloha 13 – Vrypy na noži 30-2 až 30-5 na hřbetu při použití indentoru 0,5. 46
Příloha 14 – Vrypy na noži 30-2 až 30-5 na hřbetu při použití indentoru 0,2. 47
Příloha 15 – Fluorescenční analýza ve vrypu provedeném na čele blízko ostří na noži 30-2.. 48
Příloha 16 – Fluorescenční analýza ve vrypu provedeném na čele blízko ostří na noži 30-3.. 48
Příloha 17 - Fluorescenční analýza ve vrypu provedeném na čele blízko ostří na noži 30-4. . 49
Příloha 18 - analýza ve vrypu provedeném na čele blízko ostří na noži 30-5. 49



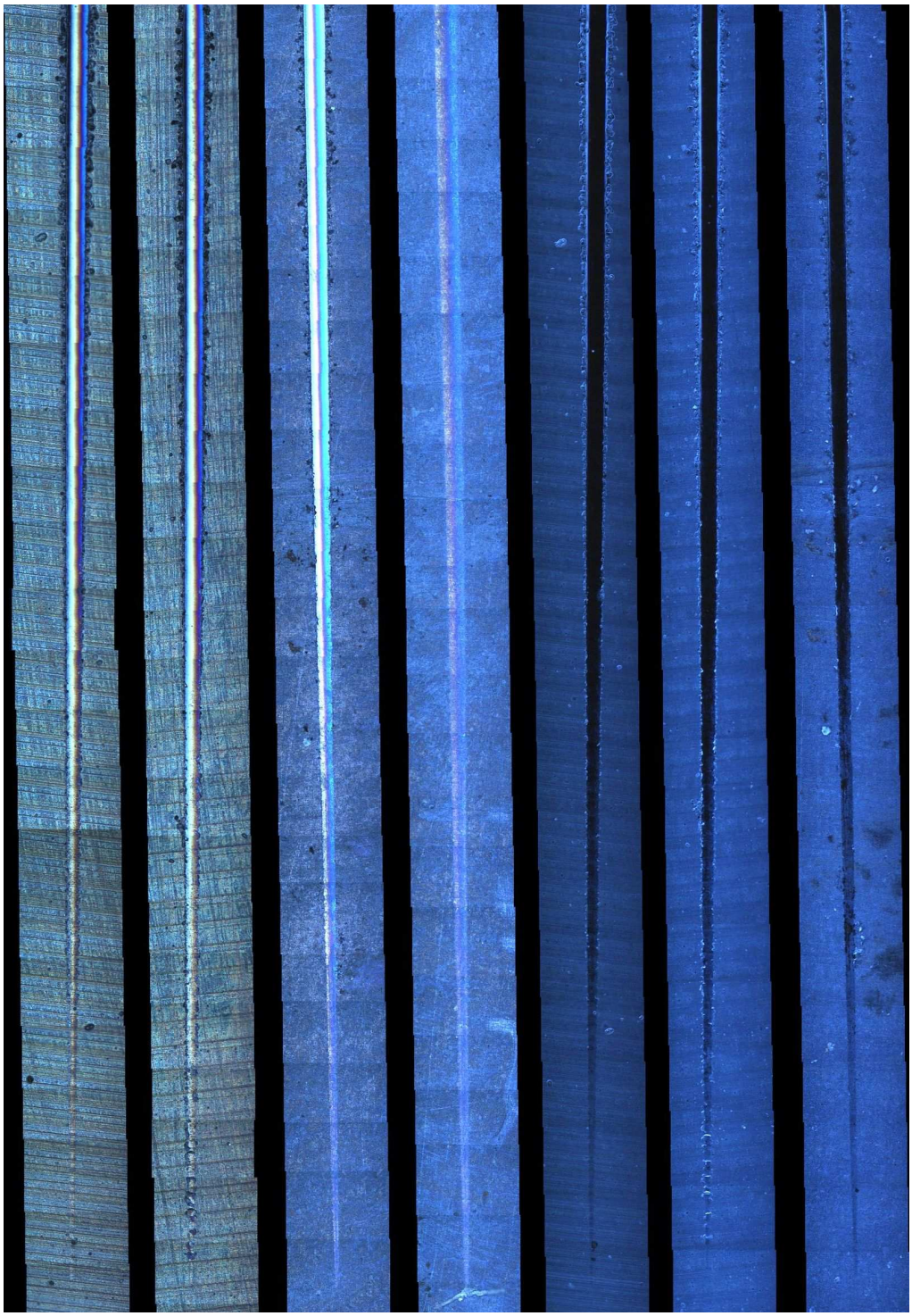
Příloha 1 – Vrypy na noži 30-1.



