

Vysoká škola strojní a textilní Liberec  
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

obor 23 - 07 - 8 strojírenská technologie  
zaměření obrábění a montáž

POUŽITÍ VRTÁKŮ S POVLAKEM TIN PŘI VRTÁNÍ MATRIC

598

KOM - OM - XXXX

Marta Blaščíková

Vedoucí práce : ing. Karel Bukač /VŠST Liberec/  
Konzultant : ing. Jiří Veverka /TMS Pardubice/  
Počet stran : 45  
Počet příloh : 1  
Počet tabulek : 11  
Počet obrázků : 12  
Počet výkresů :  
Počet modelů :  
nebo jiných příloh :

Datum : 2. června 1989

Vysoká škola: strojní a textilní

Fakulta: strojní

Katedra: obrábění a montáže

Školní rok: 1988 - 89

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DĚLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Blaščíkovou Martu

obor 23 - 07 - 8 strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorozních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Použití vrtáků s povlakem TiN při vrtání matric.

### Zásady pro vypracování:

1. Hospodářský význam zadání.
2. Seznámení se s danou problematikou.
3. Rozbor metody PVD a CVD, požadavky na nástroje určené k povlakování.
4. Praktické zkoušky.
5. Ekonomické vyhodnocení a závěr.

V 240/89 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ  
Ústřední knihovna  
MĚŘEC 1, STUDENTSKÁ 1  
PŠČ 461 17

*knihovna - vrták s povlakem*

KOM/OM

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran textu

Seznam odborné literatury:

1. Příklad, Z. - Musílková, R.: Teorie obrábění, SNTL  
Praha 1982
2. Dobiášová, O.: Zrychlená metoda hodnocení trvanlivosti  
vrtáků Ø 6 mm s povlaky TiN. DP VŠST  
Liberec 1988

Podniková dokumentace

Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel B u k a ě

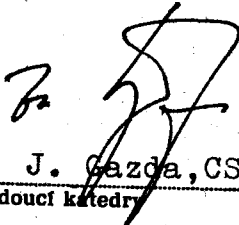
konzultant: Ing. Jiří Veverka

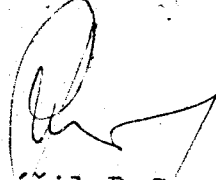
TMS Pardubice

Datum zadání diplomové práce: 16. 9. 1988

Termín odevzdání diplomové práce: 2. 6. 1989



  
Doc. Ing. J. Gazda, CSc.  
Vedoucí katedry

  
Prof. Ing. Vl. Prášil, DrSc.  
Děkan

v Liberci dne 16. 9. 1988

Nístopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci  
vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

*Blasčibona' Marti*

V Liberci, dne 2.června 1989

## Obsah

	Seznam použitých značek	
1.	Hospodářský význam zadání	1
1.1.	Zkušenosti s povlakovanými vrtáky	1
1.2.	Příčiny vad při vrtání děr šroubovitými vrtáky	5
2.	Seznámení s danou problematikou a požadavky na nástroje určené k povlakování	8
2.1.	Materiál matrice	8
2.2.	Povrchové úpravy vrtáků vyráběných z rychlořezné oceli	9
2.3.	Pevost, tuhost a řezivost šroubovitých vrtáků	9
2.3.1.	Ostření nástrojů s povlakem TiN	10
2.4.	Požadavky na nástroje určené k povlakování	10
2.4.1.	Vlastnosti základního materiálu nástrojů	11
2.4.1.1.	Druh materiálu nástrojů	11
2.4.1.2.	Elektrická vodivost nástrojů	11
2.4.1.3.	Nemagnetický stav nástrojů	11
2.4.2.	Jakost povrchu nástrojů	12
2.4.2.1.	Kovová čistota povrchu nástrojů	12
2.4.2.2.	Čistota výbrusu a drsnost povrchu materiálu	12
2.4.2.3.	Funkční plochy nástrojů bez ostření	13
2.4.2.4.	Stáří nástrojů	13
2.4.2.5.	Nástroje bez cizích povlaků	13
2.4.3.	Výběr tvaru nástrojů	14
2.4.4.	Vlastní technologie čištění nástrojů	14
2.4.4.1.	Chemické čištění	14
2.4.4.1.	Iontové čištění	15

3.	Rozber metody PVD a CVD	15
3.1.	Povlakování metodou CVD	16
3.2.	Povlakování metodou PVD	17
3.2.1.	Napařování	18
3.2.2.	Rezprašování	18
3.2.3.	Iontoplasmové povlakování IPP	18
3.3.	Srovnání některých výhod CVD a PVD technologií	19
3.3.1.	Technologie CVD	19
3.3.2.	Technologie PVD	20
3.3.3.	Obecné vlastnosti TiN vrstev	20
3.4.	Alternativy vrstev typu TiN	21
4.	Praktické zkoušky	22
4.1.	Provozní zkoušky	22
4.1.1.	Nástroj	22
4.1.2.	Matrice	24
4.1.3.	Stroj	24
4.1.4.	Řezné podmínky	26
4.1.5.	Kriterium otupení	26
4.1.6.	Vlastní provedení zkoušky	26
4.2.	Krátkodobá zkouška podle Andonova	27
4.2.1.	Teoretická analýza metody	29
4.2.2.	Postup zkoušky	34
4.2.3.	Diagramy závislosti T - v	38
4.2.3.1.	Diagram závislosti T - v pro nepovlakované vrtáky	38
4.2.3.2.	Diagram závislosti T - v pro povlakované vrtáky povlakem TiN	39
5.	Ekonomické hodnocení	40
5.1.	Vyhodnocení zkoušek vrtáků $\varnothing$ 5 mm povlakovaných TiN	40
5.1.1.	Náklady na povlakování TiN	40
5.1.2.	Výsledky zkoušek	40

5.1.3.	Úspora vrtáků	41
5.1.4.	Úspora na ostření	42
5.1.5.	Vyhodnocení úspor	42
6.	Závěr	43
	Seznam použité literatury	45

## Seznam použitých značek

$c_T$		konstanta Taylorova vztahu $T=f/v$ /v/ /její velikost je rovna trvanlivosti nástroje při řezné rychlosti $v=1m/min$ /
$c_v$		konstanta Taylorova vztahu $v=f/T$ / /její velikost je rovna řezné rychlosti při trvanlivosti $T=1 min$ /
D	/mm/	průměr nástroje
h	/mm/	hlobka řezu
k		počet vyvrtaných úseků
l	/mm/	délka otvoru
m		exponent vyjadřující vliv řezné rychlosti na trvanlivosti ostří nástroje
n	/min <sup>-1</sup> /	počet otáček
$N_p$	/Kčs/	náklady na povlakování jednoho vrtáku
p		počet měření
Q		pomocná výpočtová hodnota
$R_a$	/m/	drsnost plochy
s	/mm.ot <sup>-1</sup> /	posuv na otáčku
$s_z$	/mm.zub <sup>-1</sup> /	posuv na zub
T	/min/	trvanlivost
Ú	/Kčs/	úspora při využití 1 povlakovaného vrtáku
Ú <sub>1</sub>	/Kčs/	úspora při použití vrtáku
Ú <sub>0</sub>	/Kčs/	úspora na ostření
v	/m.min <sup>-1</sup> /	řezná rychlost / = $v_c$ /
VB	/mm/	opotřebení nástroje
$\varphi$		koeficient geometrické řady
$\beta$		úhel čela
$\alpha$		úhel hřbetu
$\alpha$		úhel nastavení



## 1. Hospodářský význam zadání

Oblast zvyšování životnosti nástrojů je v posledních letech předmětem živého zájmu, jak uživatelské sféry, tak ze stran výrobců nářadí.

