

Zkoušky frezovacích nástrojů vyráběných práškovou metalurgií

Bc. Petr Kolder

Bakalářská práce
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

nascannované zadání s. 1

nascannované zadání s. 2

ABSTRAKT

Práce má za úkol porovnat frézy z produkce ZPS-FN a.s. Zlín. Jedná se o frézy vyráběné z HSS Co8, ASP2030 povlakované a nepovlakované. Zkoušky byly provedeny obráběcí frézovací operací a adhezívním opotřebením. V práci je provedena i stručná analýza vývoje materiálu nástrojů, tribologická teorie, úvod do základu vysokorychlostního frézování HSC a povlakování nástrojů. Na závěr stručná kvalitativní a ekonomická analýza použitých nástrojů.

Klíčová slova: Materiály nástrojů, tribologická teorie, HSC obrábění, frézování, povlakování nástrojů, PVD, CVD

ABSTRACT

This study, has the objective, compare coarse-milling cutter from production ZPS-FN a. s. Zlín. This milling cutter are produce of HCC Co8, ASP 2030 coatings and non-coatings. The examinations were carry out shaping milling cuttering operation.

In this study is also introdukce the brief analysis of the development materiál of the tools, tribologition theory, the introduction to the basis of top gear milling cuttering HCS and coatings of tools. In the en dis the brief quality and economic analysis of the usány tools.

Keywords: the materiále of tools, tribologition theory, HSC shaping, milling cuttering, coatings of tools.

Poděkování

Poděkování v první řadě patří Doc. Ing. Imrichu Lukovicsovi CSc., jakožto vedoucímu diplomové práce za vedení a neocenitelné rady v oblasti frézování a Ing. Petru Macho, který jako projektový manager ZPS-FN a.s. zajistil prostředky a odbornou pomoc při frézovacích zkouškách. Za pomoc při frézovacích zkouškách Ing. Jiřímu Šálkovi, za pomoc při studiu problematiky povlakování, zapůjčení odborné literatury a ochoty spolupracovat na projektu Ing. Jozefu Sondorovi z povlakovacího centra Platit firmy LISS a.s.. Poděkování patří také Dis. Robertu Dvořákovi za poskytnutí literatury zabírající se problematikou obrábění, Ing. Petr Měříčkovi vedoucímu divize tepelného zpracování ZPS-FN a.s.. A samozřejmě všem lidem, kteří svými postřehy a radami přispěli svým dílem k práci.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 VÝVOJ MATERIÁLU ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ	11
1.1 SOUČASNÁ PALETA ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ	11
1.2 CHARAKTERISTIKA NĚKTERÝCH MATERIÁLŮ	13
1.2.1 Nástrojové materiály	13
1.2.2 Slinuté karbidy	13
1.2.3 Keramické řezné materiály	14
1.2.4 Technické diamanty	15
1.2.5 Polykrystalický kubický nitrid bóru.....	15
1.2.6 Kompozitní nástrojové materiály	16
1.3 NOVÉ POŽADAVKY A TRENDY	16
2 FRÉZOVÁNÍ – VYSOKORYCHLOSTNÍ FRÉZOVÁNÍ	18
2.1 FRÉZOVÁNÍ	18
2.2 CHARAKTERISTIKA VYSOKORYCHLOSTNÍHO FRÉZOVÁNÍ	19
2.3 STANOVENÍ OPTIMÁLNÍCH ŘEZNÝCH PODMÍNEK.....	24
2.4 UPNUTÍ NÁSTROJE	26
2.5 SHRNUTÍ PŘEDNOSTÍ VYSOKORYCHLOSTNÍHO FRÉZOVÁNÍ	27
3 OPOTŘEBENÍ A TRVANLIVOST ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ	29
3.1 ZÁKLADNÍ DRUHY OPOTŘEBENÍ SOUČÁSTEK	29
3.2 OPOTŘEBENÍ NÁSTROJŮ.....	30
3.3 VNĚJŠÍ PROJEVY OPOTŘEBENÍ.....	32
3.4 KRITÉRIUM OTUPENÍ	38
3.5 TRVANLIVOST NÁSTROJE.....	40
3.5.1 Hlavní činitele působící na trvanlivost nástroje.....	40
3.5.2 Metody zjišťování trvanlivosti.....	42
4 POVLAKOVÁNÍ	44
4.1 SYSTÉM TENKÝCH VRSTEV	45
4.2 DEPOZICE TENKÝCH VRSTEV	46
4.3 METODY DEPOZICE TENKÝCH VRSTEV	47
4.4 CHEMICKÉ METODY DEPOZICE VRSTEV (CVD)	48
4.4.1 Metody CVD	49
4.5 FYZIKÁLNÍ METODY DEPOZICE VRSTEV PVD	51
4.5.1 Metody PVD	51
4.5.2 Rozdíl mezi PVD a CVD	54

4.6	POŽADOVANÉ VLASTNOSTI TENKÝCH VRSTEV V APLIKACI NA ŘEZNÝCH NÁSTROJÍCH.....	54
4.6.1	Hodnocení tenkých vrstev.....	56
4.6.2	Opakovaná depozice.....	57
4.6.3	Přehled vybraných povlaků.....	57
5	PROJEKTOVÍ PARTNEŘI.....	60
5.1	ZPS-FN A.S.....	60
5.1.1	ZPS-FN divize Frézy.....	60
5.2	Liss61	
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	62
6	CÍL PRÁCE.....	63
7	EXPERIMENTÁLNÍ FRÉZA.....	64
7.1	CHARAKTERISTIKA NÁSTROJE.....	65
8	MATERIÁL FRÉZ.....	67
8.1	MATERIÁL HSS Co8 (BÖHLER S500).....	67
8.2	MATERIÁL HSSE-PM (ASP 2030).....	68
8.3	CHARAKTERISTIKA POUŽITÉHO POVLAKU ALTiN.....	71
9	OBECNÝ POPIS TESTŮ, METODIKY MĚŘENÍ A ANALÝZY MĚŘENÝCH HODNOT U ZKOUŠEK FRÉZOVÁNÍM.....	72
9.1	MATERIÁL OBROBKU.....	72
9.2	OBRÁBĚCÍ STROJ.....	72
9.2.1	Upnutí řezných nástrojů.....	73
9.3	ŘEZNÉ PODMÍNKY PRO FRÉZY.....	73
9.4	KRITÉRIUM TRVANLIVOSTI.....	75
9.5	CHARAKTERISTIKA VYHODNOCOVACÍCH MIKROSKOPŮ.....	76
10	ZKOUŠKA ČELNÍM FRÉZOVÁNÍM.....	78
10.1	PRVNÍ TEST.....	78
10.1.1	Házivost.....	79
10.2	DRUHÝ TEST.....	79
10.3	TŘETÍ TEST.....	81
10.4	TEST NÁSTROJŮ S POVLAKEM 2006.....	83
10.5	GRAFY VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK FRÉZOVÁNÍM.....	85
10.6	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	92
11	ZKOUŠKA TŘECÍM OPOTŘEBENÍM.....	94
11.1	POPIS TŘECÍ ZKOUŠKY.....	94
11.1.1	Stroj pro třecí zkoušku.....	95
11.1.2	Nastavení podmínek pro třecí zkoušku.....	95

11.2	VYHODNOCOVÁNÍ TŘECÍCH ZKOUŠEK	95
11.3	VLASTNÍ TŘECÍ ZKOUŠKY	96
	ZÁVĚR.....	101
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	103
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	107
	SEZNAM OBRÁZKŮ	108
	SEZNAM TABULEK.....	111
	SEZNAM PŘÍLOH.....	112

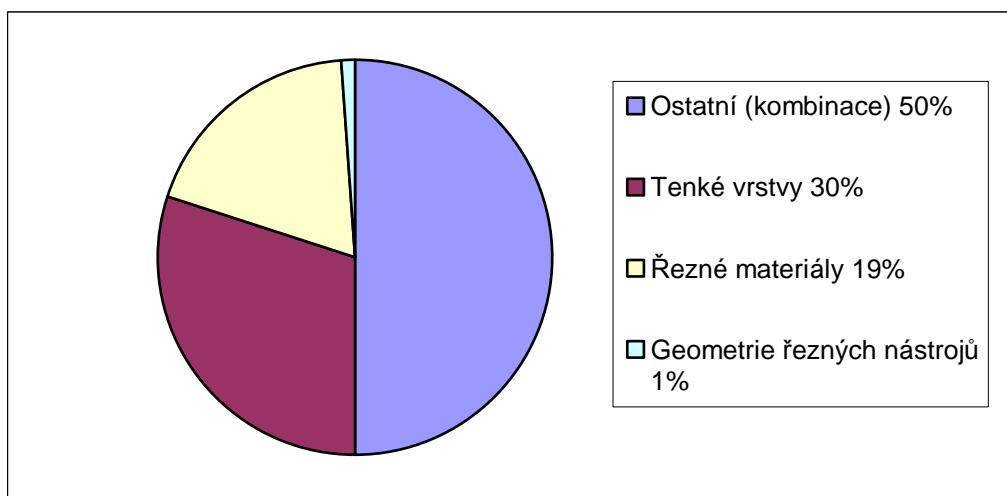
ÚVOD

STROJÍRENSTVÍ V ČESKÉ REPUBLICE

V historickém i současném kontextu má v naší republice strojírenství pořád nezapustitelnou úlohu, která se pořád umocňuje dalším rozvojem automobilového průmyslu. Na který navazují oblasti plastikářského průmyslu a průmyslu zabývajícího se výrobou různých komponentů. A právě zde se neobejdeme bez kvalitních obráběcích technologií a nástrojů, jejímž úkolem je zkrátit dobu výrobního procesu a tím zefektivnit výrobu, stát se konkurenceschopným na trhu, kde faktor času rozhoduje. A právě zde lze vidět rozdíly dané vědeckým, technickým, technologickým a hospodářským rozvojem nejvyspělejších států (firem) a ostatních.

V oblasti řezných nástrojů dochází v posledním desetiletí k nástupu vysokorychlostního frézování a nových materiálů například vysoce legovaných materiálů vyráběných práškovou metalurgií, nekovové řezné materiály např. polykrystalický nitrid bóru, keramiky a jiných. Další oblastí jsou povrchové úpravy: nanášení tenkých vrstev - povlakování, nitridování, jejímž účelem je snížení intenzity opotřebení nástroje a z toho vyplývající zvýšení trvanlivosti nástroje a zvýšení technologických parametrů - řezné rychlosti, posuvy, hloubka řezu, kvalita povrchu, odolávání vyšším teplotám atd. Nezanedbatelnou výhodou je úspora deficitních kovů která je ekonomicky zajímavá.

Tématem práce je hodnocení frézovacích řezných nástrojů vyráběných rozdílnými technologiemi, z rozdílných materiálů a jinak povrchově ošetřených.



Obr. 1. Vývoj v oblastech řezných nástrojů (podíl přihlášených patentů) [12].

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VÝVOJ MATERIÁLU ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ

Břit je nejdůležitější částí rezného nástroje. Závisí na něm průběh vlastního procesu obrábění, produktivita, hospodárnost obrábění. Je proto nutné věnovat volbě materiálu břítu nástroje náležitou pozornost.

Vývoj rezných materiálů prošel v 20.století prudkým vývojem, který přinesl do dnešních dnů poměrně širokou škálu různých rezných materiálů. Tento vývoj způsobily tři určující podmínky a to: různé podmínky při rezném procesu, logická potřeba maximální produktivity práce, a technologie vysokorychlostního obrábění.

Různé podmínky při rezném procesu vyvolaly potřebu širokého sortimentu rezných materiálů s různými chemicko-fyzikálními, technologickými a mechanickými vlastnosti.

1.1 Současná paleta rezných materiálů

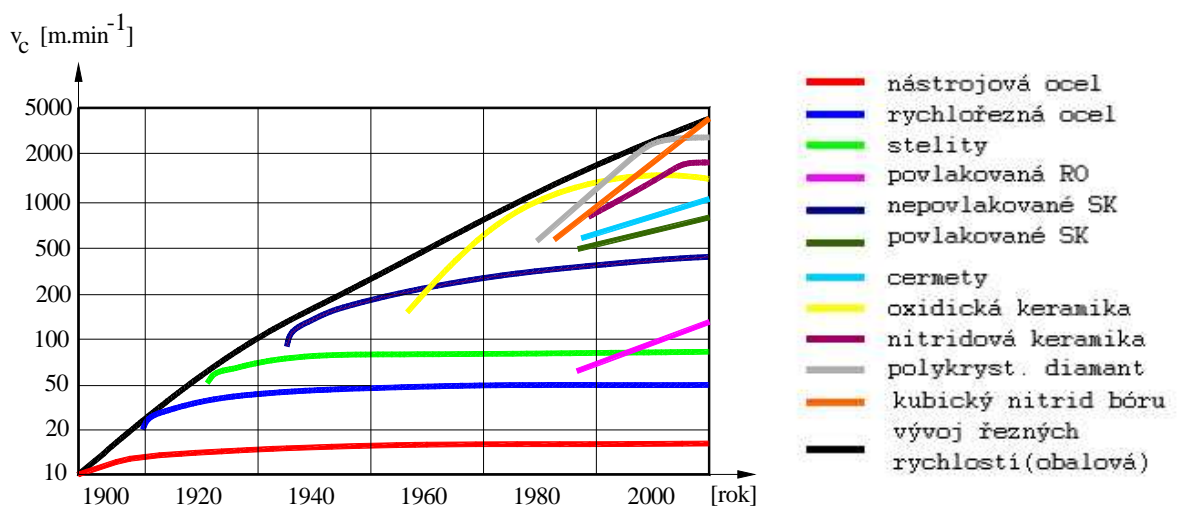
- Nástrojové materiály
 - nelegované
 - legované
 - rychlořezné oceli a slinuté rychlořezné oceli
 - na lité nástroje
- Slinuté karbidy (SK)
- Keramické materiály
- Technické diamanty
- Kubický nitrid bóru (KNB)
- Kompozitní rezné materiály na bázi diamantu a KNB
- Polykrystalické rezné materiály, vyráběné na bázi diamantu a KNB spékáním zrn při vysokých teplotách a tlacích
- Samostatnou skupinou by se daly nazvat povlakované rezné materiály

Použití rezného materiálu je vždy závislé na obráběcí operaci, daných podmínkách a požadované efektivnosti. Další vývoj v oblasti rezných materiálů směřuje k novým typům konstrukčních materiálů jako jsou Al a jeho slitiny, Ti a jeho slitiny atd., jejichž aplikací se vytváří efektivní podmínky pro obrábění. Tyto materiály doplňují a překrývají vlastnosti

již tak široké palety řezných materiálů, tím stoupá význam správné volby materiálu a tím jeho celková efektivita v řezném procesu. Nevyhnutelným předpokladem správné volby řezného materiálu je dokonalá znalost vztahu řezivosti k takovým faktorům, vstupujícím do procesu obrábění, jako např. obrobitelnost materiálu součástky, charakter operace, geometrické parametry řezné části, tuhost technologické soustavy a pod. Velmi důležitý je vztah obrobitelnost – řezivost. I když tyto dva pojmy stojí navzájem proti sobě úzce spolu souvisí. Můžeme říct, že obrobitelnost materiálu hodnotíme prostřednictvím vlastností materiálu řezné části nástroje, s její přesně definovanou geometrií, označovaných termínem řezivost (platí taky naopak, prostřednictvím obrobitelnosti hodnotíme řezivost). Potom, zdokonalováním řezivosti nástrojových materiálů, získávají příznivější hodnoty i parametry, kterými hodnotíme obrobitelnost materiálu (Q_A , Q_V , případně Q_P).

Zvyšování produktivity obrábění je možné dosáhnout cestou zvyšování úběru materiálu za časovou jednotku, který je možné dosáhnout jen cestou zvyšování řezných parametrů – řezné rychlosti, posuvu, hloubky řezu. Obráběcí operace, které začátkem 20. století vyžadovaly např. 100 minut, trvají dnes při používání nejnovějších řezných materiálů, několik minut nebo dokonce vteřin, což představuje mohutný posun z hlediska zkrácení výrobních časů [6].

Nezanedbatelným argumentem při zvyšování řezných parametrů u řezných nástrojů je i nástup CNC vysokorychlostních obráběcích center (viz. kapitola 3).



Obr. 2. Vývoj řezných rychlostí a nových řezných materiálů v 20. století [21].

1.2 Charakteristika některých materiálů

1.2.1 Nástrojové materiály

Na řezné nástroje se používají oceli nelegované, nízkolegované nebo vysokolegované (rychlořezné). Nelegované oceli si zachovávají řezivost do teploty břitu asi 250° C, nízkolegované do teploty asi 350° C. Pokud je tepelné namáhání břitu větší, je nutno použít oceli rychlořezné, které snášejí krátkodobě teplotu 600 až 650° C. Jejich odolnost proti popuštění (teplotní stálost) závisí na obsahu legovacích prvků zpomalujících rozpad martenzitu při jeho ohřevu. U rychlořezných ocelí se využívá vlivu wolframu, molybdenu, vanadu a především kobaltu.

Když byla zvládnuta výroba slinutých karbidů (hlavně povlakovaných), zdálo se že rychlořezné oceli (RO) budou postupně vytlačeny. Zkušenosti však ukázaly, že křehké slinuté karbidy (SK) mohou nahradit rychlořezné oceli pouze v některých případech [10].

Řezivost, teplotní stálost a mechanické vlastnosti získávají rychlořezné oceli kalením a popouštěním. Ke zlepšení obrobiteľnosti se před obráběním žíhají naměkko.

Řezivost rychlořezných ocelí stoupá při zvyšování obsahu uhlíku a vanadu. Současně se zhoršuje tvářitelnost, obrobiteľnost, obrusitelnost a zvyšuje se karbidická řádkovitost. Zejména při zvýšení obsahu vanadu nad 4% je již tvářitelnost obtížná. Tyto oceli je proto nutné zpracovávat buď slinováním (slinuté rychlořezné oceli) nebo metodou přesného lití [17].

1.2.2 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy (dále jen SK) jsou nástrojové materiály vyráběné práškovou metalurgií z karbidů těžkých kovů: karbidu wolframu (WC), karbidu titanu (TiC), karbidu tantalu (TaC) a nízkotavitelného slinutého kobaltu.

Nejsou slitinou, ale směsí dvou i více fází. Dodatečné tepelné zpracování není možné. Protože jsou velmi tvrdé, dají se tvarově a rozměrově upravovat jen omezeně pouze broušením, elektroerozivním obráběním a lapováním.

Množstvím jednotlivých složek při výrobě SK lze ovlivňovat jejich tvrdost, houževnatost a odolnost proti otěru. Při znalosti vlastností jednotlivých složek se může využít možností jednotlivých typů SK.

Karbid wolframu

- zaručuje tvrdost za vysoké teploty,
- odolnost proti opotřebení a
- chemickou stálost.

Karbid titanu

- zvyšuje tvrdost a chemickou stálost za vyšších teplot,
- snižuje však pevnost SK v ohybu a zvyšuje jejich křehkost,
- zhoršuje tepelnou vodivost a zvětšuje tepelnou roztažnost SK.

Karbid tantalu má účinky kvalitativně podobné jako karbid titanu. Navíc znemožňuje strukturu SK.

Kobalt, jako nekarbidotvorný prvek vytváří síťové pojivo mezi zrny karbidů. Protože jsou karbidy wolframu při slinování v kobaltu rozpustné, vytváří kobalt proti jiným kovům pojivo značně houževnaté a je nositelem pevnosti SK v ohybu. Zvyšováním obsahu kobaltu SK roste tažnost a pevnost, avšak klesá jejich tvrdost.

1.2.3 Keramické řezné materiály

Keramické řezné materiály (dále jen KM) jsou dalším druhem tvrdých řezných materiálů. Pro jejich výrobu je výchozí surovinou levný a snadno dostupný oxid hlinitý (Al_2O_3). Vyrábějí se práškovou metalurgií, slinováním lisovaných prášku do tvaru řezných destiček. Mají velmi malou pevnost v ohybu, a nejsou proto vhodné k obrábění přerušovaným řezem a k obrábění s většími průřezy třísek. V porovnání se SK jsou při stejné tvrdosti podstatně odolnější proti otěru. Jejich použití je možné při teplotách řezání až 1 200 °C. Pořizovací cena KM je v porovnání s cenou SK zanedbatelná. Po otupení všech řezných hran (6 až 8) se již neostří a dále nepoužívají.

KM se rozděluje do tří skupin:

1. Čisté oxidy. Je to téměř čistý oxid hlinitý (Al_2O_3) s malým obsahem mineralizátorů (asi 3 % hořčičných sloučenin) snižujících teplotu slinování.

2. Cermety. Kromě oxidu hlinitého obsahují až 40 % čistých kovů (Ni, Mo, Cr). Cermety vykazují proti čistým oxidům poněkud větší houževnatost i tvrdost.
3. Karbidové oxidy. Základní látkou je oxid hlinitý (Al_2O_3) nebo oxid hořečnatý (MgO) a až 50 % karbidů kovů (TiC, Mo_2C , WC), případně dalších oxidů (např. ZrO_2), a nitridů (např. Si_3N_4). Mají rovněž vyšší houževnatost než čisté oxidy a mimořádně jemnou strukturu a odolnost proti opotřeбенí [5].

1.2.4 Technické diamanty

Diamant je čistý uhlík se stopami příměsí, které určují jeho fyzikální vlastnosti a zabarvení. Uspořádání atomů v krystalické mřížce patří do kubické (krychlové) soustavy s osmnácti atomy. Diamant je nejtvrďší minerál a nelze jej nahradit ani keramickými řeznými materiály, ani SK. Technické diamanty jsou buď přírodní (nehodící se ve šperkařství), nebo syntetické, uměle vyrobené. Syntetické diamanty jsou oproti přírodním levnější a vykazují lepší mechanické vlastnosti tím, že mají ve všech osách stejnou pevnost. Jejich nevýhodou jsou relativně malé krystaly, nevhodné pro mechanické upínání. Tato nevýhoda byla odstraněna výrobou tzv. kompakťů. Práškovou metalurgií je nanášena vrstva syntetického polykrystalického diamantu o tloušťce až 1 mm na podložku z houževnatého slinutého karbidu, čímž vzniká kompakť; ten se pájí na řeznou část nástroje nebo je částí vyměnitelné břitové destičky.

Jako řezný materiál se diamant používá pro jednoduché jednobřítové nástroje (nože) k jemnému obrábění s nepřerušovaným řezem. Je vhodný k obrábění měkkých a houževnatých materiálů, neželezných kovů a jejich slitin, tvrzené pryže, plastů, lepenky a všech materiálů s malou tepelnou vodivostí. Obráběný materiál musí být homogenní, jinak při každém přerušení řezu nebo změně průřezu třísky může dojít k poškození diamantu. Velká citlivost diamantu na otřesy vyžaduje obráběcí stroje s klidným chodem a speciálními upínacími držáky nástrojů [5].

1.2.5 Polykrystalický kubický nitrid bóru

Polykrystalický kubický nitrid bóru (KNB) patří mezi nekovové řezné materiály. Jeho aplikace vychází z principu obrábění při samoindukčním vzniku tepla. Řezný ma-

terál je obvykle používán pro hrubovací obrábění tvrdých slitin, nebo kalených ocelí tvrdostí 45 až 66 HRC. Při obrábění velkou řeznou rychlostí ve spojení s velkými úběry materiálu dochází vlivem vysokých teplot k plynulému obrábění. Ovlivňování okrajových částí pod povrchem obrobku nedochází, neboť největší část tepla se odvádí třískou a nástroj zůstává chladný [8].

1.2.6 Kompozitní nástrojové materiály

V poslední době se na trhu objevují velmi často kompozitní nástrojové materiály vyráběné práškovou metalurgií. Tyto materiály se skládají z tvrdé složky – např. karbidu titanu TiC, uložené v pojivu z nástrojové oceli, austenické oceli, slitiny na bázi niklu a martenziticky vytvrditelné oceli podle účelu použití. Výsledný nástrojový materiál v sobě spojuje vlastnosti tvrdokovu a oceli-pojiva. Tyto materiály lze pomocí chemického složení velmi modifikovat a tak získávat širokou škálu vlastností [18].

1.3 Nové požadavky a trendy

Co se týče budoucího stavu řezných materiálů, lze uvažovat takto: V důsledku rozvoje moderních obráběcích technologií HSM, HFM či MQL jsou řezné nástroje namáhány vyššími napětími, což si vyžaduje aplikaci řezných materiálů o vysoké tvrdosti, houževnatosti a chemické stálosti, které nelze z fyzikálních příčin zajistit. Tomuto ideálu se dnes nejvíce blíží jemnozrnné substráty slinutých karbidů, u kterých se díky vyšší ploše hranic zrn zvyšuje podíl kobaltového pojiva na 6 až 16 % [27]. Tyto substráty jsou i nadále pokrývány otěruvzdornými CVD a PVD povlaky, v řadě případů strukturně nebo funkčně gradientními, které je možno dále optimalizovat podle konkrétního použití. Přestože tyto povlaky přejímají řezivostní vlastnosti nástroje, mnohem větší úsilí bude nutno zaměřit na technologii výbrusu substrátů a kvantifikaci kvality rozhraní, ovlivňující jejich adhezi k substrátu.

Trend vývoje – požadavek na moderní nástroje s progresivními vrstvami:

- Větší trvanlivost nástroje (využití v hromadné výrobě, automaty),
- Obrobený povrch s vyšší kvalitou (lepší povrch při stejné ceně – vyšší kvalita),

- Obrábění s minimálním množstvím procesní kapaliny (ekologie, cena, starosti s recyklací a skladováním),
- Reprodukovatelnost výsledků alespoň z 80%,
- Odstranění „starých“ vrstev z nástrojů SK bez nutnosti následného přestření.

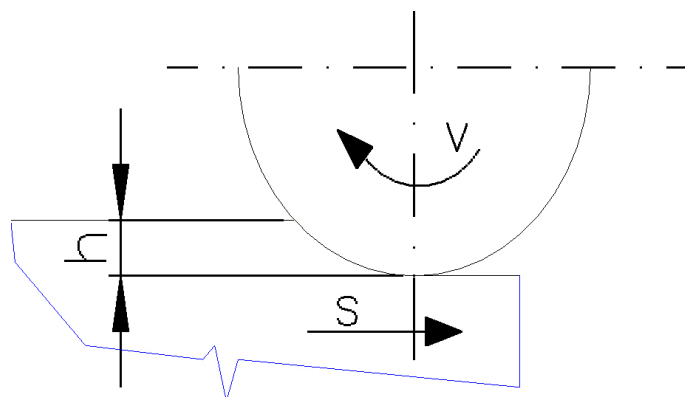
2 FRÉZOVÁNÍ – VYSOKORYCHLOSTNÍ FRÉZOVÁNÍ

Strojírenství je nyní charakterizováno neustále rostoucími požadavky na složitost výrobků, tvarovou a rozměrovou přesnost a integritu povrchu, hlavně funkčních ploch obráběného dílu, zavádění nových konstrukčních materiálů s nižší měrnou hmotností a vysokou pevností, titanových slitin, speciálních vrstvených hmot, polotovarů vyráběných práškovou metalurgií.

Pro frézování jsou charakteristické aplikace nových směrů a postupů, které mají za úkol zvyšování jakosti výrobků, zkracování výrobních cyklů, jejich mechanizaci, automatizaci a zavádění přesných technologií. Úběr materiálů dosahovaný řeznými nástroji dnes dosahuje až $1500 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ pro řadu technických materiálů, při řezných rychlostech do $8000 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ [27].

2.1 Frézování

Frézování je metoda strojního obrábění rovinných i tvarových ploch na nerotačních obrobcích, u které vícebřítý nástroj – fréza koná hlavní pohyb (v) rotační. Vedlejší pohyby – posuv (s) a hloubka záběru (h) jsou nejčastěji přímočaré, kolmé nebo rovnoběžné s osou hlavního pohybu a koná je převážně obrobek.



Obr. 3. Jednoduché schéma frézování.

Frézování je po soustružení nejpoužívanější metoda obrábění, při které každý břit – zub víceklínového nástroje odebírá třísku. Nástroj – fréza vykonává hlavní pohyb, vedlejší pohyb – posuv zpravidla vykonává obrobek. Úběr materiálu při frézování je přerušovaný, řezný klín po vyjetí ze záběru se ochlazuje až do nového záběru. Frézováním se vyrábí

rovinné a tvarové přímkové plochy. Podle způsobu záběru frézy do materiálu obrobku rozeznáváme frézování válcové, čelní a okružovací [6].

Při válcovém frézování se odebírá z obrobku třísky břity uspořádanými po obvodě frézy. Směr posuvu je kolmý k ose frézy. Výsledný řezný pohyb, tj. dráha břitu nástroje vzhledem k obrobku, je prodloužená cykloida, vytvořená otáčivým pohybem břitu nástroje a podélným, přímočarým pohybem obrobku. Podle směru posuvu obrobku vzhledem k směru otáčení frézy rozeznáváme frézování sousledné a nesousledné a podle toho se mění i průřez odebírané třísky od maxima do nuly nebo od nuly do maxima. Při sousledném frézování směr posuvu obrobku a směru otáčení frézy je shodný a průřez odebírané třísky je od maxima do nuly. Sousledné frézování je výkonnější, vzniká hladší povrch, problém je s drnčením při větším odběru třísky. Nesousledné frézování má opačný směr posuvu obrobku a směru otáčení frézy, průřez odebírané třísky je od nuly do maxima. Při nesousledném frézování zabírají zuby do měkkého materiálu, vhodné například při obrábění odlitků.

Při čelním frézování je osa frézy kolmá k frézované ploše, z níž se oddělují třísky břity na čele. Může však fréza (stopková) oddělovat i třísky břity na obvodu, případně jen na obvodu. Pak je opracovávaná plocha rovnoběžná s osou frézy a podle jejího tvaru to může být buď plocha rovinná nebo tvarová [6].

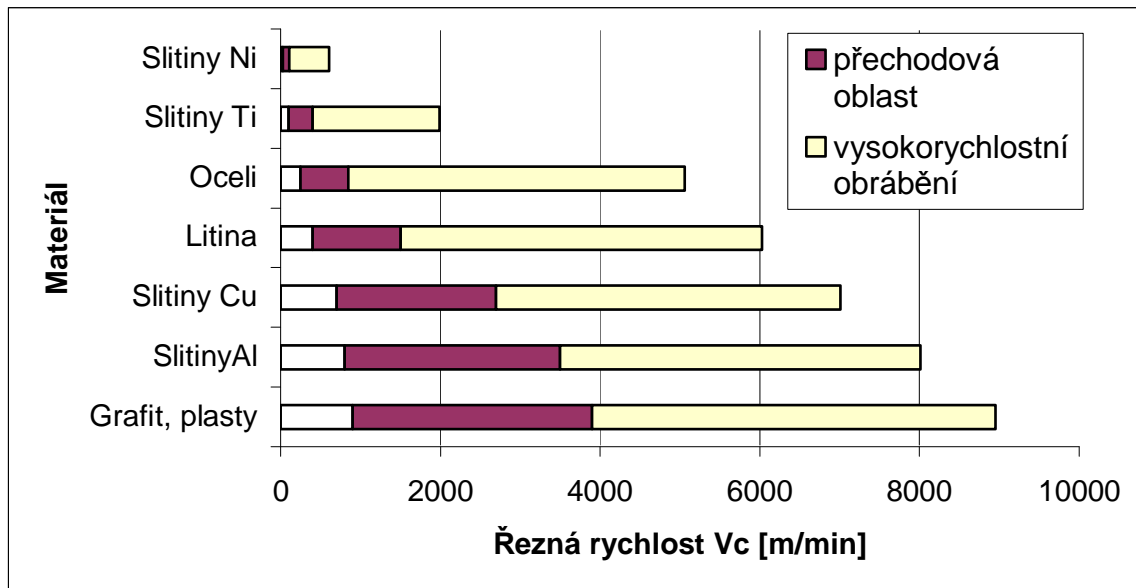
2.2 Charakteristika vysokorychlostního frézování

Úvodem bych chtěl zdůraznit že vývoj a další rozvoj vysokorychlostního frézování je umožněn hlavně aplikací super tvrdých řezných materiálů a nanášením povlaků. Tyto materiály si udržují svou stabilní tvrdost až do 2000°C, mají výbornou odolnost proti tepelným šokům a vysokou odolnost proti mechanickému opotřebení.

Hlavní rozdíly mezi rychlostním (HSC- High speed Cutting) a konvekčním obráběním se výrazně projevují v mechanismu tvorby třísky. Oddělování třísky je velmi složitým procesem, jehož průběh závisí na mnoha činitelích, zejména na fyzikálních vlastnostech obráběného materiálu a jejich závislosti na podmínkách plastické deformace. Obecně platí, že při zvyšující se řezné rychlosti se oblast plastické deformace v zóně tvorby třísky zužuje a ke vzniku třísky dochází plastickým skluzem v jediné rovině, tzv. střížné rovině.

Přesnější specifikace pojmu rychlostní obrábění chybí, na mysli mám rozsah řezných podmínek pro obrábění určitého materiálu při určitém průřezu třísky. Ve většině lite-

ratury je sice definována pro určité materiály přechodová oblast zvýšených řezných rychlostí a oblast rychlostního obrábění, ale blíže specifikované nejsou.



Obr. 4. Rozmezí řezných podmínek pro rychlostní obrábění [10].

Rozhodující roli by mohla hrát v tomto případě úroveň střední řezné teploty, její závislost na řezné rychlosti v_c při obrábění určitého materiálu určitým průřezem třísky.

2.2.3 Tepelná bilance řezného procesu vysokorychlostního frézování

Ke vzniku tepla při obrábění dochází transformací vynaložené práce. V teplo se přeměňuje veškerá práce vynaložená na řezání s výjimkou práce potřebné na pružné deformace a práce spotřebované na deformaci mřížky kovu a vytvoření nových povrchů. Obecně je možné předpokládat, že cca 90% práce řezání se přemění v teplo.

$$Q_c = F \cdot v_c \quad [\text{J/min}] \quad (1)$$

Q_c - celkové množství tepla vzniklého při odřezávání třísky [J/min],

F - řezná síla [N],

v_c - řezná rychlost [m/min].

Hlavními zdroji tepla při odřezávání třísky jsou primární plastické deformace v oblasti tvoření třísky, tření mezi třískou a čelem, mezi hřbetem a plochou řezu a pružné deformace.

Jestliže vycházíme z rovnice (1), potom teoreticky roste množství tepla vzniklého při oddělování třísky za jednotku času úměrně součinu řezné síly F a řezné rychlosti. Za předpokladu, že hloubka řezu a_p a posuv f jsou konstantní a řezná síla F je nezávislá na řezné rychlosti, měla by vzrůstat střední řezná teplota přibližně lineárně až do dosažení teploty tavení obráběného materiálu, přesněji do dosažení teploty solidu obráběného materiálu. Ve skutečnosti je růst střední řezné teploty zpočátku, tedy při nižších řezných rychlostech, rychlý, blízký teoretickému průběhu, ale s rostoucí řeznou rychlostí se nárůst teploty zpomaluje [14].

Zpomalování nárůstu střední teploty řezání je důsledkem vlivu některých faktorů působících při zvyšování řezné rychlosti, především snížení výchozí pevnosti obráběného materiálu, které je důsledkem účinku vysokých teplot, změny odvodu tepla z místa řezu a přímého účinku řezné rychlosti na velikost primární plastické deformace.

Pochopitelně růst řezné teploty není bez omezení. Jestliže obrábíme určitým nástrojovým materiálem, může růst řezná teplota až do meze tepelné stability nástroje. Této meze se dosáhne při určité kritické řezné rychlosti $v_{c \text{ krit-teor}}$. Teoretická kritická řezná rychlost je menší než skutečná kritická řezná rychlost $v_{c \text{ krit-skut}}$.

Rozdíl charakterizuje účinek rychlostního faktoru. Efekt rychlostního obrábění bude tím větší, čím více se řezná teplota přiblíží teplotě tavení obráběného materiálu [14].