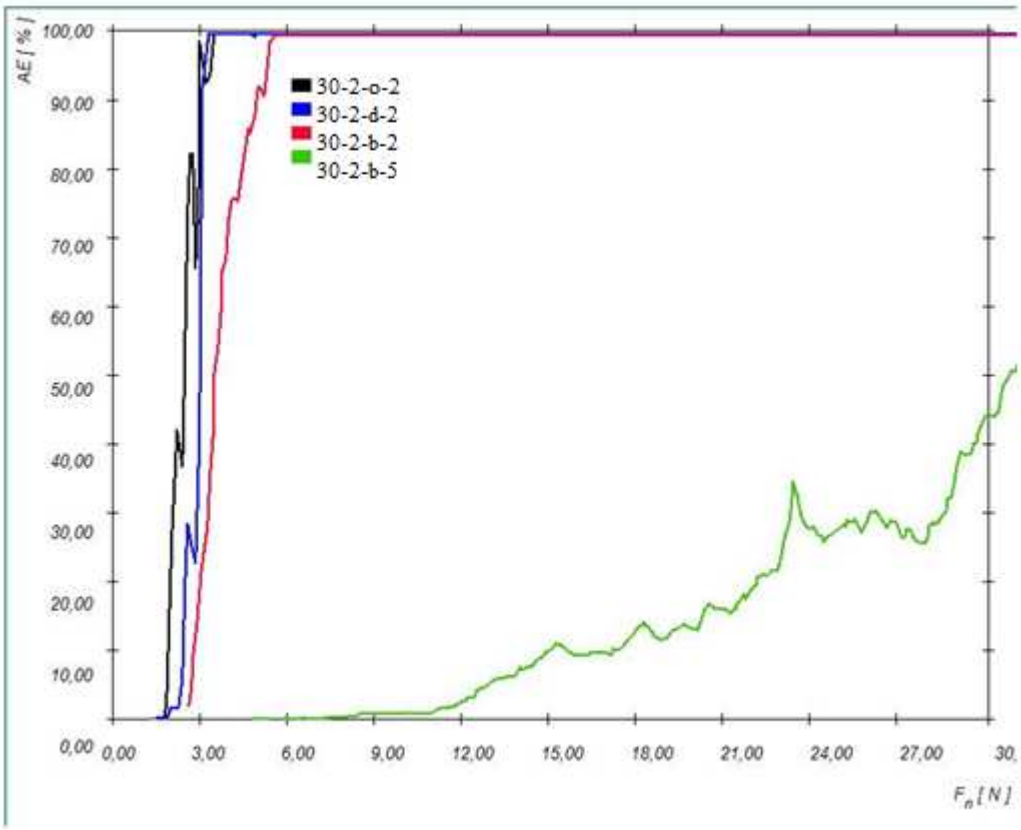
Příloha 2 – Vrypy na noži 30-2.



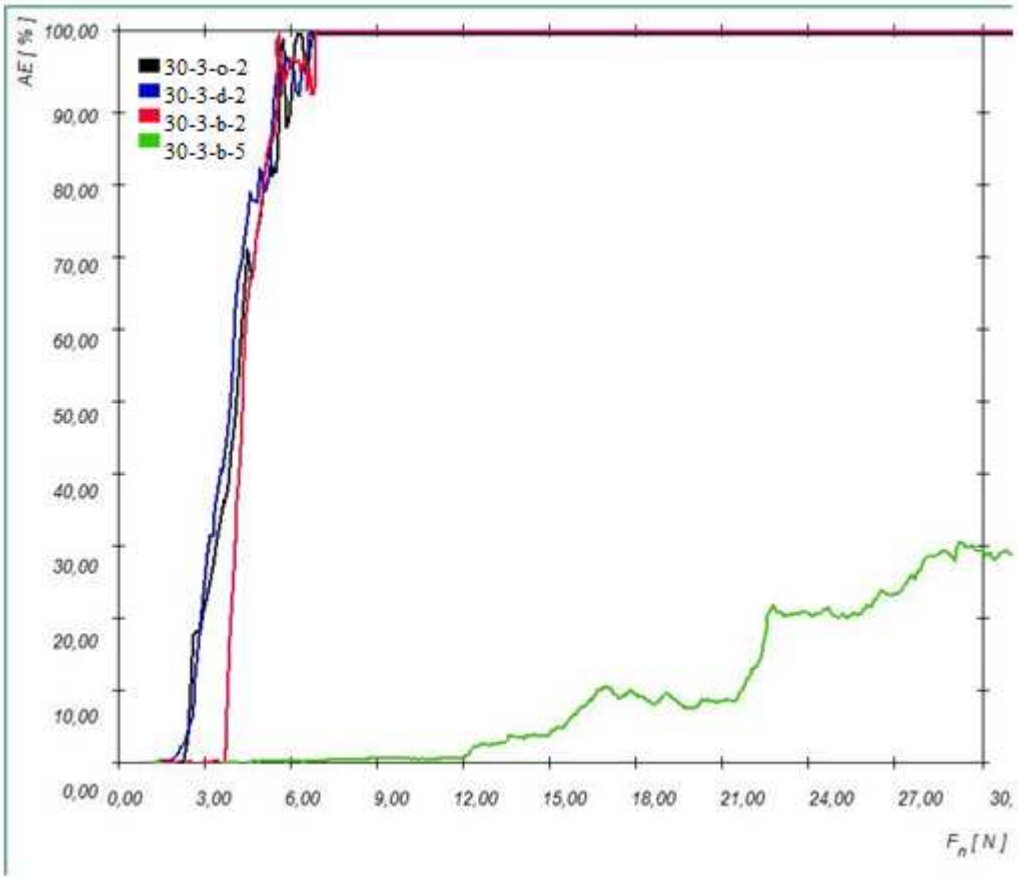
Příloha 3 – Vrypy na noži 30-3.