K nejdůležitějším faktorům, které ovlivňují produktivitu práce patří výkonnost, spolehlivost a životnost nástrojů.

Obrábění děr patří k hlavním operacím při výrobě součástí. Šroubovitý vrták se tak stal velmi univerzálním nástrojem použitelným i k vrtání děr značně dlouhých, děr tvarových, nebo stupňových. Z těchto důvodů je snahou stále zvyšovat užitnou hodnotu a tím i výkonnost šroubovitých vrtáků při výrobním procesu.

Povlakované vrtáky se využívají při vrtání děr v materiálech, které jsou náchylné k tvoření studených svarů a nárůstků na břitech. Nárůstky jsou pro nepovlakované nástroje velmi nebezpečné. Působením stále delších, vznikajících třísek dochází k odtrhování nárůstků spojených s výmoly menších či větších částic z materiálu vrtáků, což bývá často příčinou havárie vrtáků. Toto nebezpečí zmenšují dobré kluzné vlastnosti povlaku TiN.

### 1.1. Zkušenosti s povlakovanými vrtáky

Ve Zbrojovce Vsetín provedli zkoušku trvanlivosti vrtáků nepovlakovaných i povlakovaných vrstvou TiN.

Nástroje před depozicí byly očištěny v ultrazvukové prací lince ve speciálních chemikáliích /Galvaclean, Emalan/ a sušeny ve freonových lázních a parách /1/. Tloušťka povlakové vrstvy se pohybovala mezi 1,6 až 3  $\mu\text{m}$ . Drsnost povrchu nástroje byla 0,8  $\mu\text{m}$  na břitech a hrotu, 0,4  $\mu\text{m}$  na fazetkách a stopce.

Vlastní depozice vrstvy probíhala v plazmatickém mraku mezi dvěma páry planárních magnetronů, jejichž vzdálenost byla

105 mm. Aktivní depoziční prostor byl tvořen průnikem plasmatických mraků.

Povlakování se provádělo na zařízení Z 700.

Testovanými nástroji byly vrtány sady neprůchezích otvorů o hloubce  $3D / D = \text{průměr vrtáku} /$ . Na dílenském mikroskopu byly měřeny hodnoty VB největšího opotřebení na hřbetě dvou hlavních břitů. Aritmetický průměr obou hodnot byl považován za celkové opotřebení daného nástroje po odvrtání určitého počtu otvorů. Zkoušky byly ukončeny po dosažení předem určené velikosti opotřebení /pro  $\varnothing 3\text{mm} - 0,15$ , pro  $\varnothing 6\text{mm} - 0,20$ , pro  $10\text{mm} - 0,30 /$ . Za měřítko trvanlivosti byl považován počet vyvrtaných otvorů.

Vrtací zkoušce byly podrobeny nejméně tři nástroje z každé skupiny. Zkušebním obráběným materiálem byla ušlechtilá uhlíková ocel 12 050.1, zušlechtěná na 750 MPa, třídy obrubitelnosti 13b a ušlechtilá chromová ocel 14 140, zušlechtěná na 950 - 1000 MPa, třídy obrubitelnosti 11b. Zkoušky byly prováděny na stojanových vrtačkách Auerbach Scheibe a BK 63 s řeznými podmínkami podle tabulky č.1.

Tabulka č.1

Průměr vrtáku  /mm/	Řezná rychlost / m/min /		Posuv / mm/ot /		Obráběný materiál  číslo
	nepovlak.	povlak.	nepovlak.	povlak.	
3	20,3	31,36	0,08	0,102	12 050.1
6	19,7	35,0	0,102	0,128	
10	22,3	31,4	0,18	0,18	
3	15,16	27,10	0,064	0,08	14 140
6	16,9	30,3	0,08	0,102	
10	21,0	31,4	0,18	0,18	

Výsledky vrtacích zkoušek vykazují několikanásobně /3-6 x/ zvýšenou životnost vrtáků povlakovaných nitridem titanu ve srovnání s ekvivalentními vrtáky nepovlakovanými / viz tabulka č.2/.

Tabulka č.2

Průměr vrtáku / mm /	Počet otvorů hloubky 3D pro materiál	
	12 050.1	14 140
3 povlak. nepovlak.	360 130	246 67
6 povlak. nepovlak	496 165	375 63
10 povlak. nepovlak.	402 103	94 29

Obdobnou zkoušku provedli i ve státní zkušebně 202 - v Jablonci nad Nisou. Jednalo se o řeznou zkoušku nepovlakovaných a povlakovaných vrtáků  $\varnothing$  10mm firmy Stock. Státní zkušebna provedla čtyři zkoušky na stojanové vrtačce 2H 135 / SSSR / s konstantním posuvem 0,14 mm/ot, s konstantním chlazením 2,5 l/min, při otáčkách 710 ot/min a s hloubkou vrtání 20mm do průchozích děr. Otupení bylo měřeno na hřbetě hlavních břitů a na příčném břitu pomocí přenosného optického přístroje Amsler 0,01 mm. Zkušebním materiálem byla ušlechtilá uhlíková ocel 12 050.1 s maximální tvrdostí 225 HB. Výsledky jsou shrnuty v tabulce č.3.

Vizuálně v místech odchodu třísky u obou povlakovaných vrtáků došlo k sedření povlakové vrstvy /2/.

Pro malé množství testovaných vrtáků nelze z této zkoušky objektivně určit hodnotu zvýšené trvanlivosti povlakovaných vrtáků, i když zvýšení je z tabulky zřejmé.

Tabulka č.3

vrták číslo	Měřeno otupení na počtu děr	1.břit	2.břit	Příčný břit	Množ.odebr. mater./dm <sup>3</sup> /
1 nepo- vlak.	100	0,11	0,12	0,13	0,87
	500	0,26	0,27	0,61	
	558	Prasknutí vrtáku			
2 nepo- vlak.	100	0,04	0,04	0,09	1,88
	1200	0,86	0,89	2,94	
	1200	Drobné vylamování břitu Úplné opotřebení příč. břitu			
3 pov- lak.	100	0,08	0,07	0,15	2,44
	1500	0,83	0,86	2,64	
	1558	Prasknutí vrtáku			
4 pov. lak.	100	0,08	0,08	0,19	2,04
	1300	0,78	0,76	2,62	
	1300	Drobné vyštípnutí bři- tu. Částeč.opotřebení příč.břitu			

Uvedené funkční a výkonnostní parametry povlakovaných nástrojů nejsou mezní hranicí možností, které technologie povlakování fyzikální metodou poskytuje. Již v současné době jsou vyvinuty povlakové vrstvy, na př. TiAlN firmy Leybold - Heraeus, které zvyšují trvanlivost řezných nástrojů o faktor 1,5 ve srovnání s povlakem TiN /3/.