Snížení pevnosti materiálu zpevněného v oblasti primární plastické deformace

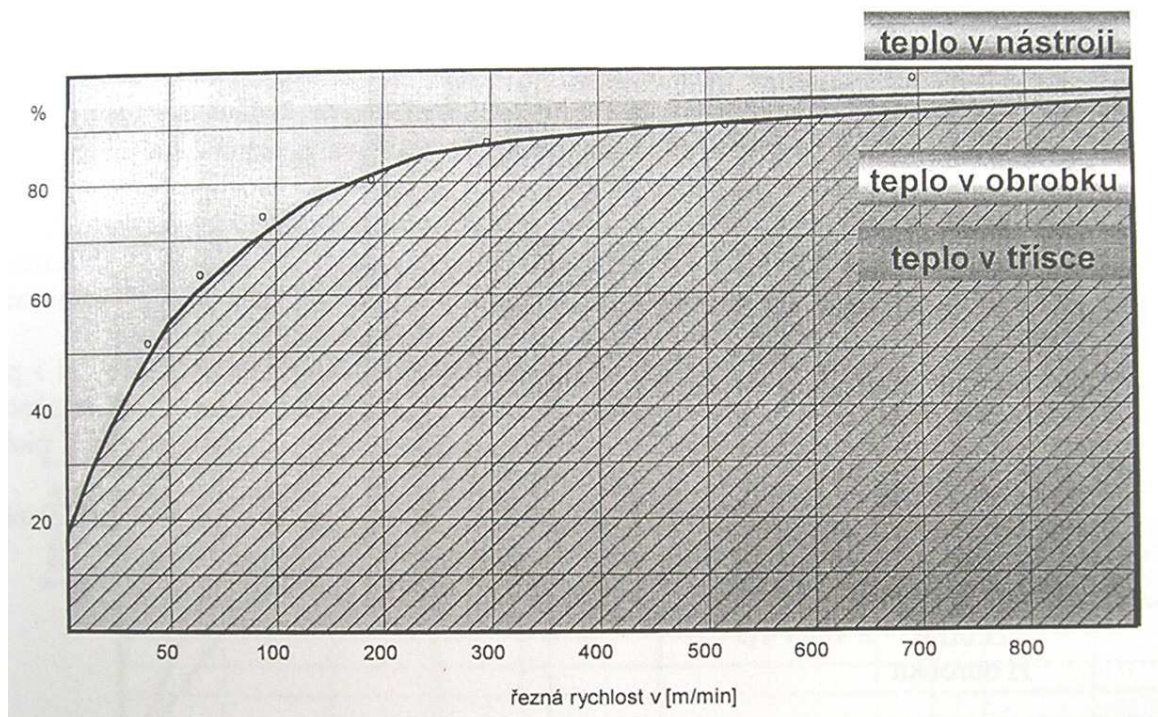
S růstem řezné rychlosti roste i množství tepla generovaného v oblasti primární plastické deformace (v oblasti smykové roviny), a proto roste i teplota v této oblasti. Počínaje určitou řeznou rychlostí dochází k „opevnění“ materiálu zpevněného při průchodu oblasti smykové roviny. Tím se zpomalí nárůst střední teploty řezání. Účinek opevnění se prakticky projevuje například při obrábění ocelí zušlechťených s vysokou tvrdostí ($HRC \approx 58 < 65$) nástrojem PCBN. Příznivě se projevuje opevnění rovněž při obrábění žáruvzdorných austenitických ocelí řeznými rychlostmi $v_c > 100 \div 250 \text{ m/min}$ [14].

Použití vysokých řezných rychlostí vede však pouze ke zpomalení růstu řezných teplot. Opevňující účinek lze považovat za velmi významný jev zpomalující nárůst střední řezné teploty při růstu řezné rychlosti.

Přímý účinek řezné rychlosti (deformační rychlosti) na velikost plastické deformace. V důsledku rostoucí řezné rychlosti roste přímo úměrně i deformační rychlost v oblasti primární plastické deformace a obráběný materiál se chová jako méně plastický. Tříška je méně pěchována, což má za následek snížení mechanické energie nutné k odřezání třísky. Tento jev se považuje za rozhodující a předpokládá, že účinkem zvýšené deformační rychlosti dojde, s rostoucí řeznou rychlostí po počátečním růstu po dosažení maxima, k poklesu střední řezné teploty, což umožní použití řezných rychlostí $v_c > 1000$ m/min pro běžné „rychlostní obrábění“. Později provedené experimentální práce tento předpoklad vyvrátily a potvrdily růst řezné teploty až do teploty tavení obráběného materiálu. Význam přímého účinku růstu deformační rychlosti na zpomalení nárůstu řezné teploty nelze příliš přeceňovat [14].

Vliv řezné rychlosti na odvod tepla z místa vzniku třísky

S rostoucí řeznou rychlostí vzrůstá podíl tepla vzniklého v oblasti primární plastické deformace, které je odvedeno třískou. Zároveň se zmenšuje podíl tepla odváděného odtud obrobkem a břitem. Schéma rozdělení tepla mezi třísku, břit a obrobek je na obr. 4.



Obr. 5. Rozdělení odváděného tepla v závislosti na řezné rychlosti při obrábění oceli [14].

Z obrázku je zřejmé, že s rostoucí rychlostí se zvětšuje podíl tepla odvedeného třískou, kdežto podíl tepla odvedeného obrobkem a břitem se zmenšuje. Důsledkem použití

vysokých řezných rychlostí je chladnější obrobek, tj. obrobek s menšími tepelnými deformacemi, tedy přesnější, s příznivějším charakterem zbytkových pnutí v obrobeném povrchu.

Převážná část tepla vzniklého při řezání tedy zůstává v třísce. U plastických materiálů odchází v třísce 60 až 90 % celkového množství tepla Q_c . U litiny odchází v třísce 35 až 60 % celkového množství tepla. Podíl tepla odvedeného nástrojem je v rozmezí 0,5 až 30 % podle vlastností obráběného materiálu a řezných podmínek. Do obrobku přejde 5 až 50 % veškerého tepla vzniklého při obrábění. Část tepla se odvede do okolní atmosféry.

Zvýšení podílu tepla v třísce se vzrůstem řezné rychlosti při současném poklesu podílu tepla odvedeného břitkem však neznamena, že dochází k poklesu střední řezné teploty, která rozhoduje o intenzitě opotřebení břítu.

Podle rovnice (1) vzrůstá s řeznou rychlostí jednoznačné množství tepla vzniklého v oblasti primární i sekundární plastické deformace, a proto vzrůstá nejen střední teplota kontaktních ploch mezi třískou a čelem a mezi hřbetem a plochou řezu, ale i teplota obráběného materiálu procházejícího smykovou rovinou, a tím i teplota třísky.

Obrábění vysokými řeznými rychlostmi má proto za následek rostoucí tepelné zatížení břítu, i když střední teplota řezání vzrůstá pomaleji, než by odpovídalo nárůstu řezné rychlosti v_c .

Ve svém společném účinku vedou popsané jevy ke zpomalení nárůstu řezné teploty s rostoucí řeznou rychlostí, což umožňuje zvýšení i řezného výkonu zvyšováním řezné rychlosti, ale lépe i zvyšováním posuvu resp. zvyšováním průřezu třísky. Z tohoto hlediska je název „rychlostní obrábění“ zjednodušující, protože konečný cíl zvyšování intenzity úběru materiálu, a tím zkrácení strojních časů se snáze dosáhne zvýšením posuvu nebo ještě lépe hloubky řezu, protože oba tyto parametry ovlivňují nárůst řezné teploty v menší míře než řezná rychlost [14].

2.3 Stanovení optimálních řezných podmínek

Volba optimálního typu nástroje, materiálu geometrie břitové destičky i základních řezných podmínek tj. řezné rychlosti a posuvu pro konkrétní případ obrobku je klíčový problém.

Stanovení optimálních řezných podmínek probíhá ve dvou stupních:

V prvním stupni se provede výběr:

- a) optimálního typu nástroje,
- b) typu a materiálu břitové destičky včetně její geometrie (utvářeč u destiček pro soustružení, úprava ostří eventuelně geometrie čela u destiček pro frézování).

Výběr se provede podle podkladů výrobce nástrojů.

V druhém stupni se provede:

- a) buď volba optimálních řezných podmínek (řezné rychlosti a posuvu) podle podkladů výrobce nástrojů,
- b) nebo výpočet optimální řezné rychlosti (v_{hosp} nebo v_{prod}) (hospodárné řezné rychlosti při minimálních výrobních nákladech nebo řezné rychlosti při minimálních časech – maximální produktivitě). Při výpočtu optimální řezné rychlosti je nutno vycházet ze vstupních dat, které pro zvolený řezný materiál poskytne výrobce nástrojů a břitových destiček.

Pro volbu řezných podmínek při použití moderních výkonných nástrojů s břitovými destičkami s povlaky na automatizovaných obráběcích strojích s vysokými náklady na 1 hodinu práce M je nutno dodržovat následující zásady:

- a) Zvolit řezný materiál (nepovlakovaný pouze ve speciálních případech) s nejvyšší otěruvzdorností, který v určené operaci vyhoví požadavkům na pevnost břitu.
- b) Pro tento řezný materiál nasadit řezné rychlosti v_{hosp} nebo v_{prod} , tedy obecně vysoké řezné rychlosti, což vede ke zkrácení strojních časů a odpovídajících nákladů, které jsou hlavní složkou celkových nákladů na obrobek.

Použití výkonných povlakovaných nástrojů při řezných rychlostech menších než v_{hosp} zvýší trvanlivost břitu tím relativně sníží náklady, ale v konečném důsledku zvýší náklady na strojní čas a zvýšení celkových nákladů [15].

Při stanovení optimálních řezných podmínek, které odpovídají minimálním nákladům na obrobení obrobku, vycházíme ze 3 hlavních složek, které jsou přímo závislé na řezných podmínkách.

$$N_{CELK} = N_S + N_N + N_V$$

N_{CELK}	celkové náklady na obrobení 1 obrobku závislé na řezných podmínkách
N_S	náklady na strojní čas, které sestávají z podílu odpisů obráběcího stroje, náklady na mzdy, energii a údržbu stroje, náklady na podpůrné pracoviště
N_N	náklady na nástroj, podíl nákladů na 1 břit vztažený na 1 obrobek
N_V	náklady na výměnu otupeného břitu – v podstatě jde o náklady na prostoje obráběcího stroje při výměně otupeného břitu

Ostatní náklady, které nejsou závislé na řezných podmínkách jako například náklady na upínání nejsou do výpočtu zahrnuty.

Výpočet hospodárné trvanlivosti:

$$T_{hosp} = (k - 1) \cdot \left(t_v + \frac{60N}{M} \right)$$

T_{hosp}	trvanlivost břitu při minimálních výrobních nákladech [min]
k	exponent Taylorova vztahu (3-4 u povlakovaných slinutých karbidů)
t_v	čas pro výměnu otupeného břitu [min]
N	náklady na 1 břit, podíl ceny destičky a nástroje [Kč]
M	náklady na 1 hodinu práce stroje, odpisy, mzdy, energie, údržba stroje, podpůrná pracoviště [Kč]

Výpočet hospodárné řezné rychlosti (Taylorův komplexní vztah)

$$v_{hosp} = \frac{C_V}{T_{hosp}^{\frac{1}{k}} \cdot f^y \cdot a_p^x \cdot \left(\frac{a_e}{D}\right)^z}$$

v_{hosp}	hospodárná řezná rychlost [m/min]
C_V	konstanta pro frézování
T_{hosp}	trvanlivost břitu při minimálních výrobních nákladech [min]
k	exponent Taylorova vztahu
f	posuv [mm/zub]
y	exponent vyjadřující vliv posuvu na v_{hosp}
a_p	hloubka řezu [mm]
x	exponent vyjadřující vliv hloubky řezu na v_{hosp}
a_e	šířka frézované plochy [mm]
D	průměr frézy [mm]
z	exponent vyjadřující vliv poměru a_e / D

Trvanlivost břitu při maximální produktivitě

$$T_{prod} = (k - 1) \cdot t_v$$

T_{prod}	trvanlivost břitu při maximální produktivitě [min]
k	exponent Taylorova vztahu
t_v	čas pro výměnu otupeného břitu [min] [15].

2.4 Upnutí nástroje

Upnutí nástroje věnujeme pozornost z důvodu dosažení nízkých hodnot radiálního házení a zamezení protočení nástroje v upínači. U nástrojů HSS do průměru 10mm je radi-

ální házivost břitů nad 0,01mm již nevyhovující. Vede k nerovnoměrnému zatížení jednotlivých břitů, při frézování přesných rozměrů způsobuje problémy s dodržáním rozměru, drsnosti, v nejhorších případech vede ke zničení nástroje. U tvrdokovových nástrojů nesmí radiální házivost přesáhnout 0,005mm. Přesný chod nástroje se projevuje i na trvanlivosti ostří. U frézy o průměru 8mm při házivosti 0,04mm klesá trvanlivost ostří na 25%. Bohužel tento faktor často nekoresponduje s tím co vidíme v praxi [16].

Čtyři druhy nejběžnějších upínačů rotačního nářadí:

- Upínač typu WELDON, jedná se o upínač nástrojů s válcovou stopkou s ploškou,
- Kleštinový upínač, upínací pouzdro s dutinou typu ER, pro upínání válcové stopky upínací maticí do kleštin,
- Hydraulický upínač, pomocí hydraulického oleje dochází k pružné deformaci části obepínající stopku nástroje
- Upínač na principu tepelné roztažnosti, princip rozdílné tepelné roztažnosti nástrojové stopky a nástrojového držáku

2.5 Shrnutí předností vysokorychlostního frézování

Hlavní výhody aplikace HSC obrábění jsou zejména

- dosažení vysoké kvality obráběného povrchu, zpravidla bez nebezpečí vzniku nežádoucích reziduálních pnutí na obrobeném povrchu
- zvýšení objemu odebraného materiálu při hrubování, při dokončování zvětšení obrobené plochy zvýšením řezné rychlosti, zvýšením posunové rychlosti tím podstatné zkrácení strojních časů
- vlivem menšího pěchování třísky se sníží řezné síly o 1/3
- z důvodů vysoké řezné rychlosti je vzniklé teplo převážně odváděno třískami a výrazně se sníží tepelné zatížení nástroje a obrobku, což má za následek snížení jeho tepelných deformací a všeobecné zvýšení přesnosti
- zpravidla se sníží i pravděpodobnost vzniku chvění, protože vysoká budící frekvence otáčení vřetene je mimo oblast samobuzeného kmitání

- je možné výhodně aplikovat obrábění bez chlazení, které vedle ekonomické výhody spočívající v nákladech na chladicí kapaliny a jejich likvidaci, má i ekologické dopady
- HSC obráběním můžeme také nahradit broušení, při frézování kalených vodících ploch obráběcích strojů se dosahuje rovinnosti 0,01/1000mm a drsnosti povrchu $Ra=0,6-0,8\mu\text{m}$

Je však nutno upozornit na důležitou skutečnost, že pro širokou aplikaci této metody, zejména pro obrábění ocelí a litiny je limitním faktorem řezivost, přesněji řečeno mez tepelné stability stávajících řezných materiálů, zejména slinutých karbidů, a i vlastnosti ostatních řezných materiálů, keramiky, kubického nitridu bóru atd.

Důležitou součástí zavádění HSC je intenzifikace řezného procesu. Intenzifikace řezného procesu je chápána jako podstatný růst řezného výkonu, vyjádřeného objemem obráběného materiálu odebraným za jednotku času. Požadavek intenzifikace je v současné době spolu se zvyšováním obecné kvality obrobku nejzávažnějším úkolem technologie obrábění.

Rozhodujícím důvodem pro intenzifikaci je rostoucí nákladnost moderních automatizovaných obráběcích strojů. Vysoká cena tudíž vysoké odpisy vedou k podstatnému růstu nákladů na 1 hodinu práce stroje. To má za následek výrazné zesílení podílu nákladů na obráběcí stroj ve struktuře celkových nákladů na obrábění na jedné straně a k podílu nákladů na nástroje na druhé straně. Logickým vyústěním jsou nové materiály obráběcích nástrojů s povlaky nanášenými CVD, PVD a dalšími metodami umožňující razantní zvýšení intenzity úběru materiálu obrobku s velkou spolehlivostí.

3 OPOTŘEBENÍ A TRVANLIVOST ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ

3.1 Základní druhy opotřebení součástek

Opotřebování je nežádoucí změna povrchu nebo rozměrů tuhých těles způsobená buď vzájemným působením funkčních povrchů nebo funkčního povrchu a médií, které opotřebování vyvolává.

Tab.1. Tribologické hodnoty při obrábění [23].

Pracovní podmínky	Strojní součást	Břit nástroje
Měrný tlak [MPa]	100	1000÷10000
Teplota na funkčním povrchu [°C]	60 ÷ 100	300÷1200
Teplotní gradient na čele nástroje [°C cm ⁻¹]		10 ⁵
Rychlost ohřevu [°C s ⁻¹]		10 ⁶ ÷10 ⁹
Deformační rychlost [s ⁻¹]		10 ³ ÷10 ⁶
Doba kontaktu mezi nástrojem a třískou [s]		10 ⁻³
Otěr při dráze 103 ÷ 104 m	10 ⁻³ ÷ 10 ⁻⁴	10 ⁻² ÷ 10 ⁻¹

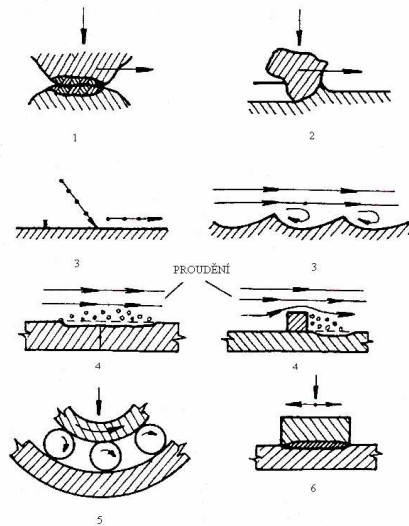
Projevuje se jako odstraňování nebo přemísťování částic látky z funkčního povrchu mechanickými účinky, případně doprovázenými jinými vlivy (chemickými, elektrochemickými apod.).

ČSN 01 5050 rozděluje opotřebování na šest základních druhů (Obr.6):

1. Adhezivní - oddělování a přemísťování částic z míst, kde stykem kovu na kov se poruší povrchové vrstvy.
2. Abrazivní - oddělování částic z funkčního povrchu účinkem tvrdého a drsného povrchu druhého tělesa nebo abrazivních částic.
3. Erozivní - oddělování částic z funkčního povrchu částicemi nesenými proudem vody, plynu nebo poškozování funkčního povrchu proudem kyseliny, páry apod.
4. Kavitační - oddělování částic, v oblasti vzniku kavitačních dutin v kapalině.

5. Únavové - oddělování částic vyčerpáním plastických vlastností materiálu únavou.

6. Vibrační - oddělování částic a poškozování povrchu kmitavými tangenciálními posuvy funkčních povrchů při působení zatížení [13].

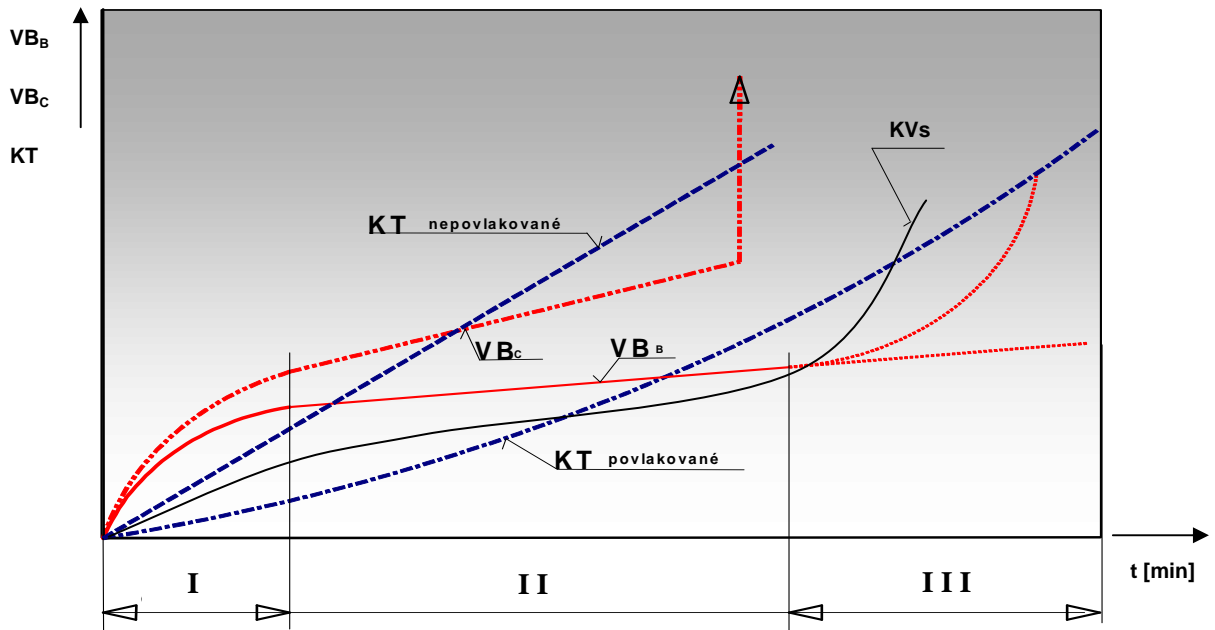


Obr.6. Základní druhy opotřebování [22].

3.2 Opotřebení nástrojů

V procese řezání se řezný klín v důsledku působení materiálu obrobku na řeznou část nástroje opotřebovává. Toto opotřebení probíhá v porovnání s opotřebením strojních součástek daleko rychleji, a to i přesto že podstata obou procesů je stejná – postupné uvolňování drobných částic povrchových vrstev a jejich odstraňování z oblasti vzájemného dotyku třecích ploch nejčastěji ve formě třísky. Příčinu třeba hledat ve zvláštностech vzájemného působení povrchových vrstev obráběného a řezného materiálu při řezání – teploty dosahují 1000 °C a více, tlaky jsou až 10^4 MPa [55,56].

Opotřebování nástroje možné charakterizovat jako postupnou změnu tvaru a rozměru řezného klínu, vyvolanou působením obráběného materiálu. Ještě přesnější definice je: Opotřebení je ztráta původní geometrie nástroje vyvolaná vzájemným spolupůsobením v oblasti kontaktu nástroj – obrobek. Opotřebování je však proces probíhající v čase. Hodnocení procesu opotřebení řezného klínu vyžaduje měřit opotřebování a čas práce nástroje. Mluvíme o časovém průběhu opotřebení (obr. 7).



Obr. 7. Časový průběh opotřebení.

(význam jednotlivých symbolů (VB_B , VB_C , KT , KV_s) viz. kapitola 3.3)

Při normálních podmínkách práce řezného nástroje má křivka opotřebení tři fáze které ji charakterizují:

I. Fáze – opotřebení vlivem nerovnosti ostří

V tomto úseku opotřebení nejdříve intenzivně roste, avšak intenzita postupně klesá, až se ustálí na určité hodnotě. Tento úsek je kromě geometrických a materiálových defektů řezného klínu vyvolaný také poměrně velkým tlakem obráběného materiálu na hřbetovou plochu nástroje. S rostoucí šířkou plochy opotřebování na hřbetě se měrné tlaky snižují a intenzita opotřebení klesá.

II. Fáze – rovnoměrné opotřebení

V tomto pásmu je intenzita opotřebení menší než v záběhovém pásmu a mění se velmi málo. Všeobecně se vyžaduje, aby intenzita opotřebení v tomto pásmu byla co nejmenší, ale tento úsek (pásmo) byl co nejdelší.

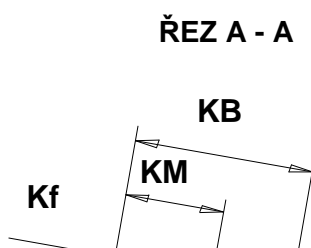
III. Fáze – intenzivní opotřebení

Charakteristickým znakem tohoto pásma je nárůst intenzity opotřebení. Příčiny jsou především ve změněných podmínkách spolupůsobení obráběného a řezného materiálu. Opotřebením se mění geometrický tvar účinné části řezného klínu, a tím pádem také směr a velikost řezných sil. Mění se také hodnota normálních tlaků a třecích sil na čele a na hřbetě nástroje. Řezná teplota roste a pro nástroje z RO se postupně snižuje dotyková tvrdost povrchů. U kalených nástrojů může dojít k popouštění, důsledkem čeho je snížení tvrdosti. Žlábek na čele se přibližuje k řezné hraně, podmínky odvádění tepla se zhoršují a teplota na řezné hraně stoupá. Řezná hrana ztratí svoji tvarovou pevnost, dochází k plastické deformaci anebo křehkému porušení (obr. 8) [21].

3.3 Vnější projevy opotřebení

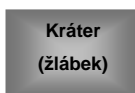
V důsledku toho, že opotřebenování řezného klínu neprobíhá stejně na čele a na hřbetě, obvykle stanovujeme tyto rozměry opotřebovaných částí:

1. šířka opotřebení na hřbetě (VB)
2. hloubka žlábků opotřebení na čele (KT)
3. posunutí hrotu nástroje opotřebením. Když se posunutím hrotu změní rozměry obrobeneho povrchu, označujeme toto opotřebení jako rozměrové opotřebení (KV_s) [21].



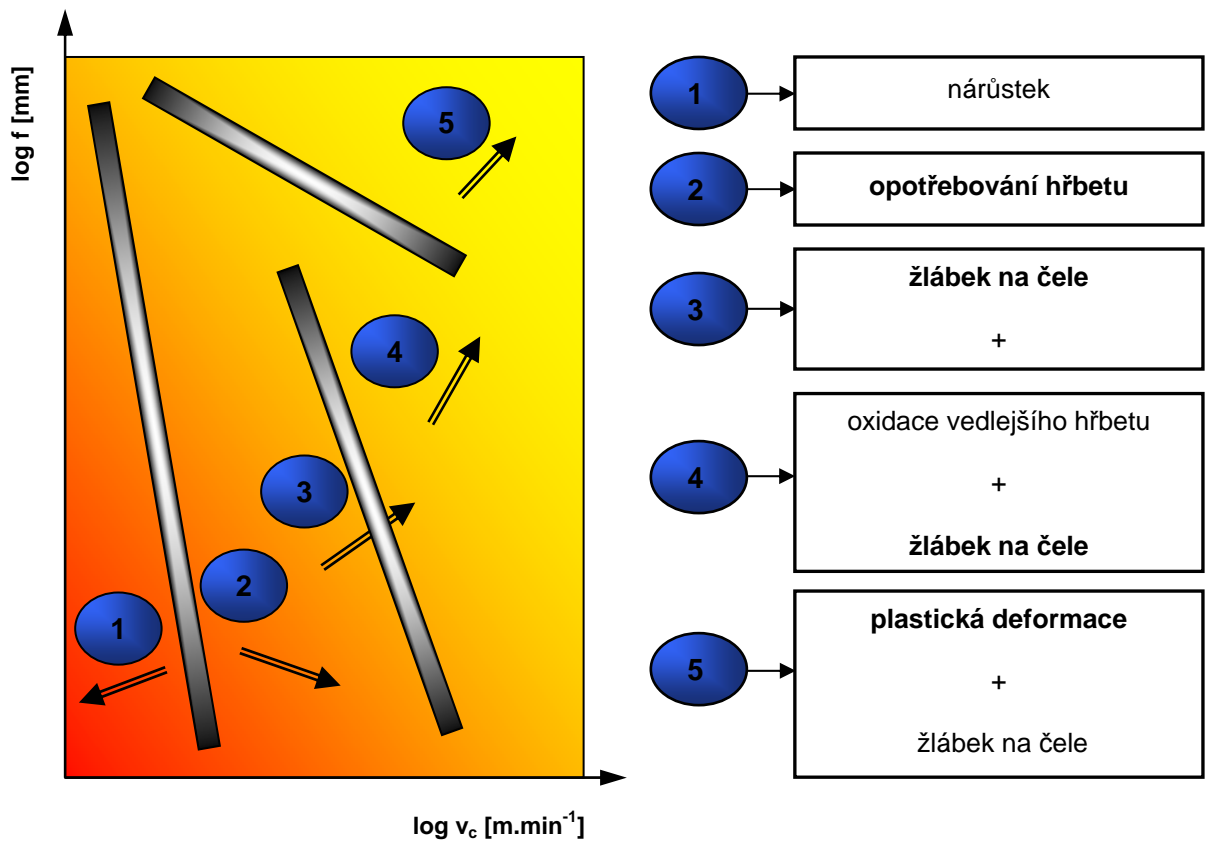
Kf – vzdálenost okraje žlábků

KB – šířka žlábků na čele



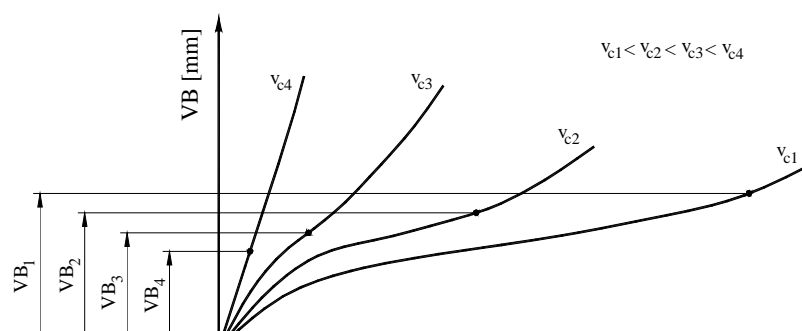
Obr. 8. Charakteristické typy opotřebení podle STN ISO 3685 [21].

Pro určitou dvojici řezný materiál – obráběný materiál je převládající typ opotřebení řezného klínu závislý v první řadě na použitých řezných podmínkách, hlavně na řezné rychlosti a posuvu (obr. 9). Při nižších hodnotách řezné rychlosti a posuvu když existuje na řezné hraně nárůstek, převládá typ opotřebení způsobený abrazivním chováním odcházejících tvrdých částic nárůstku. Se zvyšující se řeznou rychlostí a posuvu roste teplota obrábění a převládajícím typem opotřebení vzniká nejdřív plocha opotřebení na hřbetě, dále žlábek na čele, a potom oxidace vedlejší hřbetové plochy v blízkosti hrotu. Při nejvyšších hodnotách řezné rychlosti a posuvu se projevuje plastická deformace hrotu, která v podstatě signalizuje překročení určitých mezních řezných podmínek.



Obr. 9. Působení řezné rychlosti a posuvu na opotřebení řezného klínu.

Z řezných podmínek má na opotřebení řezného klínu vliv řezná rychlost. Řezná rychlost neovlivňuje jen intenzitu opotřebení ve všech úsecích, ale ovlivňuje také hodnotu opotřebení, při které začíná pásmo zrychleného opotřebení. Z obr. 10. lze vyčíst, že se zvyšováním řezné rychlosti je opotřebení, po kterém následuje pásmo zrychleného opotřebení menší. Se zvyšováním řezné rychlosti se úsek normálního opotřebení zkracuje, dokonce při velmi vysokých řezných rychlostech všechny tři úseky opotřebení splývají do jedné parabolické přímky [21].

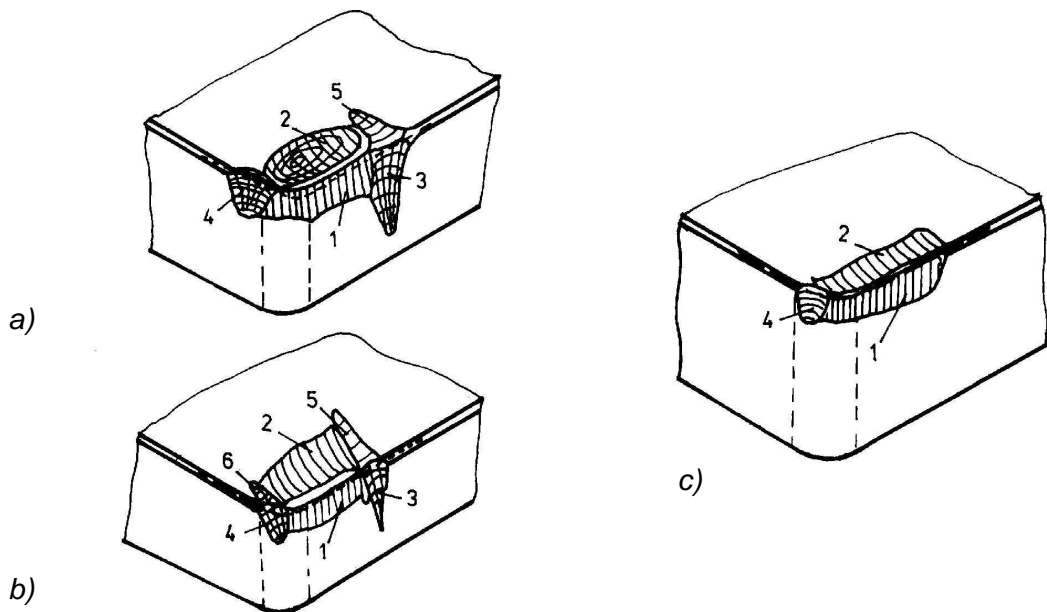


Obr. 10. Vliv řezné rychlosti na časový průběh
opotřebení hřbetní plochy [21].

Posuv má analogický vliv jako řezná rychlost. Čím větší je posuv, tím menší je opotřebení, při kterém vzniká zrychlené opotřebení. Se zvětšením posuvu je počáteční opotřebení nástroje méně viditelné, zejména při práci se SK.

Hloubka řezu na časový průběh opotřebení nemá podstatný vliv [21].

Vnější projev opotřebení je odlišný pro nástroje z různých řezných materiálů (obr. 11). Tato skutečnost je podmíněna rozdílným mechanismem jejich opotřebení.



Obr. 11. Typické projevy opotřebení nástroje [21].

(a – se slinutého kovu, b – z rychlořezné oceli, c – z řezné keramiky).

Jak lze vidět na obr. 11a, pro nástroje ze SK se na řezném klínu po určitém čase objevuje několik typických ploch.

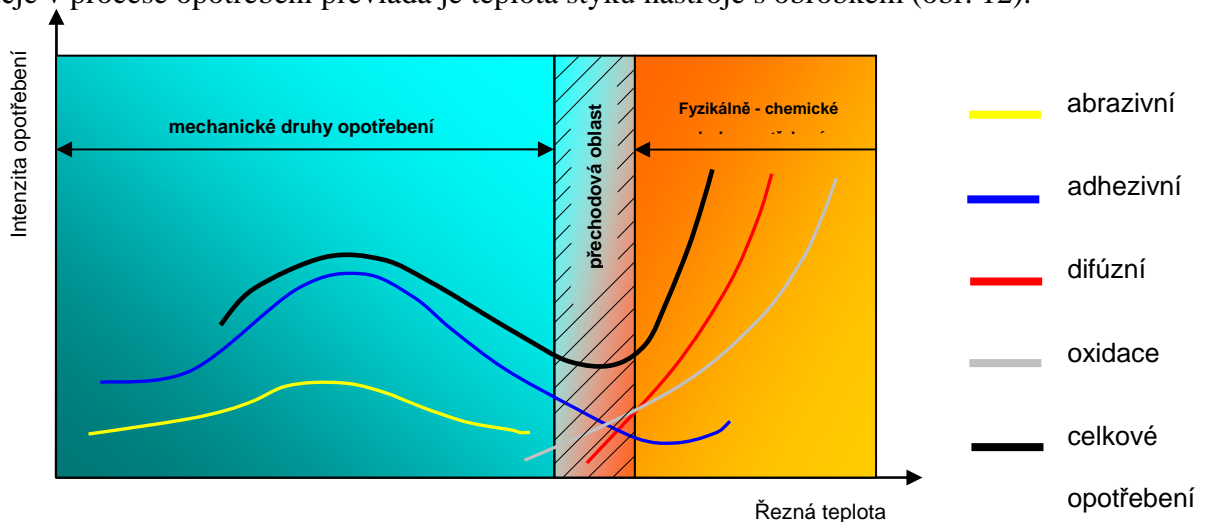
1 – ploška opotřebení na hřbetě. Vzniká v důsledku tření nástroje o obrobek

- 2 – *žlábek na čele*, podstatu jeho vzniku jsme vysvětlili v předešlém textu
- 3 – *úsek zvýšeného opotřebení na hřbetě*. V tomto místě končí kontakt nástroje a obrobku. Hlavně u nástrojů citlivých na přerušovaný řez vzniká v tomto místě zvýšené opotřebení
- 4 – *drážka na vedlejší hřbetě*. Taky se nazývá *oxidickou drážkou*, protože vzniká v důsledku oxidace nástroje
- 5 – *drážka na čele*. Vzniká v místě, kde končí kontakt třísky s čelem nástroje

Opotřebení nástroje z **RO** (obr. 11b) má podobný charakter. Protože tyto řezné materiály jsou citlivější na ořez a na chemický účinek, žlábek na čele je plytší a širší. Navíc vzniká na vedlejší řezné hraně další drážka **6** v místě, kde končí kontakt třísky s čelem. Podstata jejího vzniku je stejná jako u drážky 4.