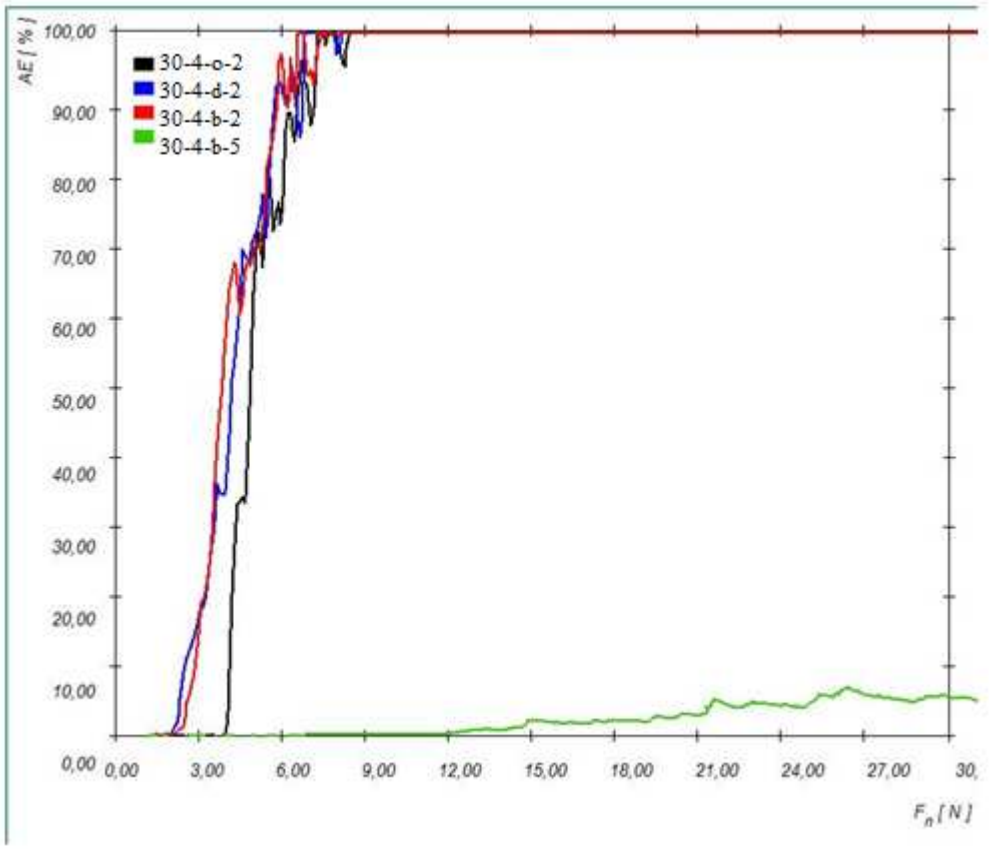
Příloha 4 – Vrypy na noži 30-4.



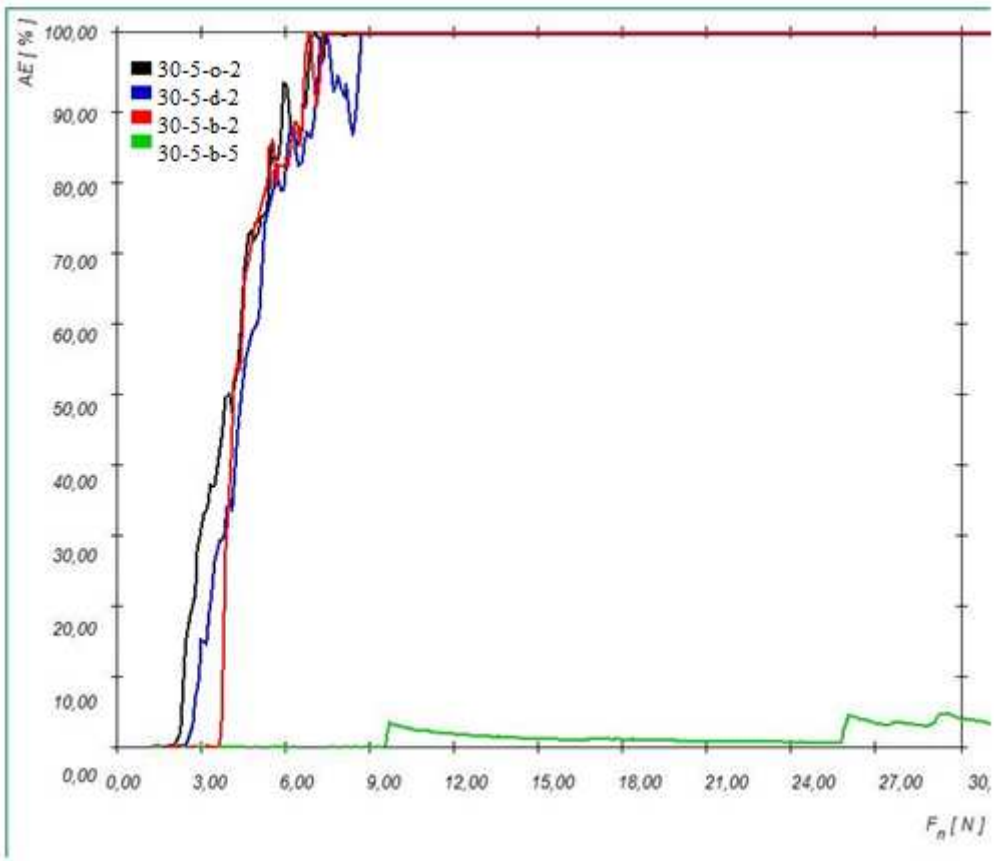
Příloha 5 – Akustická emise na noži 30-2.