Cílem obou uvedených zkoušek bylo ukázat zvýšení trvanlivosti povlakovaných oproti nepovlakovaným nástrojům pomocí počtu vyvrtaných otvorů. Ze zkoušek je zřejmé, že pro zrychlenou metodu hodnocení trvanlivosti povlakovaných vrtáků bude důležité pro snížení počtu vyvrtaných otvorů použít dvou cest. Jednou z cest bude zvýšení hodnot řezných podmínek t.j. řezné rychlosti a posuvu, druhou z cest použití zkušebního obráběného materiálu s horší obrábělností.

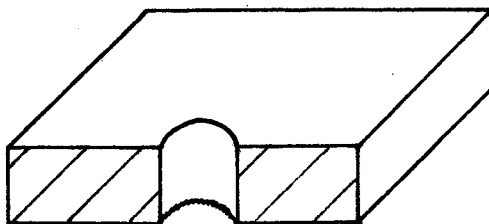
## 1.2. Příčiny vad při vrtání děr šroubovitými vrtáky

Výsledek práce šroubovitého vrtáku je ovlivňován velkým komplexem činitelů, kteří působí souhrnně na hospodárnost a efektivnost vrtání z hlediska optimálního otupování, trvanlivosti a výkonnosti použitého vrtáku. Kromě toho zdánlivá jednoduchost vrtání svádí často k tomu, že se podceňuje technický a ekonomický význam vrtání a šroubovitých vrtáků. Výsledkem je pak velká spotřeba vrtáků, stoupající výrobní náklady, velká zmetkovitost a klesající jakost výrobků /4/.

Nejčastěji vyskytující se vady při vrtání děr šroubovitými vrtáky je možno shrnout do tohoto přehledu :

Velká drsnost povrchu děr s otřepy / obr.1.1 /

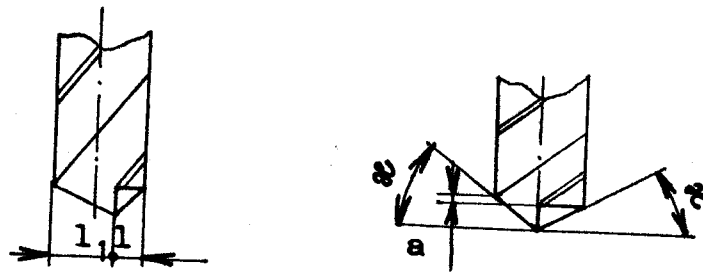
- 
- příčiny : - tupý, nebo nesprávně naostřený vrták  
- příliš malý úhel hrotu  
- příliš velký posuv  
- nedostatečný přívod řezné kapaliny  
- nevhodné složení řezné kapaliny



obr. 1.1.

Díra má větší  $\varnothing$  než vrták

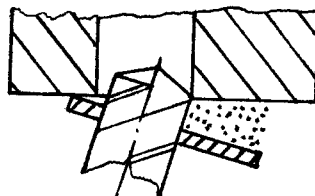
- 
- nestejná délka hlavních břitů, nebo nestejný úhel hrotu po přeostření vrtáku / obr. 1.2. /
  - vůle ve vřetenu stroje
  - posuv vřetene má mrtvý chod
  - nesprávné upnutí obrobku



obr. 1.2.

Díra není kolmá k základně  
-----

- zbytky třísek pod úložnou plochou obrobku / obr.1.3 /
- obrobek není správně a dostatečně upnut na stole stroje
- plochy podložek obrobku nejsou rovnoběžné
- plocha stolu není kolmá k ose vřetene
- zabíhání vrtáku v důsledku příliš velkého posuvu



obr. 1.3.

Díry jsou přesazeny  
-----

- obrobek nebyl správně orýsován
- nedokonalé upnutí a posunutí obrobku při vrtání
- vřeteno stroje, nebo nástroj hází
- vrták při vrtání zabíhá

### Vrták se často láme

-----

- příliš velký posuv
- malý, nebo žádný úhel hřbetu
- nadměrné otupení nástroje
- drážky se ucpávají třískami
- nedostatečný přívod řezné kapaliny
- nehomogenní materiál obrobku
- uvolnění obrobku v upínacím přípravku

### Ulomený unášec stopky vrtáku

-----

- vadné dosednutí stopky v kuželové dutině
- značné opotřebení dutiny v pouzdru, nebo ve vřetenu nástroje

### Rychlé opotřebení a výmoly hlavních břitů

-----

- podstatně zvětšený úhel hřbetu
- příliš velká řezná rychlost
- tvrdá místa, nebo vměstky v obrobku
- nedostatečný přívod řezné kapaliny
- malá tuhost obrobku a chvění stroje

### Vydrolení, nebo výmoly příčného břitu

-----

- nadměrný posuv nástroje
- příliš velká délka příčného břitu
- nescouměrnost břitů nástroje
- nadměrné otupení nástroje

### Vrták při vrtání zabíhá

-----

- slabé, nebo šikmo nadúličkované díry na obrobku
- příliš velký posuv a nedokonalé ustředění nástroje při začátku vrtání
- materiál obrobku má nestejnou tvrdost, nebo je porovitý

## 2.2. Povrchové úpravy vrtáků vyráběných z rychlořezné oceli

Výroba kvalitních šroubovitých vrtáků s vysokou životností vede ke zkrácení strojně-technologických výrobních časů, ztrátám při výměně nástrojů a k úsporám energie potřebné k výrobě nástrojů. Řešení, které splňuje tyto požadavky a tedy zlepšuje již dobré vlastnosti rychlořezných materiálů, z nichž jsou šroubovitě vrtáky vyráběny, spočívá v povrchové úpravě tenkými, mechanicky, tepelně, abrazně a korozně odolnými vrstvami.

Efektivním způsobem se jeví vytvoření tenké vrstvy, případně několika vrstev na povrchu vrtáků. V daném případě se může jednat o vrstvy na bázi nitridů, oxidů, po případě jiných sloučenin.

Dále se budeme zabývat povlakováním nitridem titanu /TiN/. Vrstvou TiN lze povlakovat nástroje různých rozměrů / na př. vrtáky, závitníky, frézy, .../ pro dosažení :

- prodloužení trvanlivosti ostří
- zvýšení řezné rychlosti
- zvýšení posuvu

Rovněž lze povlakováním velkou měrou zvýšit chemickou odolnost vůči koroznímu napadení.