Nástroje z **keramiky** mají rovnoměrnější opotřebení na čele a hřbetě (obr. 11c), jsou méně citlivé na chemické vlivy. Proto plošky 3 a 5 chybějí [20].

Na celkovém opotřebení se nepodílejí při určitých podmínkách obrábění všechny děje stejnou měrou. Pro určitou dvojici obráběný materiál – řezný materiál může (podle podmínek obrábění) převládat jeden nebo druhý děj. Rozhodujícím činitelem, určujícím který typ děje v procese opotřebení převládá je teplota styku nástroje s obrobkem (obr. 12).



Obr. 12. Vliv řezné teploty na intenzitu opotřebení a její složky [21].

Z hlediska fyzikální podstaty je opotřebení nástroje výsledkem celého komplexu jevů zahrnujících chemické a mechanické děje, které probíhají na styčných plochách s obráběným materiálem a které se často překrývají.

Mechanismus opotřebení nástroje je charakterizovaný dvěma druhy jevů:

mechanickým

└─→ abraze + adheze

chemickým

└─→ difuze + oxidace

Zatímco je intenzita mechanických druhů opotřebení závislá na teplotě jen když ovlivňuje poměr tvrdosti nástrojového materiálu a obráběného materiálu (H_{NM}/H_{OM}), za podmínek, které existují v místě styku nástroj – obrobek, je fyzikálně chemické opotřebení závislé především na teplotě styku nástroj – obrobek a na vzájemné chemické aktivitě obou materiálů prakticky bez ohledu na poměr jejich tvrdostí [21].

Můžeme teda konstatovat, že intenzita opotřebení závisí od vlastností obráběného a řezného materiálu v místech vzájemného dotyku. Ty ovlivňuje především teplota a řezné prostředí, které vytváří povrchové filmy. Když určíme jako hlavní termodynamický faktor, který je zodpovědný za tepelný výkon řezání – teda množství vzniknutého tepla řeznou rychlostí, můžeme konstatovat, že zato do jaké míry se daný **mechanismus opotřebení** (*mechanicko – brusný, molekulárně – adhézní, chemicko – difuzní*) projeví je zodpovědná především teplota řezání (řezná rychlost).

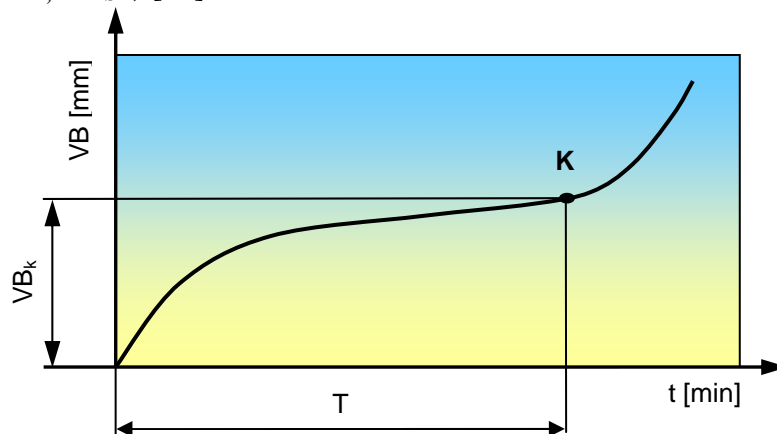
Z obr. 12 je zřejmé, že se zvyšováním teploty řezání (teda řezné rychlosti) klesá podíl adhezního a brusného opotřebení a začíná převládat opotřebení difuzní. Nástroje z RO nepodléhají difuznímu opotřebení, protože při teplotách potřebných pro průběh difuzních dějů nemají dostatečnou tvarovou pevnost.

Bez ohledu nato, či při menších řezných rychlostech převládá adhezní nebo brusné opotřebení a při vysokých řezných rychlostech difuzní opotřebení, vykazuje celková intenzita opotřebení při určité teplotě řezání (řezné rychlosti) svoje minimum (obr. 12), kterému odpovídá maximální trvanlivost řezné hrany. Když se nám podaří zabezpečit také řezné podmínky, při kterých dosáhneme tento bod můžeme posunout mezní stav nástroje k vyšším hodnotám, a tím pádem co nejefektivněji využívat jeho pracovní vlastnosti [21].

3.4 Kritérium otupení

Z rozboru křivky časového průběhu opotřebení řezného klínu (obr. 7) vyplývá, že práce s nástroji v oblasti zrychleného (katastrofálního) opotřebení přináší nebezpečí poškození nástroje. Každý nástroj, když je déle v činnosti, ztrácí postupně svoji ostrost, až se otupí. Okamžik otupení nástroje charakterizují určité vnější příznaky, které jsou spojené s procesem opotřebení řezného klínu. Příznaky otupení však nemůžeme brát vždy za kritérium otupení, hlavně ne pro nástroje ze spékaných karbidů a keramických materiálů, které se často pro svoji křehkost otupí vylomením nebo se vyštípnou. Pro tyto nástroje třeba stanovit vhodné kritérium otupení.

Otupení nástrojů posuzujeme podle velikosti jejich opotřebení. Hodnotu opotřebení (VB , KT , KV_s), při které je možné nástroj považovat za otupený, nazýváme **kritérium otupení** (VB_K , KT_K , KV_{SK}) [21].



Obr. 13. Kritérium otupení [21].

Volba správné hodnoty kritéria otupení má pro ekonomické využití nástroje mimořádný význam, protože ovlivňuje životnost nástroje, případně může taky vést k jeho poškození, resp. zničení.

Z hlediska volby kritéria otupení můžou nastat dva případy:

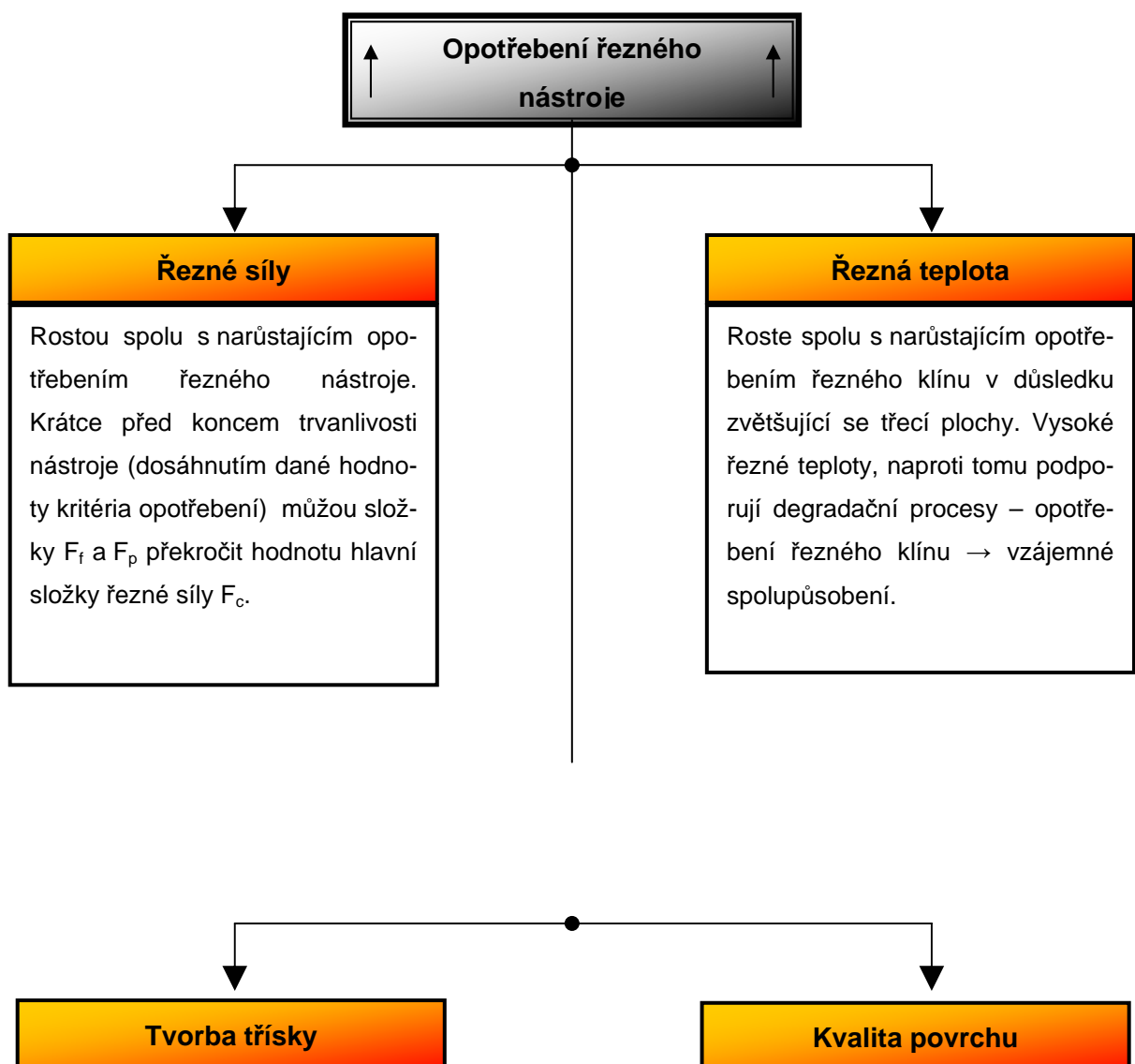
Kritérium otupení má malou hodnotu. V tomto případě bude nástroj využívaný neekonomicky z hlediska nedostatečného využití materiálu řezné destičky

Kritérium otupení má nadměrnou hodnotu. V tomto případě práce s nadměrně opotřebovaným nástrojem je taky neekonomická z hlediska zvýšeného účinku spolupůsobení řezných sil a tepelného režimu na zvýšenou intenzitu opotřebení nástroje [21].

Pro správné řešení volby kritéria otupení je třeba vycházet z následujících požadavků:

- zamezit nadměrnému poškozování nástroje opotřebením
- docílit vyžadovanou přesnost nepřekročením určité hodnoty opotřebením
- vyloučit zhoršení drsností povrchu
- docílit maximální životnosti nástroje
- zabezpečit maximální hospodárnosti operace

Opotřebením nástrojů na přijatelné kritérium otupení je samozřejmě dostavující se mezní stav, když jeho existenci nerespektujeme, může se projevit výskytem zmetků nebo neekonomickým využitím nástrojů, příp. jejich poškozením. Důsledky, které opotřebením řezných nástrojů přináší pro samotný řezný proces jsou zobrazené na obr. 14. Jak lze vidět, opotřebením řezných nástrojů se negativně projevuje v oblasti řezných sil, řezné teploty, tvoření třísky a také v kvalitě obráběného povrchu.



Se vzrůstajícím opotřebením na čele se spirálovité třísky zkracuje, tříška se lépe láme. Výmol na čele působí jako tvarovač třísky.

Drsnost obrobeného povrchu se zhoršuje. Ke konci trvanlivosti nástroje (dosáhnutí dané hodnoty kritéria opotřebení) se zvětšuje hloubka zpevnění.

*Obr.14. Vliv opotřebení řezného nástroje
na jednotlivé parametry řezného procesu [21].*

3.5 Trvanlivost nástroje

Trvanlivost řezného klínu je podle ISO 3685 definovaná jako řezný čas potřebný na dosáhnutí kritéria trvanlivosti nástroje.

Čas opotřebení obvykle udáváme v minutách. V provozních podmínkách často používáme jako míru trvanlivosti taky počet kusů obrobených nástrojem do jeho otupení. Tuto trvanlivost označujeme jako trvanlivost v kusech T_k . Mezi trvanlivostí v minutách a trvanlivostí v kusech platí jednoduchý vztah:

$$T = T_k \cdot t_c \quad (1)$$

kde: T je trvanlivost [min],

T_k – trvanlivost [ks],

t_c – čas řezání na jednom obrobku [min].

Trvanlivost nástroje může být limitována různou mírou opotřebení. Pro různé míry opotřebení dostaneme různé hodnoty trvanlivosti. Můžeme teda hovořit o trvanlivosti z hlediska opotřebení hřbetu, čela, z hlediska dovolené drsnosti povrchu a pod. Platná je samozřejmě vždy menší hodnota trvanlivosti [21].

$$T = \min (T_{VB}, T_{KT}, T_{Ra}, \dots) \quad (2)$$

3.5.1 Hlavní činitelé působící na trvanlivost nástroje

Trvanlivost řezného klínu nástroje závisí od více činitelů. Jsou to především:

- řezné podmínky (řezná rychlost, posuv, hloubka řezu)

- geometrie řezné části, tvar a rozměry nástroje
- druh obráběného materiálu
- druh řezného materiálu (substrát + povlak)
- technika a intenzita chlazení
- plynulost řezného procesu
- způsob namáhání nástroje (plynulý, přerušovaný řez) atd.

Při optimální geometrii řezného nástroje pro daný řezný materiál (při dále konstantních podmínkách práce) závisí trvanlivost řezného klínu od tří fyzikálních parametrů: od řezné rychlosti, od velikosti odebírané třísky a od šířky třísky. Tato matematická závislost trvanlivosti od fyzikálních parametrů lze vyjádřit empirickým vzorcem:

$$T = \frac{C_T}{v_c^m \cdot b^{x_T} \cdot h^{y_T}} \quad (3)$$

kde: C_T je konstanta

x_T, y_T, m – exponenty

v_c – řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

h – velikost třísky [mm]

b – šířka třísky [mm]

Analogicky můžeme napsat vztah pro závislost trvanlivosti od řezné rychlosti, posuvu a hloubky řezu (rozšířený Taylorův vztah) [21].

$$T = \frac{C_T}{v_c^m \cdot a_p^{x_T} \cdot f^{y_T}} \quad (4)$$

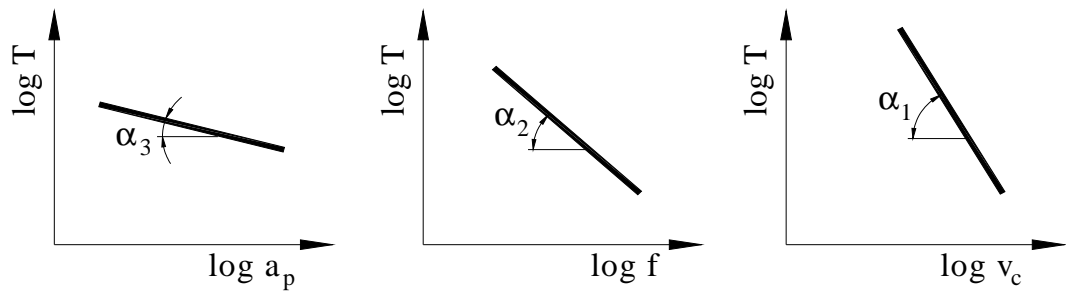
kde: C_T je konstanta

x_T, y_T, m – exponenty

v_c – řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

a_p – hloubka řezu [mm]

f – posuv [mm]



Obr. 15. Závislost trvanlivosti od řezných parametrů.

Z obr. 15 pro konstanty x_T , y_T a m vyplývá:

$$x_T = \operatorname{tg} \alpha_3 \quad y_T = \operatorname{tg} \alpha_2 \quad m = \operatorname{tg} \alpha_1$$

Uvedený vztah (4) nazýváme taky základní zákon řezání nebo zákon konstantní trvanlivosti. Protože platí $m > y_T > x_T$, je podle uvedeného vztahu možné vidět, že největší vliv na trvanlivost má řezná rychlost, omnoho menší posuv a ještě menší hloubka řezu [21].

3.5.2 Metody zjišťování trvanlivosti

K řešení praktických problémů při navrhování řezných poměrů třeba poznat závislost trvanlivosti od různých faktorů. Při výpočtech často vystupuje požadavek nejen poznat celkové tendence, ale také pro konkrétní podmínky vyjádřit tyto závislosti v matematické formě. Pro složitost problému ještě není v současnosti možné čistě analytickými metodami dospět k takovým matematickým formulacím, které by tyto závislosti vyjadřovaly se širší platností. Proto se musí sahat k experimentům. Při experimentování se v širším rozsahu zpravidla určují jen závislosti $T = f(v_c)$, $T = f(a_p)$ a $T = f(f)$. Vliv ostatních činitelů se koriguje na základě jen jedné zkoušky nebo podle opravných koeficientů udávaných v literatuře [19].

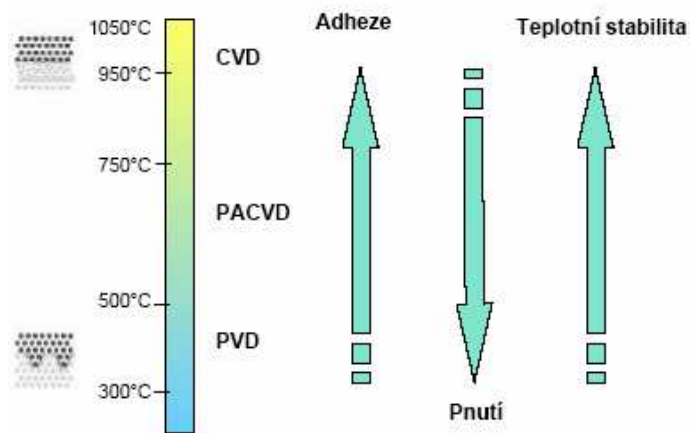
Současně nejčastěji používané metody zjišťování trvanlivostních závislostí jsou založené na mikrometrických metodách měření lineárních parametrů opotřebení. Zkoušky, při kterých se uvedené závislosti zjišťují, můžeme rozdělit na dlouhodobé a krátkodobé. Metody založené na dlouhodobých zkouškách jsou přesnější. Jejich nedostatkem je, že jejich realizace vyžaduje velké množství času a materiálu. Často proto upřednostňujeme metodu,

která je založená na krátkodobých zkouškách (zkouška při sníženém kritériu otupení, mikrozkouška VÚOSO, metoda radionukleace, metoda čelního soustružení).

4 POVLAKOVÁNÍ

Jako jeden z nejprogresivnějších směrů, zvyšování užitkových vlastností řezných nástrojů se v současnosti dynamicky rozvíjí povlakování. Pomocí PVD (Physical Vapour Deposition), CVD (Chemical Vapour Deposition) procesů a jejich modifikací zvyšujeme vlastnosti povrchů řezných nástrojů (dále můžeme měnit fyzikální). Cílem těchto povrchových úprav je získání tvrdého otěruvzdorného povlaku, depozice vrstvy-multivrstvy, čímž dosáhneme snížení intenzity opotřebování nástroje a tím zvýšení jeho trvanlivosti. Zvýšení trvanlivosti nástroje vede k významné úspoře nákladů, přičemž komplexní působení povlaku v místě kontaktu nástroj – obrobek dovoluje výrazně zvýšit technologické parametry výrobního procesu. Využití příznivého vlivu tvrdých otěruvzdorných povlaků je vztažena na fakt, že jejich aplikace není univerzální. Jejich vlastnosti a tím efektivnost použití je ovlivněna nejen fyzikálně–mechanickými vlastnostmi použitého substrátu a typu povlaku, ale i řadou technologických a provozních parametrů. Mikrostruktura a teda i mechanické vlastnosti systému tenká vrstva – substrát jsou silně ovlivněny mnoha faktory jako jsou depoziční parametry, úprava substrátu před depozicí a samotnými vlastnostmi vstupujících prvků - materiál terče, substrát. Dalším z mnoha faktorů majících význam na vlastnosti systému tenká vrstva – substrát je i tloušťka deponované vrstvy.

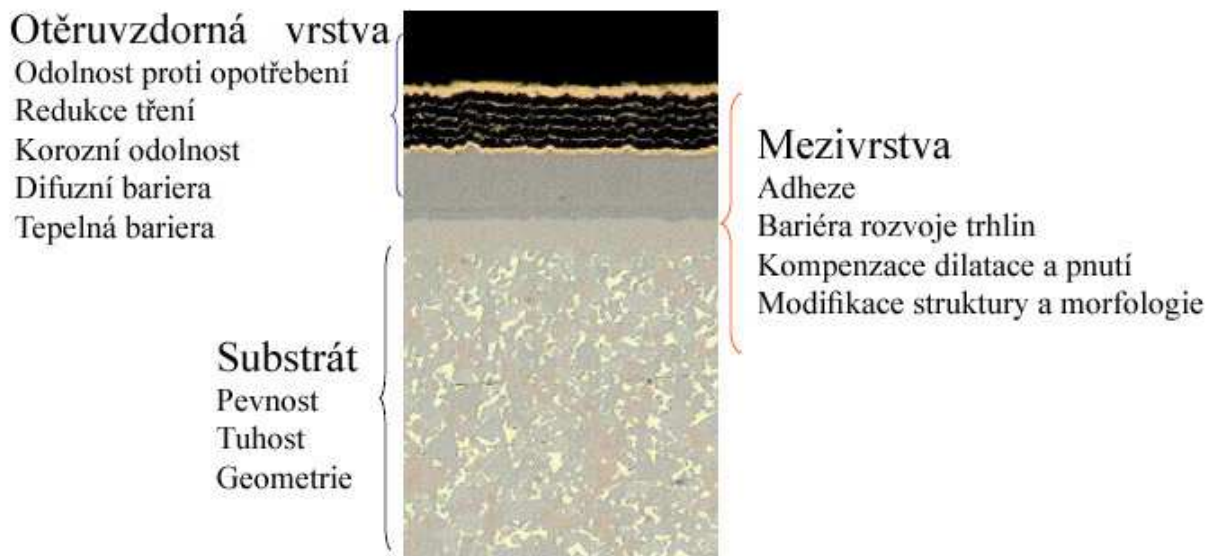
Povlak teda není jediný a určující faktor konečného použití, stejně důležitý je výběr základního materiálu, jeho adhezně - kohezivní, mechanicko - fyzikální vlastnosti a tepelná historie, určení metody deponování a konečné použití řezného nástroje v rámci řetězce stroj - nástroj - obrobek.



Obr. 16. Vlastnosti povlaku[26].

4.1 Systém tenkých vrstev

Deponované tenké vrstvy je třeba chápat jako systém, neboť vrstva pro svoji tloušťku dosahuje společně se substrátem specifických vlastností a chování. Samotné tenké vrstvy mají na rozdíl od objemových materiálů rozdílné vlastnosti a to nejen z důvodů svojí tloušťky, ale i následkem depozičních procesů, které lze označit jako nerovnovážné a iniciující vznik metastabilních fází. Pro zajištění požadovaných vlastností je nutné věnovat pozornost všem složkám tvořící daný systém.



Obr. 17. Struktura povlaku[26].

V současné době i zde probíhá vývoj nových typů vrstev, s určitými specifickými vlastnostmi.

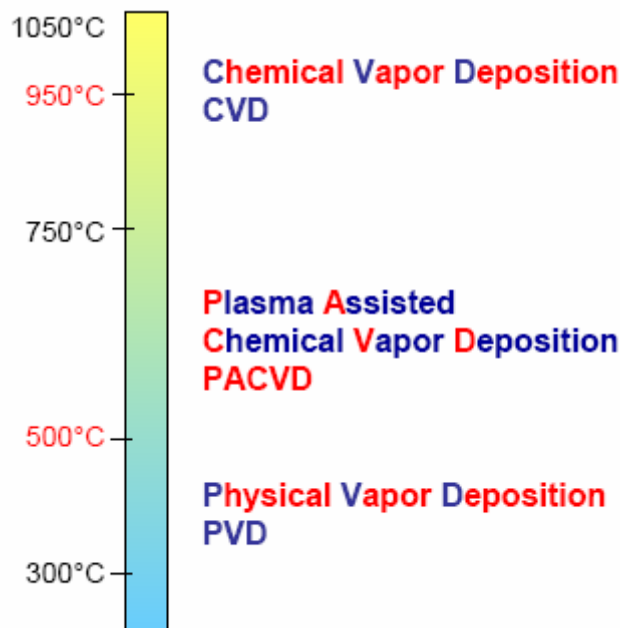
Typy vrstev:

- monovrstva,
- monovrstva s adhezí vrstvičkou
- multi vrstva
- nanostrukturovaná vrstva
- nanokompozitní vrstva
- gradientní vrstva
- diamantové vrstvy

4.2 Depozice tenkých vrstev

První průmyslová aplikace proběhla v roce 1967 – CVD vrstva na řezné destičce ze slinutého karbidu [26]. Depozice vrstev se provádí jako finální operace na hotovém již tepelně zpracovaném substrátu. Pro dobré adhezní vlastnosti musí být povrch substrátu před depozicí kovově čistý. Dále je nutné před samotnou depozicí očistit povrch od organických a anorganických nečistot. Při použití chemického čištění je nutné u všech technologií depozice mechanicky očistit povrch od makronečistot. Při některých druhích depozic je možné provést čištění substrátu pomocí iontového bombardu. Princip iontového bombardu je v tom, že kladně nabitě ionty odpařené katody kovu, popř. procesního plynu, dopadají na povrch substrátu, kde jsou zakotveny atomy nečistot, které mají vysokou poruchovou energii. Předáním vysoké kinetické energie iontů (cca 10 eV) dojde k vyražení nečistot z povrchu materiálu.

Při výběru ocelí na nástroje a strojní součásti tepelně zpracovaných je nutno respektovat teplotu procesu povlakování, která záleží na metodě depozice tenké vrstvy.



Obr. 18. Depoziční teploty [25].

4.3 Metody depozice tenkých vrstev

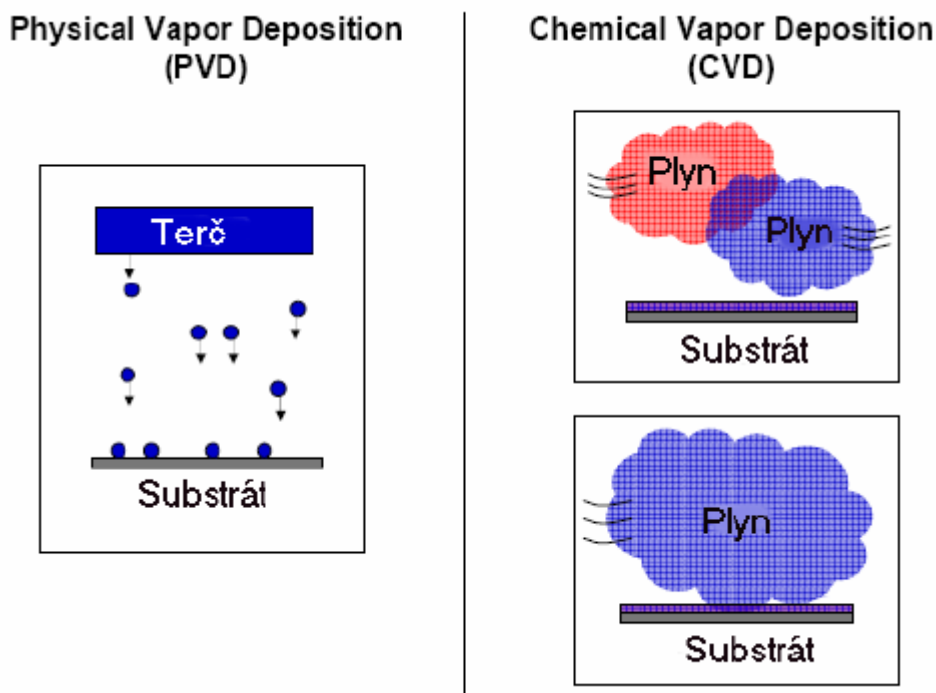
Metody depozice tenkých vrstev se dělí na dva základní druhy:

- chemická metoda Chemical Vapour Deposition (CVD)
- fyzikální metoda Physical Vapour Deposition (PVD)

Chemická metoda depozice vrstev CVD – využívá pro depozici směs chemicky reaktivních plynů (např. CH_4 , C_2H_2 , apod.) zahřátou na poměrně vysokou teplotu 900 – 1100°C. Reakční složky jsou přiváděny v plynné fázi a vrstva vzniká na povrchu substrátu heterogenní reakcí.

Fyzikální metoda depozice vrstev PVD – technologie je založena na fyzikálních principech, odpaření nebo odprášení materiálů obsažených ve vrstvě (např. Ti, Al, Si, Cr, atd.) a jejich následné nanesení na nástroje.

Za hlavní charakteristický rozdíl je brán způsob přípravy vrstvy, tj. z pevného terče u PVD metod a z plynu u CVD.



Obr. 19. Rozdíl mezi metodou PVD a CVD [25].

4.4 Chemické metody depozice vrstev (CVD)

Mezi výhody tohoto procesu patří vysoká odolnost vůči opotřebení. CVD proces je ekonomicky nejvýhodnější pro tvorbu silných vrstev a je také vhodný všude tam, kde je nutné povlakovat nepřístupné dutiny a drážky. Nevýhodou je vysoká teplota při deponování, nemožnost dělat některé typy vrstev kombinací různých typů kovů (např. TiAlN). Dalším problémem je skutečnost, že při povlakování se hrany zaoblují (neboť se jedná o tlustou vrstvu) a k procesu deponování je použito ekologicky problematických toxických chloridů kovů. Tenká vrstva se na povrchu substrátu vytváří v důsledku chemických procesů probíhajících v objemu plazmatu a přímo na rozhraní mezi plazmatem a povrchem substrátu. Reakční složky jsou přiváděny v plynné fázi, za vysokých teplot se rozkládají a vrstva vzniká na povrchu substrátu heterogenní reakcí.

CVD technologií lze připravit velmi rozmanité vrstvy kovů, polovodičů a různých chemických sloučenin buď v krystalickém či amorfním stavu, jež jsou vysoce čisté a mají požadované vlastnosti. Rovněž lze řídit stechiometrii v širokých mezích. Výhodou jsou relativně nízké náklady na zařízení a řízení procesu. Z toho vyplývá vhodnost pro velkovýrobu i střední výrobu a slučitelnost s ostatními výrobními postupy. Použití této metody je značně omezeno vysokou teplotou depozičního procesu (950 – 1050°C). V řadě případů, jako např. u nástrojů z rychlořezné oceli, nelze tuto metodu použít, protože depoziční teplota musí být nižší, aby při depozici nedošlo k tepelné degradaci základního materiálu (např. v případě nástrojů z rychlořezné oceli značně omezeno vysokou teplotou depozičního procesu, proto se používá především k depozici nástrojů ze slinutých karbidů).

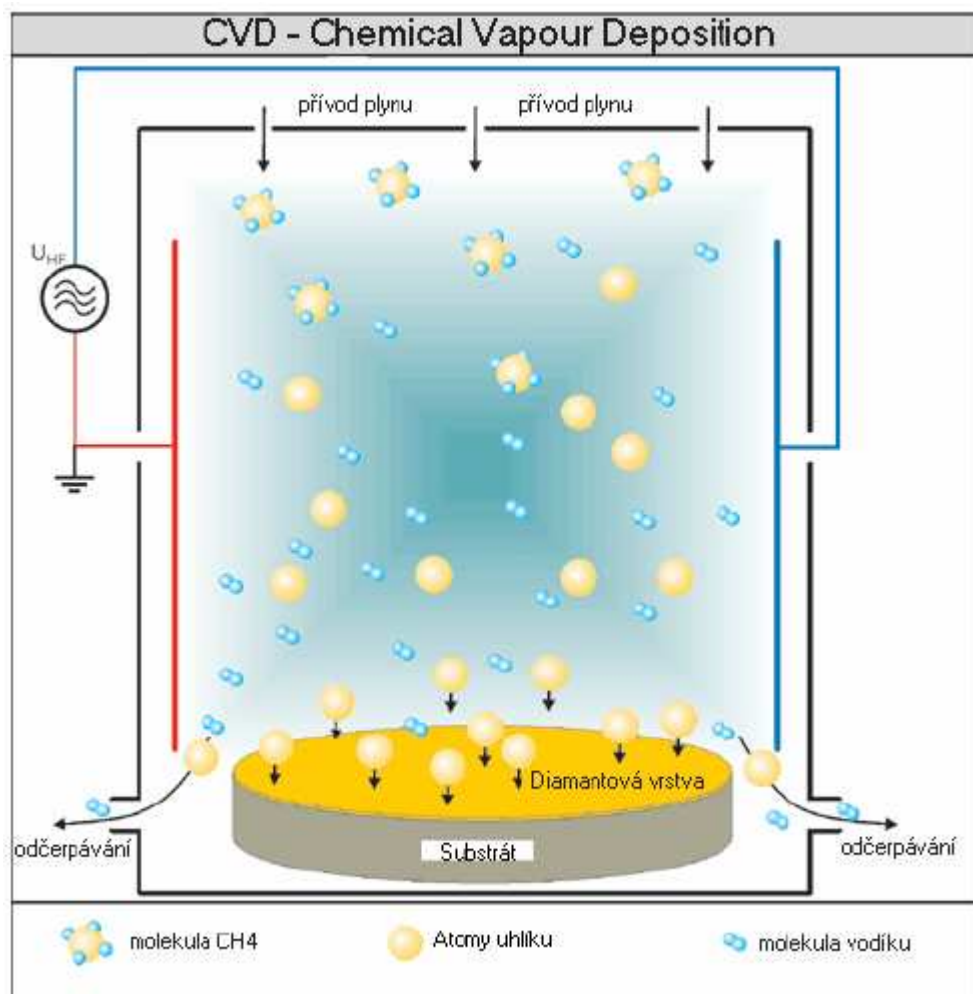
CVD technologie má několik nedostatků:

- vysokou energetickou náročnost,
- dlouhý pracovní cyklus 8-10 hodin,
- ekologicky nevyhovující pracovní plynné směsi
- tahová pnutí ve vrstvě (rozdílný koeficient tepelné roztažnosti)

Přednosti této depozice:

- vysoká teplotní stabilita vytvořených vrstev
- možnost vytvářet poměrně složité vrstvy a to nejen nitridu kovů (Al₂O₃, uhlíkové kluzné vrstvy, diamantové vrstvy)

- vysoká adheze vrstev a odolnost proti opotřebení, rovnoměrná tloušťka u tvarově složitých nástrojů a součástí
- V důsledku uvedených rozdílů ve vlastnostech jsou CVD vrstvy využívány především pro soustružení a frézování, zatímco PVD vrstvy jsou užívány tam, kde by byla trvanlivost v důsledku vyhydrolování a vysokých řezných sil nízká, např. při obrábění korozivzdorných ocelí. Vrstvy PVD jsou též užívány u nástrojů, které mají velmi pozitivní geometrii ostří (bez zaoblení), jako např. celokarbidové vrtáky a stopkové frézy. [25]



Obr. 20. Obecné schéma CVD [25].

4.4.1 Metody CVD

Vedle konvenční metody CVD existují další upravené depoziční možnosti:

1. podle teploty:

- vysokoteplotní HT CVD (High Temperature CVD),
- nízkoteplotní LT CVD (Low Temperature CVD),

2. podle tlaku

- při normálním tlaku AP CVD (Atmospheric Pressure CVD),
- při sníženém tlaku SB CVD (Subatmospheric Pressure CVD),
- při nízkém tlaku LP CVD (Low Pressure CVD),

3. iniciované a zesilněné plazmou

- iniciované plazmou PA CVD (Plasma Activated/Assisted CVD),
PI CVD (Plasma Induced CVD),
- zesilněné plazmou PE CVD (Plasma Induced CVD),
- mikrovlně generované MP CVD (Microwave Plasma CVD),
- z organ. kovových sloučenin MO CVD (Metal Organic CVD),

a ostatní. [24]

PE CVD - CVD za použití plazmatu

Nejčastěji používanou depoziční metodou přípravy vrstev na bázi uhlíku je metoda CVD za použití plazmatu - PECVD. Metoda PECVD je založena na zvýšení energie plyné atmosféry v komoře pomocí její ionizace a aktivace v plazmatickém výboji. Obecně se využívá vysokofrekvenčního výboje (Rf 100kHz – 40MHz) při tlacích 50 mTorr – 5 Torr (1 Torr = 133 Pa). Objemová koncentrace $\mu e \sim \mu i \sim 10^9 - 10^{12} \text{ cm}^{-3}$; střední kinetická energie $\epsilon e = 1 - 10 \text{ eV}$. Takto energeticky výbojové prostředí je dostatečné k rozkladu molekul na různé složky – elektrony, ionty, atomy v základním a excitovaném stavu, volné radikály, atd. Výsledným efektem chemických reakcí mezi těmito reaktivními molekulárními fragmenty je, že dochází k chemickým reakcím při mnohem nižších teplotách než u konvenčních CVD technik. Takovéto chemicky aktivované plazma umožňuje snížit teplotu potřebnou pro vznik vrstvy na povrchu substrátu. Takže dříve vysokoteplotní reakce mohou úspěšně probíhat i na teplotně citlivých materiálech (substrátech). [25]

PE CVD - CVD za použití plazmatu

Hlavními výhodami tohoto typu povlakování jsou: významně nižší depoziční teploty než v případě CVD a přesnost depozice. Za nevýhody lze považovat skutečnost, že tento

druh povlakování jde jen obtížně použít pro povlakování dutin a drážek. Plazma lze vytvořit pomocí vnějšího elektrického napájecího zdroje (nízkofrekvenční střídavé napětí, vysokofrekvenční střídavé napětí, stejnosměrné napětí, pulzní stejnosměrné napětí) nebo reaktivním plynem (např. C₂H₂, CH₄).