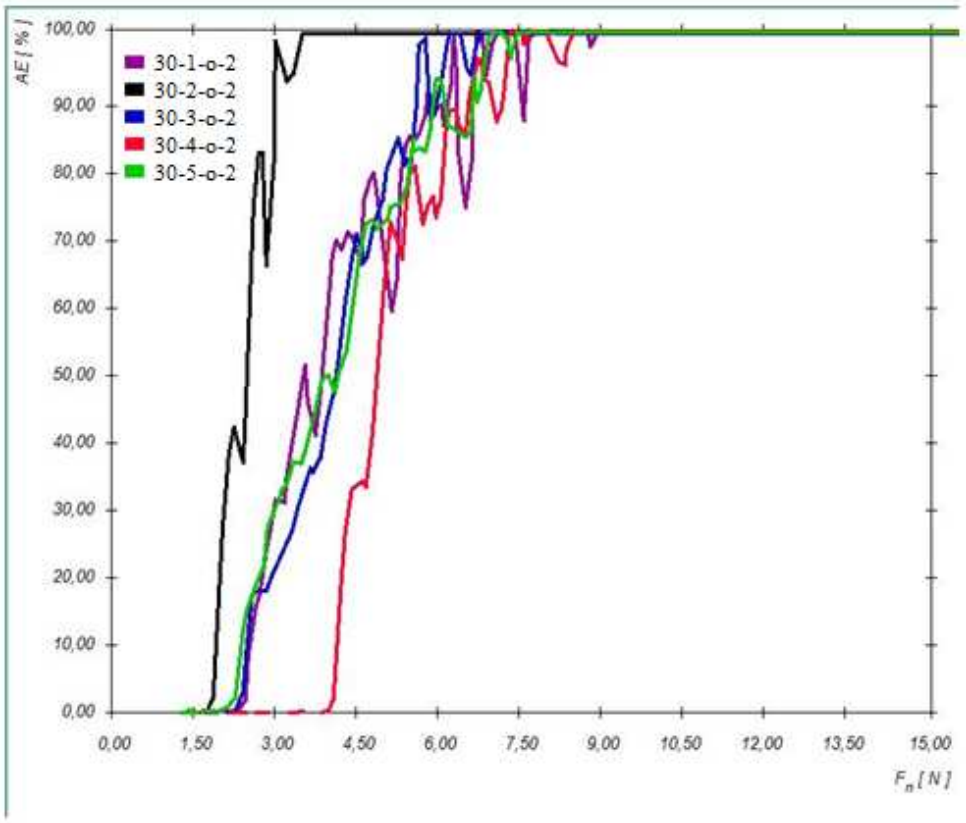
Příloha 6 – Akustická emise na noži 30-3.



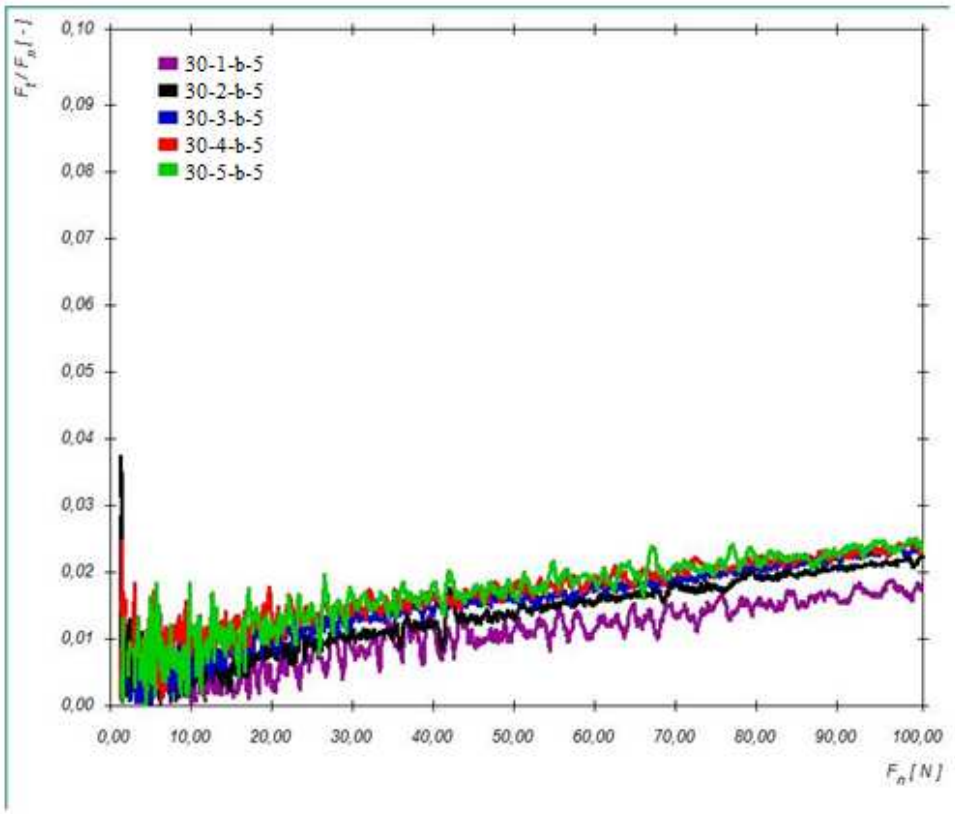
Příloha 7 – Akustická emise na noži 30-4.