## 2.3. Pevnost, tuhost a řezivost šroubovitých vrtáků

Práce šroubovitého vrtáku je ovlivněna celým komplexem činitelů, které působí souhrně na hospodárnost vrtání z hlediska výkonnosti, trvanlivosti a optimálního otupování používaných vrtáků. Důležitými předpoklady pro hospodárnou práci šroubovitého vrtáku je jeho dostatečná pevnost, tuhost, vhodná geometrie břitů a správné přestrojení vrtáků. Na splnění těchto předpokladů závisí ve značné míře také spotřeba vrtáků. Pevnost a tuhost šroubovitých vrtáků je závislá hlavně na tloušťce jádra.



S ohledem na tvar a hloubku šroubovitých drážek nemůže být však u vrtáků normálního provedení tloušťka jádra příliš velká, neboť by se zmenšoval prostor pro odvádění třísek.

Tloušťka jádra se volí v závislosti na velikosti jmenovitého průměru vrtáku. Je bezpodmínečně nutné při volbě tloušťky jádra respektovat hodnoty, které jsou uvedeny v ČSN 221101, neboť při zmenšení tloušťky jádra pod tuto hranici by se podstatně zhoršovala pevnost a tuhost vrtáků.

#### 2.3.1. Ostření nástrojů s povlakem TiN

Obecně platí, že výkonnost povlakovaného nástroje po přebroušení klesá okrajově ve srovnání s novým povlakovaným nástrojem. Všechna další přebroušení jsou konzistentní a podstatně lepší než nástroj bez povlaku.

Je to logické, když uvážíme, že břit je tvořen dvěma, nebo více povrchy, a že ony povrchy, které zůstávají po přebroušení napovlakovány, se uchovávají vyšší výkonnost než nástroj bez povlaku.

#### 2.4. Požadavky na nástroje určené k povlakování

Povlaky vlastní technologie povlakování se neustále vyvíjejí. Pouze při volbě optimálního povrchu pro daný podklad, a naopak, se dosáhne maximální řezivosti /5/.

Povlakování se provádí jako finální operace na hotovém, tepelně zpracovaném nástroji.

Jako materiály povlaků se používají karbid titaničitý TiC, nitrid titanitý TiN, oxid hlinitý  $Al_2O_3$ , karbid - nitrid titan Ti/CN/, oxid - nitrid hlinitý /ALON/, oxid - karbid - nitrid titanu Ti /CNO/ a nitrid hafnia HfN. Ojediněle se používá i karbid tantalu TaC a karbid niobu NbC.

Povlaky TiN mají tvrdost kolem 2.100 HV, což je méně než u povlaků TiC, a proto mají i menší odolnost proti otěru hřbetu, v porovnání s povlaky TiC mají však větší odolnost proti vymílání čela. V důsledku menší adhese omezují povlaky nitridu titani-  
tého tvorbu nárůstků.

#### 2.4.1. Vlastnosti základního materiálu nástrojů

Substráty určené k povlakování musí splňovat tyto základní požadavky :

##### 2.4.1.1. Druh materiálu nástrojů

Středně teplotní, fyzikální povlakování /PVD/ nepřekračuje teplotu 550°C, jeví se tedy jako přijatelné pro předem tepelně zpracované materiály. Z tohoto pohledu jsou vhodné k povlakování především všechny rychlořezné oceli, oceli pro práci za studena i za tepla, nerezavějící oceli a slinuté karbidy.

Základní podmínka pro povlakování zní : teplota nástroje během povlakování nesmí překročit jeho teplotu popouštění.

V poslední době se však začíná i s nízkoteplotním povlakováním, které dovoluje povlakování i těch ocelí, u kterých je teplota popouštění hluboko pod 500°C.

##### 2.4.1.2. Elektrická vodivost nástrojů

Všechny principy PVD metody, zaměřené na povlakování nástrojů, jsou založeny na podmínce elektrické vodivosti těchto nástrojů.

##### 2.4.1.3. Nemagnetický stav nástrojů

Nástroje musí být dodány v nemagnetickém stavu, aby se zabránilo problémům s odstraňováním zbytků kovového prachu po broušení.

#### 2.4.2. Jakost povrchů nástrojů

Nejdůležitější podmínkou pro dokonalou adhezi povlaku k základnímu ma-teriálu nástroje je považována jakost povrchu nástroje před povlakováním. Již samotný běžný pohled /20-50 krát zvětšený/ na nářadí z velkoseriové, nebo specializované výroby nám ukazuje, že kvalita větší části nástroje není vhodná pro na-nášení povlaků.

##### 2.4.2.1. Kovová čistota povrchu nástrojů

Povrch nástroje musí být kovově čistý na všech plochách, to znamená i na nefunkčních. Nejlepší adheze povlaku je dosa-hována na celobroušených, nebo celoleštěných nástrojích.

Ne vždy můžeme, pro velkou pracnost přípravy, zajistit na př. broušení všech ploch. V takovém případě se nefunkční plochy otryskávají jemnými částicemi /Sklo, brusný materiál, kalené kuličky/ buď před broušením, nebo až po broušení funkčních ploch. Je to závislé na druhu tryskajícího média, zdali se trys-káním řezné břity otupí, či nikoli.

##### 2.4.2.2. Čistota výbrusu a drsnost povrchu materiálu

Velmi častým nedostatkem na funkčních plochách nástrojů určených k povlakování jsou "Vyhřátá" místa. Vyhřátá místa vznikají v důsledku špatného chlazení během ostření. Pro adhezi povlaku se toto místo stává "plovoucí" podložkou, což je velmi nežádoucí.

Naprosto stejné důsledky má i nevhodná drsnost funkčních ploch /břitů/. Praxe potvrzuje výrazný vliv drsnosti povrchu nástroje před povlakováním na mechanismus a intenzitu opotřebení. Při počáteční výšce nerovností stejného řádu, jako je tloušťka povlaku, dochází k rychlejšímu otěru povlaku na vrcholcích.

Při základní drsnosti povrchu, značně menší než tloušťka povlaku nastává obnažení vrcholků podstatně později a lépe se uplatní vlastnosti povlaku. Tedy čím menší je drsnost povrchu nástroje, tím vyšší je i adheze k povlaku na tomto povrchu. Doporučuje se drsnost  $R_a \leq 0,8 \mu\text{m}$ .

#### 2.4.2.3. Funkční plochy nástrojů bez ostřin /otřepů/

Po broušení nástrojů se mnohdy setkáváme s výskytem malých ostřin na funkčních plochách. Již velmi malé ostřiny mají rozhodující vliv na životnost nástrojů, neboť při povlakování se zvětší též velikost ostřin.

Při prvním kontaktu nástroje s obrobkem se ostřina ulomí, čímž je povlak narušen na nejcitlivějším místě - řezné hraně. Po tomto odloupení povlaku je řezná hrana nadměrně vystavena opotřebení.

Proto je zapotřebí se těchto ostřin zbavit ještě před povlakováním /na př. kartáčováním, otryskáváním mikroskopickými částicemi/.