4.5 Fyzikální metody depozice vrstev PVD

Jedná se o ekologicky nejšetrnější metodu depozice vrstev, neboť zde není použito žádného nebezpečného materiálu a při procesu depozice se neuvolňují žádné toxické látky. Dalšími výhodami PVD depozice jsou vysoká odolnost vrstev, nízký koeficient tření, možnost vytvořit velké množství různých druhů (kombinací) vrstev, malá a snadno reprodukovatelná tloušťka vrstev, možnost tvorby přesných tloušťek vrstev. PVD proces se uskutečňuje v prostředí vysokého vakua při teplotách mezi 150 – 500°C. Vysoká čistota procesu je dosažena tepelným odpařováním materiálu, jenž je použit k povlakování (z kovů jsou to například titan, chrom, nebo hliník), a také jeho bombardováním ionty (naprašování). Současně je vpuštěn aktivní plyn (např. dusík, nebo jiný plyn obsahující uhlík), který reaguje s kovovými parami, čímž se vytvoří chemická sloučenina. Tato sloučenina se následně deponuje na nástroj nebo součástku v podobě tenké, vysoce přilnavé vrstvy. Technologie PVD mohou být použity pro vytváření tenkých vrstev nejen na nástrojích z rychlořezné oceli, součástkách z hliníku a plastů, ale dokonce i na velmi tenkých, pouze několik mikrometrů silných fóliích z polypropylenu, polyethylenu a dalších materiálů bez jejich tepelné degradace během depozice vrstvy. Podstatou fyzikální depozice je vypařování materiálu (vytvářejícího vrstvu) ve vakuu nebo rozprašování ve výboji udržovaném za nízkých tlaků.

Celý proces depozice může být obecně rozdělen do třech na sebe navazujících kroků:

- převedení materiálu do plynné fáze,
- transport par ze zdroje k substrátu,
- vytváření vrstvy na povrchu substrátu.

4.5.1 Metody PVD

Nejčastěji používané fyzikální metody jsou :

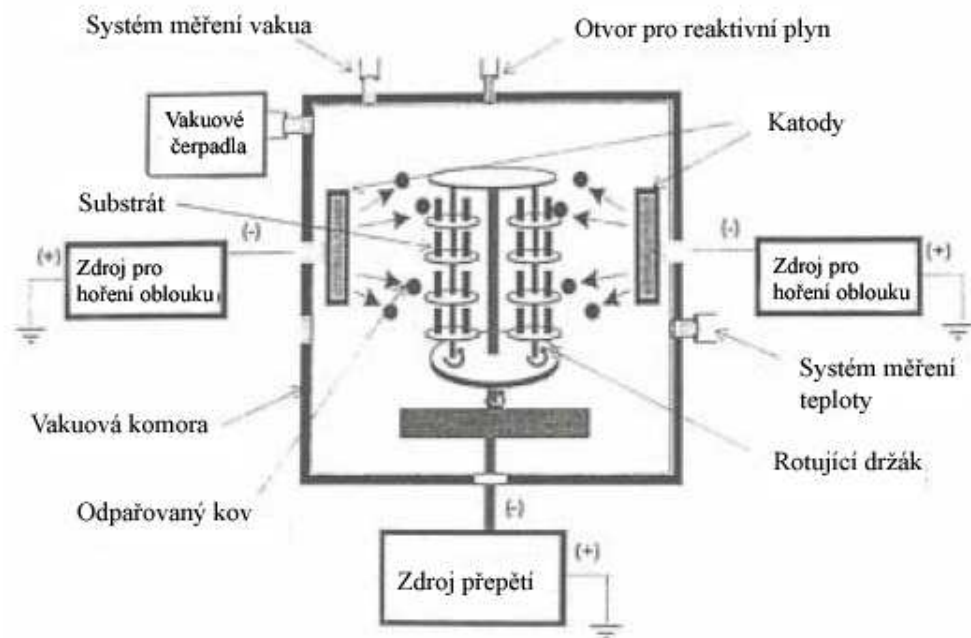
- reaktivní naprašování
- reaktivní napařování
- reaktivní iontové plátování

Reaktivní napařování

Je založeno na odpařování materiálu ve vakuu a na kondenzaci jeho par na substrátu. Odpařování terče lze provádět následujícími způsoby:

- a) elektronovým svazkem
- b) obloukovým výbojem
- c) pomocí laseru

Odpařovaný terč se nachází v roztaveném stavu, proto musí být umístěn ve spodní části zařízení. Odpařování terče má řadu modifikací, které se od sebe vzájemně liší typem a parametry.



Obr. 21. Schématicky znázorněné zařízení pro katodové napařování [20].

Reaktivní naprašování

Naprašování vrstev je založeno na rozprašování materiálu katody (terče) energetickými ionty a kondenzací částic odprášeného materiálu na substrátu. Ionty pracovního plynu jsou urychlovány elektrickým polem a dopadají na povrch naprašovaného materiálu ve formě plochého nebo válcového terče (targetu). Jejich účinkem jsou z povrchu vytrhávány atomy terče, které se často průchodem oblasti ionizovaného pracovního plynu samy ionizují a dopadají na povrch povlakovaných součástí.

Rozprašování probíhá v přítomnosti plazmatu:

a) buď **inertního plynu** (chemicky nereaguje s látkou povlaku obvykle se používá argon) depozice vrstev stejného složení jako má rozprašovaný terč

b) nebo **směsi inertního a reaktivního plynu** – reaktivní depozice vrstev různých chemických sloučenin

Hlavními přednostmi naprašování proti napařování jsou:

a) poměrně přesné přenesení složení slinutého terče do naprášené vrstvy

b) homogenní depozice vrstev

c) vlivem nepřítomnosti makročásteček deponovaného kovu významně lesklý povrch.

Magnetronové naprašování

Metoda magnetronového naprašování je založena na rozprašování pevného terče, který je katodou, ionty pracovního plynu extrapolovanými z plazmatu doutnavého výboje, který je lokalizován pomocí magnetického pole v těsné blízkosti katody. Elektronů plazmatu se zachycují v "tunelu" siločar magnetického pole a driftují podél tunelu, tím se značně prodlouží jejich dráha, zvýší počet srážek a vytvoří husté plazma. Kladné ionty dopadají z plazmatu na terč. Částice rozprášeného terče prochází plazmatem směrem k substrátu, na kterém je záporné předpětí.

4.5.2 Rozdíl mezi PVD a CVD

Faktory, kterými se liší techniky PVD a CVD:

1. Druh zdroje deponovaných atomů (pevná látka, tavenina, plyn).
2. Fyzikální mechanismy (odpařování nebo srážky) kterými atomy ze zdroje vstupují do plynné fáze.
3. Prostředí sníženého tlaku, kterým jsou plynné částice transportovány.
4. Obecná absence chemických reakcí v plynné fázi a na povrchu substrátu (výjimkou jsou reaktivní PVD procesy).

4.6 Požadované vlastnosti tenkých vrstev v aplikaci na řezných nástrojích

Z pohledu problematiky obrábění lze požadavky kladené na tenké vrstvy shrnout do jednoho bodu zájmu: „Tenké vrstvy mají přispět ke zvýšení řezivosti používaných řezných materiálů (nejrozšířenější jsou slinuté karbidy) při zachování či zvýšení hospodárnosti řezného procesu“. Přičemž řezivosti se rozumí technologická vlastnost řezných materiálů vyjadřující schopnosti vnikání řezného materiálu do obráběného materiálu za určitých řezných podmínek, trvanlivosti a velikosti opotřebení břitu. Proto základní vlastnosti související s její drsností a odolností proti adheznímu opotřebení břitu. Tloušťka a zajištění její rovnoměrnosti je velmi důležitým faktorem, neboť může pozměnit nejen geometrii, ale i rozměr nástroje. S ohledem na vysoké teploty a tlaky je rozhodující rovněž odolnost proti oxidaci a chemicko-tepelná stabilita.

Je samozřejmé, že není možné dosáhnout všech těchto vlastností jedinou vrstvou. Z tohoto důvodu se v minulosti vyvinuly vrstvy, které měly specifické vlastnosti z pohledu obrábění a ukazovaly směr použití. Pro jejich vlastnosti i z hlediska ceny jsou používány dodnes. Takovou vrstvou je např. vrstva TiN, která se vyznačuje dobrými kluznými vlastnostmi (koeficient tření vůči oceli 0,4), vrstva TiCN charakteristická svojí tvrdostí (cca 30FPa) a tím i opotřebením při menších řezných rychlostech – uplatňuje se na nástrojích pro účely hrubování. Vrstva Al₂O₃ vyznačující se dobrou chemickou stabilitou za vyšších teplot a odoláváním difúznímu, popř. i oxidačnímu otěru.

V posledních letech se na trhu velmi rozšířila vrstva TiAlN (popř. její modifikace AlTiN), která téměř již charakterizovala vytyčený cíl „ideální vrstvy“ s dobrými kluznými vlastnostmi (koeficient tření vůči oceli 0,4), tvrdostí cca. 33 GPa, a velmi dobrou oxidační odolností (do 800 °C). Některé práce uvádí u těchto vrstev na bázi AlTiN a TiAlN podezření degenerace vlastností (odolnosti vůči opotřebením vlivem stárnutí, dokonce i bez vnějšího působení). Tato domněnka však nikdy jednoznačně potvrzena ani vyvrácena. Skutečností zůstává, že zvýšený obsah Al (nad 65 %) způsobuje u těchto vrstev rychlý pokles tvrdosti.

S nástupem nových technologií v obrábění (HSC – High Speed Cutting, HPC – High Performance Cutting) v aplikacích na tvrdé a suché obrábění, s obráběním nových těžko-obrobitelných materiálů (kompozity, sendvičové materiály, materiály s tvarovou pamětí, niklové slitiny apod.) rostou i nadále požadavky na tenké vrstvy, především na zachování tvrdosti při vysoké teplotě. Možná i proto se na trhu objevila beztitanová vrstva AlCrN, která odolává sice vyšším teplotám, má příznivější kohezní vlastnosti, ale má nižší tvrdost než zmiňovaná TiAlN. Tento handicap v tvrdosti se ukázal v experimentech např. při frézování kalené zápuskové oceli při stejných řezných podmínkách (HSC) jako významný prvek rychlého opotřebením břitu monolitních fréz z jemnozrnného slinutého karbidu. trvanlivost dosahovala pouze přibližně 30 % trvanlivosti za použití stejného substrátu s vrstvou TiAlN. Opotřebením mělo formu plastické deformace – lavinovitého otěru. K tomu vznikají u této vrstvy ještě problémy s jejím odstraněním ze substrátu – slinutého karbidu (stripping), což zvyšuje náklady při renovaci tohoto nástroje. Z příkladu je patrné, že úspěšnost vrstvy úzce souvisí se správností nasazení a podmínkách aplikace tenké vrstvy při obrábění.

S rozšiřováním nanotechnologií v průmyslu začínají vznikat i nové nanostrukturní vrstvy, jejichž vlastnosti dosahují ještě lepších vlastností. To se týká i již zmíněné odolnosti vůči vyšším teplotám. Tyto vrstvy jsou charakterizovány nanokrystalickými TiAlN, popř. AlCrN zrny, které jsou vměstnány např. do amofiní Si_3N_4 matrice. Trvanlivost břitu ovlivňuje výrazně podíl Si, jehož nárůst z 6 % na 10 % způsobí dvojnásobnou hodnotu trvanlivosti. Dalším přínosem nanokrystalických vrstev je např. dosažení stejné tvrdosti nanostrukturní vrstvy AlCrN při 6% podílu Cr jako je na klasické AlCrN vrstvě při 40% podílu Cr. Tzn., že při použití nanotechnologií takto klesají náklady na pořizování deficit-

ních Cr elektrod a řeší se lépe otázka odstranění tenké vrstvy z řezného nástroje při jeho renovaci.

Shrnutí výhod povlakovaných nástrojů při obrábění:

- omezení případně zamezení nalepování obrobku (hlavně při měkkých operacích),
- zmenšení tření,
- zamezení vzniku studených svarů (adhezivní opotřebení),
- zvýšení trvanlivosti nástroje,
- zlepšení kvality povrchu obrobku (drsnost, jakost)
- zklidnění chodu stroje
- použití vyšších řezných rychlostí, ekonomické výhody

4.6.1 Hodnocení tenkých vrstev

Zkoušky tenkých vrstev lze obecně rozdělit na laboratorní a technologické zkoušky. V poslední době nabývají na významu právě technologické zkoušky v praktické aplikaci a vzájemná korelace výsledků. Zkouška trvanlivosti zachycuje v nejširším měřítku vliv mechanických a fyzikálních vlastností jednotlivých subjektů, účastnících se řezného procesu. Princip zkoušky trvanlivosti spočívá v obrábění řezným nástrojem řeznými podmínkami předem určenými, až do doby kdy je nástroj opotřeбен – dáno velikostí přípustné hodnoty opotřebení.

Nejčastější zkoušky:

- Optická emisní spektroskopie GD-OES
- Vnikací metoda – „Mercedes test“
- Scratch test (vrypová zkouška)
- Měření tloušťky – „kalotest“
- Tribologická zkouška – Metoda „PIN-on-DISC“
- Mikrotvrdost tenkých vrstev
- Zkoušky řezivosti a trvanlivosti břitu nástroje

4.6.2 Opakovaná depozice

Možnosti opakované depozice začínaly prvně využívat velké zahraniční firmy, které zjistily že opakované povlakování se z hlediska nákladů vyplatí. V nynější době na tento systém najíždí čím dál více i střední podniky. Nástroj před opakovaným povlakováním nesmí být mechanicky poškozen a otupen jen povlak. Před opakovanou depozicí se musí zbytky starého povlaku z celého nástroje odstranit, což se děje v chemické lázni. V opakované depozici se nejedná jen o podstatné snížení nákladů, ale také dopady na ekologii a suroviny.

4.6.3 Přehled vybraných povlaků

V současné době se nejvíce komerčně povlakuji 3 základní typy standardních vrstev: (Ti,Al)N, TiCN, TiN a jejich multivrstvové a gradientní modifikace.

Tab.2. Přehled standardních tenkých vrstev firmy Liss,a.s.[29]

Typ vrstvy	Barva	Tvrдость [GPa]	Tloušťka vrstvy[μm]	Koeficient tření	Max. prac. teplota[$^{\circ}\text{C}$]
TiN	Zlatá	24	1-7	0,55	600
TiAlN mono-vrstva	Fialovočerná	35	1-4	0,5	800
TiAlN multivrstva	Fialovočerná	28	1-4	0,6	700
TiCN-MP	Bronzovohnědá	32	1-4	0,2	400
AlTiN	Černá	38	1-4	0,7	900
STiN	Zlatá	28	1-4	0,4	500
TiCN	Šedomodrá	37	1-4	0,2	400
CrN	Kovověstříbrná	18	1-7	0,3	700
AlCrN	Šedomodrá	32	1-7	0,4	1000
TiAlCN	Bordovofialová	28	1-4	0,25	500
CROMVIC® (CrN+CBC)	Šedá	20	1,5-7	0,15	400
CBC(DLC)	Šedá	20	0,5-4	0,15	400
GRADVIC®	Šedá	28	1,5-5	0,15	400

TiAlCN+CBC					
μ AlTiN®	Černá	38	1-2	0,3	900
nACRo®	Modrošedá	42	1-7	0,35	1100
nACo®	Fialovomodrá	45	1-4	0,45	1200
MOVIC® MoS ₂	Zelenošedá	-	0,5-1,5	0,15	400
STARVIC® TiCN- MP+MOVIC	Zeleno-šedá	32	1,5-5,5	0,15	400

Tab.3. Přehled standardních tenkých vrstev firmy Balzers,a.s.[30]

Název vrstvy	materiál	Mikro- tvrdost* [HV 0,05]	Součinitel tření* (za sucha proti oceli)	Maximal- ní teplota použití [°C]	Barva
BALINIT® A	TiN	2300	0,4	600	zlatožlutá
BALINIT® ALCRONA	AlCrN	3200	0,35	1100	modrošedá
BALINIT® B	TiCN	3000	0,4	400	modrošedá
BALINIT® C	WC/C (a- C:H:W)	1500 / 1000	0,1 - 0,2	300	antracitová
BALINIT® CAST	CrC	2200	0,5	700	stříbrošedá
BALINIT® CNI	CrN	1750	0,5	700	stříbrošedá
BALINIT® CROVEGA	CrN	1750	0,5	700	stříbrošedá
BALINIT® D	CrN	1750	0,5	700	stříbrošedá
BALINIT® DIAMOND	polycrys- talline di- amond	> 8000	0,15 - 0,20	600	šedá
BALINIT® DLC STAR	CrN + a- C:H	> 2000	0,1 - 0,2	350	černá
BALINIT® DLC	a-C:H	> 2000	0,1 - 0,2	350	černá

BALINIT® FUTURA NANO	TiAlN	3300	0,30 - 0,35	900	fialovošedá
BALINIT® FUTURA TOP	TiAlN	3300	0,25	900	fialovošedá
BALINIT® G	TiCN + TiN	3000	0,4	400	zlatožlutá
BALINIT® HARDLUB E	TiAlN + WC/C (a- C:H:W)	3000	0,15 - 0,20	800	tmavošedá
BALINIT® HELICA	AlCr-based	3000	0,25	1100	měděná
BALINIT® LUMENA	TiAlN	3400	0,30 - 0,35	900	fialovošedá
BALINIT® MICRAN	TiAlN	3300	0,30 - 0,35	900	fialovošedá
BALINIT® TRITON	a-C:H	2500	0,10 - 0,20	350	černá
BALINIT® X.CEED	TiAlN	3300	0,4	900	modrošedá
BALINIT® X.CELL	TiCrN	2100	0,5	700	tmavošedá

Tab.4. Přehled standardních tenkých vrstev firmy SHM s.r.o.[31]

Typ vrstvy	Tvrdość [GPa]	Tloušťka vrstev [μm]	Drsnost Ra [μm]	Max.prac. teplota[°C]
Marwin SI	43	2-3	0,1-0,15	1000
Marwin SIS	40	0,9-1,5	0,05-0,1	900
Multi TiAlSiN	39	2-3	0,1-0,15	900
Marwin G	33	2-3	0,1-0,13	900
Multi TiAlN	33	2-7	0,1-0,13	850
Marwin TiN	25	2-3	0,08-0,12	550

5 PROJEKTOVÍ PARTNEŘI

5.1 ZPS-FN a.s.

Akciová společnost ZPS – FRÉZOVACÍ NÁSTROJE je dlouholetým výrobcem fréz, vrtáků a poskytovatelem služeb tepelného zpracování kovů. Počátky výroby nástrojů se datují do 30. let 20. století, kdy se vyráběly ve strojárnách MAS v rámci koncernu Baťa hlavně pro potřebu vlastní firmy. V 50. letech, po vzniku národního podniku Závody přesného strojírenství, pokračovala výroba nástrojů v samostatném středisku, později Kombi-nátu Náradí. Od roku 1992 existuje akciová společnost ZPS – FRÉZOVACÍ NÁSTROJE a.s., původně jako součást skupiny ZPS Zlín, od roku 2001, po prodeji ve veřejné soutěži jako samostatná firma.

Od 1.1.2005 je firma řízena na principech divizního uspořádání, se samostatnými divizemi Frézy, Vrtáky a Tepelné zpracování. Společnost zaměstnává přes 160 pracovníků. Cílem ZPS-FN je nabízet zákazníkům nástroje nejvyšší kvality, o čemž svědčí i vysoký podíl exportu na celkovém prodeji a to zejména do zemí Evropské Unie. Společnost má certifikovaný systém managementu jakosti dle normy ČSN – EN ISO 9001 : 2000.

5.1.1 ZPS-FN divize Frézy

Divize Frézy vznikla z historicky nejstarší části společnosti. Sídlí v 71. budově průmyslového areálu ve Zlíně. Předmětem její výroby jsou frézy zejména z klasických rychlořezných ocelí a rychlořezných ocelí vyrobených pomocí práškové metalurgie. Tyto oceli jsou dodávány zejména od firem Böhler, Thyssen a Erasteel.

Výrobní sortiment zahrnuje širokou nabídku nejen fréz stopkových (válcové, drážkovací, kopírovací), ale i frézy s Morse kuželem, strmým kuželem, frézy tvarové se stopkou i s otvorem, kotoučové frézy a jiné. Značnou část produkce představují frézy speciální, vyráběné na zakázku dle dokumentace zákazníka. Základem výrobní technologie jsou mj. stroje od firem Junker a Walter.

Adresa:

ZPS - FRÉZOVACÍ NÁSTROJE a.s.

Divize Frézy a Tepelné zpracování

Tř. T. Bati čp. 5334

760 01 Zlín

Česká Republika

tel.: +420 576 777 510

fax: +420 576 777 512

5.2 Liss

Od roku 1997 nabízí povlakovací centrum firmy LISS nanášení tvrdých vrstev metodou PVD (Physical vapor Deposition) systemem PLATIT. Povlakovací centrum PLATIT ve společnosti LISS a.s., začleněné do skupiny firem BCI (Blösch corporation Inc., Headquarter-Grenchen, švýcarsko) nabízí nanášení tvrdých vrstev na povlakovacím zařízení PLATIT 1000, PLATIT π^{80} a PLATIT 50. Povlakování na tomto zařízení zaručuje svou moderní koncepcí, unikátním Linear-Arc postupem a automatizací celého procesu vynikající kvalitu nanášených vrstev. Především plné reprodukovatelnosti adhesních vlastností, struktury, stechiometrie a tloušťek požadovaných vrstev.

Adresa:

POVLAKOVACÍ CENTRUM 

LISS, a.s.

Zuberská 2603

CZ - 756 61 Rožnov p. R.

E-mail: liss@liss.cz

<http://www.liss.cz/>

<http://www.platit.com/>

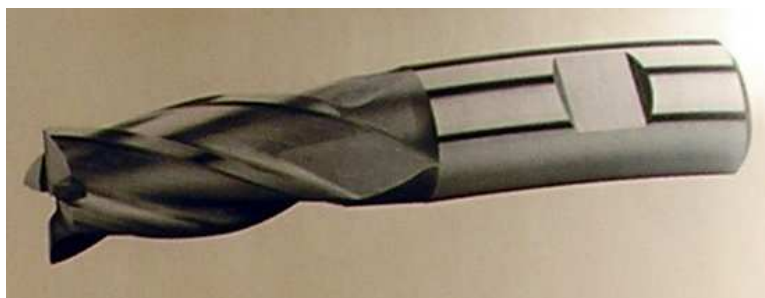
II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍL PRÁCE

Hlavním cílem práce je porovnat trvanlivost válcových čelních fréz vyrobených firmou ZPS- FRÉZOVACÍ NÁSTROJE. Geometrie nástroje bude ve všech případech stejná, materiál nástroje frézy bude HSS Co8, HSSE-PM povlakovaný firmou Liss a nepovlakovaný. Povlakované nástroje jsou z roku 2003 a 2006. Nástroje se budou hodnotit zkouškou frézováním a zkouškou adhezivního opotřebení. Dále na základě výsledku experimentu, zhodnotit materiálově a ekonomicky dané nástroje.

7 EXPERIMENTÁLNÍ FRÉZA

Fréza určená k experimentu se volila ve spolupráci s konzultantem práce, projektovým manažerem ZPS-FRÉZOVACÍ NÁSTROJE. Zvolena byla fréza válcová čelní $\phi 10$ – krátká. Jedná se o frézu dokončovací pro obrábění ocelí s pevností 900-1200MPa. V katalogu ZPS-FN je označena jako 1205 [příloha2, 32,33]. Standardní nabídka materiálu fréz v tomto případě je HSSE-PM+povlak a HSS Co8.



Obr. 22. Foto frézy 1205 [32].

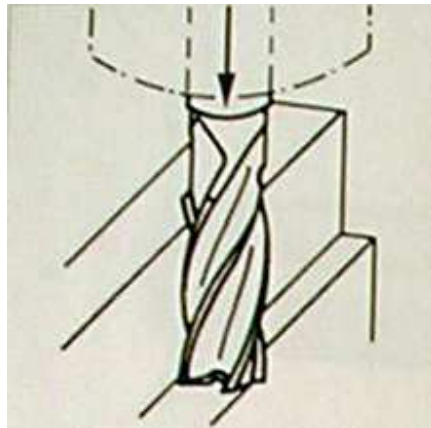
Tab.5. Přehled testovaných nástrojů a jejich označení

Označení nástrojů	CODE nástrojů	Rozměr	Označení nástrojů
HSS Co8	120518.100	10x22	1
	120518.100	10x22	2
	120518.100	10x22	3
	120518.100	10x22	10
HSSE-PM	120517.100	10x22	4
	120517.100	10x22	5
	120517.100	10x22	6
	120517.100	10x22	11
HSS-PM +AlTiN 2003	120517.100+TiAlN 2003	10x22	7
	120517.100+TiAlN 2003	10x22	8
	120517.100+TiAlN 2003	10x22	9
	120517.100+TiAlN 2003	10x22	12
HSS-PM +AlTiN 2006	120517.100+TiAlN 2006	10x22	13/6pp
	120517.100+TiAlN 2006	10x22	14/7pp
	120517.100+TiAlN 2006	10x22	15/8pp

Povlakované nástroje číslo 7,8,9,12 byly povlakovány v roce 2003, nástroje 13,14,15 jsou strojně přebroušené nástroje 6,7,8 s novým povlakem 2006.

7.1 Charakteristika nástroje

Vybraný nástroj je v katalogu fréz označen 1205 fréza válcová čelní – krátká , 1 břit přes střed, v německé normě označení DIN 844 (TYP N) ISO 1641. Jedná se o čtyřbřítý nástroj určený k čelnímu frézování, frézování do hloubky a bočnímu frézování.

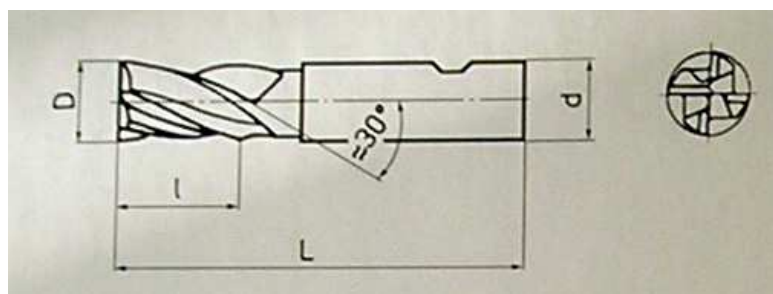


Obr. 23. Použití frézy 1205 [32].

Průměr zvolené frézy byl zvolen $D=10\text{mm}$. V příloze 2. se nachází katalogový list frézy válcové čelní – krátké 1205.

Tab.6. Rozměry frézy 1205.100.[32]

D k 10	l	L	D h 6	Z
10	22	72	10	4



Obr. 24. Rozměry frézy 1205 [32].

Tab.7. Parametry nástrojů

	Označení nástrojů	Úhel ostří α		Úhel ostří γ		Radiální házení		Axiální házení		Tvrdoost HV	
		Požad.	Naměř.	Požad.	Naměř.	Požad.	Naměř.	Požad.	Naměř.	Požad.	Naměř.
HSS Co8	1		14°		12°		0,010		0,010		858
	2	14-16°	16°	6-8°	11°	0,015	0,010	0,022	0,010	850+70	858
	3		13°30'		10°30'		0,015		0,010		870
	10		15°		10°		0,020		0,003		857
HSSE-PM	4		12°		12°		0,020		0,005		946
	5	12-14°	12°	12-14°	13°	0,015	0,010	0,015	0,005	900+35	946
	6		11°		13°		0,030		0,005		920
	11		12°		15°		0,010		0,002		908
HSSE-PM +AlTiN	7		12°30'		16°		0,005		0,005		907
	8	12-14°	12°30'	12-14°	16°30'	0,015	0,015	0,015	0,005	900+35	882
	9		12°30'		15°		0,005		0,005		882
	12		14°		12°		0,005		0,0102		908

8 MATERIÁL FRÉZ

Volba materiálu fréz, vyšla se zadání frézy válcové čelní - krátké 1205. Tato fréza je nabízena v katalogu firmy ZPS- FRÉZOVACÍ NÁSTROJE 2005/2006 ve dvou materiálových variantách [32,33]. Jedná se o materiál HSSE-PM od firmy ERASTEEL označený ASP2030, nástroj standartně dodávaný s povlakem a materiál HSS Co8 firmy BÖHLER označený BÖHLER S 500, z důvodu porovnání vlivu povlaku na trvanlivost nástroje se rozhodlo přidat ještě nástroj z materiálu HSSE-PM nepovlakovaný. Materiály se dodávají ve formě tyčového polotovaru.

8.1 Materiál HSS Co8 (BÖHLER S500)

Jedná se o rychlořeznou ocel legovanou Co a Mo, která se vyznačuje vysokou tvrdostí, s výbornými řeznými vlastnostmi, s vysokou tvrdostí za zvýšených teplot a dobrou houževnatostí. Používána pro výrobu fréz, spirálových vrtáků, závitníků, protahovacích trnů a nástrojů pro práci za studena. Vhodná především pro frézování vysoce pevných materiálů, austenizačních ocelí, ocelí pro tváření za tepla atd.

Tab.8. Chemické složení HSS Co8 [34]

HSS Co8 BÖHLER S500 DIN HS2-10-1-8 W.-Nr. 1.3247											
Chemické složení	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	Co	P	S	N
Udávaný obsah prvků v %	1,10	0,50	0,25	3,90	9,20	1,20	1,40	8,0			
Skutečný obsah v %	1,08	0,49	0,26	3,75	9,29	1,12	1,4	7,8	0,022	0,0006	0,036

Tepelné zpracování před dodáním, teplota tváření 1100-900°C, teplota žhání na měkko 770-840°C, tvrdost po žhání na měkko max 280HB (29HRC), teplota žhání na odstranění pnutí 600-650°C, podrobnější informace o tepelném zpracování jsou uváděny v materiálovém listu. Kalení se provádí stupňovitým ohřevem na austenizační teplotu 1170 až 1210°C, teploty z horního intervalu teplot jsou pro nástroje jednoduchého tvaru, dolní hranice austenizačních teplot jsou pro tvarově složitě nástroje. Pro nástroje pro práci za

studena z důvodu dosažení vyšší houževnatosti jsou možné i nižší kalící teploty. Pro kalení v solné lázni je doporučena výdrž na austenizační teplotě po přehřátí v celém průřezu minimálně 80 sekund, aby došlo k dostatečnému rozpuštění karbidů, nejvíce však 150 sekund, aby nedošlo k poškození materiálu. Doba setrvání v solné lázni skládající se z přehřevu v celém průřezu a výdrže na austenizační teplotě- viz diagram. Doporučené ochlazovací prostředí je olej, solná lázeň (500 až 550°C), vakuum.

Bezprostředně po kalení by měl následovat ohřev na popouštěcí teplotu, doporučená výdrž na teplotě je 1 hodina na 20mm tloušťky materiálu, nejméně však 2 hodiny, následně ochlazení na vzduchu. První popouštění na teplotě maxima sekundární tvrdosti, druhá teplota popouštění na požadovanou tvrdost (volit z popouštěcího diagramu obr.25). Třetí popouštění na uvolnění napětí 30 až 50°C pod teplotou popouštění na pracovní tvrdost. Dosáhnout lze po popouštění tvrdosti 67-69 HRC.

8.2 Materiál HSSE-PM (ASP 2030)

Řezivost rychlořezných ocelí stoupá při zvyšování obsahu uhlíku a vanadu. Současně se však zhoršuje tvářitelnost, obrobitelnost, obrusitelnost a zvyšuje se karbidická řádkovitost. Zejména při zvýšení obsahu vanadu nad 4% je již tvářitelnost obtížná. Tyto oceli je proto nutno zpracovávat buď slinováním nebo metodou přesného lití.

Tab.9. Chemické složení ASP 2030 [35]

HSSE-PM ASP 2030										
Chemické složení	C	Cr	Mo	W	Co	V	Si	Mn	P	S
Udávaný obsah prvků v %	1,28	4,20	5,00	6,40	8,50	3,10				
Skutečný obsah v %	1,28	3,89	5,09	6,11	8,17	2,99	0,64	0,26	0,21	0,011

ASP 2030 je kobaltová vysoce legovaná rychlořezná ocel vyráběná práškovou metalurgií tzv. ASP způsobem. ASP je postup práškové metalurgie, při kterém je rychle tuh-

noucí prášek, atomizovaný v proudu inertního plynu (v tomto případě dusík), vystaven tepelně isostatickému tlaku. V průběhu atomizace je tavenina rozprášena pod velkým tlakem pomocí plynného dusíku na malé částice. Rychlost tuhnutí je tak vysoká (100-1000°C/s), že jednotlivé legovací prvky nemohou v průběhu tuhnutí vyprchat. Prášek je zachycen v ocelové kapsli a postupně odplyněn a svařen. Po tepelně-izostatickém procesu stlačování prášku je skladba materiálu plně homogenní a mechanické vlastnosti jsou izotropní.



*Obr. 24. Výlom plochy mm² vlevo ASP2030 67HRC,
vpravo EM35 66HR [35].*

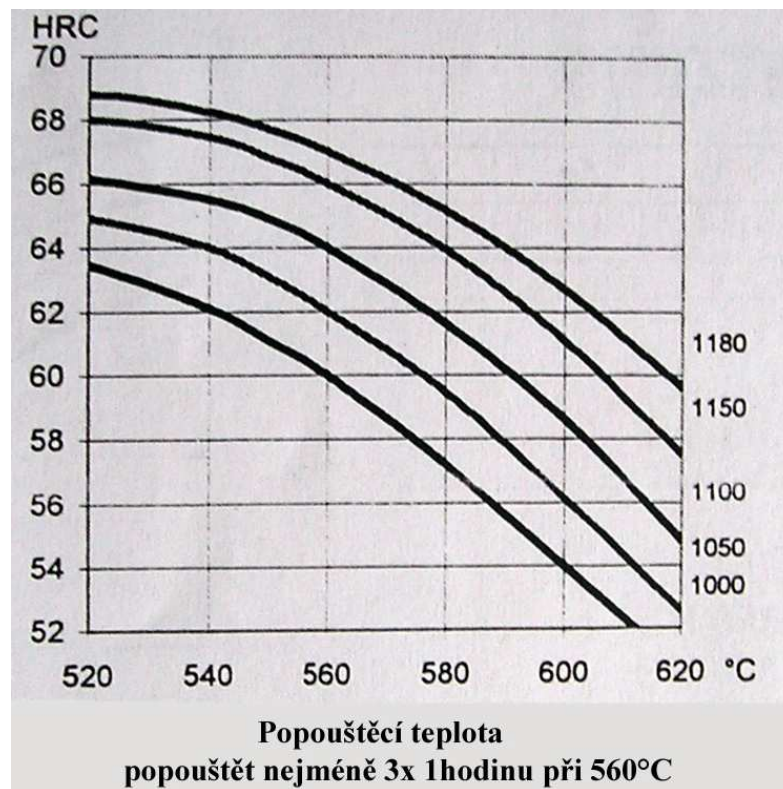
Homogenní struktura ASP 2030 zlepšuje vlastnosti odolnosti, trvanlivosti a rozměrovou stabilitu u tepelného zpracování také otěr, houževnatost a snižuje nebezpečí mikroskopických vydrolenin na ostří nože. Podle zkoušek měly vzorky odebrané ze slinutých a tvářených RO v příčném směru na směr tváření dvakrát vyšší houževnatost než vzorky odebrané z klasických RO. Slinuté oceli jsou proto vhodné např. na frézy k obrábění těžkoobrobitelných slitin niklu a titanu. Pro pevnostní vlastnosti a chemické složení této oceli můžeme říci, že se z ní dají vyrobit vysoce výkonné řezné nástroje s vysokou tepelnou stabilitou a dobrou odolností proti opotřebení.