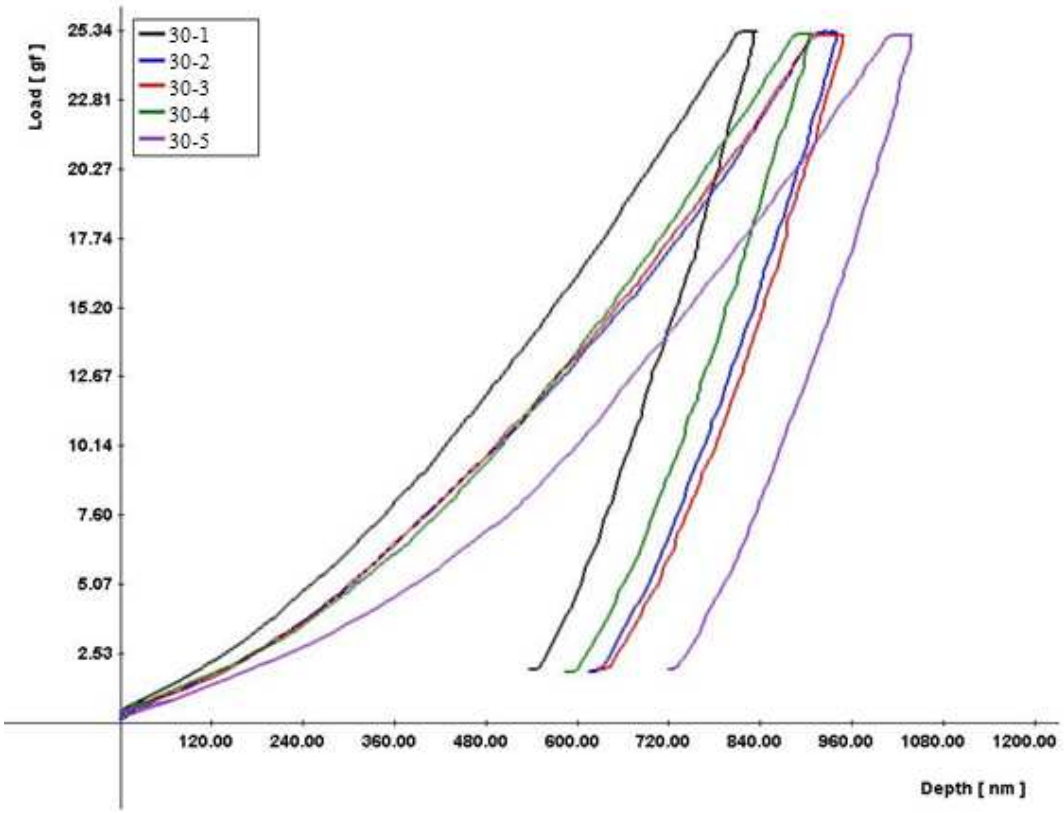
Příloha 8 – Akustická emise na noži 30-5.



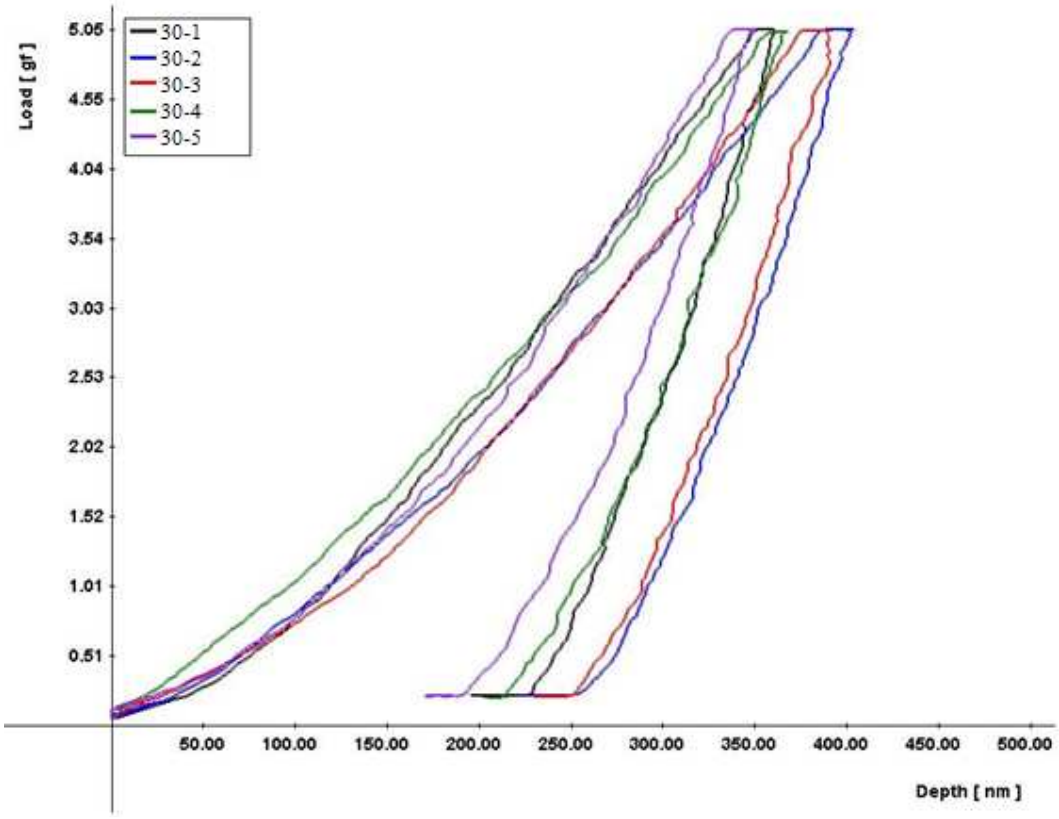
Příloha 9 – Srovnání průběhů akustické emise při použití indentoru s poloměrem 0,2.