#### 2.4.2.4. Stáří nástrojů

Pod pojmem stáří nástrojů rozumíme časovou prodlevu mezi přípravou nástroje k povlakování a vlastním povlakováním. Tato doba musí být co nejkratší. Je proto nutné, aby nástroje, které nebudou okamžitě po přípravě povlakovány, byly proti oxidaci chráněny tenkým filmem konzervačního oleje.

#### 2.4.2.5. Nástroje bez cizích povlaků

Nástroje určené k povlakování nesmí mít na svém povrchu jiné povlaky /na př. galvanické/, nesmějí být nitríčovány, fosfátovány, brunýrovány. Musí být prosté zbytků barev, barevných značek a zbytků balících prostředků /na př. vosky, lepidla, atd/.

V poslední době se zkouší povlakovat nástroje, které byly nejdříve iontově nitridovány. Provozní zkoušky ukazují, že tyto iontově nitridované nástroje s následným povlakem TiN vykazují ještě lepší výsledky, než nástroje opatřené pouze povlakem TiN. Týká se to zejména nástrojů pro tváření za studena.

#### 2.4.3. Výběr tvaru nástrojů

Zatím co u metody CVD je možné zakládat do reaktoru k povlakování nástroje jakéhokoliv tvaru, při čemž jsou přípustné i hluboké otvory v nichž dojde též k nanesení povlaku. Každá varianta PVD metody přináší v tomto směru omezení. Uložení nástrojů není možné s tak těsným uspořádáním, jako u CVD metody, jelikož by mohlo dojít ke vzájemnému "stísnění". To by mělo za následek při nejmenším nerovnou tloušťku povlaku na povrch nástrojů. Běžnou praxí bývá, že nástroje během povlakování konají rotační, nebo dokonce planetový pohyb.

#### 2.4.4. Vlastní technologie čištění nástrojů

Pokud jsou nástroje připraveny podle popsaných kritérií je možné je opatřit povlakem. Velmi často se nástroje dodávají k povlakování opatřeny tenkým filmem konzervačního oleje, nebo jsou zataveny do voskových obalů a pod. Proto je nutné v první řadě provést jejich očištění. Vlastní čištění nástrojů je možno rozdělit - na chemické  
- na iontové

##### 2.4.4.1. Chemické čištění

Nástroje se nejprve v oplachových vanách hrubě odmašťují, dále v ultrazvukové čističce dochází k dekonalému vyčištění povrchu nástrojů, a potom dochází ve většině případů k "oplachu" v parách čistícího média, čímž se docílí jednak osušení nástrojů a zároveň dochází k jejich zahřátí. Jako média je používáno vodních alkalických roztoků, chlorovaných uhlovodíků, freonu, lihu atd.

Po tomto chemickém čišťení musí být nástroje co nejrychleji založeny do vakuové komory povlakovacího zařízení, aby nedošlo k oxidaci povrchu.

#### 2.4.4.2. Iontové čišťení nástrojů

Iontové čišťení probíhá jako první fáze procesu povlakování ve vakuové komoře. Dopadem iontů pracovního plynu, nebo odpařovaného kovu na podložku /nástroje/ vysokou kinetickou energií, dochází k čišťení povrchu nástroje od oxidů a absorbovaných plynů, což umožňuje přímou vazbu mezi povlakem a "čistým" povrchem nástroje. Tato fáze povlakovacího procesu se nazývá bombardování, nebo též odpařování povrchové vrstvy, mechanickým dopadem urychlených částic je povrch nástroje zároveň prudce zahříván na reakční teplotu, kterou můžeme snímat bezkontaktním měřidlem přes průzery komory.

Iontové čišťení má veliký význam pro mechanismus přilnavosti povlaku, jelikož vytváří povrchové mřížkové poruchy. Tyto poruchy v mřížce základního materiálu nástroje tvoří při nanášení povlaku zárodečná místa pro růst vrstvy a přispívají k zakotvení povlaku na povrchu nástroje. Popsaný jev mění fázové rozhraní do té míry, že je možno mluvit o pseudodifuzním spojení.

### 3. Rozbor metody PVD a CVD

Povlakované nástroje se stávají stále oblíbenějšími. Zavádění tvrdých, otěruvzdorných povlaků v průmyslovém měřítku sahá do počátku šedesátých let, kdy se objevila technologie CVD a první otěruvzdorné povlaky TiC a TiN na slinutých karbidech.

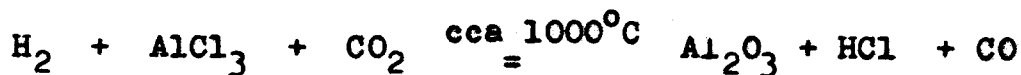
Dalším významným krokem bylo uvedení nízkoteplotní technologie PVD na konci sedmdesátých let. Technologie PVD umožňuje vytvářet tvrdé a otěruvzdorné vrstvy na nástrojích z rychlořezných ocelí, bez toho, že by navazovaly problémy s popouštěním a dalším zušlechťováním povlakových materiálů.

K těmto dvěma technologiím patří i další známé způsoby úpravy povrchů, jako na př. galvanodepozice, nátěry, nástřiky, nitrídace, boridování, a pod., které se běžně používají a jsou schopny zvýšit životnost nástrojů při některých specifických aplikacích /6/.

### 3.1. Povlakování metodou CVD

Počátky technologie CVD fakticky spadají do ranného středověku, jelikož glazování keramiky, nebo jíílů, je nutno považovat za prvotní formu této technologie.

Technologii CVD je možno definovat jako metodu materiálové syntézy, kde složky plynné fáze reagují za vzniku vrstvy pevné fáze na určitém povrchu. Existence chemické reakce je tedy nutnou podmínkou jakékoli CVD metody. Významnou roli hrají i další parametry procesu jako teplota, tlak, vstupní koncentrace, průtoky plynů, atd. Nejběžnější tvrdé a otěruvzdorné povlaky vznikají těmito typy chemických reakcí :



Nástroje, které mají být povlakovány, se založí do reakční komory, ze které je evakuován vzduch. Do této komory je vháněn

Jednak nosný plyn a jednak přesné množství plynu reaktivního. Vysoká teplota způsobuje, že se reaktivní plyny štěpí a požadovaná sloučenina povlaku se vysráží na povrchu součásti. Výsledkem jsou vrstvy s velmi dobrou adhezí, rovnoměrností pokrytí a strukturální celistvostí. Velkou výhodou technologie CVD je schopnost průniku a tvorby vrstev rovnoměrně na hranách a neviditelných plochách.

Tyto typy CVD procesů probíhají při teplotách cca 1000°C a vyšších. Při těchto teplotách substráty procházejí určitým samočisticím procesem. Za těchto podmínek mají vrstvy vynikající adhezi.