Obr. 25. Struktura ASP[35].

Struktura materiálu ukazuje jemně disperzované rozdělení karbidu. Kulové částičky karbidu mají rovnoměrnou velikost asi 2-3 μm . Odolnost proti opotřebování je dána vysokým obsahem tvrdých karbidů odolných proti opotřebení a houževnatou maticí. Karbidy MC s vysokým obsahem vanadia tvoří u ASP 2030 5% obsahu, karbidy M_6C 8% obsahu oceli a kobalt 8,5%.

Žíhání na měkko při 850-900 $^{\circ}\text{C}$ 3 hodiny, potom pomalu ochlazovat 10 $^{\circ}\text{C}$ /hodinu na 700 $^{\circ}\text{C}$, dále chladit na vzduchu. Žíhání k odstranění pnutí při teplotách 600-700 $^{\circ}\text{C}$ s výdrží na teplotě 2 hodiny, pomalu ochlazovat až na 500 $^{\circ}\text{C}$. popouštět 3x nejméně 1 hodinu při 560 $^{\circ}\text{C}$, mezi popouštěními ochladit na pokojovou teplotu (25 $^{\circ}\text{C}$). Kalicí diagram obrázek 26.



Obr. 26. Popouštěcí a kalicí diagram ASP2030 [35].

Ocel lze použít pro další povrchové úpravy, je to výborný základový materiál pro nanášení PVD a CVD vrstev. Při plazmové nitridaci se dosahuje hloubka nitridace 2-15 μm . Větší hloubky nitridační vrstvy se nedosahují pravděpodobně kvůli většímu obsahu uhlíku a tím spojeném výskytu karbidů, které brání difuzi dusíku do základního materiálu.

8.3 Charakteristika použitého povlaku AlTiN

Tepelně odolný, vysokovýkonný povlak, vhodný i pro suché obrábění vysokými rychlostmi. Má vysokou tvrdost, odolnost proti opotřebení speciálně při vysokých teplotách a výbornou oxidační odolnost. Substituce Ti atomů v B1 NaCl struktuře TiN způsobí vytvoření AlTiN fáze, přičemž parametr mřížky klesá s růstem podílu Al, z důvodů menšího poloměru atomu Al v porovnání s Ti. Mřížkový parametr plynule klesá s růstem obsahu Al z 0,423 až na 0,417 nm. Vrstvy na bázi AlTiN vytvářejí na povrchu v oxidačním prostředí a při teplotách okolo 700°C ochrannou, vysoko adhezní vrstvičku AlB₂BOB₃B, která zabraňuje pronikání kyslíku do povlakovaného materiálu, zabraňuje další oxidaci, snižuje opotřebení za působení vysokých teplot. Při zvýšených teplotách je tvrdost AlTiN větší než TiN, to vyplývá z faktu, že závisí na obsahu Al. Mikrotvrdost povlaku roste z 19,6 GPa (2000 HV) a dosahuje maximální hodnotu 31,4 GPa (3200 HV) při 60% Al. Další zvýšení podílu Al, způsobuje rapidní pokles tvrdosti až na hodnotu 13,7 GPa (1400 HV) při 90 at.% Al.

Dalšími faktory, které ovlivňují tvrdost povlaku, jsou předpětí substrátu a složení katody. Rovněž jako oxidační odolnost a tvrdost, závisí na obsahu Al také ostatní mechanické vlastnosti tohoto povlaku. Po čas oxidace AlTiN vzniká dvojvrstvý systém, při kterém vnější vrstva, bohatá na Al, vytváří AlB₂BOB₃B a vnitřní bohatá na Ti, vytváří TiOB₂B. Celková tloušťka oxidační vrstvy klesá s vzrůstajícím obsahem Al. Odolnost povlaků na bázi AlTiN proti opotřebení může být zvýšená snížením předpětí substrátu, nejlepší výsledky byli získané při předpětí 25V. Stupeň ionizace páru Ti je vyšší (80%) jako stupeň ionizace páru Al (50%). Vysoko ionizované Ti ionty jsou přednostně přitahovány k negativnímu předpětí substrátu. Táto preferenční přitažlivost potom upravuje konečný podíl Ti/Al v povlaku.

9 OBECNÝ POPIS TESTŮ, METODIKY MĚŘENÍ A ANALÝZY MĚŘENÝCH HODNOT U ZKOUŠEK FRÉZOVÁNÍM

9.1 Materiál obrobku

Pro testování byla použita ocel 15 241.7 zušlechtěná ($R_m = 1200\text{MPa}$), dodaná v opracovaném polotovaru 44,5 x 94,6 x 598. Jedná se o Cr-V ocel k zušlechtování a povrchovému kalení. Materiál byl kalen na 860-900°C, popouštění 500-600°C ochlazováno do vody.

Tab.10. Chemické složení [hm.-%] materiálu 15 241 dle ČSN 41 5241 [34]

ČSN 41 5241								
Chemické složení	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	P	S
Obsah prvků v %	0,35-0,43	0,60-0,80	0,17-0,37	1,70-2,0	max. 0,60	0,10-0,20	max. 0,035	max. 0,035

Ocel je vhodná pro výrobu součástí strojů a silničních vozidel, u nichž se žádá velká pevnost a dostatečná tažnost, například povrchově kalená ozubená kola, torzní tyče, věnce ozubených spojek. Její ekvivalent v DIN je 42CrV6.

9.2 Obráběcí stroj

Ke zkouškám frézování byla použita Univerzální frézka FHV-50PD, výrobce PROMA CZ, spol. s.r.o., Dobruška.

Tab.11. Technické data univerzální frézky

Rok výroby	2004
Otáčky vertikálního vřetene [ot/min]	115-1750
Napětí	3/N PE AC/400 V 50Hz
Příkon motoru vertikálního [kW]	0.85/1,5
Rozměry frézky [mm]	1280x1100x1920
Hmotnost [kg]	700

9.2.1 Upnutí řezných nástrojů

Řezné nástroje byly upnuty do upínacího pouzdra $\varnothing 10$. Jednou během experimentu se nástroj povolil z upnutí a to u zkoušky číslo 2, nástroj č.5, což mělo za následek zničení nástroje. Je možné že povolení nástroje způsobilo nadměrné otupení nástroje.

9.3 Řezné podmínky pro frézy

Při výběru řezných podmínek se vycházelo ze studia odborných prací, z materiálu obrobku, z daného frézovacího stroje a z přibližných řezných podmínek, které udávají katalogy firem zabývajících se výrobou frézovacích nástrojů. V úvahu byly brány i řezné podmínky při dřívějších zkouškách v ZPS-FN, a to hlavně z důvodu zajištění alespoň určité návaznosti a možnosti porovnání vývoje trvanlivosti nástrojů. **Všechny zkoušky proběhly bez chlazení nástrojů.**

Základní vztahy určené k výpočtu řezných podmínek z firemních katalogů pro tabulku č.8. Všechny firmy vycházely ze stejných výpočetních vztahů. Jediný rozdíl byl jen v tom že některé používaly mezi různými materiály nástrojů korekční faktor, jiné zrovna udávaly nové hodnoty. Čelní frézování bylo střídavě obrábění nesousledné a sousledné.

$$\text{Řezná rychlost} \quad v = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} [m / \text{min}]$$

$$\text{Posuv} \quad s = fz \cdot n \cdot z [mm / \text{min}]$$

a_a Axiální šířka záběru (hloubka řezu) [mm]

a_r Radiální šířka záběru [mm]

fz Posuv na zub [mm]

n Otáčky nástroje [1/min]

v Řezná rychlost [m/min]

s Posunová rychlost [mm/min]

z Počet zubů frézy

D Průměr nástroje [mm]

Tab.12. Řezné podmínky pro frézování dle firemních katalogů

Mat.nástr.	HSS Co8				HSSE-PM				HSSE-PM+AlTiN			HSS Co8+ TiN(TiCN)
	ZPS-FN	FETTE	FRANKEN	FRANKEN 2.verze	ZPS-FN upraveno	FETTE	ZPS-FN upraveno2	ZPS-FN	FETTE	HPT		
Výrobce fréz	ZPS-FN	FETTE	FRANKEN	FRANKEN 2.verze	ZPS-FN upraveno	FETTE	ZPS-FN upraveno2	ZPS-FN	FETTE	HPT	FRANKEN 2.verze	
a_a [mm]	10	10(22)	15	15	10	10(22)	10	10	10(22)	15	15	
a_r [mm]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
f_z [mm]	0,0196	0,045	0,0333	0,0288	0,0196	0,0635	0,0196	0,0217	0,0635	0,035	0,0369	
n [1/min]	955	573	573	573	955	764	637	1083	1274	1003	955	
v [m/min]	30	30	18	18	30	40	20	34	40	31,5	30	
s [mm/min]	74,8	103	76,4	66,35	74,8	194	50	94	323,6	140	140,958	
Q [cm ³ /min]	0,748	1,03	1,145	0,995	0,748	1,94	0,5	0,94	3,2	2,1	2,11	
úběr fr. mat		(2,27)				(4,27)			(7,12)			

9.4 Kritérium trvanlivosti

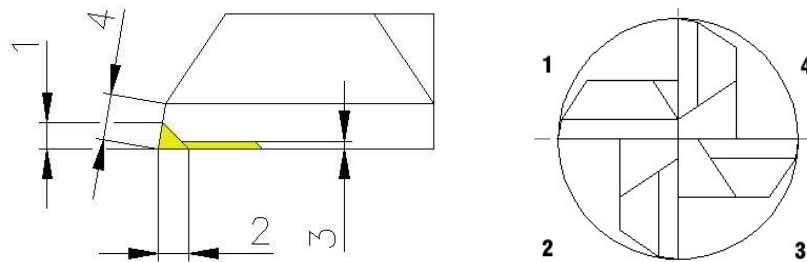
Aby se mohla stanovit trvanlivost nástroje a mohl porovnat účinek různých zkušebních parametrů, je nevyhnutelné stanovit jako kritérium určité poškození řezné části. Jako kritérium trvanlivosti se určily dopředu stanovené číselné hodnoty různých druhů porušení nástroje, které se mohly změřit. Když se objevila při experimentu další měřitelná forma porušení tak byla snaha ji zaznamenat. Kdyby se při jedné z těchto hodnot ukázala limitní hodnota, trvanlivost nástroje by se považovala za ukončenou.

Ze strany ZPS-FN bylo požadováno kritérium trvanlivosti opotřebení na hřbetě $VB_{MAX} = 0,15$ v návaznosti na starší zkoušky. V průběhu zkoušek bylo zjištěno u frézovacích nástrojů velké porušování v oblasti špičky nástroje, které ovlivňovalo trvanlivost nástroje.

Typ porušení nástroje, které v nejvyšší míře přispívá k ukončení trvanlivosti nástroje, se považovalo za prioritní kritérium trvanlivosti nástroje.

U určování kritérií opotřebení se vycházelo z normy pro zkoušení trvanlivosti při frézování ČSN ISO 8688-2 [39].

Kritéria trvanlivosti:

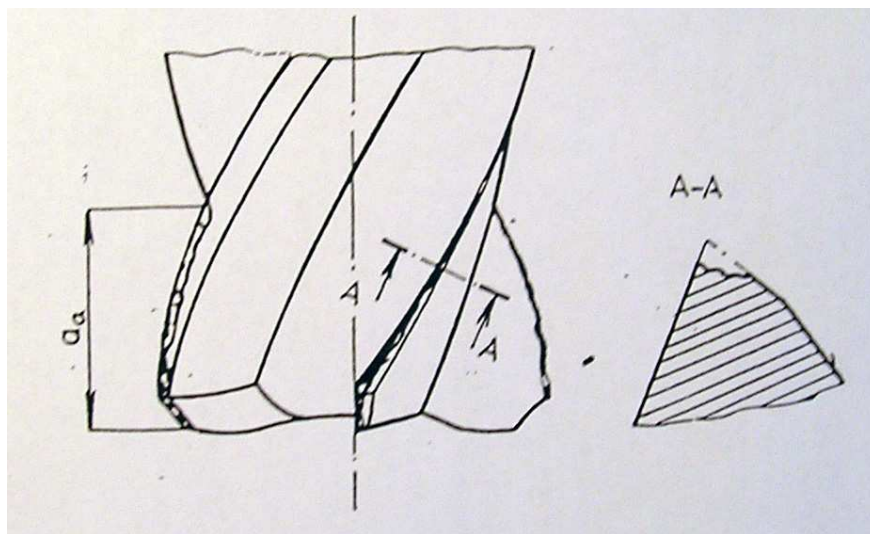


Obr. 27. Kritéria trvanlivosti nástroje a označení břitů

- 1.) Velké porušování v oblasti špičky nástroje se sledovalo v rozměrech 1 a 2 jako limitní hodnota se určila 0,3mm u rozměru 1, rozměr 2 byl ovlivněn radiální hloubkou řezu ($a_r=1\text{mm}$ ve všech případech) a jeho určení bylo složitější, hodnoty se braly jen orientačně. Rozměry se zaznamenávaly na všech 4 břitech.
- 2.) Rozměr 3 se měl v počátku brát jako kritérium trvanlivosti opotřebení na hřbetě s limitní hodnotou $VB_{MAX} = 0,15$. V průběhu zkoušek se došlo k zjištění že ho lze brát v úvahu jen u materiálu nástroje HSSE-PM nepovlakovaného. Rozměry se zaznamenávaly na všech 4 břitech.

3.) Rozměr označený jako 4 se zaznamenával jen u největšího břitu a to z důvodů možnosti chyb jelikož rozměr nemohl být určen úplně přesně a to hlavně z důvodů rozdílné hloubky opotřebení. Hodnoty ne vždy ukazovaly reálné opotřebení nástroje nejvíce hodnota odpovídala u nástroje HSSE-PM povlakovaného.

4.) Opotřebení hřbetu, opotřebovaná ploška, která za normálních okolností má stálou šířku po celé délce na hřbetní části ($a_a=10\text{mm}$ ve všech případech). V protokolu označeno číslem 5.



Obr. 28. Opotřebení hřbetu[39].

6.) Další kritéria opotřebení nástroje byly jevy:

- neschopnost odebrat třísky
- nadměrné chvění a vibrace
- nepříznivá barva třísky
- jiskření

9.5 Charakteristika vyhodnocovacích mikroskopů

Pro odečítání porušení nástrojů se používal:

Metalografický mikroskop NEOPHOT,

rok výroby: 1957,

výrobní číslo: 63059410,

výrobce: CARLZEISS JENA.

K odměřování porušení se používalo 100 násobné zvětšení, hodnoty se odečítaly pomocí nitkového kříže se stupnicí, jeden dílek 0,01mm.

Na snímkování nástrojů a větší zvětšení se použil:

Inverzní metalografický mikroskop XJP - 6/6A se CCD video kamerou.

Technická data:

Tab.13. Celkové zvětšení pro pozorování

Objektiv	2,5x	4x	10x	40x	100x
Okulár					
5x	12,5x	20x	50x	200x	500x
10x	25x	40x	100x	400x	1000x
12,5x	30x	50x	125x	500x	1250x

Napájení

příkon: 220V/50Hz nebo 110V/60Hz,

výkon: 6V30W,

specifické pojistky: 1A Φ 5x20,

rozsah pohybu stolku na vzorky: 75x50 mm,

výrobce: HELAGO CZ, Hradec Králové.

CCD VIDEO CAMERA EQ 35, 1/3" Color Digital Kamera, PAL, Audio, 90-260V, 60/50Hz, 80-40mA, High-resolution,

Zvětšení na fotografie bylo použito 65 násobné.

10 ZKOUŠKA ČELNÍM FRÉZOVÁNÍM

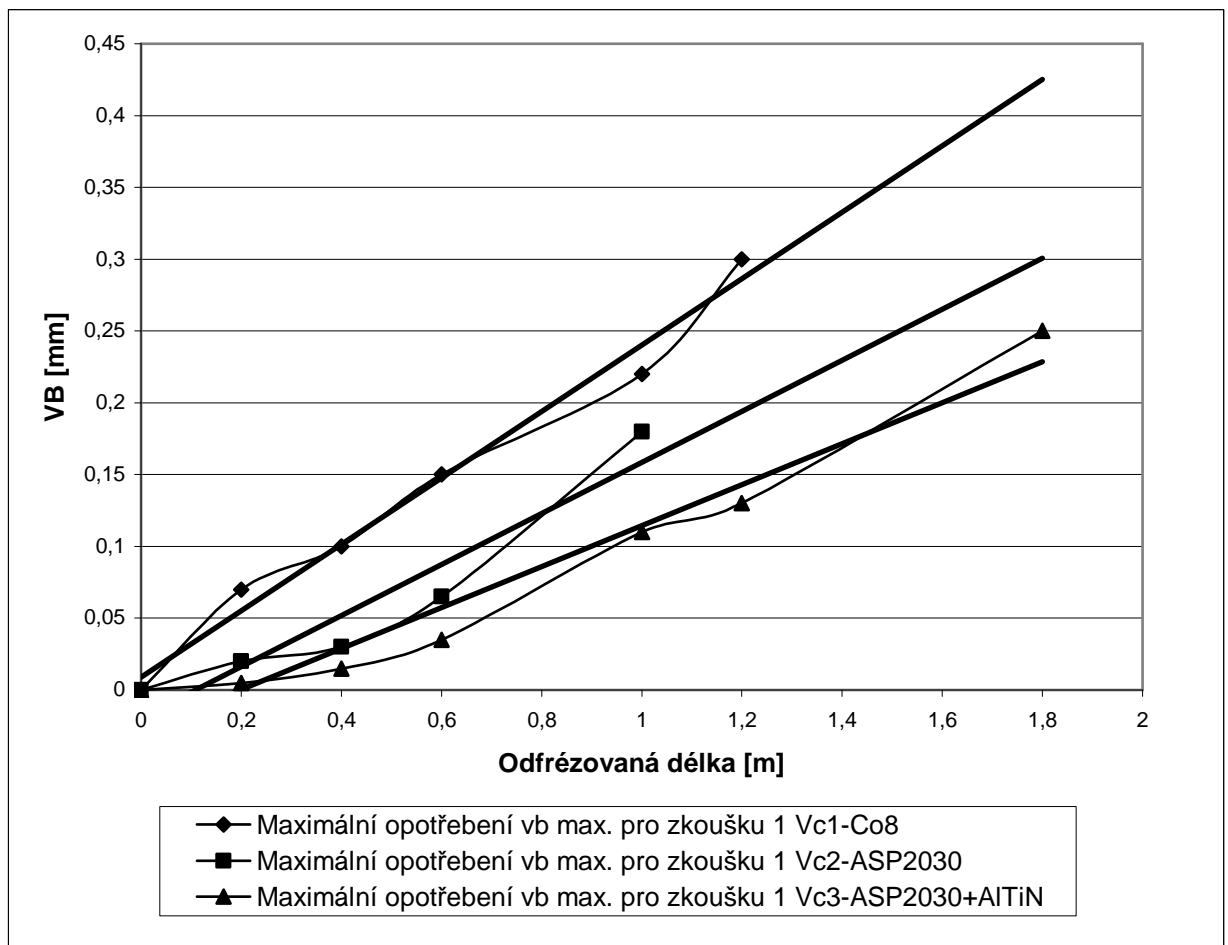
10.1 První test

V prvním testu byly zvoleny podmínky v závislosti na materiálu nástroje, s přihlédnutím ke katalogovým podmínkám. Nástroje byly používány do kritického opotřebení tedy za mez $VB_{MAX} = 0,15$ a to z důvodů zjištění mezních hodnot a průběhu opotřebení po překročení bodu otupení. V průběhu testu šlo zaznamenat, že každý materiál má jiný geometrický tvar otupení a opotřebení a jejich další průběh se také vyvíjí odlišně.

Tab.14. Použité řezné podmínky

Materiál nástroje	HSS Co8	HSSE-PM	HSSE-PM+AlTiN 2003
Číslo nástroje	3	5	7
a_a [mm]	10	10	10
a_r [mm]	1	1	1
f_z [mm]	0,028	0,028	0,028
n [1/min]	700	891	1083
v [m/min]	22	28	34
s [mm/min]	65	100	100
Q [cm ³ /min]	0,784	0,998	1,2
nechlazeno	Sousledné – nesousledné frézování		

V příloze č. 2 se nalézají protokoly zkoušek jednotlivých nástrojů.



Obr.29. Závislost trvanlivosti nástroje na odfrézované délce pro různé řezné podmínky u zkoušky číslo 1

10.1.1 Házivost

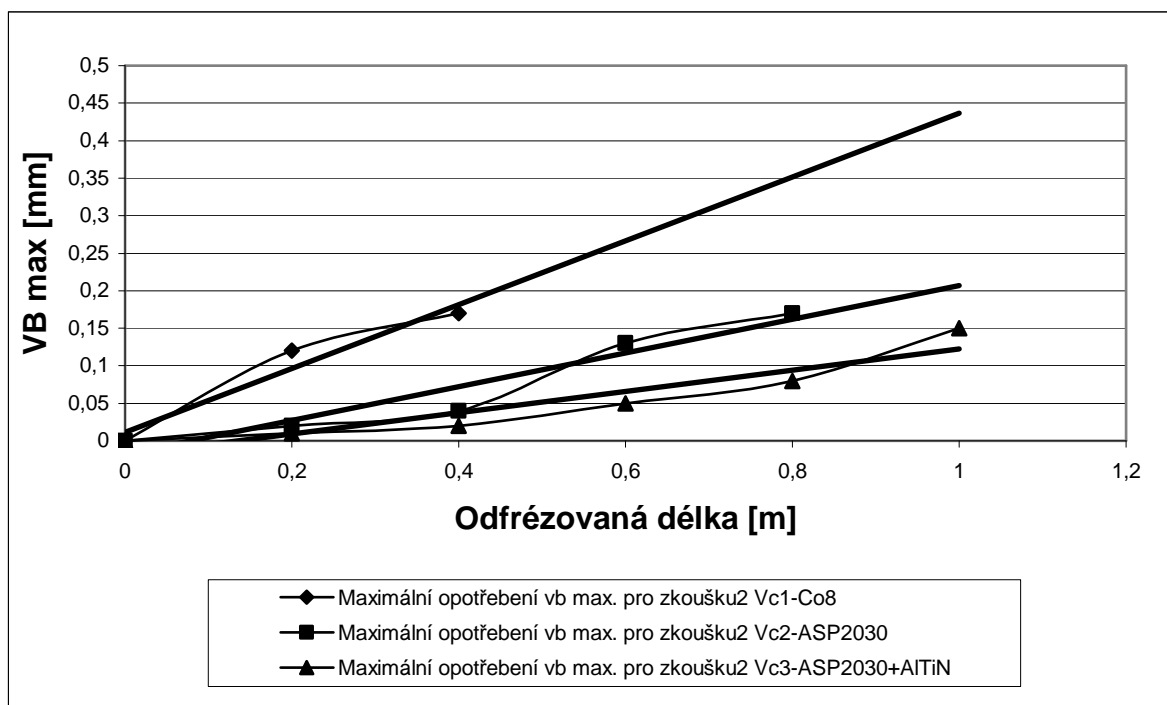
Radiální házivost nad 0,01mm se již udává jako nevyhovující. V průběhů testování jsem ovšem dosahoval průměrnou házivost břitu 0,04. Při takové házivosti klesá trvanlivost ostří, v literatuře se udávají procenta poklesu o 30% až o 75%. Naměřené hodnoty házivosti viz. Protokoly příloha 1.

10.2 Druhý test

V druhém testu se zvolily řezné podmínky pro všechny nástroje stejné, podle hodnot povlakovaného nástroje. Pro materiál nástroje HSS Co8 byly zvolené podmínky nevyhovující. Z toho vyplývá potvrzení o tom, že tyto materiály mají velmi specifické opotřebení a nelze je zkoušet za stejných řezných podmínek.

Tab.15. Použité řezné podmínky v druhém testu

Materiál nástroje	HSS Co8	HSSE-PM	HSSE-PM+AlTiN
Číslo nástroje	2	6	8
a_a [mm]	10	10	10
a_r [mm]	1	1	1
f_z [mm]	0,028	0,028	0,028
n [1/min]	1083	1083	1083
v [m/min]	34	34	34
s [mm/min]	100	100	100
Q [cm ³ /min]	1,2	1,2	1,2
nechlazeno	Sousledné – nesousledné frézování		



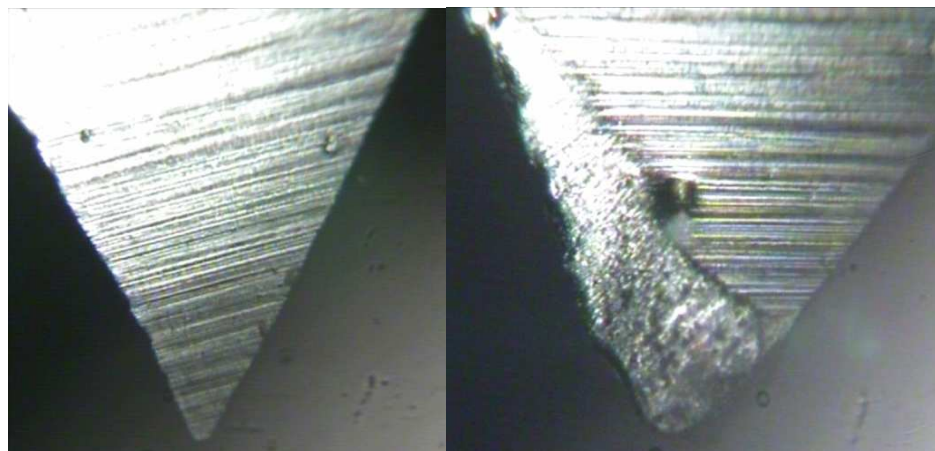
Obr.30. Závislost trvanlivosti nástroje na odfrézované délce pro stejné řezné podmínky u zkoušky číslo2

10.3 Třetí test

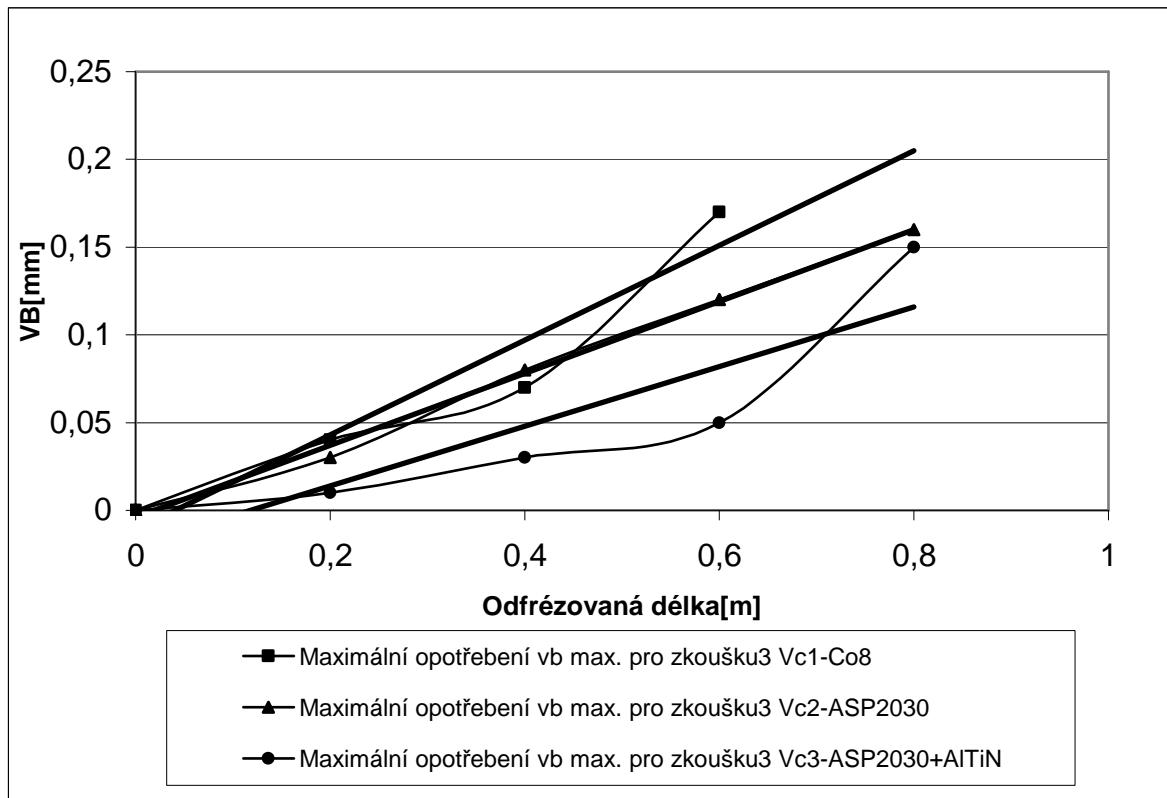
V třetím testu byly zvoleny řezné podmínky s přihlédnutím k předcházejícím testům. Řezné podmínky se ve všech případech snížily. U nástroje z materiálu HSSE-PM+AlTiN se ukázaly podmínky jako nevyhovující a došlo po odfrézování délky 0,6m ke skokovému zhoršení opotřebení břítu.

Tab.16. Použité řezné podmínky v třetím testu

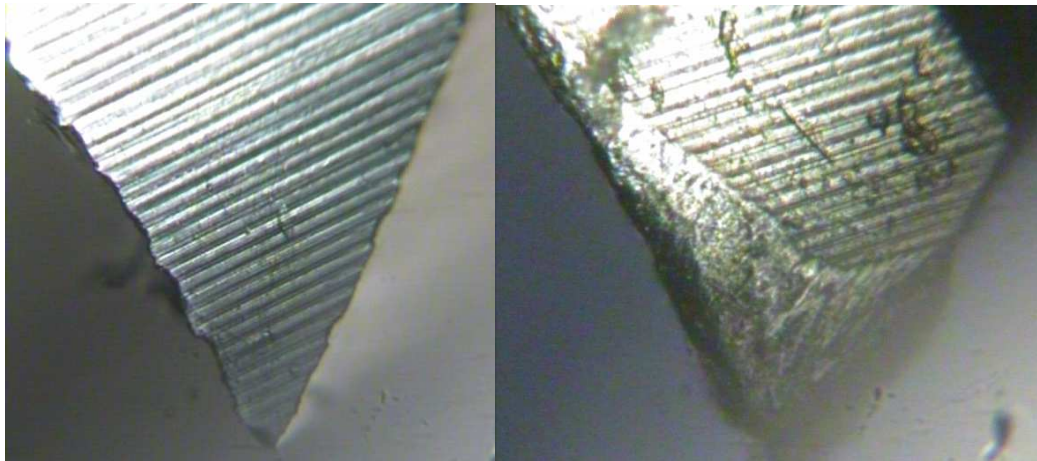
Materiál nástroje	HSS Co8	HSSE-PM	HSSE-PM+AlTiN
Číslo nástroje	1	4	8
a_a [mm]	10	10	10
a_r [mm]	1	1	1
f_z [mm]	0,0283	0,23	0,028
n [1/min]	573,3	700	891
v [m/min]	18	22	28
s [mm/min]	65	65	100
Q [cm ³ /min]	0,65	0,65	1
nechlazeno	Sousledné – nesousledné frézování		



Obr.31 Nástroj číslo 4. (HSSE PM) druhý břit po 0m a 0,6m frézování



Obr.32. Závislost trvanlivosti nástroje na odfrézované délce pro stejné řezné podmínky u zkoušky číslo 3



Obr.33. Nástroj číslo 1. (HSS Co8) druhý břit po 0m a 0,6m frézování
zřetelná je změna zbarvení nástroje

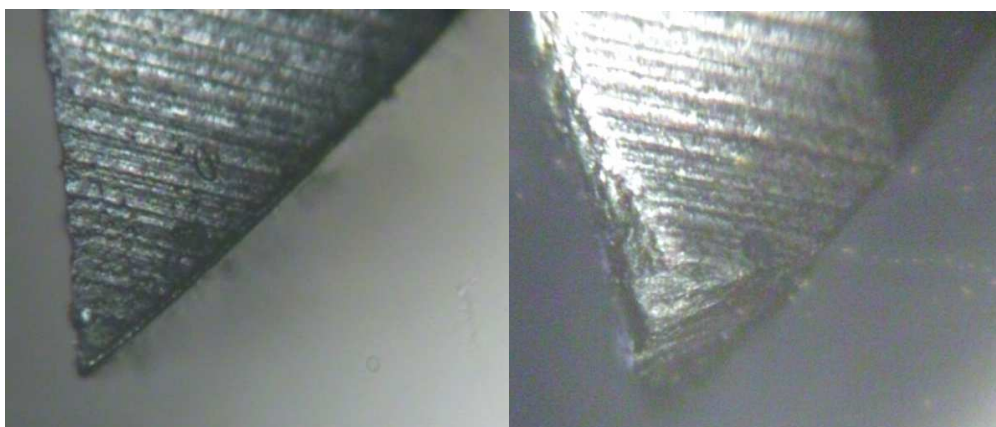
Celý průběh opotřebení břitů všech nástrojů na fotografii je k dispozici v elektronické podobě na přiloženém cd jako příloha 3.

10.4 Test nástrojů s povlakem 2006

Testovány byly nástroje 13,15 jsou to strojně přebroušené nástroje 6,8 s novým povlakem 2006. Tyto nástroje měly dosahovat lepších výsledků v porovnání s povlaky z roku 2003, na kterých se měla projevit oxidace hliníku ve struktuře povlaku.