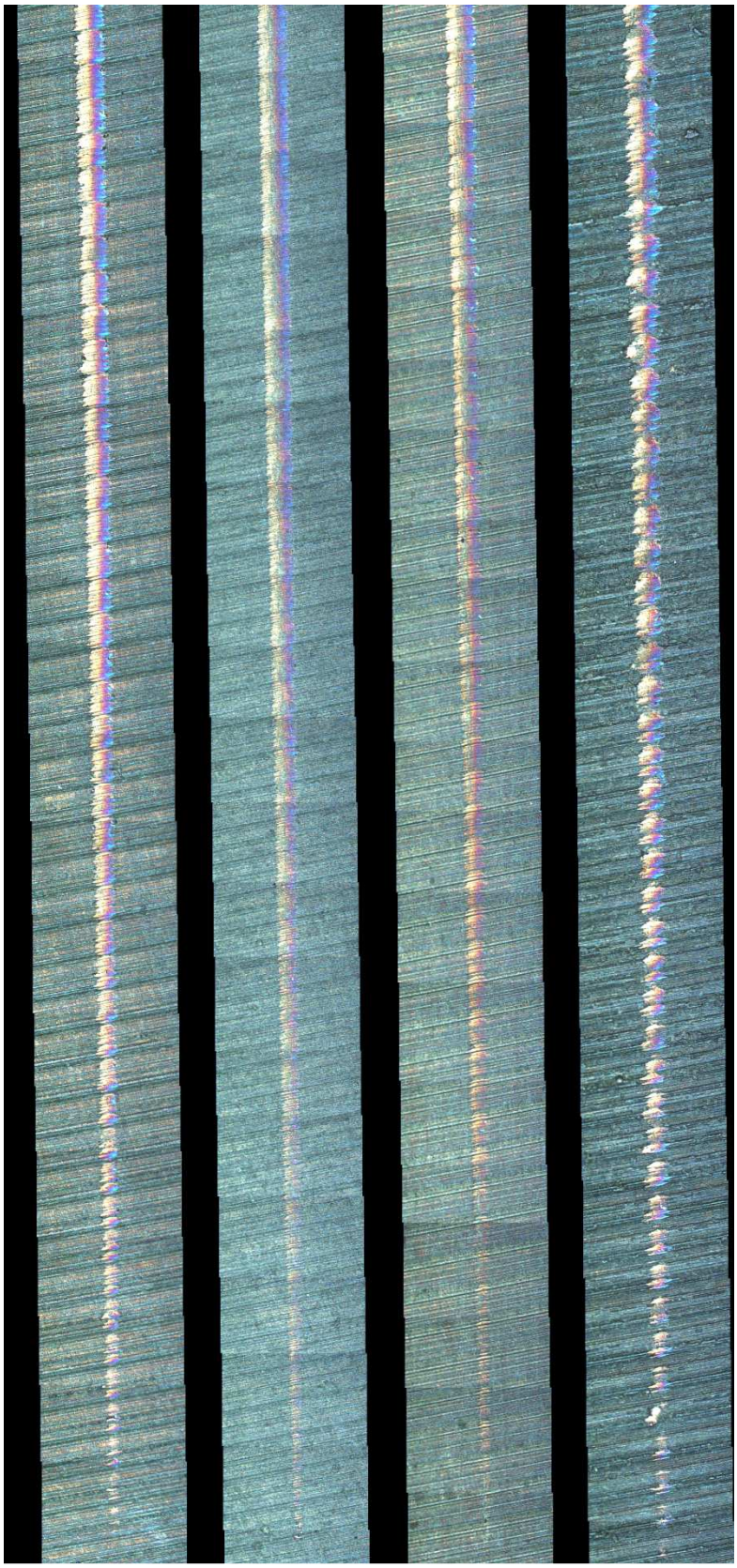
Příloha 10 - Graf závislosti koeficientu tření na normálové síle pro všechny nože na boční straně indentorem 0,5.



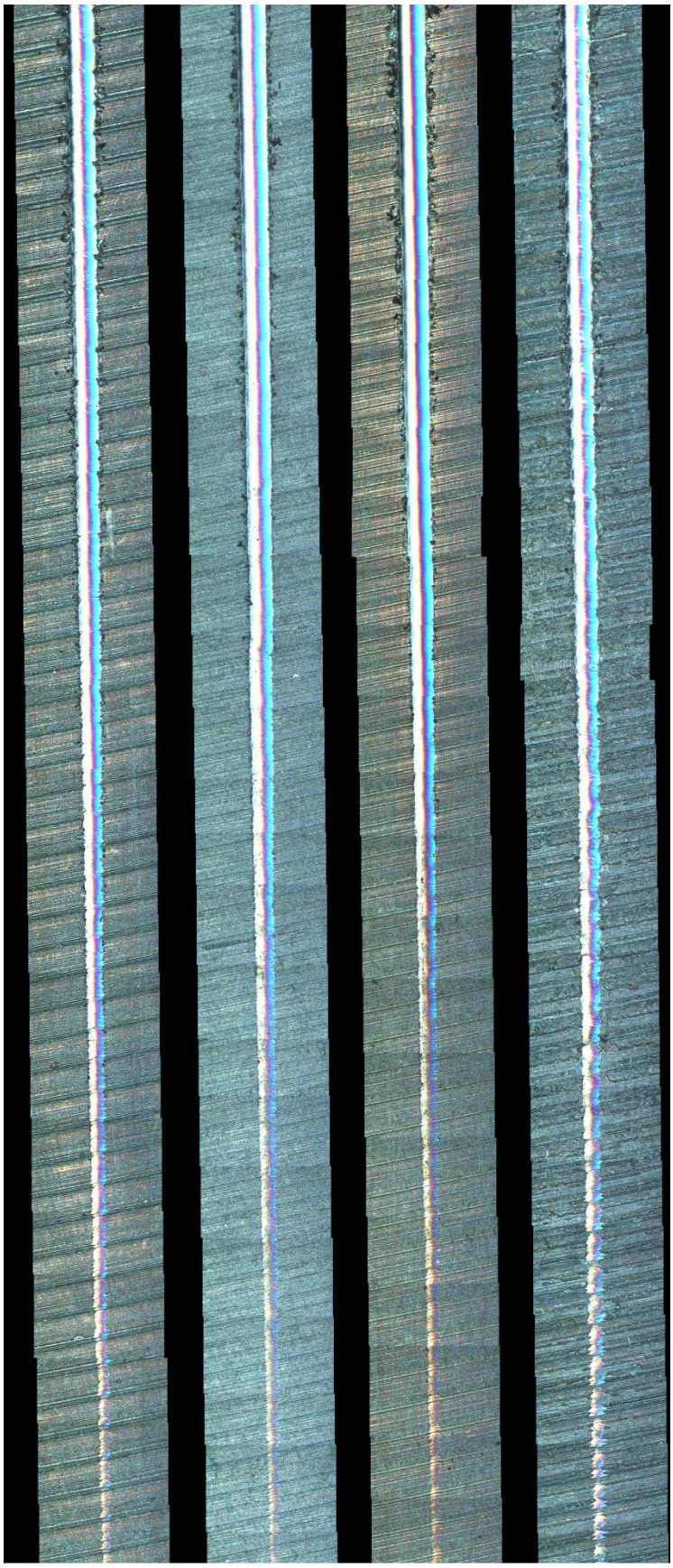
Příloha 11 – Nanoindentační křivky na všech nožích při zatížení 25 g.