Dosavadní teploty procesu okolo 1000°C samozřejmě daleko převyšují popouštěcí teploty všech rychlořezných, nebo nástrojových ocelí a takové materiály je nutno znovu tepelně zušlechťovat a často i přibrusovat v důsledku vzniklých deformací.

Tato teplotní omezení CVD procesu byla podnětem pro výzkum a vývoj nízkoteplotních procesů fyzikální vakuové depozice - technologie PVD.

### 3.2. Povlakování metodou PVD

Technologie PVD tyto teploty eliminuje. Proces depozice se provádí pod kritickou teplotou popouštění rychlořezných ocelí a dalších nástrojových ocelí, což umožňuje ekonomické povlakování jednotlivých nástrojů.

Při fyzikální metodě je teplota substrátu /nástroje/ relativně nízká a pohybuje se v rozmezí 300°C až 500°C. Proto se též někdy nazývá metodou za studena.

Všechny fyzikální procesy jsou založeny na odpařování, nebo rozprašování terče /Ti/, který se do vakuové komory vkládá ve



skupenství pevném. Různými technologickými způsoby /např. elektronovým svazkem, nízkonapěťovým obloukem, ap./ se vzniklé páry zmíněného kovu slučují s reaktivním plynem /dusík/, který je vpouštěn do vakuové komory a vytvořená sloučenina TiN kondenzuje na relativně studeném nástroji jako velmi tenký film.

Technologie PVD tedy využívá procesu, kdy kovová reakční složka v pevném stavu nahrazuje plynnou reakční složku u procesů CVD. K převodu kovového materiálu ze skupenství pevného do plynného se používá tři rozdílných teorií.

### 3.2.1. Napařování

Transformace kovového materiálu do plynného skupenství se dosahuje zahřátím na vysokou teplotu tepelným zdrojem, jako např. elektronovým svazkem, nebo odporovým ohřevem. Odpařované částice jsou deponovány, resp. kondenzují na povrchu substrátu. Nízká kinetická energie atomů je příčinou relativně nízké adheze, stejně jako je omezená reaktivita atomů.

### 3.2.2. Rozprašování

Při tomto procesu jsou pozitivně nabitě ionty urychlovány směrem k deponovanému materiálu využitím principu doutnavého výboje. Vlivem iontového bombardu dochází k rozprašování iontů z deponovaného materiálu, které jsou následně deponovány vysokou energií na substrát ve formě čisté a vysoce přílnavé vrstvy. Teplotu substrátu určeného k povlakování je možno snadno udržet pod hranicí popouštěcí teploty.

### 3.2.3. Iontoplazmové povlakování IPP

Na rozdíl od katodového rozprašování jsou substráty vystaveny iontovému bombardu, jak před depozicí, tak během depozicičního procesu.

Při konvenčním procesu IPP mají substráty vysoký, stejno-  
měrný, záporný potenciál. Mezi substráty a zeměnou částí hoří  
doutnavý výboj. Kladné ionty doutnavého výboje jsou urychlovány  
elektrickým polem a bombardují povrch substrátu /7/. Deponovaný  
materiál se odpařuje do nízkotlakého doutnavého výboje, kde je  
rozptýlen a částečně ionizován kolizními jevy.

### 3.3. Srovnání některých výhod CVD a PVD technologií

Proveďme nyní krátké srovnání některých specifických výhod  
obou depozičních technologií CVD a PVD.

#### 3.3.1. Technologie CVD

Metoda CVD se projevuje zejména :

- vysokou schopností průniku vrstev a rovnoměrností pokrytí  
u trojrozměrných předmětů
- možností povlakování v dutinách a vnitřních otvorech
- velmi dobrou adhezí díky samočisticí schopnosti při vysokých  
akčních teplotách /cca 1000°C/
- schopností vytvářet povlaky prakticky libovolného složení

Povlaky připravované chemickou cestou bývají zpravidla  
větší tloušťky /7 a více  $\mu\text{m}$ / než povlaky vytvořené fyzikální  
metodou. Charakteristickou vlastností CVD povlaků je matnější,  
poněkud drsnější povrch než má základní materiál. Povrch lze,  
je-li to třeba, dodatečně vyleštit.

Protože reakce při chemickém procesu probíhají v plynném  
prostředí, všechno, co je v tomto prostředí se opatří povlakem  
rovnoměrné tloušťky. To umožňuje pokládat povlakované nástroje  
v reaktoru těsně vedle sebe. V jednom cyklu při CVD metodě lze  
opatřit povlakem různé součásti, zatím co PVD metoda je mnohem  
omezenější.

### 3.3.2. Technologie PVD

Metoda PVD se vyznačuje :

- mimořádně jemnou krytalickou strukturou povlaků s dobrou houževnatostí, bez výskytu křehké fáze
- možností vytvářet povlaky o tloušťce menší než  $5\mu\text{m}$  s možností její predikace
- prakticky nulovým zaoblováním hran a ostří
- schopností vytvářet povlaky potřebné kvality při reakčních teplotách  $500^{\circ}\text{C}$  a méně
- vhodností povlaků pro nástroje s přerušovaným řezem
- možností povlakování přesných nástrojů buď z rychlořezné oceli, nebo slinutých karbidů
- neprobíhají žádné reakce mezi základním materiálem a povlakem

Fyzikálně nanesené povlaky věrně odrážejí základní povrch a mohou být zrcadlově lesklé i bez leštění.

Všechny způsoby PVD povlakování jsou s omezenější schopností stejnoměrného nánosu. Proto se musí nástroje ukládat do vhodně volených upínačů tak, aby nenastalo vzájemné "stísnění". Nástroje během povlakování konají rotační, nebo planetový pohyb v zájmu rovnoměrného nánosu povlaku.

### 3.3.3. Obecné vlastnosti TiN vrstev

Použitá technologie PVD zaručuje horní teplotní hranici všech souvisejících procesů do  $550^{\circ}\text{C}$ . U nástrojů z rychlořezných ocelí nedochází k popouštění a povlakování je tudíž finální operací.

Vysoká tvrdost  $2000 - 2800 \text{HV}_{0,05}$  snižuje otěr kontaktních ploch nástroje s obrobkem a odcházející třískou, což zvyšuje jeho životnost a umožňuje zvýšit řezné podmínky.

Nekovový charakter vrstvy, chemická odolnost a nižší koeficient tření snižuje, nebo vylučuje tvorbu nárůstků.

Vrstva TiN, díky své nízké tepelné vodivosti, tvoří teplotní bariéru a chrání tak základní materiál před agresivními účinky teploty.

Povlak prakticky nezhoršuje drsnost povrchu nástroje. Nízký součinitel tření zmenšuje vývin tepla při řezání a usnadňuje oddělování a odchod třísky, čímž snižuje drsnost obrobku.

Optimum užitých vlastností vrstvy se projevuje ve zvýšení řezných parametrů o cca 25 - 50% .

Výhodné frikční vlastnosti vrstvy snižují řezné odpory, což vede ke snížení namáhání a chvění výrobních strojů.