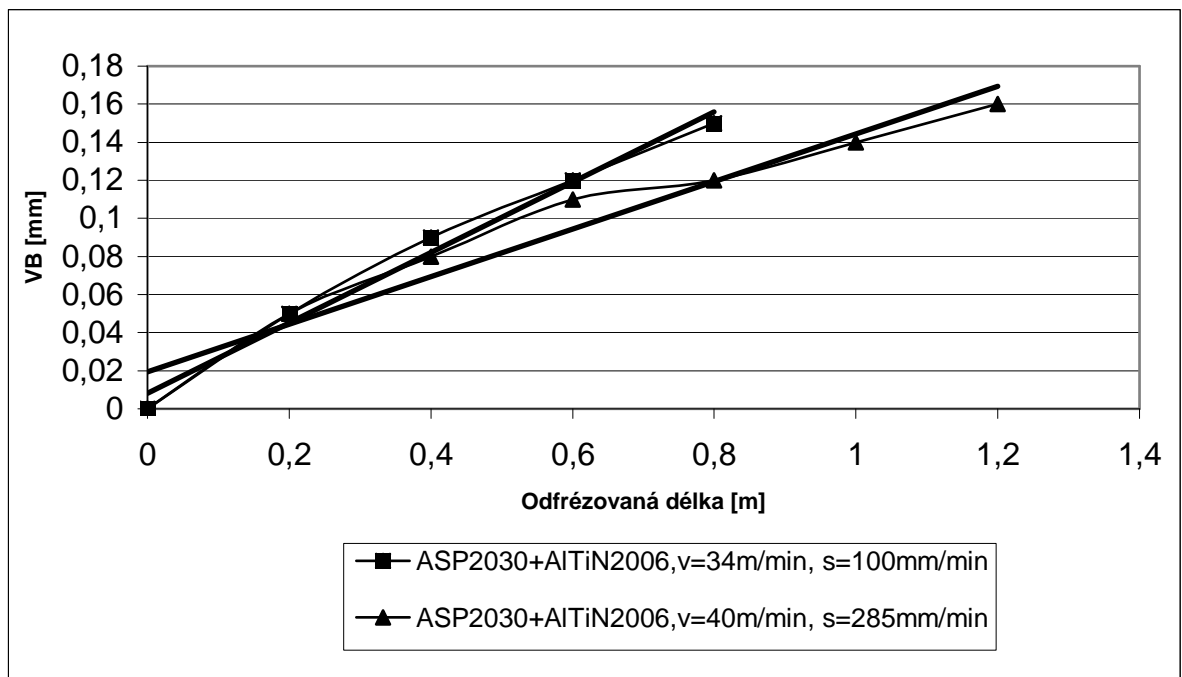
Tab.17. Použité řezné podmínky pro test povlaků AlTiN 2006

Materiál nástroje	HSSE-PM+AlTiN 2006	HSSE- PM+AlTiN 2006
Číslo nástroje	13/6pp	15/8pp
a_a [mm]	10	10
a_r [mm]	1	1
f_z [mm]	0,023	0,0635
n [1/min]	1083	1274
v [m/min]	34	40
s [mm/min]	100	285
Q [cm ³ /min]	1	2,85
nechlazeno	Sousledné –nesousledné frézování	

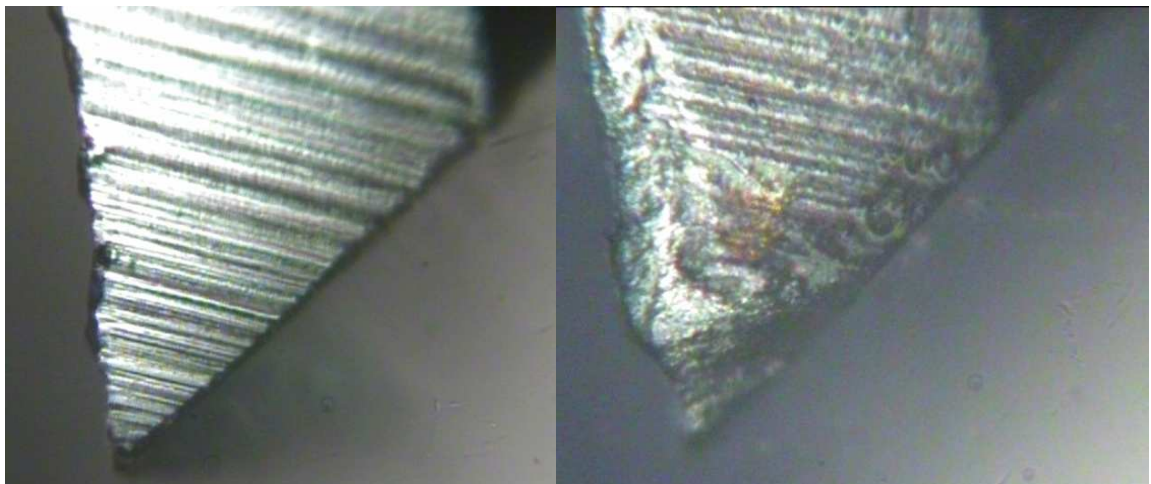


Obr.34. Nástroj číslo 15. (HSSE-PM+AlTiN2006)

druhý břit po 0m a 1m frézování



Obr.35. Závislost trvanlivosti nástroje na odfrézované délce pro různé řezné podmínky u HSSE-PM+AlTiN 2006

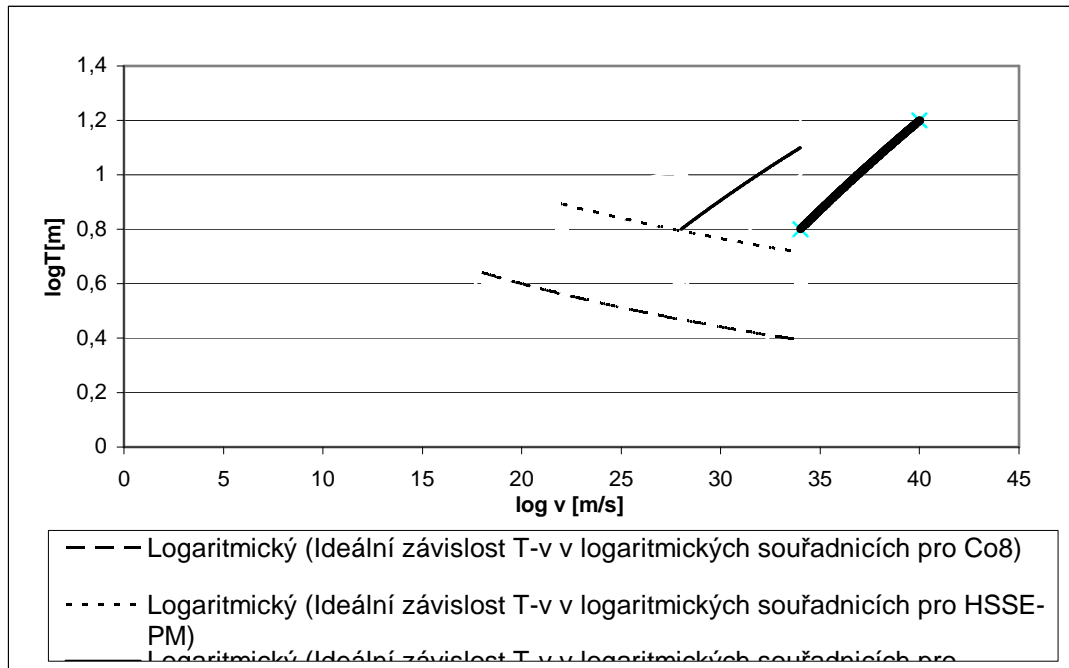


Obr.36. Nástroj číslo 13. (HSSE-PM+AlTiN2006)

třetí břit před nanesením povlaku a po 0,8m frézování

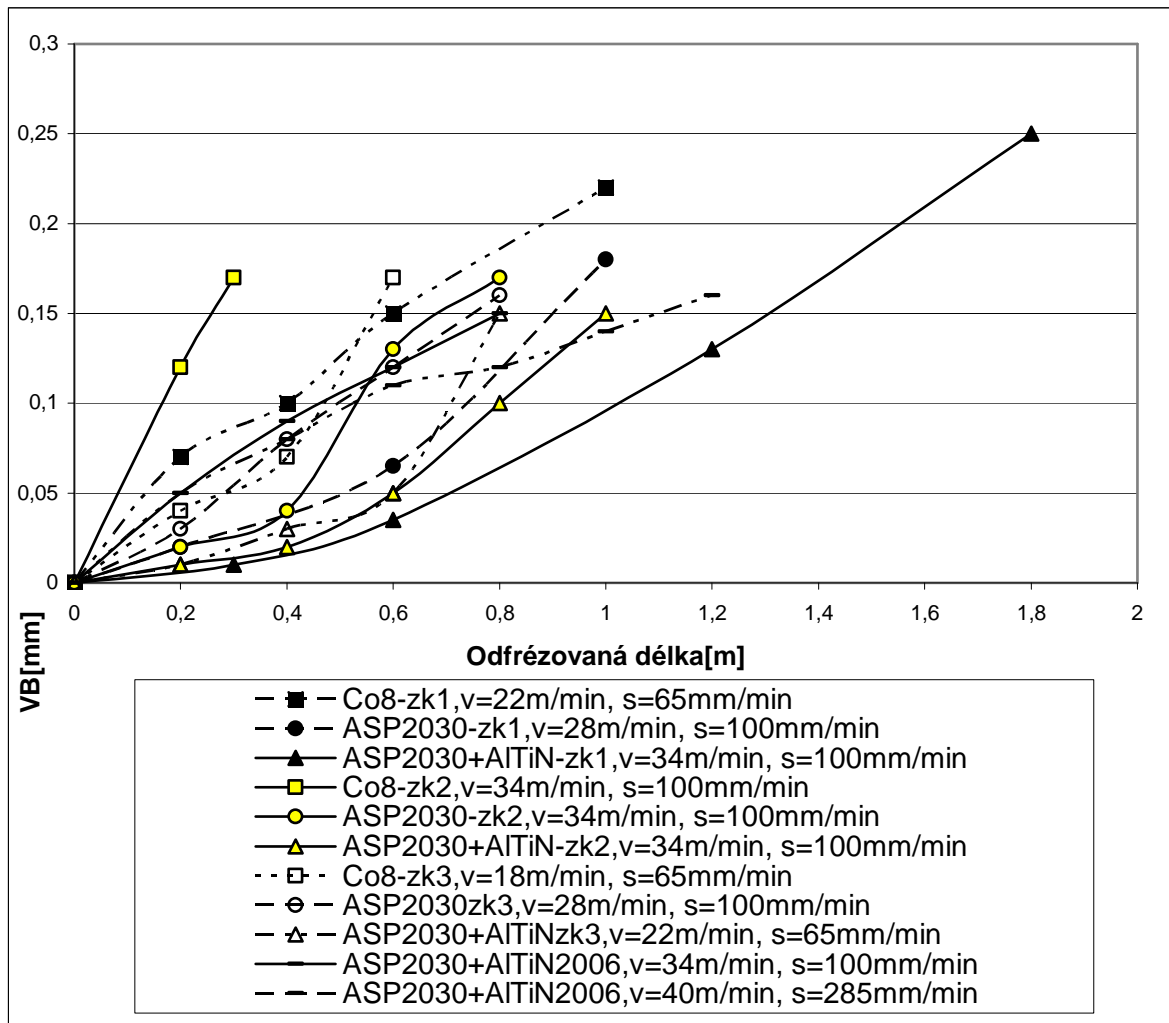
U řezných podmínek pro nástroj číslo 15 se projeví příznivé vlastnosti povlaků při nastavení vyšších hodnot řezných podmínek. Lze to pozorovat hlavně v porovnání s nástroji z HSS Co8. Rozdíl mezi povlaky nanesenými v roce 2003 a v roce 2006 nedosahoval očekávaných hodnot.

10.5 Grafy výsledků zkoušek frézováním



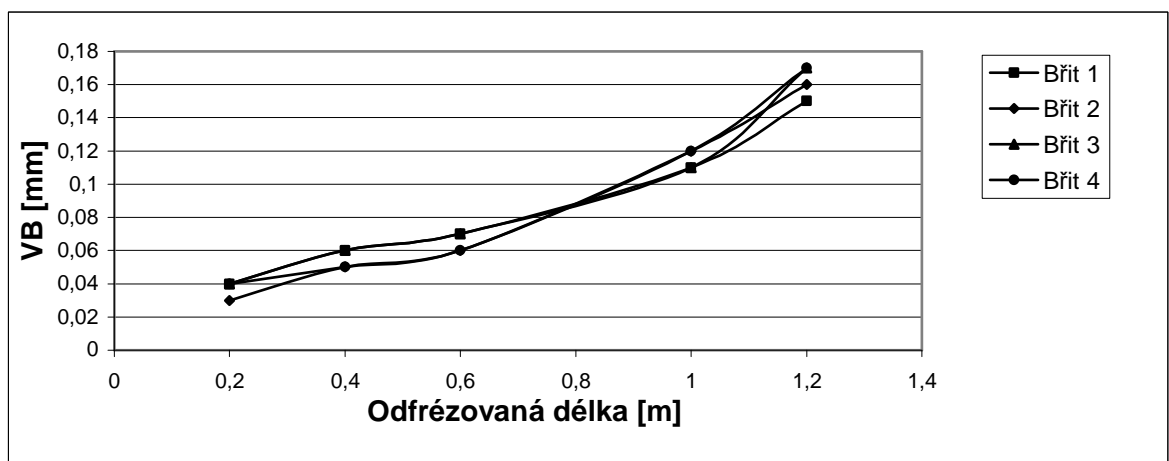
Obr.37. Ideální závislost T-v v logaritmičtých souřadnicích

Z obr. 37 T-v diagramu lze vidět, že pro povlakované nástroje byly při testech řezné podmínky zbytečně nízké. V průběhů testů už nedošlo z důvodů nedostatku těchto nástrojů k dokončení T-v závislosti v logaritmičtých souřadnicích do ideálních závislostí.



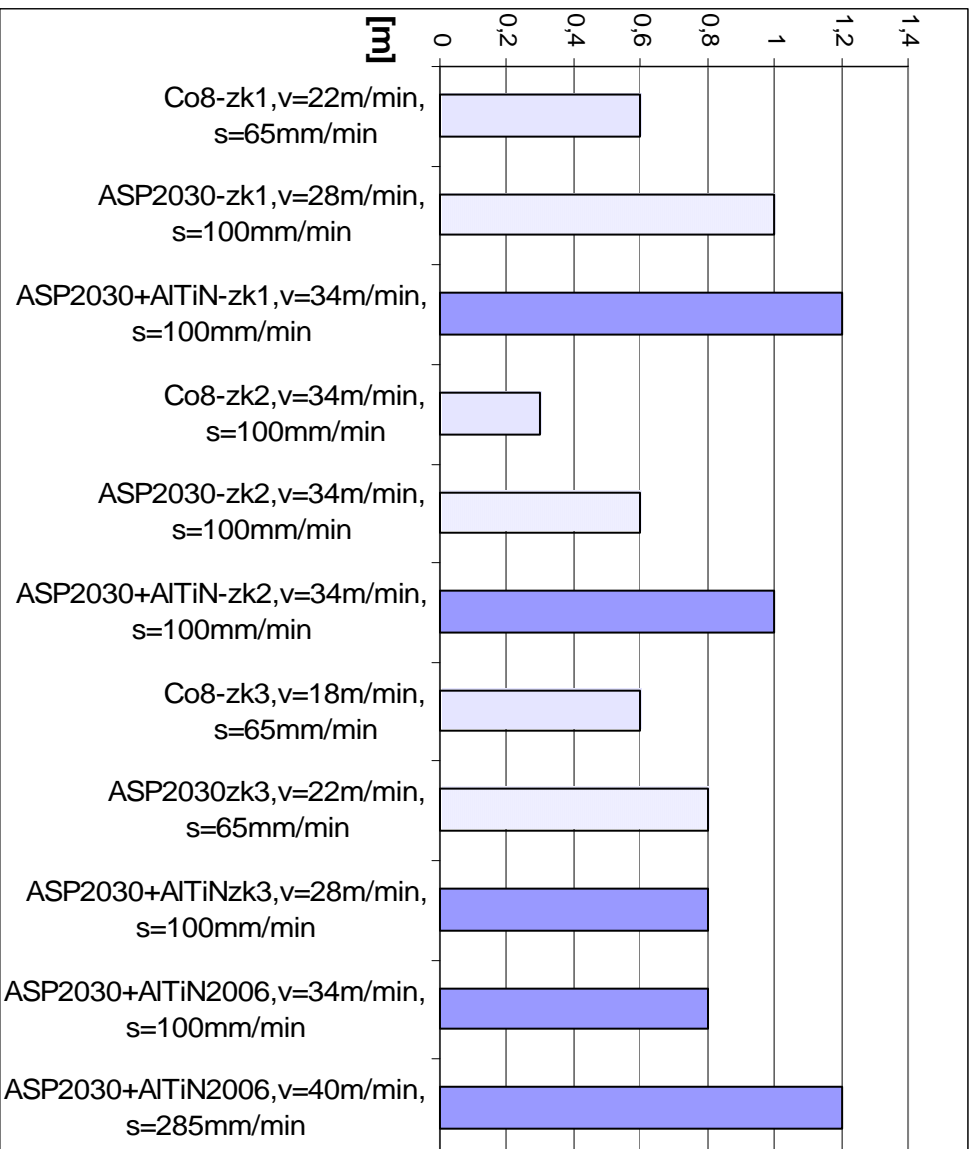
Obr.38. Průběhy trvanlivosti nástrojů pro různé řezné rychlosti

Na obr.38. jsou zachyceny všechny křivky trvanlivosti nástrojů pro různé podmínky. Účelem bylo zjistit nejlepší nastavení podmínek pro frézování- obrobitelnost (řezivost) nástrojů.



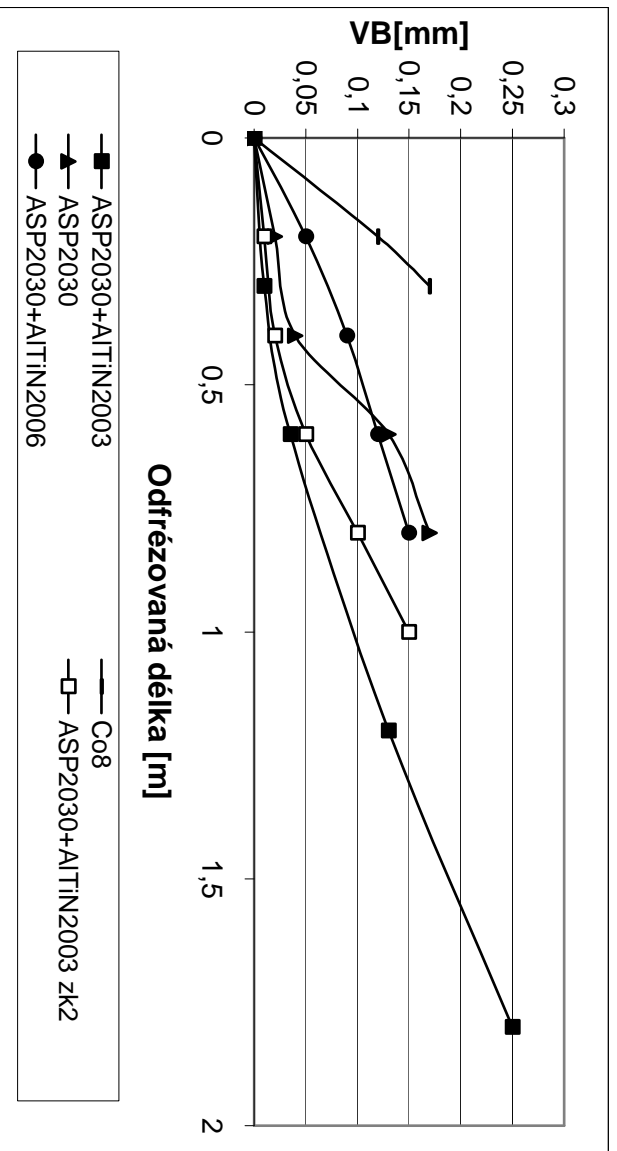
Obr.39. Průběh opotřebení jednotlivých břitů u zkoušky1- Co8

Obr.39. ukazuje, že průběh opotřebení jednotlivých břitů nástroje byl stejný, když bereme v úvahu rozptyl.

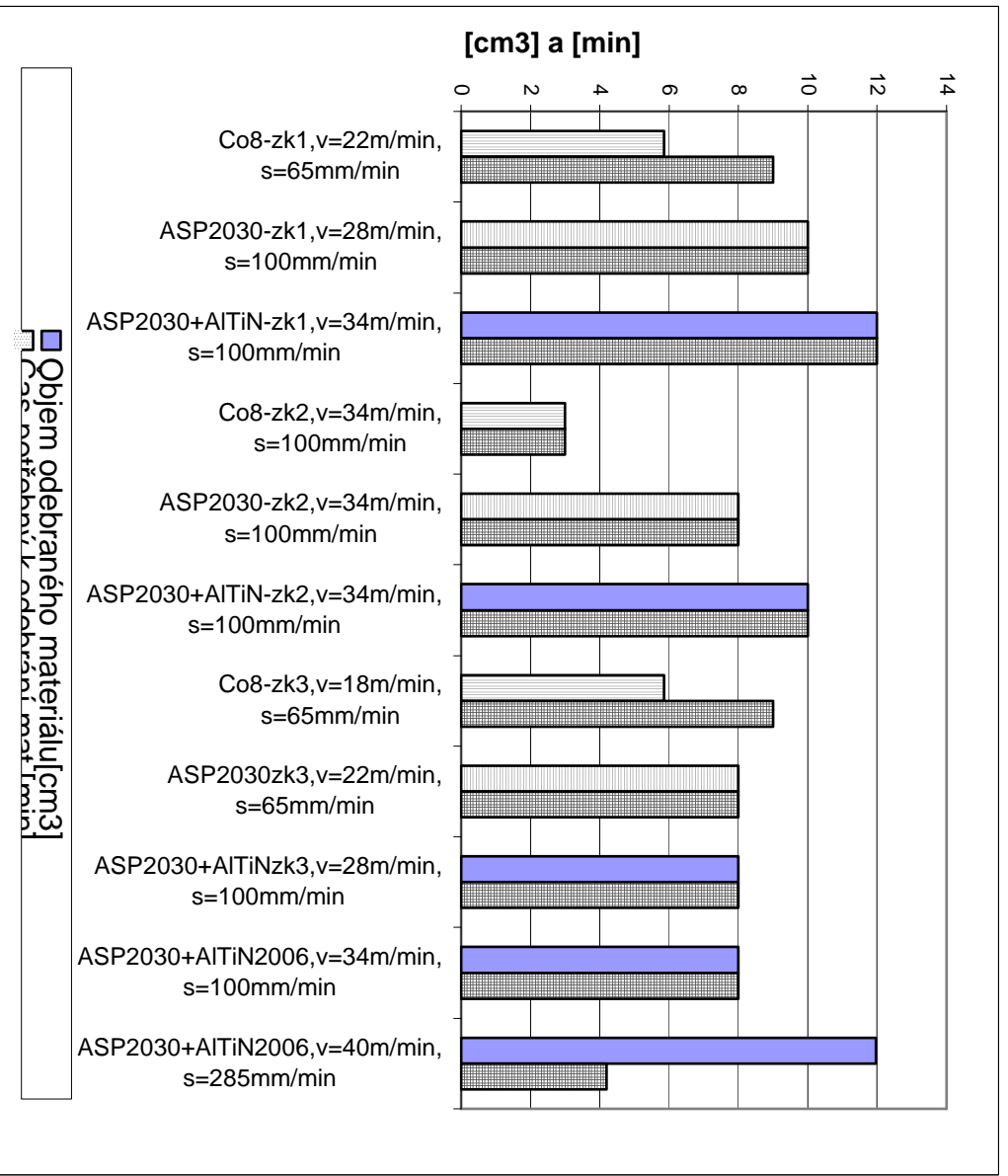


Obr.40. Odfřezovaná délka L[m], VB=0,15

Obr. 40. znázorňuje trvanlivost nástroje jako odfřezovanou délku, trvanlivost nástroje se nemohla z důvodů rozdílných řezných podmínek udávat v čase.



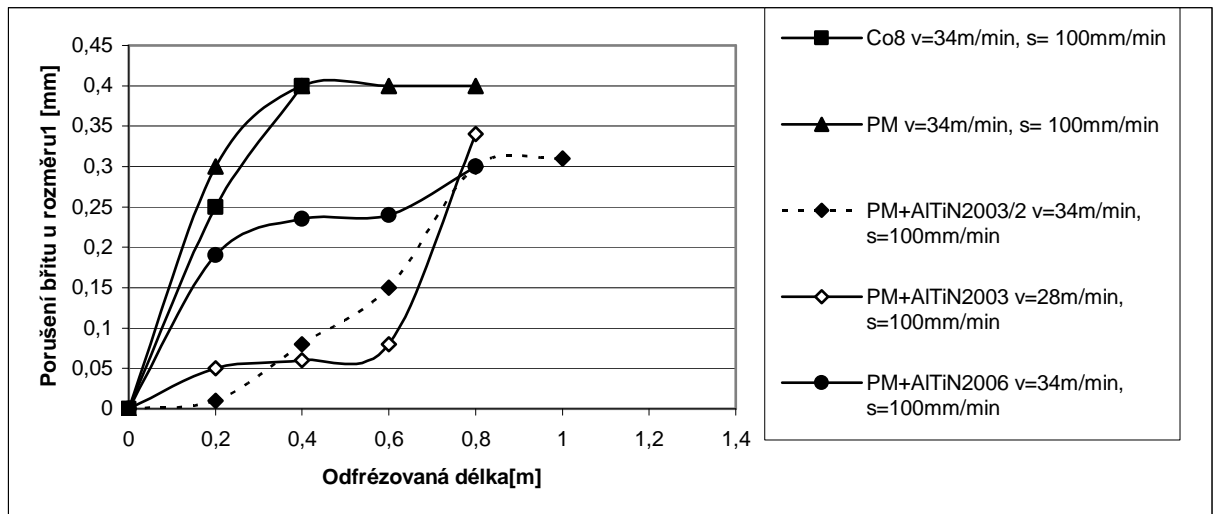
Obr. 41. Odfřezovaná délka pro $v=34\text{m/min}$, $s=100\text{mm/min}$



Obr. 42. Produktivita - objem odebraného materiálu [cm³] a potřebný čas k odebrání [min]; VB=0,15

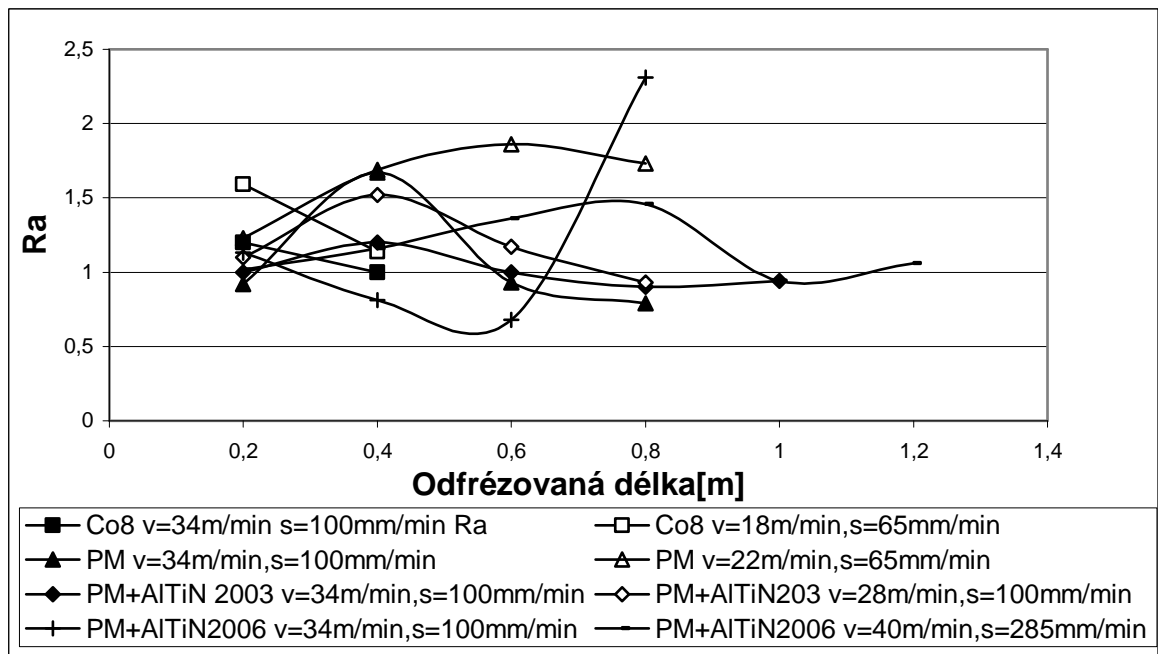
$n=1000\text{rpm}$; $f=0,15\text{mm/rev}$

Na obr.42. lze z prvního sloupce odečíst objem odebraného materiálu [cm³] do ztupení nástroje VB = 0,15 , v druhém sloupci je celkový čas [min] frézování.

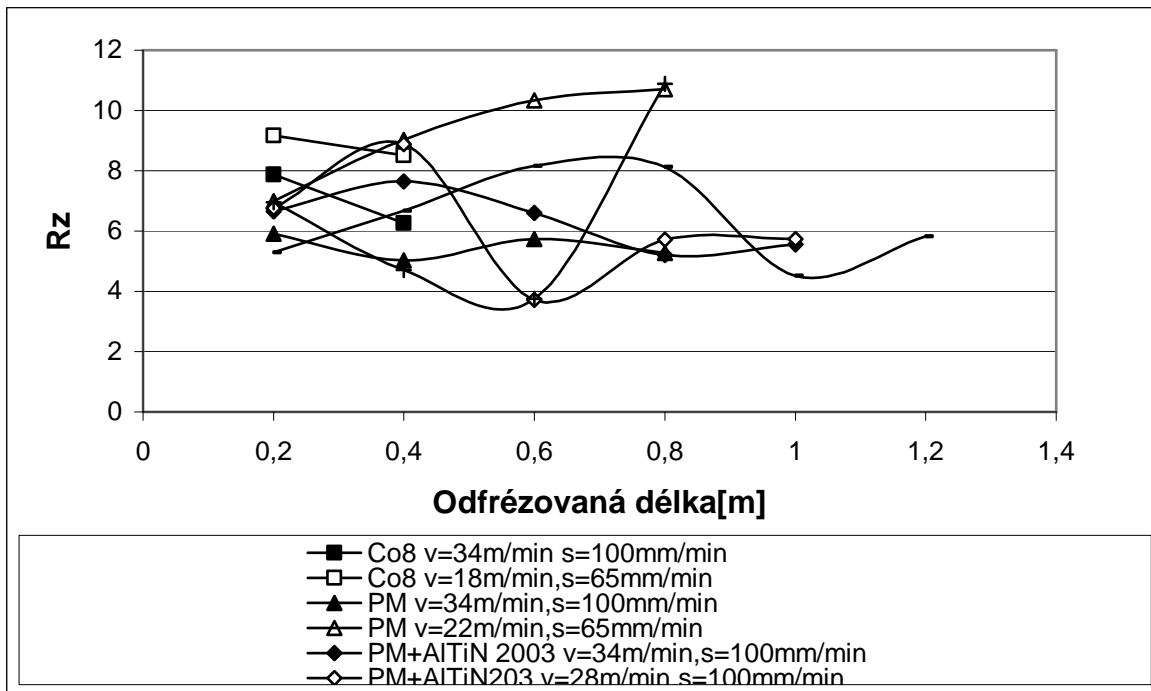


Obr.43. Průběhy velikosti opotřebení ulbřítu pro měřenou hodnotu 1

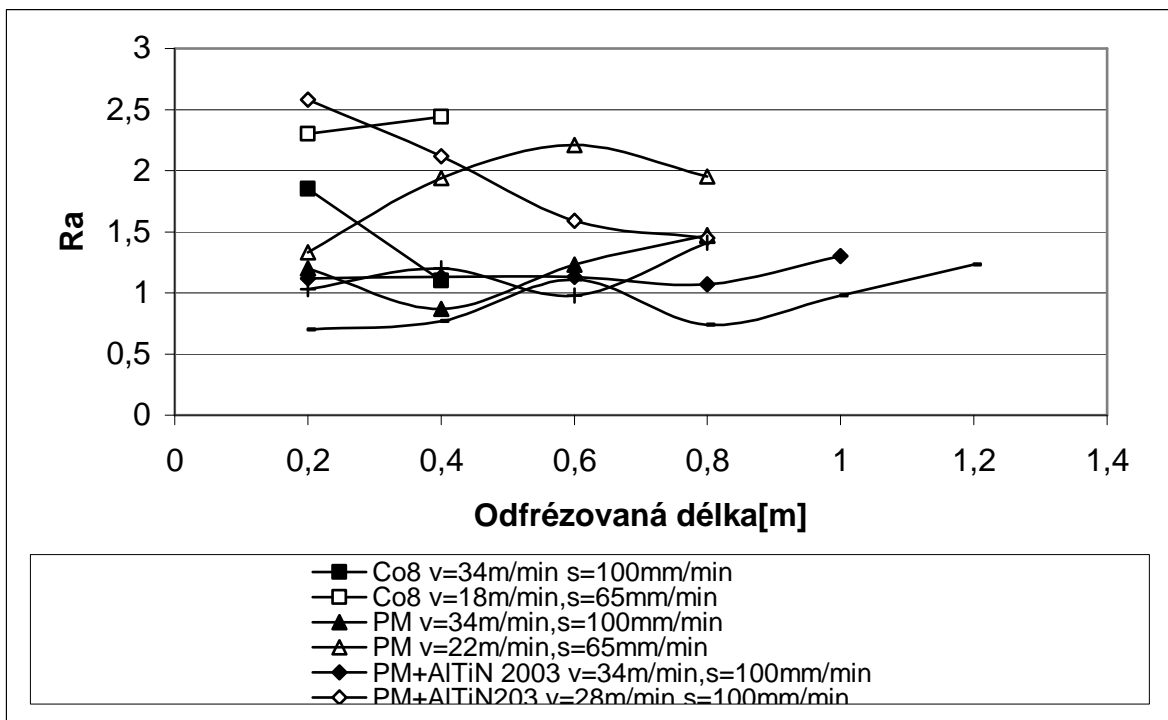
Na obr.43 lze vidět jiný průběh opotřebení pro povlakované a nepovlakované nástroje pro měřenou hodnotu 1 (viz. kritérium opotřebení nástroje), vždy u prvního břítu nástroje.