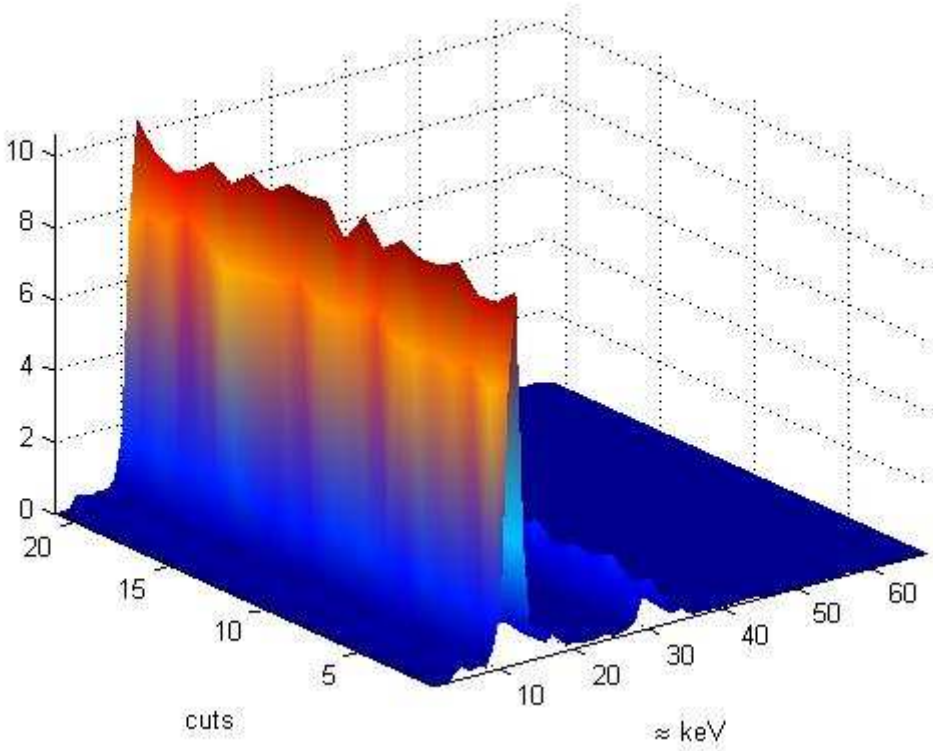
Příloha 12 – Nanoindentační křivky na všech nožích při zatížení 5g.



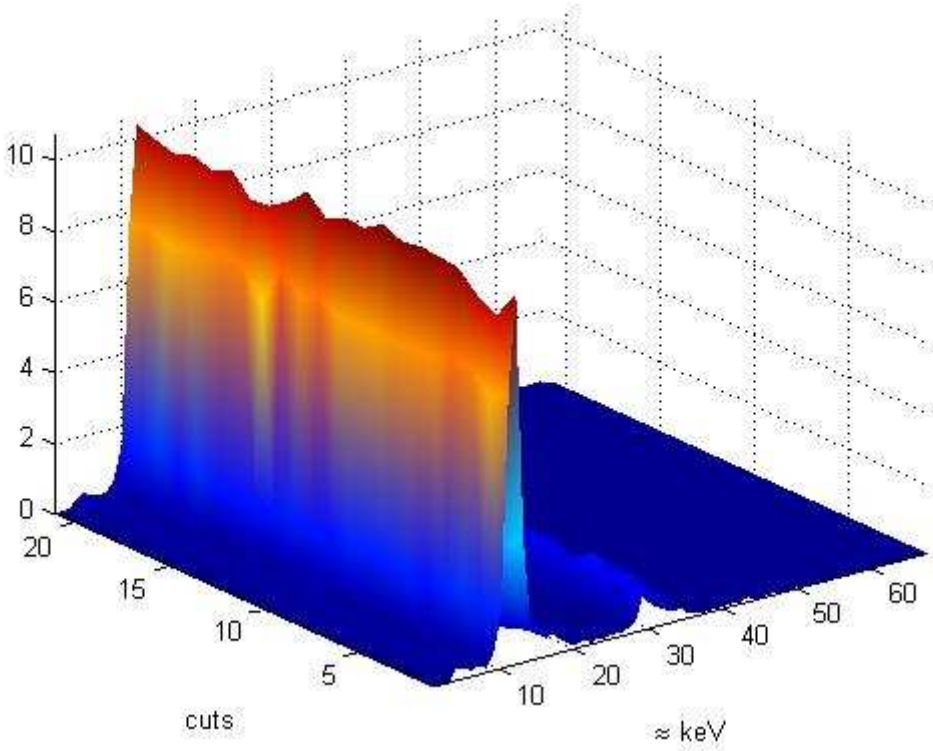
Příloha 13 – Vrypy na noži 30-2 až 30-5 na hřbetu při použití indentoru 0,5.