#### 3.4. Alternativy vrstev typu TiN

Přes vyjímečné vlastnosti vrstev TiN existují principiální faktory limitující jejich aplikaci. Hlavním limitujícím faktorem je skutečnost, že při teplotě cca 550°C začínají vrstvy TiN oxidovat. Určitým nedostatkem těchto vrstev je požadavek na poměrně vysokou teplotu nástrojů při depozici vrstev.

Cestou ke zlepšování vlastností vrstev je vytváření sloučenin se složitější strukturou, tj. směsí několika fází vytvořených přidáním hliníku, vanadu, zirkonu, nebo uhlíku či kyslíku /8/. Přítomnost hliníku, vanadu, nebo zirkonu způsobuje vytváření amorfních oxidů, především na povrchu, které podstatně zlepšují odolnost vrstvy proti oxidaci. Atomy uvedených prvků substituují v mřížce atomy Ti, protože jejich atomové poloměry jsou menší než u Ti, dochází ke změně mřížkových parametrů, a tudíž ke změně mechanických vlastností. Podle /8/ lze říci, že přídavek vanadu snižuje součinitel tření ale zvyšuje křehkost vrstev, zatímco hliník zvyšuje odolnost proti oděru, ale současně mírně zhoršuje součinitel tření.

V případě vrstev TiN, TiAlN, TiAlVN jsou vlastnosti povlaků podstatně závislé na technologickém procesu především na průtoku dusíku aparaturou během procesu, předpětí na substrátu i napětí na magnetotronu. Tím je vysvětlen i značný rozdíl v udávaných hodnotách mikrotvrdoosti / 2000-2800 HV/.

V laboratorních podmínkách jsou zkoušeny vrstvy TiN - VN připravované technologií reaktivního napařování tak, aby na substrátu nezůstala vrstva shodné struktury jako podložka a vytvářela tak zv. supermřížku. Bylo dosaženo vysokého zvýšení mikrotvrdoosti, ovšem proces povlakování je velmi náročný na dodržení parametrů růstu vrstvy a jeho případná aplikace je zatím vzdálená /9/.

Závěrem lze konstatovat, že je možno očekávat rozšíření aplikací povlaků pro zvýšení životnosti nástrojů s obsahem hliníku, nebo hliníku a vanadu, připravovaných zavedenými technologickými procesy. Tyto povlaky přinesou snížení náchylnosti vrstev k oxidaci, a tím i zvýšení pracovních teplot nástrojů. Současně dojde k částečnému snížení depoziční teploty.

#### 4. Praktické zkoušky

Zjišťování trvanlivostní závislosti a životnosti nástroje doposud spočívá v experimentálních metodách, neboť v současnosti dosud neexistuje analytická metoda dospívající k čistě matematickému vyjádření.

V této diplomové práci jsou prováděny provozní zkoušky a výsledky těchto zkoušek jsou ještě ověřeny zrychlenou zkouškou trvanlivosti podle Andonova.

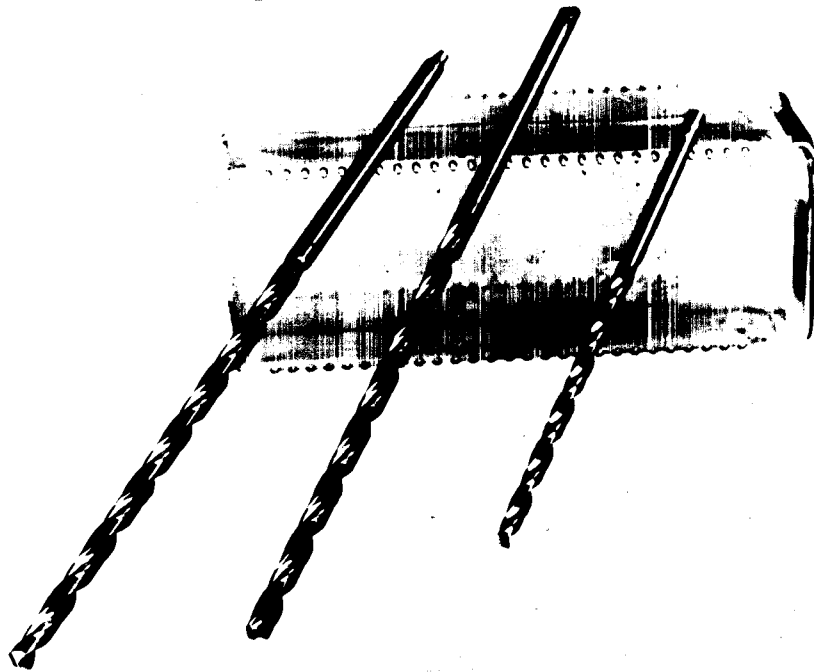
##### 4.1. Provozní zkoušky

###### 4.1.1. Nástroj

Nástroje používané pro všechny zkoušky byly šroubovitě

vrtáky, zvláště dlouhé, s válcovou stopkou, PN 221133 .  
Průměr vrtáků je  $\varnothing 5$  mm, délka tělesa vrtáku 125 mm, celková  
délka vrtáku činí 200 mm. Vrtáky jsou určeny pro vrtání hl-  
bokých děr v materiálu o pevnosti v tahu max. 1000 MPa.

Vrtáky jsou celé broušené, tloušťka jádra je mírně zesí-  
lená, příčný břit zkrácený. Zadní hrany hřbetu jsou zaobleny  
/obr.4.1/. Materiálem je výkonná rychlořezná ocel.