Obr.44. Průběh drsnosti Ra v podélném směru

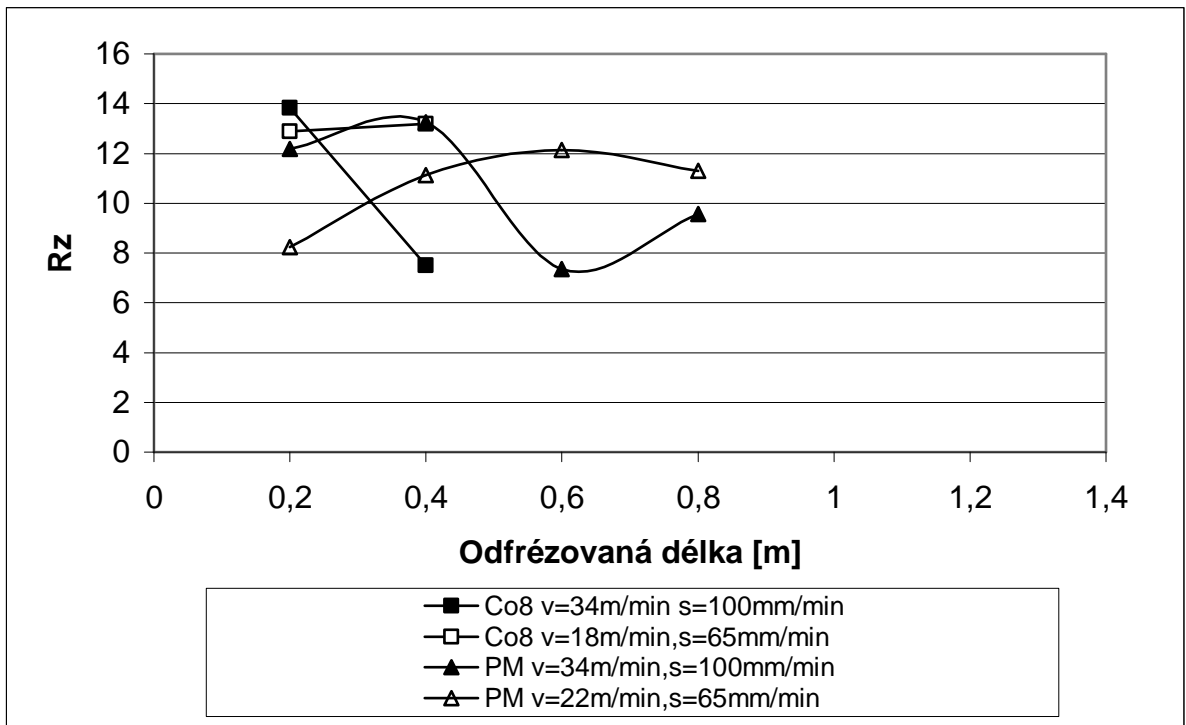


Obr.45. Průběh drsnosti Rz v podélném směru

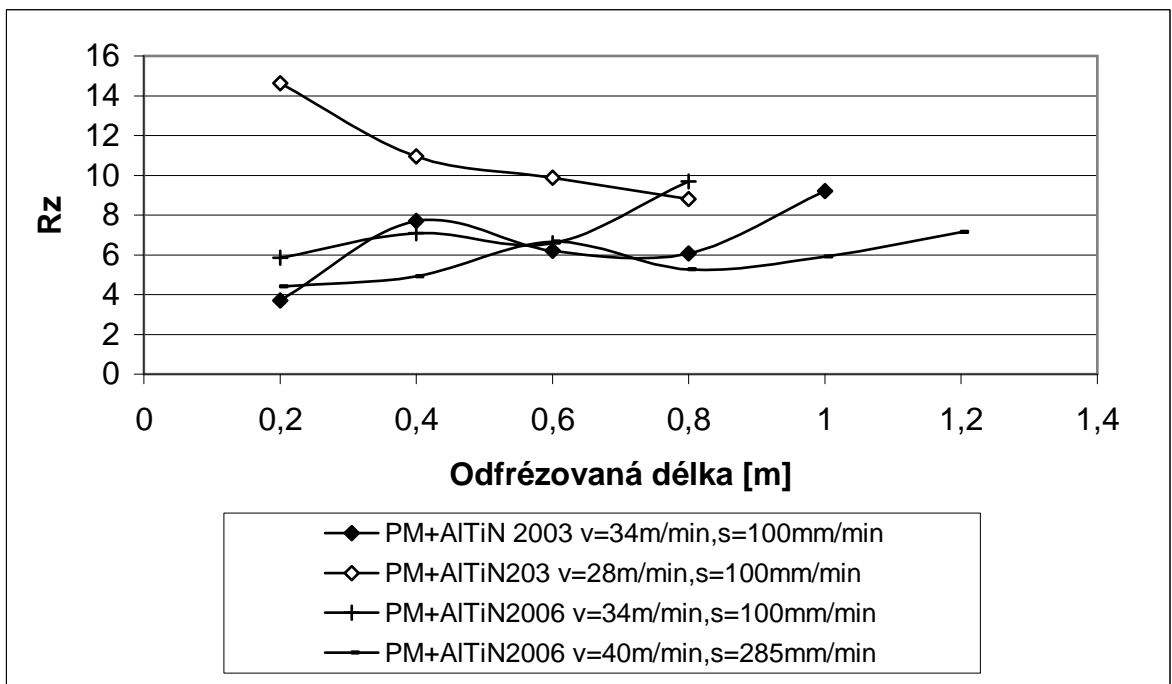


Obr.46. Průběh drsnosti Ra v kolmém směru

U všech měření průběhů drsnosti Ra, Rz lze vypořádat podobné rysy. Všechny dokončovací frézy vykazovaly velmi dobré hodnoty drsnosti povrchů na frézovaných délkách L, nejlepší byly dosahovány povlakovanými nástroji, nejhorší nástroji z HSS Co8,



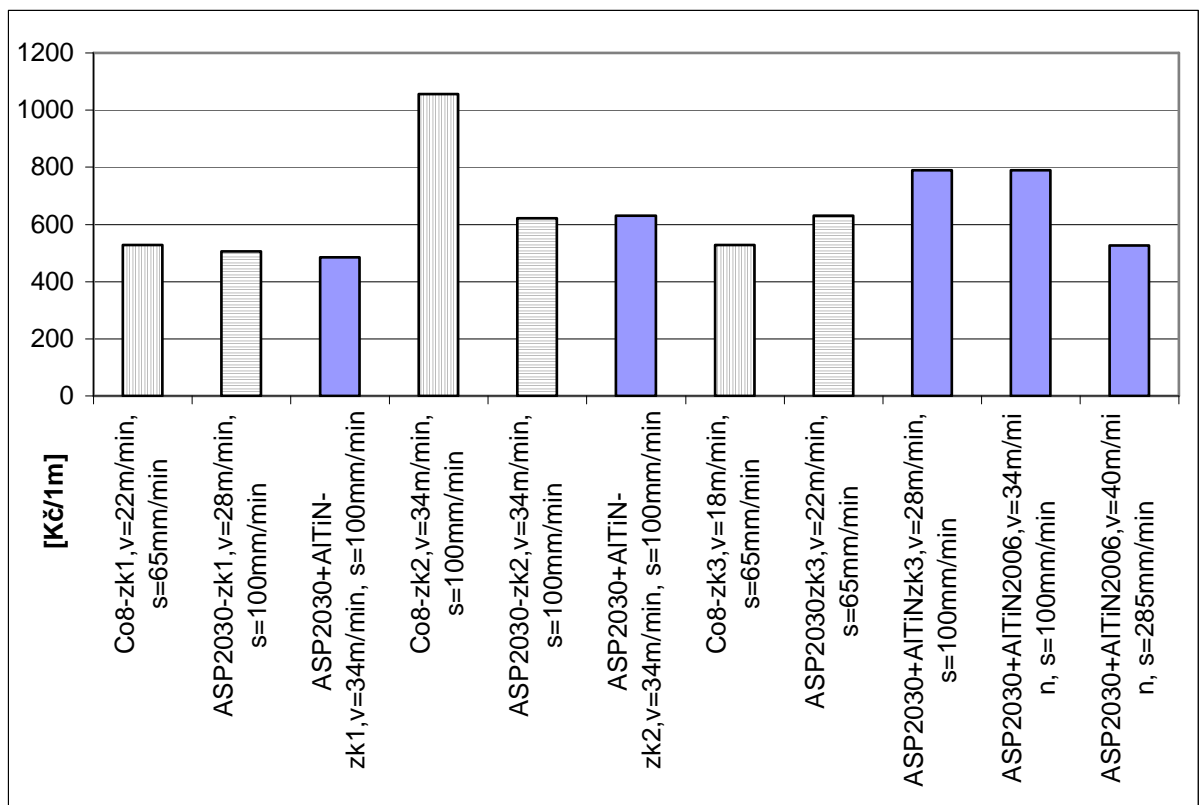
Obr.47. Průběh drsnosti Rz v kolmém směru



Obr.48. Průběh drsnosti Rz v kolmém směru pro povlakované nástroje

10.6 Ekonomické zhodnocení

Ekonomie frézování pro různé materiály nástrojů vychází hlavně ze dvou daných údajů- cena frézovacích nástrojů a čas frézování. Výrobní náklady na 1m obrobené délky, vycházely z cen fréz, pro frézy z materiálu HSS Co8 = 317 Kč, z HSSE-PM = 504,90 Kč a HSSE-PM+AlTiN = 631 Kč. Dále pak z produktivity práce, která se v tomto případě vyjádřila jako obsah odfrézované plochy za čas(obr.50.).

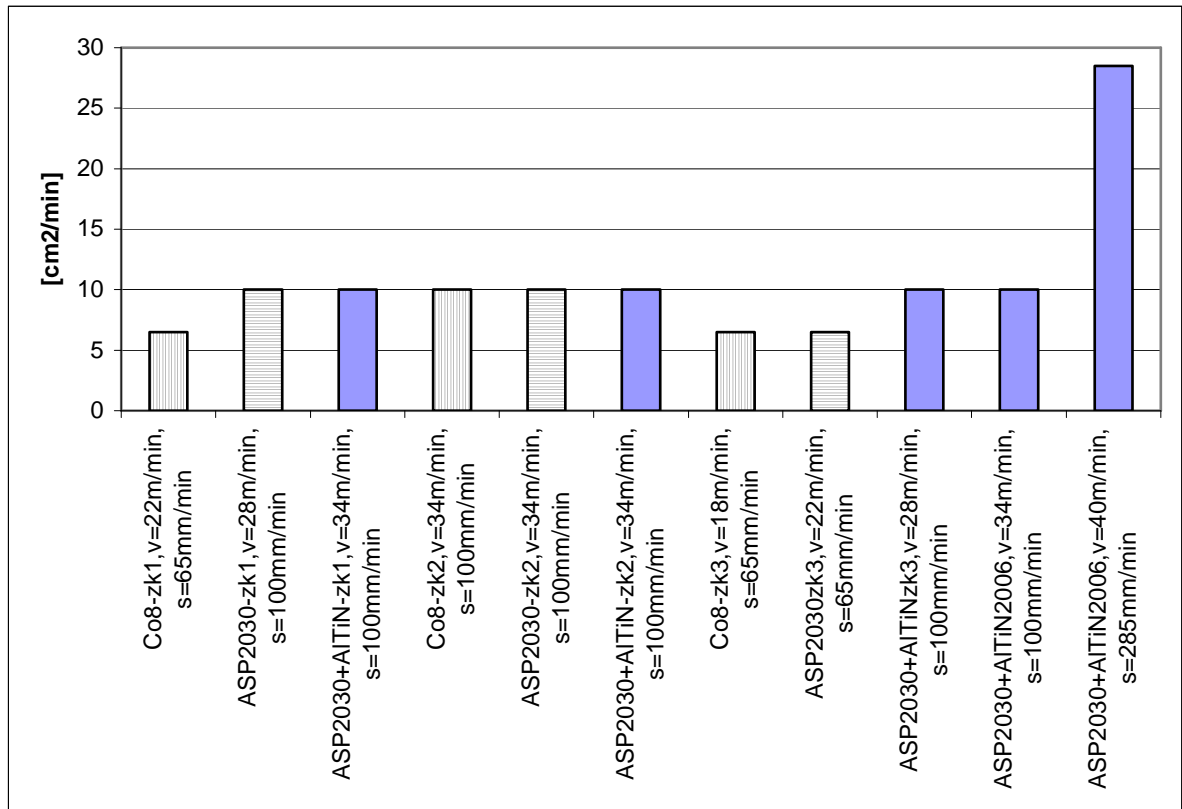


Obr.49. Měrná cena frézování za 1 metr [Kč/1m]

Na obr.49. lze vidět velmi vyrovnané pořadí, nejmenší výšku sloupce a tím i nejmenší náklady na 1m odfrézovaného materiálu byla následující HSSE-PM + AlTiN 2003 = 485 Kč/m, potom u HSSE-PM = 505 Kč/m, u HSSE-PM + AlTiN 2006 = 525,83 Kč/m, u HSS Co8 = 528,3 Kč/m.

Průměrná cena po vyřazení největší hodnoty byla u HSS Co8 = 528,3 Kč/m, HSSE-PM + AlTiN 2003 = 558 Kč/m, u HSSE-PM = 568 Kč/m.

Nejlepší produktivita práce byla bezkonkurenčně dosažena u povlakovaného nástroje číslo 15/8pp, kde se projevila schopnost povlaku vyrovnat se s většími řeznými podmínkami. Bohužel z důvodů nedostatku nástrojů nešlo dosahované výsledky ověřit.



Obr.50. Produktivita S [cm²/min]

Poznámka k obr. 50., pro porovnání produktivity frézování pro dokončovací frézovací nástroje, se jevil jako nejdůležitější obsah odfrézované plochy za čas v tomto případě za 1 minutu frézování, pro hrubovací frézy by to byl asi objem odebraného materiálu za 1 minutu frézování.

11 ZKOUŠKA TŘECÍM OPOTŘEBENÍM

Klasické obráběcí zkoušky jsou finančně i časově velmi náročné a v poslední době se je snažíme nahrazovat různými laboratorními a simulačními zkouškami. I přesto jsou klasické zkoušky zatím nenahraditelné.

11.1 Popis třecí zkoušky

Na univerzální soustruhu se namontuje speciální přípravek na upnutí frézovacího nástroje, který umožňuje vhodným nastavením rychlosti otáček a přítláčné síly vytvářet v oblasti styku poměry blízké přítláčným. Přitom se zjišťuje vzhledem k relativně vysoké teplotě v místě styku převážně odolnost proti adhezivnímu opotřebení. Opotřebení se bude odečítat z obsahu opotřebované plochy a rozměrů jejich stran u jednotlivých ploch fazetek.



Obr.51. Foto přípravku namontovaného na soustruhu

Vzorek použitý jako třecí materiál byl odebrán z materiálu obráběného frézováním (15241.7). Upraven byl na kulatinu $\varnothing 89,65 \times 44,4 \text{ mm}$ a přebroušen na drsnost $R_a=0,272$, $R_z=2,014$.

11.1.1 Stroj pro třecí zkoušku

Speciální přípravek byl namontován na HROTOVÝ SOUSTRUH S32.

Výrobce: TOS Žebrák, výrobní číslo: 2900057.

Oběžný průměr: nad ložem 320mm,
nad suportem 190mm.

Vzdálenost hrotů: max. 1000mm.

Otáčky vřetena 3x18 stupňů:

normální 32-1600 ot/min

snížené 20-1000 ot/min

zvýšené 63-3200 ot/min

11.1.2 Nastavení podmínek pro třecí zkoušku

Na soustruhu S32 byly určeny otáčky 100ot/min na základě přepočtu z obvodové rychlosti $v=34\text{m/min}$, aby podmínky simulovaly co nejvíce frézování. Hmotnost závaží na třecím přípravku byla určena tak, aby odpovídala celkové síle vyvolené řeznou částí na 1 břit. Tato hodnota závisí na mnoha proměnných například na otupení břitu nástroje a v mém případě se pohybuje v hodnotách od 120N do 400N, vycházelo se ze starších testů prováděných v ZPS-FN do kterých byla možnost nahlédnout. Na základě těchto hodnot se v průběhu zkoušky měnila hmotnost závaží a to v relacích 3,42-9,125-11,99 Kg.

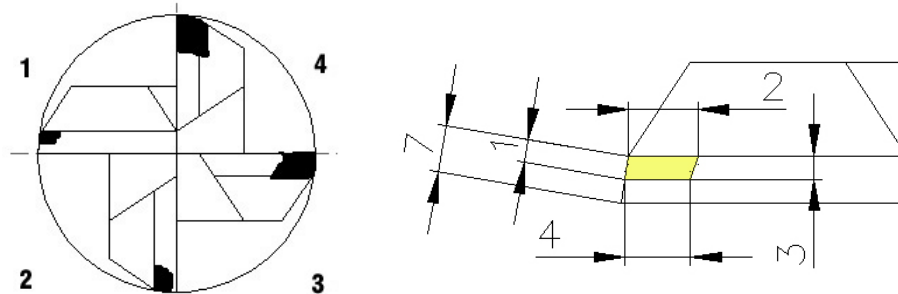
11.2 Vyhodnocování třecích zkoušek

Opotřebení se odečítalo z obsahu opotřebované plochy a rozměrů jejich stran u jednotlivých ploch fazetek, po určitých časových intervalech. U určování kritérií trvanlivosti se vycházelo ze stejného základu jako při frézovacích zkouškách viz. strana 74. Tato kritéria se musela v některých částech modifikovat pro specifikace této zkoušky.

Odečítání rozměrů probíhalo na stejných přístrojích jako u frézovacích zkoušek.

Kritéria trvanlivosti:

1.) Jako hlavní a rozhodující kritérium se zvolil obsah adhezivně opotřebené plochy, průběh jejího vývoje je na obr.52, lze vidět že se jednalo ve většině případů o tvar lichoběžník nebo trojúhelník. Obsah se určoval z rozměrů 1,2,3,4 které se zaznamenávaly.



Obr.52. Průběh opotřebení a měřené rozměry pro zkoušku soustružení

2.) Hodnota označená na obrázku číslem 7 se brala jako pomocná.

3.) Do protokolů se zaznamenával i tvar opotřebené plochy.

Zkouška byla většinou zastavena po dosažení plochy s rozměry 7 a 4 (obr.52), a tím opotřebení celé plochy bříty. U povlakovaných nástrojů při zřetelnějším porušení – obsahu plochy.

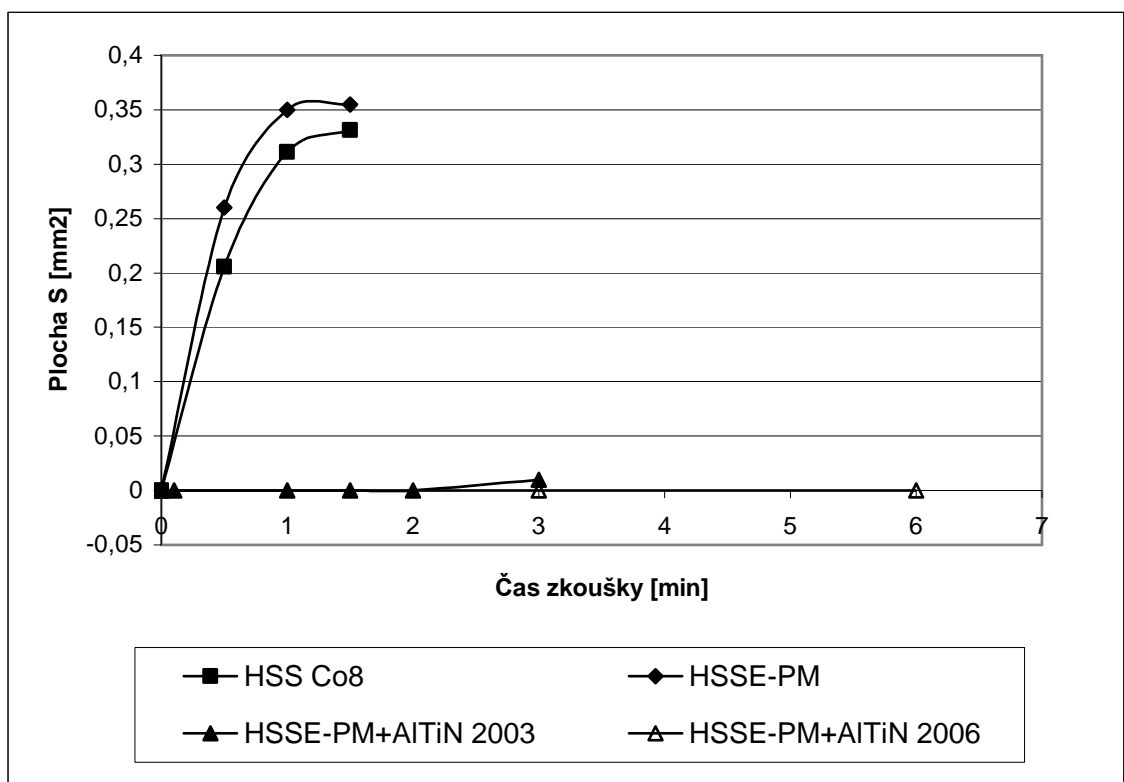
11.3 Vlastní třecí zkoušky

Tab.18. Průběh opotřebení pro závaží $m = 3,42\text{kg}$, $n = 100\text{ot/min}$

Materiál nástroje	Číslo nástř.	Číslo bříty	Otáčky n [1/min]	Závaží [kg]	Čas fr.[min]	Obsah S [mm ²]
HSS Co8	10	1	100	3,42	0,5	0,2058
			100	3,42	1	0,3111
			100	3,42	1,5	0,3315
HSSE-PM	11	1	100	3,42	0,5	0,26
			100	3,42	1	0,35
			100	3,42	1,5	0,355

Materiál nástroje	Číslo nástř.	Číslo	Otáčky n	Závaží [kg]	Čas fr.[min]	Obsah S [mm ²]
-------------------	--------------	-------	------------	-------------	--------------	------------------------------

		břitu	[1/min]			
HSSE-PM+AlTiN 2003	12	1	100	3,42	0,1	0
			100	3,42	1	0
			100	3,42	1,5	0
			100	3,42	2	0
			100	3,42	3	0,01
HSSE-PM+AlTiN 2006	14/ 7pp	1	100	3,42	3	0
			100	3,42	6	0

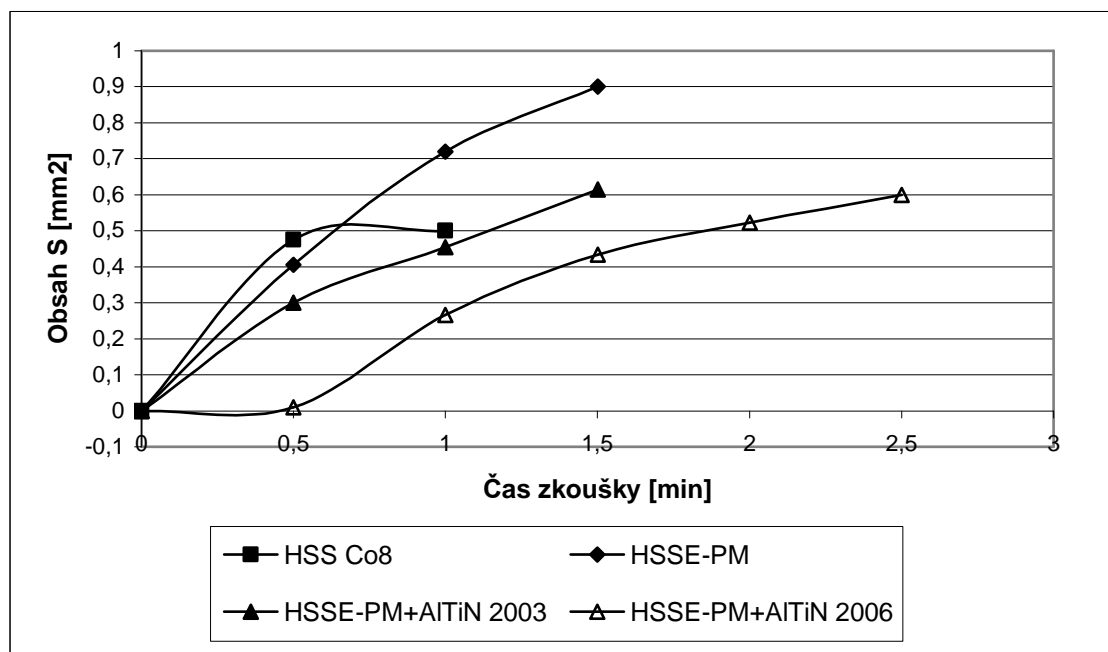


Obr.53. Průběh opotřebení pro závaží 3,42kg, n=100ot/min

Při nastavení podmínek pro průběh opotřebení závaží $m=3,42\text{kg}$ a $n=100\text{ot/min}$ byla opotřebovaná plocha v případě povlakovaných nástrojů zanedbatelná. U nástrojů HSS Co8 HSSE-PM docházelo k limitnímu opotřebení – obsah opotřebované plochy byl přes celý prostor namáhané fazetky, už po minutě namáhání.

Tab.19. Průběh opotřebení pro závaží $m= 9,125\text{ kg}$, $n=100\text{ ot/min}$

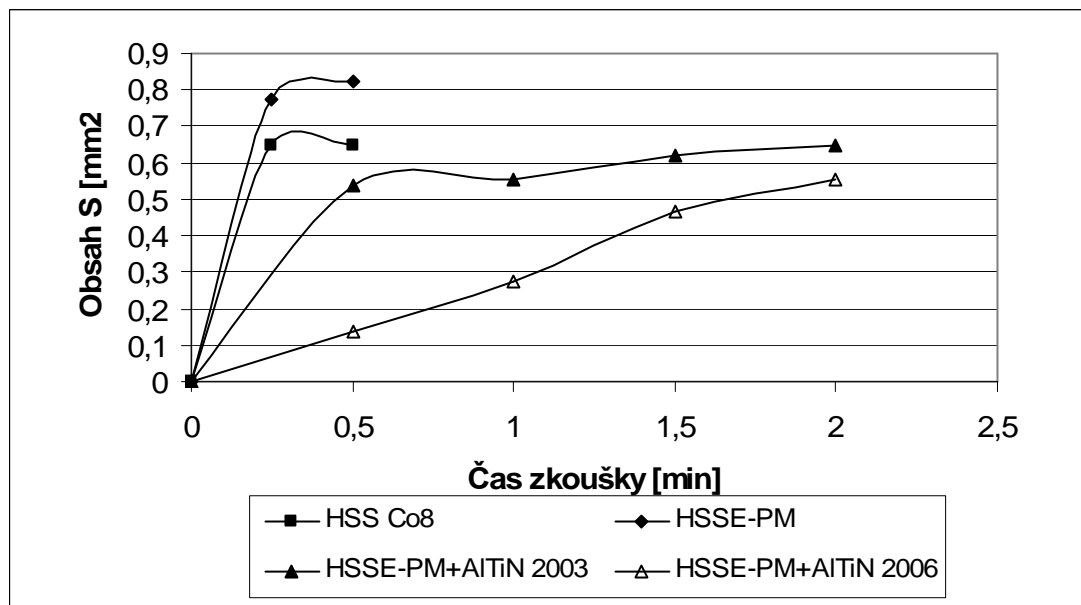
Materiál nástroje	Číslo nástř.	Číslo břitu	Otáčky n [1/min]	Závaží [kg]	Čas fr.[min]	Obsah S [mm ²]
HSS Co8	10	3	100	9,125	0,5	0,475
			100	9,125	1	0,5
HSSE-PM	11	3	100	9,125	0,5	0,406
			100	9,125	1	0,72
			100	9,125	1,5	0,9
HSSE-PM+AlTiN 2003	12	3	100	9,125	0,5	0,3
			100	9,125	1	0,455
			100	9,125	1,5	0,615
			100	9,125	2	0,615
HSSE-PM+AlTiN 2003	14/7pp	3	100	9,125	0,5	0,01
			100	9,125	1	0,266
			100	9,125	1,5	0,434
			100	9,125	2	0,5225
			100	9,125	2,5	0,6



Obr.54. Průběh opotřebení pro závaží $m=9,125$ kg, $n=100$ ot/min

Tab.20. Průběh opotřebení pro závaží $m=11,99$ kg, $n=100$ ot/min

Materiál nástroje	Číslo nástř.	Číslo břitu	Otáčky n [1/min]	Závaží [kg]	Čas fr.[min]	Obsah S[mm ²]
HSS Co8	10	4	100	11,99	0,25	0,65
			100	11,99	0,5	0,65
HSSE-PM	11	4	100	11,99	0,25	0,775
			100	11,99	0,5	0,825
HSSE-PM+AlTiN 2003	12	4	100	11,99	0,5	0,536
			100	11,99	1	0,553
			100	11,99	1,5	0,62
			100	11,99	2	0,65
HSSE-PM+AlTiN 2003	14/ 7pp	4	100	11,99	0,5	0,135
			100	11,99	1	0,275
			100	11,99	1,5	0,4675
			100	11,99	2	0,5525

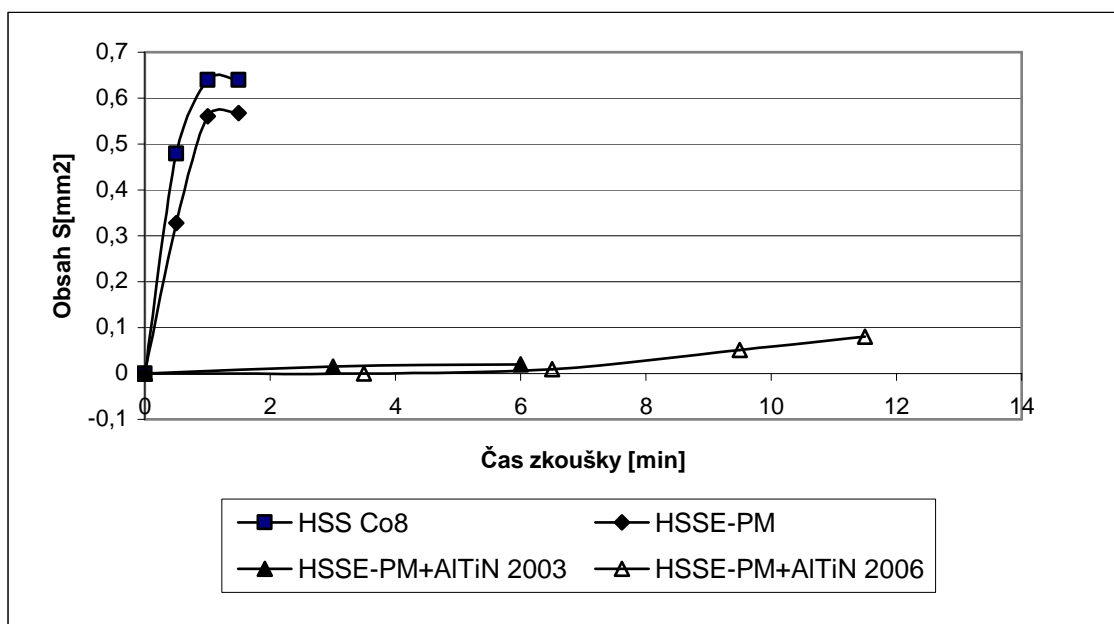


Obr.55. Průběh opotřebení pro závaží $m = 11,99$ kg, $n = 100$ ot/min

Nárůst opotřebované plochy u povlakovaných nástrojů byl rozdílný, lze vidět pozvolnější nárůst plochy u nástroje s povlakem AlTiN2006 než u AlTiN2003 (obr. 54.-55.), u HSS Co8 a HSSE-PM, dosahoval po 15 vteřinách maxima.

Tab.21. Průběh opotřebení pro závaží 3,42kg, $n = 200$ ot/min

Materiál nástroje	Číslo nástř.	Číslo břitu	Otáčky n [1/min]	Závaží [kg]	Čas fr.[min]	Obsah S[mm ²]
HSS Co8	10	2	200	3,42	0,5	0,4788
			200	3,42	1	0,64
			200	3,42	1,5	0,64
HSSE-PM	11	2	200	3,42	0,5	0,328
			200	3,42	1	0,56
			200	3,42	1,5	0,568
HSSE-PM+AlTiN 2003	12	2	200	3,42	3	0,015
			200	3,42	6	0,02
HSSE-PM+AlTiN 2003	14/ 7pp	2	200	3,42	3,5	0
			200	3,42	6,5	0,009
			200	3,42	9,5	0,051
			200	3,42	11,5	0,08



Obr.56. Průběh opotřebení pro závaží 3,42kg, n=200ot/min

Průběh opotřebené plochy byl podobný jako u prvního testu opotřebení. Při třecích zkouškách nebyl nástroj tepelně namáhán tak intenzivně jako u frézovacích zkoušek, v tom lze spatřovat největší rozdíl mezi měřeními.

ZÁVĚR

Z provedených zkoušek trvanlivosti fréz vyplývají tyto závěry:

- obráběný materiál, ocel 15 241.9 zušlechtěná na 1220 MPa, byla pro zkoušky frézováním nevhodná neboť opotřebení fréz bylo velmi intenzivní, což bylo ještě umocněno absencí chlazení, pro adhezivní zkoušky byl materiál vyhovující,
- k největšímu opotřebení nástrojů docházelo při zkoušce frézováním na špičce nástroje a tato hodnota nejvíce ovlivňovala kritérium životnosti frézovacích nástrojů,
- tvar opotřebení a jeho průběh při zkoušce byl i přes stejnou geometrii nástrojů pro každý materiál rozdílný,
- všechny dokončovací frézy vykazovaly velmi dobré hodnoty drsnosti povrchů na frézovaných délkách L, nejlepší byly dosahovány povlakovanými nástroji, nejhorší nástroji z HSS Co8,
- rozdíly mezi nástroji povlakovanými v roce 2003 a 2006 se při frézování neprojeví výrazněji, rozdíl byl patrný v dosahované kvalitě povrchu, výrazné rozdíly byly dosahovány při adhezivních zkouškách viz. obr.54. a 55., k jejich dalšímu zkoumání a specifikaci by měly proběhnout další zkoušky,
- u všech materiálů se projevil účinek vyšší řezné rychlosti a posuvu na průběh trvanlivosti frézovacích nástrojů a to rozdílně. HSS Co8 dosahoval nejlepší trvanlivosti při hodnotách $v = 22$ [m/min], $s = 65$ [mm/min], HSSE-PM bez povlaku při $v = 28$ [m/min], $s = 100$ [mm/min], HSSE-PM + AlTiN $v = 40$ [m/min], $s = 285$ [mm/min].
- z hlediska odfrézované délky dosahují nejlepších vlastností povlakované nástroje, potom HSSE-PM bez povlaku a HSS Co8 viz obr.39, ale z hlediska měrné ceny nástroje vychází nejlépe HSS Co8 obr.47, z pohledu produktivity obrábění HSSE-PM + AlTiN obr.48, určení konečného nástroje tak závisí na požadavcích koncového zákazníka,
- při adhezivních zkouškách byly rozdíly mezi povlakovanými a nepovlakovanými nástroji při nižších namáháních několikanásobné, při větších zatíženích nejvíce 4násobné,
- frézy se při obrábění nevylamovaly, nebyl zpozorován výskyt trhlin, tvoření šupinek ani jiné porušení způsobené materiálem nástroje,

Na základě zkušeností získaných ze studia literatury, sborníků a odborných článků o frézování – povlakování, zkušeností při jednání s firmami a zkušenostmi s vlastními zkouškami, navrhuji ještě prohloubit a zdokonalit spolupráci v logistickém řetězci:

POLOTOVARY ↔ POVLAKOVÁNÍ ↔ FRÉZOVACÍ NÁSTROJE ↔
↔ DISTRIBUTOR ↔ PODNIKY

- polotovary, výrobci a dodavatelé základních materiálů pro řezné nástroje mohou přispět v procesu tepelného zpracování a oblasti substrát-povlak,
- povlakování, ve většině literatury jsou zjevné rozdíly mezi laboratorními zkouškami a technologickými zkouškami, vzájemná konzultace řezných podmínek, určení druhu povlaků pro konkrétní operaci,
- frézovací nástroje, charakteristika nástroje, popsat požadované vlastnosti, definovat očekávané vlastnosti, naslouchat a spolupracovat s koncovými zákazníky,
- distributor, mapovat požadavky nejvýznamnějších zákazníků, nové trendy trhu, seznamování s novinkami a konzultovat problémy,
- podniky, jakožto koncový zákazník musí seznamovat se svými zkušenostmi v oblasti řezných podmínek a definovat své požadavky.