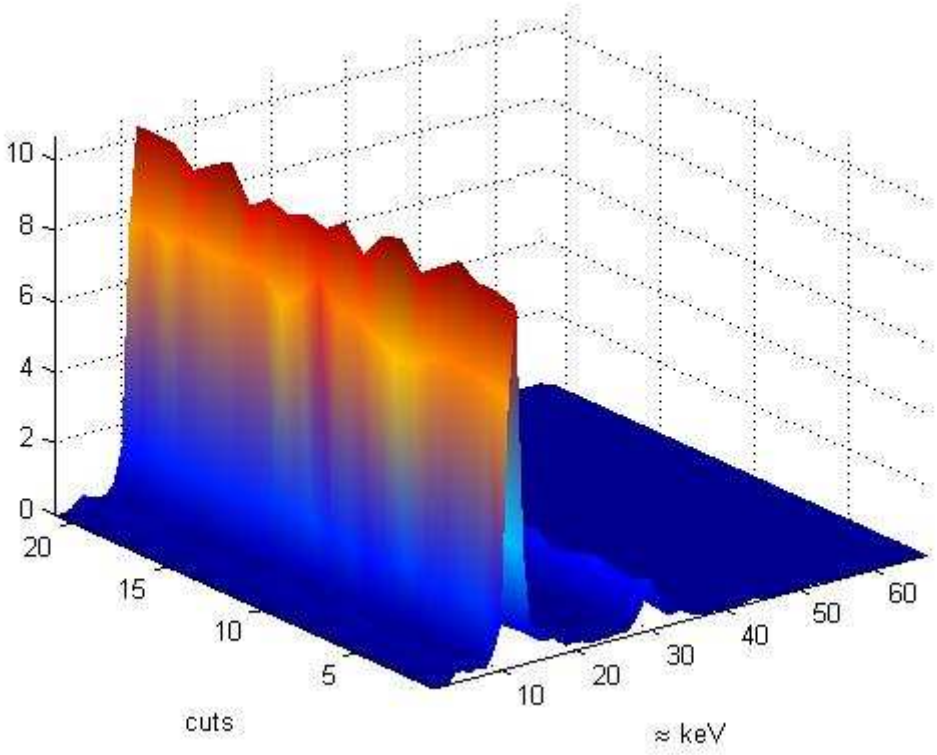
Příloha 14 – Vrypy na noži 30-2 až 30-5 na hřbetu při použití indentoru 0,2.



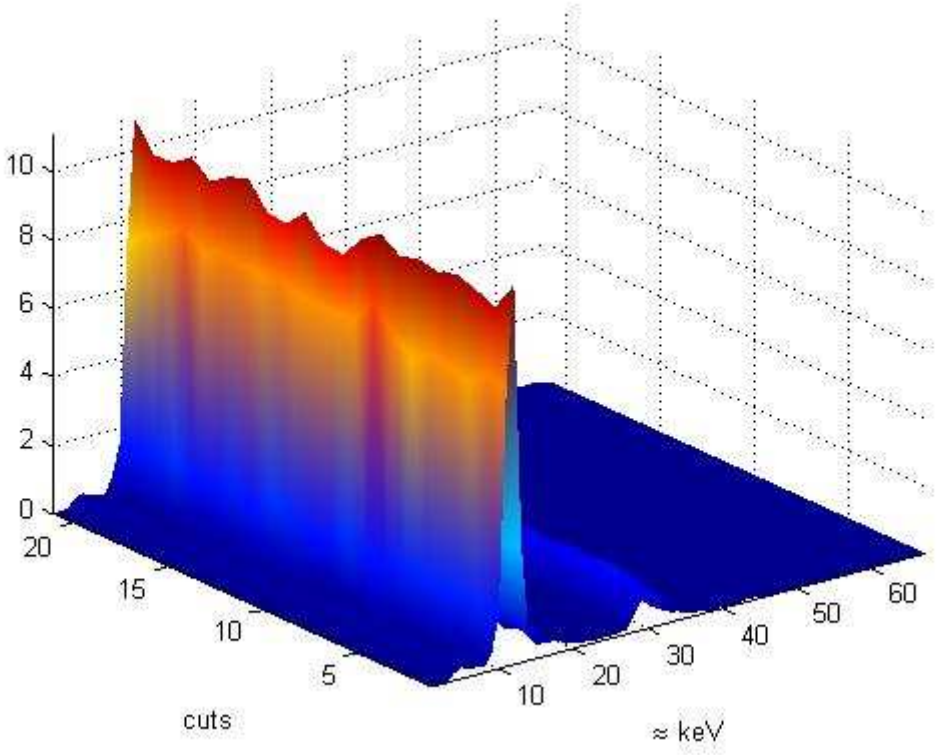
Příloha 15 – Fluorescenční analýza ve vrypu provedeném na čele blízko ostří na noži 30-2.



Příloha 16 – Fluorescenční analýza ve vrypu provedeném na čele blízko ostří na noži 30-3.



Příloha 17 - Fluorescenční analýza ve vrypu provedeném na čele blízko ostří na noži 30-4.



Příloha 18 - analýza ve vrypu provedeném na čele blízko ostří na noži 30-5.