Dobrá komunikace a otevřenost v logistickém řetězci, kde nejdůležitější roli má aspekt koncového zákazníka a jemu nabízený rozsah služeb přesně dle jeho požadavků, hraje v dnešní době rozhodující roli pro úspěch firmy a celého řetězce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LEINVEBER J., VÁVRA P. *Strojnické tabulky*, Praha: Scientia, 1996
- [2] HLUCHÝ M. A KOLEKTIV, *Strojírenská technologie 1 – metalografie a tepelné zpracování 2.díl*, 1. vyd. Praha: Scientia, 1997
- [3] HLUCHÝ M. A KOLEKTIV, *Strojírenská technologie 1 – nauka o materiálu 1.díl*, 1. vyd. Praha: Scientia, 1996
- [4] HLUCHÝ M., KOLOUCH J., PAŇÁK R. *Strojírenská technologie 2 – Polotovary a jejich technologičnost 1.díl* . 1. vyd. Praha: Scientia, 1998
- [5] KOČMAN, Karel., *Speciální technologie obrábění*, 3. vyd. Brno: CERM 2004, ISBN: 80-214-2562-8
- [6] LUKOVICS, Imrich. *Konstrukční materiály a technologie*. Brno: VUT Brno, 1992
- [7] PTÁČEK L. A KOLEKTIV. *Nauka o materiálu II*. Brno: CERM, 2002
- [8] *TECHNIK 10/1999*. Praha: Economia, 1999 strana 18
- [9] PÍŠKA, Miroslav. *Analýza řezivosti hrubovacích fréz z produkce ZPS-FN, a.s., Zlín*. Brno: VUT Brno, 2002
- [10] PŘÍPRAVNÝ KOLEKTIV. *Frézování II – Odborná konference 2000*. Brno: VUT Brno, 2000, ISBN: 80-214-1728-5
- [11] PŘÍPRAVNÝ KOLEKTIV. *Vrstvy a povlaky 2004 – Zborník prednášok Rožnov pod Radhoštěm 7.-8. oktobra 2004*. Trenčín: DIGITAL GRAPHIC, 2004
- [12] PŘÍPRAVNÝ KOLEKTIV, *Vrstvy a povlaky 2005 – Zborník prednášok Demänovská dolina 23.- 24.6.2005*. Trenčín: DIGITAL GRAPHIC, 2005
- [13] HLUCHÝ, M., HANĚK, V. *Strojírenská technologie: koroze, základy obrábění, výrobní postupy*. 1. vyd. Praha: Scientia, 1998. 176 s. ISBN 80-7183-127-1

- [14] HOUDEK, Josef. *Rychlostní obrábění, Frézování II – Odborná konference2000*. Brno: VUT Brno, 2000, ISBN: 80-214-1728-5
- [15] ULBRICHT, Roman. *Optimalizace pracovních podmínek při obrábění, Frézování II – Odborná konference2000*. Brno: VUT Brno, 2000, ISBN: 80-214-1728-5
- [16] WIESNER, Roman. *Optimalizace pracovních podmínek při obrábění, Frézování II – Odborná konference2000*. Brno: VUT Brno, 2000, ISBN: 80-214-1728-5
- [17] PODRABSKÝ, Tomáš. FREMUNT, Přemysl. *Moderní lité a tvářené strojové materiály, Frézování II – Odborná konference2000*. Brno: VUT Brno, 2000, ISBN: 80-214-1728-5
- [18] *TECHNIK 10/1999*. Praha: Economia, 1999 strana 19
- [19] ŠOŠOVIČKOVÁ, Jana. *Modifikovanie vlastností povrchov kovových materiálů PVD metodami*. Doktorská disertační práce Brno: Univerzita obrany v Brně, Brno, 2005
- [20] SONDOR, Josef. *Modifikovanie povrchových vlastností nástrojovej ocele W. Nr. 1.2379 metodami plazmovej depozície*. Diplomová práce, Materiálovotechnologická fakulta STU, Trnava, 2003
- [21] JANČOVIČ, Rastislav. *-Trvanlivost povlakovaných rezných nástrojov*. Doktorská disertační práce, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta v Trnave, Trnava, 2005
- [22] BARANEK, V.– *Nanotechnologie a povrchové úpravy technických prvků*. Bakalářská práce, UTB Zlín, Zlín, 2005
- [23] *Západočeská Univerzita Plzeň* [online]. HÁJEK, J., *Laboratorní a praktické testy na systémech s tenkými vrstvami v aplikaci na řezné nástroje* [cit. 2005-12-8]. Dostupný z WWW: <<http://www.ateam.zcu.cz>>
- [24] KOTTFER D., MRVA P., *Perspektivy použitia tenkých vrstev. Vrstvy a povlaky 2005 – Zborník prednášok Demänovská dolina 23.- 24.6.2005*. Trenčín: DIGITAL GRAPHIC, 2005

- [25] *Západočeská Univerzita Plzeň* [online]., *Tenké vrstvy*[cit. 2005-12-8]. Dostupný z WWW: <<http://www.ateam.zcu.cz>>
- [26] *Západočeská Univerzita Plzeň* [online]. Kříž, A., *Systém tenká vrstva substrát v aplikaci na řezných nástrojích*, [cit. 2005-12-8]. Dostupný z WWW: <<http://www.ateam.zcu.cz>>
- [27] *MM Průmyslové spektrum 4/2005. Rervm Cognoscere Cavsas*, Rozhovor s Doc.M. Píškou, Praha, 2005 strana 14-16
- [28] *MM Průmyslové spektrum 4/2005. Pokrokové řezné nástroje*, NOVÁK, Z., Praha, 2005 strana 18-19
- [29] *Katalog LISS a.s.. Katalog povlaků*, LISS a.s., Rožnov pod radhoštěm, 2005
- [30] *Balzers a.s.* [online]., *Povlaky nanášené firmou Balzers*, Dostupný z WWW: <<http://www.balzers.cz>>, 2005
- [31] *SHM s.r.o.* [online]., *Povlaky nanášené firmou SHM*, Dostupný z WWW: <<http://www.shm.cz>>, 2005
- [32] *Katalog fréz ZPS-FN 2005*, ZPS-FN a.s. Zlín,Zlín, 2005
- [33] *Katalog fréz ZPS-FN 2006*, ZPS-FN a.s. Zlín,Zlín, 2006
- [34] *Katalog materiálu BÖHLER*, ,Böhler, 2000
- [35] *Katalog materiálu ERASTEEL*, Erasteel, 2001
- [36] PŘÍPRAVNÝ KOLEKTIV. *Frézování I – Odborná konference 1999*.
Brno: VUT Brno, 1999, ISBN: 80-214-1425-1
- [37] *Strojírenská technologie 1/2004*, Ústí nad Labem: Ústav techniky a řízení výroby UJEP Ústí nad Labem, 2004
- [38] *Katalog obráběcích a tvářecích strojů 2004 CD*, Svaz výrobců a dodavatelů strojírenské techniky, 2004
- [39] *Skúšenie trvanlivosti pri frézovaní - ČSN ISO 8688-2*, Březen 1993
- [40] *FRANKEN 230 – Werkzeugkatalog230*, platný od 1. května 2005
- [41] *ČSN 415241*
- [42] KOCMAN, Karel., *Aplikace HSC obrábění při frézování*,

Frézování II – Odborná konference2000. Brno: VUT Brno, 2000,

ISBN: 80- 214-1728-5

- [43] BUDA J., BÉKÉŠ J., *Teoretické základy obrábění kovov*, Bratislava: Vydavateľstvotechnickej a ekonomickém literatúry Bratislava, 1977
- [44] PÍŠKA, Miroslav., *Nové poznatky z testování řezných nástrojů na FSI VUT v Brně, Frézování II – Odborná konference2000*. Brno: VUT Brno, 2000,
ISBN: 80- 214-1728-5
- [45] HLUCHÝ M., HANĚK V. *Strojírenská technologie 2 – Koroze, základy obrábění, výrobní postupy 2.díl . 1. vyd.* Praha: Scientia, 1998, ISBN 80-7183-127-1
- [46] WIESNER, Roman., *Upínání nástrojů s válcovou stopkou, Frézování II – Odborná konference2000*. Brno: VUT Brno, 2000,
ISBN: 80- 214-1728-5

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

a_a	Axiální šířka záběru (hloubka řezu) [mm]
a_r	Radiální šířka záběru [mm]
f_z	Posuv na zub [mm]
n	Otáčky nástroje [1/min]
v	Řezná rychlost [m/min]
s	Posunová rychlost [mm/min]
z	Počet zubů frézy
D	Průměr nástroje [mm]
HSC	High Speed Cutting - vysokorychlostní obrábění
HV	Tvrdost podle Vickerse
HRC	Tvrdost podle Rockwella
MMS	Obrábění s minimálním množstvím chladící kapaliny
PVD	Physical Vapour Deposition – fyzikální metoda nanášení povrchu
CVD	Chemical Vapour Deposition – chemická metoda nanášení povrchu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Vývoj v oblastech řezných nástrojů (podíl přihlášených patentů)	8
Obr. 2. Vývoj řezných rychlostí a nových řezných materiálů v 20. století.....	11
Obr. 3. Jednoduché schéma frézování.....	17
Obr. 4. Rozmezí řezných podmínek pro rychlostní obrábění	19
Obr. 5. Rozdělení odváděného tepla v závislosti na řezné rychlosti při obrábění oceli ...	21
Obr.6. Základní druhy opotřebování	29
Obr. 7. Časový průběh opotřebení.	30
Obr. 8. Charakteristické typy opotřebení podle STN ISO 3685	32
Obr. 9. Působení řezné rychlosti a posuvu na opotřebení řezného klínu.	33
Obr. 10. Vliv řezné rychlosti na časový průběh opotřebení hřbetní plochy	34
Obr. 11. Typické projevy opotřebení nástroje	34
Obr. 12. Vliv řezné teploty na intenzitu opotřebení a její slož- ky.....	35
Obr. 13. Kritérium otupení	37
Obr.14. Vliv opotřebení řezného nástroje na jednotlivé parametry řezného procesu	38
Obr. 15. Závislost trvanlivosti od řezných parametrů.	41
Obr. 16. Vlastnosti povlaku.....	43
Obr. 17. Struktura povlaku.....	44
Obr. 18. Depoziční teploty	45
Obr. 19. Rozdíl mezi metodou PVD a CVD	46
Obr. 20. Obecné schéma CVD	48
Obr. 21. Schématicky znázorněné zařízení pro katodové napařování	51
Obr. 22. Foto frézy 1205.....	

Obr. 23. Použití frézy 1205.....	65
Obr. 24. Rozměry frézy 1205.....	65
Obr. 24. Výlom plochy mm ² vlevo ASP2030 67HRC, vpravo EM35 66HR.....	69
Obr. 25. Struktura ASP.....	70
Obr. 26. Popouštěcí a kalící diagram ASP2030.....	71
Obr. 27. Kritéria trvanlivosti nástroje a označení břitů.....	76
Obr. 28. Opotřebení hřbetu.....	77
Obr.29. Závislost trvanlivosti nástroje na odfrézované délce pro různé řezné podmínky u zkoušky číslo1.....	80
Obr.30. Závislost trvanlivosti nástroje na odfrézované délce pro stejné řezné podmínky u zkoušky číslo2.....	81
Obr.31 Nástroj číslo 4. (HSSE PM) druhý břit po 0m a 0,6m frézování.....	82
Obr.32. Závislost trvanlivosti nástroje na odfrézované délce pro stejné řezné podmínky u zkoušky číslo3	83
Obr.33. Nástroj číslo 1. (HSS Co8) druhý břit po 0m a 0,6m frézování zřetelná je změna zabarvení nástroje.....	83
Obr.34. Nástroj číslo 15. (HSSE-PM+AlTiN2006) druhý břit po 0m a 1m frézování	84
Obr.35.Závislost trvanlivosti nástroje na odfrézované délce pro různé řezné podmínky u HSSE-PM+AlTiN 2006.....	85
Obr.36. Nástroj číslo 13. (HSSE-PM+AlTiN2006) třetí břit před nanesením povlaku a 0,8m frézování.....	85
Obr.37. Ideální závislost T-v v logaritmických souřadnicích.....	86
Obr.38. Průběhy trvanlivosti nástrojů pro různé řezné rychlosti.....	87
Obr.39. Průběh opotřebení jednotlivých břitů u zkoušky1-Co8.....	87

Obr.	Odfrézovaná	délka	L[m],
Obr.40.			
VB=0,15.....		88	
Obr.41.	Odfrézovaná délka pro $v=34\text{m/min}$, $s=100\text{mm/min}$		89
Obr.42.	Produktivita - objem odebraného materiálu[cm^3] a potřebný čas k odebrání[min] ;VB=0,15.....		89
Obr.43.	Průběhy velikosti opotřebení u břitu pro měřenou hodnotu1		90
Obr.44.	Průběh drsnosti Ra v podélném směru.....		90
Obr.45.	Průběh drsnosti Rz v podélném směru.....		91
Obr.46.	Průběh drsnosti Ra v kolmém směru.....		91
Obr.47.	Průběh drsnosti Rz v kolmém směru.....		92
Obr.48.	Průběh drsnosti Rz v kolmém směru pro povlakované nástroje.....		92
Obr.49.	Měrná cena frézování [Kč/m]		93
Obr.50.	Produktivita S [cm^2/min]		94
Obr.51.	Foto přípravku namontovaného na soustruhu.....		95
Obr.52.	Průběh opotřebení a měřené rozměry pro zkoušku soustružení.....		97
Obr.53.	Průběh opotřebení pro závaží 3,42kg, $n=100\text{ot/min}$		98
Obr.54.	Průběh opotřebení pro závaží $m= 9,125\text{ kg}$, $n=100\text{ ot/min}$		99
Obr.55.	Průběh opotřebení pro závaží $m= 11,99\text{ kg}$, $n=100\text{ ot/min}$		100
Obr.56.	Průběh opotřebení pro závaží 3,42kg, $n=200\text{ot/min}$		101

SEZNAM TABULEK

Tab.1. Tribologické hodnoty při obrábění.....	29
Tab.2. Přehled standardních tenkých vrstev firmy Liss,a.s.....	58
Tab.3. Přehled standardních tenkých vrstev firmy Balzers,a.s.....	58
Tab.4. Přehled standardních tenkých vrstev firmy SHM s.r.o.	59
Tab.5. Přehled testovaných nástrojů a jejich označení	64
Tab.6. Rozměry frézy 1205.100.....	65
Tab.7. Parametry frézovaných nástrojů.....	66
Tab.8. Chemické složení HSS Co8	67
Tab.9. Chemické složení ASP 2030	68
Tab.10. Chemické složení [hm.%] materiálu 15 241 dle ČSN 41 5241.....	73
Tab.11. Technické data univerzální frézky.....	73
Tab.12. Řezné podmínky pro frézování dle firemních katalogů.....	75
Tab.13. Celkové zvětšení pro pozorování.....	78
Tab.14. Použité řezné podmínky.....	79
Tab.15. Použité řezné podmínky v druhém testu.....	81
Tab.16. Použité řezné podmínky v třetím testu.....	82
Tab.17. Použité řezné podmínky pro test povlaků AlTiN 2006.....	84
Tab.18. Průběh opotřebení pro závaží m= 3,42kg, n=100ot/min.....	97
Tab.19. Průběh opotřebení pro závaží m= 9,125 kg, n=100 ot/min.....	99
Tab.20. Průběh opotřebení pro závaží m= 11,99 kg, n=100 ot/min.....	100
Tab.21. Průběh opotřebení pro závaží 3,42kg, n=200ot/min.....	101

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – protokoly frézovacích zkoušek

Příloha 2 – katalogový list frézy 1205

Příloha 3 – na cd v elektronické podobě fotografie průběhů opotřebení

PŘÍLOHA P I: PROTOKOLY FRÉZOVACÍCH ZKOUŠEK

Číslo zkoušky	1	Protokol o zkouškách								
Datum	23.3.06	Frézování sousledné-nesousledné								
Číslo nástroje	3	Materiál nástroje	HSS Co8	Naměřil: Petr KOLDER						
Obrobek	15241.7 44,5x94,6x598									
Chlazení-řezná tekutina	nechlazeno									
Kritéria životnosti	Výskyt jevu neschopnost odebrat třísku, nadměrné chvění a vibrace, nepříznivá barva třísky, jiskření, katastrofální opotřebení břitu.									
<u>Ostatní jevy při obrábění:</u> Při odfrézované délce 0,6m se tříska začala zabarvovat, při 0,8 došlo k zabarvení nástroje(zakalen), při 1m se měnil zvuk při odebrání třísky.										
<u>Poznámky:</u> Struktura břitu měla už před obráběním znatelná poškození v hodnotách 0,01mm, dále bylo zřetelné více vydrolenin v rozměrech 0,01 až 0,03mm.										
Axiální hloubka řezu	a_a [mm]	10	Průměrné hodnoty drsnosti povrchu							
Radiální hloubka řezu	a_r [mm]	1	Délka fr.[m]	Podélný směr		Kolmý směr				
				Ra	Rz	Ra	Rz			
Posuv na zub	f_z [mm]	0,028								
otáčky	n [1/min]	700								
Řezná rychlost	v [m/min]	22								
posuv	s [mm/min]	65								
úběr fr. mat	Q [cm ³ /min]	1,2								
Délka fr.[m]	Čas fr.[min]	Opotřebení [mm]								
		VB MAX	4	5	Břit 1- největší			Břit 2		
					1	2	3	1	2	3
0,2	3,06	0,07					0,04			0,03
0,4	6,1	0,1			0,13	0,15	0,06			0,05
0,6	9,2	0,15					0,07			0,06
1	15,4	0,22					0,11			0,12
1,2	18,5	0,30		0,14			0,15			0,16
					Břit 3			Břit 4		
					1	2	3	1	2	3
					0,2	3,06				
0,4	6,1					0,05			0,06	
0,6	9,2					0,06			0,07	
1	15,4					0,12			0,11	
1,2	18,5					0,17			0,17	

Číslo zkoušky	2	Protokol frézovací zkoušky								
Datum	24.3.06	Frézování sousledné-nesousledné								
Číslo nástroje	5	Materiál nástroje	HSSE-PM	Naměřil: Petr KOLDER						
Obrobek	15241.7	44,5x94,6x598								
Chlazení-řezná tekutina	nechlazeno									
Kritéria životnosti	Výskyt jevu neschopnost odebrat třísku, nadměrné chvění a vibrace, nepříznivá barva třísky, jiskření, katastrofální opotřebení břitu.									
Ostatní jevy při obrábění: Při odfrézované délce 0,8m se tříska začala zabarvovat, při 0,8m taky došlo k zabarvení nástroje(zakalen)										
<u>Poznámky:</u> Břit bez porušení na povrchu ale vydrolenina o rozměru 0,05mmx0,01mm										
Axiální hloubka řezu	a _a [mm]	10	Průměrné hodnoty drsnosti povrchu							
Radiální hloubka řezu	a _r [mm]	1	Délka fr.[m]	Podélný směr		Kolmý směr				
				Ra	Rz	Ra	Rz			
Posuv na zub	fz [mm]	0,028								
otáčky	n [1/min]	894								
Řezná rychlost	v [m/min]	28								
posuv	s [mm/min]	100								
úběr fr. mat	Q [cm ³ /min]	1,4								
Délka fr.[m]	Čas fr.[min]	Opotřebení [mm]								
		VB MAX	4	5	Břit 1 - největší			Břit 2		
					1	2	3	1	2	3
0,2	2	0,02					0,02			0,01
0,6	6	0,065					0,03			0,02
1	10	0,18			0,35	0,5	0,05	0,3	1	0,1
1,2	12	Nástroj povolil z kleštiny a zavrtal se do materiálu, zkouška ukončena								
1,4	14									
					Břit 3			Břit 4		
					1	2	3	1	2	3
0,2	2						0,005			0,01
0,6	6						0,015			0,025
1	10				0,45	0,8	0,09	0,4	0,5	0,04

Číslo zkoušky	3	Protokol o zkouškách								
Datum	24.3.06	Frézování sousledné-nesousledné								
Číslo nástroje	7	Materiál nástroje	HSSE-PM + AlTiN	Naměřil: Petr KOLDER						
Obrobek	15241.7	44,5x94,6x598								
Chlazení-řezná tekutina	Nechlazenó									
Kritéria životnosti	Výskyt jevu neschopnost odebírat třísku, nadměrné chvění a vibrace, nepříznivá barva třísky, jiskření, katastrofální opotřebení břítu.									
Ostatní jevy při obrábění: Zkouška ukončena z důvodu nadměrného chvění a vibrací stroje, zhoršená kvalita povrchu obrobku, barva třísky, 1,8m špičky zničeny, trojúhelníky opotřebení velké, povlak nástroje už vykazoval porušení										
Poznámky: Břit před zkoušením bez porušení na povrchu, rozměr 5- opotřebení na hřbetu válcové části bylo u břítu číslo 2 opotřebení 0,15mm u zbývajících jen 0,01										
Axiální hloubka řezu	a_a [mm]	10	Průměrné hodnoty drsnosti povrchu							
Radiální hloubka řezu	a_r [mm]	1	Délka fr.[m]	Podélný směr		Kolmý směr				
				Ra	Rz	Ra	Rz			
Posuv na zub	f_z [mm]	0,028	1,8							
otáčky	n [1/min]	1083								
Řezná rychlost	v [m/min]	34								
posuv	s [mm/min]	100								
úběr fr. mat	Q [cm ³ /min]	1,8								
Délka fr.[m]	Čas fr.[min]	Opotřebení [mm]								
		VB MAX	4	5	Břit 1 - největší			Břit 2		
					1	2	3	1	2	3
0,3	3	0,01			0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,6	6	0,035			0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,02
0,9	9	0,11			0,1	0,6	0,015	0,15	0,2	0,02
1,2	12	0,13			0,12	0,85	0,015	0,2	0,2	0,03
1,8	18	0,28		0,01	0,35	0,85	0,1	0,6	0,4	0,12
					Břit 3			Břit 4		
					1	2	3	1	2	3
0,3	3				0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,6	6				0,05	0,09	0,01	0,03	0,08	0,01
1,2	12				0,15	0,2	0,015	0,2	0,15	0,025
1,8	18				0,4	0,6	0,06	0,4	0,65	0,11

Číslo zkoušky	4	Protokol o zkouškách								
Datum	28.3.06	Frézování sousledné-nesousledné								
Číslo nástroje	6	Materiál nástroje	HSSE-PM	Naměřil: Petr KOLDER						
Obrobek	15241.7	44,5x94,6x598	Házení nástroje v upnutém stavu				0,01			
Chlazení-řezná tekutina		Nechlazeno								
Kritéria životnosti	VB _{MAX} =0,15									
<u>Ostatní jevy při obrábění:</u> 0,2m třísky dlouhé, nezabarvené 0,6m nástroj se pomalu zabarvuje, třísky normální 0,7m zabarvování třísek										
<u>Poznámky:</u> při 0,6m hranice otupení nástroje pro VB_{MAX} =0,15										
Axiální hloubka řezu	a _a [mm]	10	Průměrné hodnoty drsnosti povrchu							
Radiální hloubka řezu	a _r [mm]	1	Délka fr.[m]	Podélný směr		Kolmý směr				
				Ra	Rz	Ra	Rz			
Posuv na zub	fz [mm]	0,028	0,2	0,92	5,92	0,02	0,18			
otáčky	n [1/min]	1083	0,4	1,67	8,13	1,69	10,53			
Řezná rychlost	v [m/min]	34	0,6	0,93	5,74	1,23	7,35			
			0,8	0,79	5,27	1,47	9,56			
posuv	s [mm/min]	100								
úběr fr. mat	Q [cm ³ /min]	1,8								
Délka fr.[m]	Čas fr.[min]	Opotřebení [mm]								
		VB _{MAX}	4	5	Břit 1 - největší			Břit 2		
					1	2	3	1	2	3
0,2	2	0,02		0,01	0,3	0,1	0,02	0,25	0,1	0,02
0,4	4	0,04		0,03	0,4	0,3	0,03	0,35	0,2	0,02
0,6	6	0,13		0,04	0,4	0,8	0,11	0,3	0,8	0,1
0,8	8	0,17		0,04	0,4	0,9	0,16	0,35	0,9	0,14
					Břit 3			Břit 4		
					1	2	3	1	2	3
0,2	2				0,2	0,3	0,02	0,2	0,2	0,02
0,4	4				0,25	0,32	0,05	0,35	0,22	0,02
0,6	6				0,35	0,6	0,1	0,36	0,6	0,1
0,8	8				0,35	0,9	0,15	0,4	0,8	0,17

Číslo zkoušky	6	Protokol o zkouškách								
Datum	29.3.06	Frézování sousledné-nesousledné								
Číslo nástroje	8	Materiál nástroje	HSSS-PM +AlTiN			Naměřil: Petr KOLDER				
Obrobek	15241.7	44,5x94,6x598	Házení nástroje v upnutém stavu				0,03			
Chlazení-řezná tekutina		Nechlazenno								
Kritéria životnosti	VB _{MAX} =0,15									
<u>Ostatní jevy při obrábění:</u> po 0,9m třísky se zabarvují										
Axiální hloubka řezu	a _a [mm]	10	Průměrné hodnoty drsnosti povrchu							
Radiální hloubka řezu	a _r [mm]	1	Délka fr.[m]	Podélný směr		Kolmý směr				
				Ra	Rz	Ra	Rz			
Posuv na zub	f _z [mm]	0,028	0,2	1	6,66	1,12	6,71			
otáčky	n [1/min]	1083	0,4	1,2	7,65	1,13	7,7			
Řezná rychlost	v [m/min]	34	0,6	1	6,61	1,13	6,21			
			0,8	0,9	5,2	1,07	6,07			
posuv	s [mm/min]	100	1	0,94	5,56	1,3	9,2			
úběr fr. mat	Q [cm ³ /min]	1,8								
Délka fr.[m]	Čas fr.[min]	Opotřeбенí [mm]								
		VB _{MAX}	4	5	Břit 1 - největší			Břit 2		
	0,68			1	2	3	1	2	3	
0,2	2	0,01	0,66	0	0,01	0,005	0,001	0,03	0,05	0,01
0,4	4	0,02	0,65	0,001	0,08	0,07	0,02	0,1	0,15	0,01
0,6	6	0,05	0,63	0,005	0,15	0,12	0,01	0,12	0,2	0,02
0,8	8	0,08	0,58	0,015	0,3	0,3	0,02	0,25	0,25	0,02
1	10	0,15	0,51	0,015	0,31	0,6	0,03	0,3	0,5	0,03
					Břit 3			Břit 4		
					1	2	3	1	2	3
0,2	2				0,04	0,03	0,01	0,03	0,03	0,01
0,4	4				0,08	0,05	0,01	0,1	0,05	0,015
0,6	6				0,22	0,06	0,02	0,12	0,07	0,02
0,8	8				0,25	0,45	0,02	0,25	0,4	0,02
1	10				0,38	0,5	0,02	0,3	0,6	0,02

Číslo zkoušky	7	Protokol o zkouškách								
Datum	14.4.06	Frézování sousledné-nesousledné								
Číslo nástroje	1	Materiál nástroje	HSS Co8	Naměřil: Petr KOLDER						
Obrobek	15241.7	44,5x94,6x598	Házení nástroje v upnutém stavu					0,07		
Chlazení-řezná tekutina	nechlazeno									
Kritéria životnosti	VB _{MAX} =0,15									
Ostatní jevy při obrábění: po 0,2m na válcové ploše místy vydroleniny										
<u>Poznámky:</u> špička 4břitu se po 0,6m uštípla										
Axiální hloubka řezu	a _a [mm]	10	Průměrné hodnoty drsnosti povrchu							
Radiální hloubka řezu	a _r [mm]	1	Délka fr.[m]	Podélný směr		Kolmý směr				
				Ra	Rz	Ra	Rz			
Posuv na zub	f _z [mm]	0,0283	0,2	1,59	9,17	2,3	12,9			
otáčky	n [1/min]	573,3	0,4	1,44	8,52	2,44	13,2			
Řezná rychlost	v [m/min]	18	0,6							
posuv	s [mm/min]	65								
úběr fr. mat	Q [cm ³ /min]									
Délka fr.[m]	Čas fr.[min]	Opotřebení [mm]								
		VB _{MAX}	4	5	Břit 1 - největší			Břit 2		
	0,60			1	2	3	1	2	3	
0,2	3,06	0,04	0,57	0,05	0,17	0,23	0,03	0,15	0,25	0,015
0,4	6,1	0,07	0,56	0,06	0,20	0,44	0,04	0,17	0,5	0,03
0,6	9,2	0,17	0,29	0,07	0,30	0,55	0,07	0,4	0,65	0,07
					Břit 3			Břit 4		
					1	2	3	1	2	3
0,2	3,06				0,12	0,25	0,02	0,15	0,4	0,03
0,4	6,1				0,15	0,5	0,035	0,1	0,45	0,03
0,6	9,2				0,3	0,6	0,1	Špička ulomena		0,08

Číslo zkoušky	8	Protokol o zkouškách							
---------------	---	-----------------------------	--	--	--	--	--	--	--

Datum	18.4.06	Frézování sousledné-nesousledné								
Číslo nástroje	1	Materiál nástroje	HSSE- PM+AlTiN	Naměřil: Petr KOLDER						
Obrobek	15241.7	44,5x94,6x598	Házení nástroje v upnutém stavu				0,04			
Chlazení-řezná tekutina	nechlazeno									
Kritéria životnosti	VB _{MAX} =0,15									
<u>Ostatní jevy při obrábění:</u> po 0,4m špička 4břitu uštípnuta, po 0,8m skoková změna hodnot										
<u>Poznámky:</u> špička 4břitu před obráběním poškozena!										
Axiální hloubka řezu	a _a [mm]	10	Průměrné hodnoty drsnosti povrchu							
Radiální hloubka řezu	a _r [mm]	1	Délka fr.[m]	Podélný směr		Kolmý směr				
				Ra	Rz	Ra	Rz			
Posuv na zub	f _z [mm]	0,028	0,2							
otáčky	n [1/min]	891	0,4							
Řezná rychlost	v [m/min]	28	0,6							
			0,8							
posuv	s [mm/min]	100								
úběr fr. mat	Q [cm ³ /min]	1								
Délka fr.[m]	Čas fr.[min]	Opotřebení [mm]								
		VB _{MAX}	4	5	Břit 1 - největší			Břit 2		
	0,60			1	2	3	1	2	3	
0,2	2	0,01	0,57	0,01	0,05	0,025	0,005	0,03	0,05	0,01
0,4	4	0,03	0,55	0,02	0,06	0,08	0,015	0,06	0,07	0,01
0,6	6	0,05	0,5	0,02	0,08	0,13	0,015	0,08	0,08	0,01
0,8	8	0,15	0,46	0,04	0,34	0,6	0,05	0,25	0,6	0,02
					Břit 3			Břit 4		
					1	2	3	1	2	3
0,2					0,05	0,07	0,01	0,05	0,06	0,01
0,4					0,08	0,05	0,02	0,08	0,1	0,01
0,6					0,09	0,06	0,02	0,01	0,1	0,01
0,8					0,28	0,55	0,025	0,3	0,55	0,04
Číslo zkoušky	9	Protokol o zkouškách								
Datum	18.4.06	Frézování sousledné-nesousledné								

Číslo nástroje	4	Materiál nástroje	HSSE-PM	Naměřil: Petr KOLDER						
Obrobek	15241.7	44,5x94,6x598	Házení nástroje v upnutém stavu		0,04					
Chlazení-řezná tekutina	nechlazeno									
Kritéria životnosti	VB _{MAX} =0,15									
Ostatní jevy při obrábění: po 0,2m špička 1břitu uštípnuta										
<u>Poznámky:</u>										
Axiální hloubka řezu	a _a [mm]	10	Průměrné hodnoty drsnosti povrchu							
Radiální hloubka řezu	a _r [mm]	1	Délka fr.[m]	Podélný směr		Kolmý směr				
				Ra	Rz	Ra	Rz			
Posuv na zub	f _z [mm]	0,023	0,2							
otáčky	n [1/min]	700	0,4							
Řezná rychlost	v [m/min]	22	0,6							
			0,8							
posuv	s [mm/min]	65								
úběr fr. mat	Q [cm ³ /min]	0,65								
Délka fr.[m]	Čas fr.[min]	Opotřebení [mm]								
		VB _{MAX}	4	5	Břit 1 - největší			Břit 2		
	0,77			1	2	3	1	2	3	
0,2	3,06	0,03	0,56	0,02	0,15	0,2	0,01	0,06	0,07	0,03
0,4	6,1	0,08	0,54	0,025	0,17	0,35	0,03	0,16	0,3	0,04
0,6	9,2	0,12	0,53	0,03	0,3	0,5	0,04	0,2	0,7	0,05
0,8	12,3	0,16	0,50	0,03	0,3	0,85	0,09	0,28	0,85	0,08
					Břit 3			Břit 4		
					1	2	3	1	2	3
0,2					0,07	0,07	0,03	0,075	0,15	0,01
0,4					0,2	0,4	0,05	0,3	0,19	0,02
0,6					0,2	0,7	0,06	0,3	0,5	0,03
0,8					0,25	0,7	0,08	0,33	0,8	0,08

Číslo zkoušky	10	Protokol o zkouškách
Datum	2.1.06	Frézování sousledné-nesousledné

Číslo nástroje	6pp	Materiál nástroje	ASP2030+AlTiN2006			Naměřil: Petr KOLDER				
Obrobek	15241.7	44,5x94,6x598	Házení nástroje v upnutém stavu			0,04				
Chlazení-řezná tekutina		nechlazeno								
Kritéria životnosti		VB _{MAX} =0,15								
<u>Ostatní jevy při obrábění:</u> po 0,8m velké drncení stroje, třísky žhavé										
Poznámky:										
Axiální hloubka řezu	a _a [mm]	10	Průměrné hodnoty drsnosti povrchu							
Radiální hloubka řezu	a _r [mm]	1	Délka fr.[m]	Podélný směr		Kolmý směr				
				Ra	Rz	Ra	Rz			
Posuv na zub	f _z [mm]	0,023	0,2	1,13	6,95	1,03	5,84			
otáčky	n [1/min]	1083	0,4	0,81	4,7	1,2	7,1			
Řezná rychlost	v [m/min]	34	0,6	0,68	3,79	0,98	6,59			
			0,8	2,31	10,88	1,41	9,68			
posuv	s [mm/min]	100								
úběr fr. mat	Q [cm ³ /min]	1								
Délka fr.[m]	Čas fr.[min]	Opotřebení [mm]								
		VB _{MAX}	4	5	Břit 1 - největší			Břit 2		
0,65	1		2		3	1	2	3		
0,2	2	0,05	0,57	0,01	0,19	0,35	0,01	0,21	0,45	0,01
0,4	4	0,09	0,56	0,02	0,235	0,5	0,02	0,25	0,44	0,01
0,6	6	0,12	0,55	0,02	0,24	0,7	0,06	0,24	0,7	0,04
0,8	8	0,15	0,55	0,03	0,3	0,75	0,09	0,29	0,8	0,08
					Břit 3			Břit 4		
					1	2	3	1	2	3
0,2	2				0,2	0,08	0,01	0,19	0,08	0,01
0,4	4				0,2	0,44	0,015	0,235	0,40	0,01
0,6	6				0,23	0,7	0,03	0,25	0,55	0,01
0,8	8				0,32	0,72	0,07	0,31	0,62	0,05

Číslo zkoušky	11	Protokol o zkouškách			
Datum	2.1.06	Frézování sousledné-nesousledné			
Číslo nástroje	8pp	Materiál nástroje	ASP2030+AlTiN2006	Naměřil: Petr KOLDER	

Obrobek	15241.7 44,5x94,6x598	Házení nástroje v upnutém stavu	0,05							
Chlazení-řezná tekutina	nechlazeno									
Kritéria životnosti	VB _{MAX} =0,15									
Ostatní jevy při obrábění: spíše materiál břitu ubývá										
Poznámky: třísky zabarvené od začátku, jiná trajektorie jejich odpadu										
Axiální hloubka řezu	a _a [mm]	10	Průměrné hodnoty drsnosti povrchu							
Radiální hloubka řezu	a _r [mm]	1	Délka fr.[m]	Podélný směr		Kolmý směr				
				Ra	Rz	Ra	Rz			
Posuv na zub	f _z [mm]	0,0635	0,2	1,016	5,3	0,7	4,4			
otáčky	n [1/min]	1274	0,4	1,16	6,68	0,77	4,92			
Řezná rychlost	v [m/min]	40	0,6	1,36	8,16	1,11	6,67			
			0,8	1,46	8,12	0,74	5,25			
posuv	s [mm/min]	285		0,94	4,52	0,98	5,91			
úběr fr. mat	Q [cm ³ /min]	2,85		1,06	5,83	1,23	7,15			
Délka fr.[m]	Čas fr.[min]	Opotřebení [mm]								
		VB _{MAX}	4	5	Břit 1 - největší			Břit 2		
			0,65		1	2	3	1	2	3
0,2		0,05	0,56	0,01	0,16	0,4	0,015	0,15	0,4	0,01
0,4		0,08	0,54	0,015	0,24	0,65	0,05	0,2	0,45	0,03
0,6		0,11	0,54	0,04	0,3	0,7	0,05	0,21	0,6	0,045
0,8		0,12	0,53	0,025	0,3	0,8	0,05	0,3	0,8	0,06
1		0,14	0,5	0,025	0,33	0,8	0,06	0,3	0,8	0,05
1,2		0,16	0,5	0,03	0,33	0,95	0,65	0,3	0,8	0,04
					Břit 3			Břit 4		
					1	2	3	1	2	3
0,2					0,14	0,3	0,01	0,12	0,25	0,01
0,4					0,23	0,4	0,01	0,2	0,6	0,035
0,6					0,24	0,63	0,035	0,23	0,7	0,035
0,8					0,3	0,7	0,05	0,29	0,8	0,05
1					0,35	0,72	0,03	0,29	0,8	0,06
1,2					Břit ulomen			0,3	0,9	0,08

PŘÍLOHA P 2: KATALOGOVÝ LIST FRÉZY 1205

FRÉZY VÁLCOVÉ ČELNÍ - KRÁTKÉ, 1 břit přes střed

END MILLS - SHORT, 1 tooth cut over centre

SCHAFTFRÄSER - KURZ, 1 Schneide über Mitte

ФРЕЗЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ТОРЦЕВЫЕ КОРОТКИЕ, с 1 режущей кромкой к центру

1205

DIN 844
ISO 1641

foto: 1205

rozm. skica: 1205

skica použití: 1104

Použití - Usage - Applkation - Употребление

HSS PM 1 2 3 4 5 6 7 9 10 12 13

HSS Co8 1 2 3 4 6 7 9 10 12

kony:



HSS Co8



HSSE-PM



D k 10	I	L	d h 6	Z	CODE 120517+AITN	CODE 120518	IDENT.
3	8	52	6	4		*	.030
4	11	55	6	4		*	.040
5	13	57	6	4		*	.050
6	13	57	6	4	*	*	.060
7	16	66	10	4		*	.070
8	19	69	10	4	*	*	.080
9	19	69	10	4		*	.090
10	22	72	10	4	*	*	.100
11	22	79	12	4		*	.110
12	26	83	12	4	*	*	.120
13	26	83	12	4		*	.130
14	26	83	12	4	*	*	.140
15	26	83	12	4		*	.150
16	32	92	16	4	*	*	.160
18	32	92	16	4	*	*	.180
20	38	104	20	4	*	*	.200
22	38	104	20	5		*	.220
24	46	121	25	5		*	.240
25	46	121	25	5		*	.250
26	46	121	25	5		*	.260
28	46	121	25	5		*	.280
30	46	121	25	5		*	.300
32	53	133	32	6		*	.320



TiN

TiCN

TiAlN

AlTiN

120517 - Dodáváme s AITN povlakem - AITN coated - Lieferbar mit der Beschichtung AITN - Поставляем с AITN покрытием
Příklad objednávky - Example of orders - Bestellsbeispiel - Пример заказа

120517 060 + AITN

120518 060 + TiN