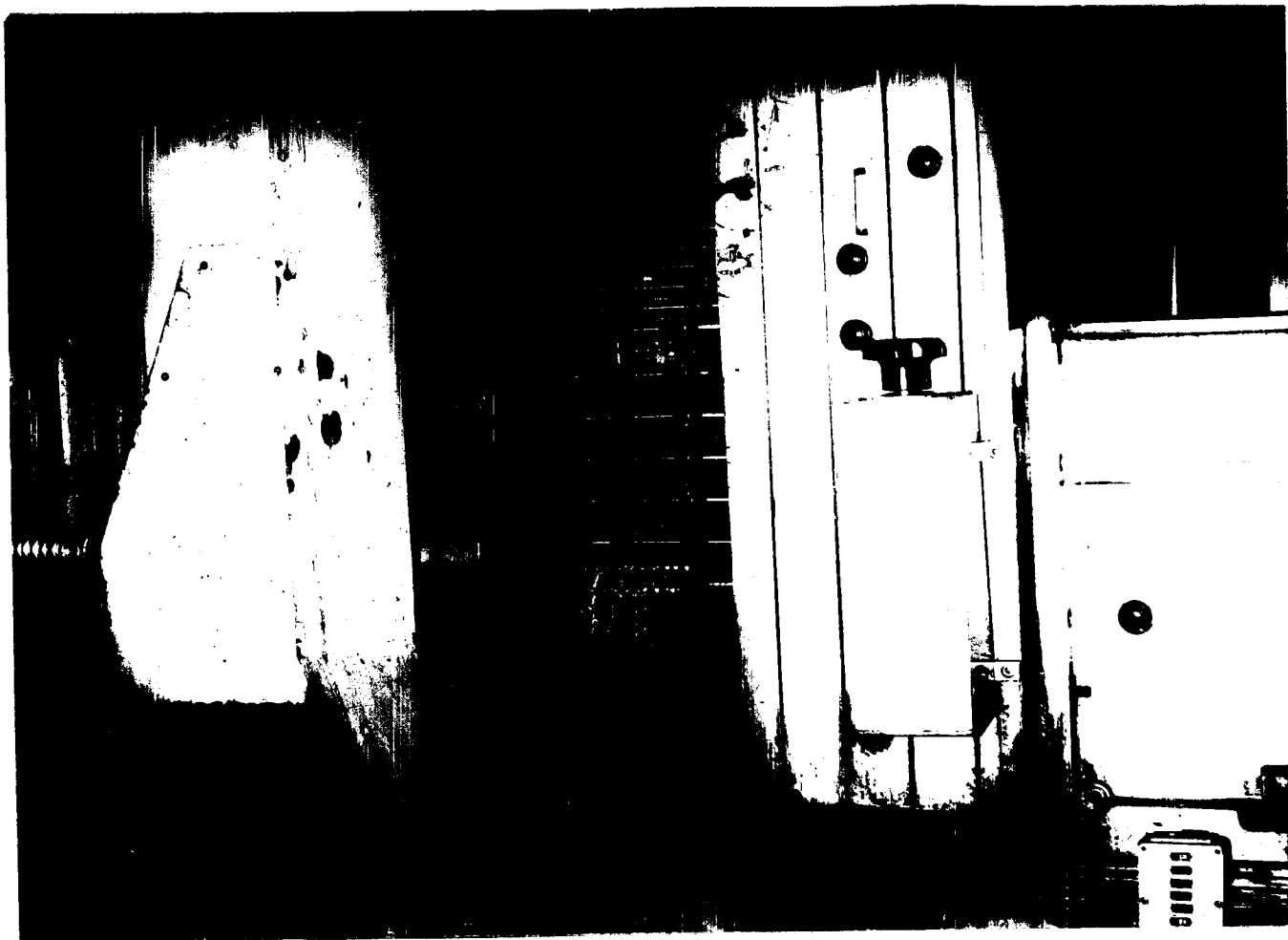
obr.4.1.

#### 4.1.2. Matrice

Matrice, které jsou těmito vrtáky vrtány, mají 4446 otvorů, hloubka vrtání je 47,5 mm. Polotovár je výkovek, v předchozích operacích osoustružený na potřebnou velikost podle obrázku 4.3.

#### 4.1.3. Stroj

Provozní zkoušky byly provedeny na speciálním, stavebnicovém, vrtacím stroji, s otočným, jednostranným, šestipolohovým upínačem. Stroj je vícevřetenový, poloautomatický, s horizontálním vrtáním /obr.4.2./.



obr.4.2.

TECHNOLOGICKÝ A PRACOVNÍ POSTUP

LIST: 1		LISTŮ: 1		NÁZEV VÝROBKU MATRICE 5			ČÍSLO VÝKRESU 1189-02.0294	
KMEN. DIŽNA 3703		ODV. STŘEDISKO 4040						
POZICE	D	OPERACE	STŘEDISKO	PRACOVNĚ	TRÍBA	ČAS KUSOVÝ TK	TP%	ČÍSLO PROGRAMU
PRACOVNÍ POSTUP								
	S	10	3703	4537	67S	130,63	23	
soustružit $\varnothing$ 710 e8, čelo na L=60, hrubovat otvor $\varnothing$ 259								
	S	20	3703	4537	67S	95,70	22	
soustružit $\varnothing$ 260 H8 hotově, $\varnothing$ 710 e8, čelo na L=55, zápich, úkos dle tvarové šablony ETK 268								
	S	30	3703	4779	67G	31,41	33	
navrtat 4x pro M16, vrtat 4x pro M16, 7x $\varnothing$ 19, 1x $\varnothing$ 19 H8, osadit 8x $\varnothing$ 28, zápus. na 12, ost. zav. M16 vyhr. od hr. ručně VK 689								
	S	40	3703	9421	58C	61,20	0	
seřízení nástrojů na délku								
	S	50	3703	4775	68B	664,68	57	
vrtat 4446 otvorů $\varnothing$ 5, vrtáky po vyrobení 1ks překontrolovat a dle potřeby vyměnit								
	S	60	3703	9425	58C	182,92	14	
z druhé strany zapustit, dovrátat nevyvrtané otvory, odjehlit								
	S	70	3703	9421	58C	11,23	7	
drážku $\varnothing$ 700 v délce 15, zavař., po svař. očistit, matici očíslovat, zakalibrovat závit M16 po kalení								
	S	80	3310	9171	581	88,30	13	
funkční plochu povrchově kalit								

obr. 4.3.



#### 4.1.4. Řezné podmínky

Řezné podmínky, za kterých provozní zkoušky probíhaly, jsou následující :

počet otáček . . . . .	1120 ot/min
posuv . . . . .	36 mm/min
řezná rychlost . . . . .	14,14 m/s
počet výplachů . . . . .	13

#### 4.1.5. Kriterium otupení nástroje

Šroubovitě vrtáky se nejvíce otupují na hřbetech hlavních břitů, při čemž největší otupení je v místech největšího průměru vrtáku, kde se současně opotřebí rohy a částečně i válčové vodící fazetky vrtáku.

Jako kriterium pro otupení nástroje bylo pro tento případ zvoleno maximální, kritické /destrukční/ poškození vrtáku.

#### 4.1.6. Vlastní provedení zkoušky

Pro praktické vyzkoušení vrtání nepovlakovanými a povlakovanými vrtáky povlakem TiN byl volen následující postup.

V této provozní zkoušce bylo testováno 10 ks nepovlakovaných a 10 ks povlakovaných vrtáků. Vlastní zkouška probíhala tak, že nejprve se nastavily příslušné řezné podmínky, dále pak do vybraných vřeten stroje byly pevně upnuty vždy dva nepovlakované a dva povlakované vrtáky. Po spuštění stroje byl určován počet celých otvorů, které jednotlivé vrtáky vyvrtaly, než došlo k destrukčnímu opotřebení. Naměřené údaje jsou zaznamenány v tabulce č.4.

Celý postup se opakuje pro další vrtáky.

Tabulka č.4

Nepovlakované		Povlakované	
Vrták č.	Počet otvorů	Vrták č.	Počet otvorů
1	90	1	261
2	86	2	258
3	89	3	267
4	94	4	277
5	92	5	276
6	89	6	261
7	91	7	273
8	87	8	262
9	96	9	278
10	93	10	275

Z provozní zkoušky je zřejmé, že životnost vrtáků s povlakem TiN je průměrně 2,5 až 3 x vyšší než u vrtáků nepovlakovaných.

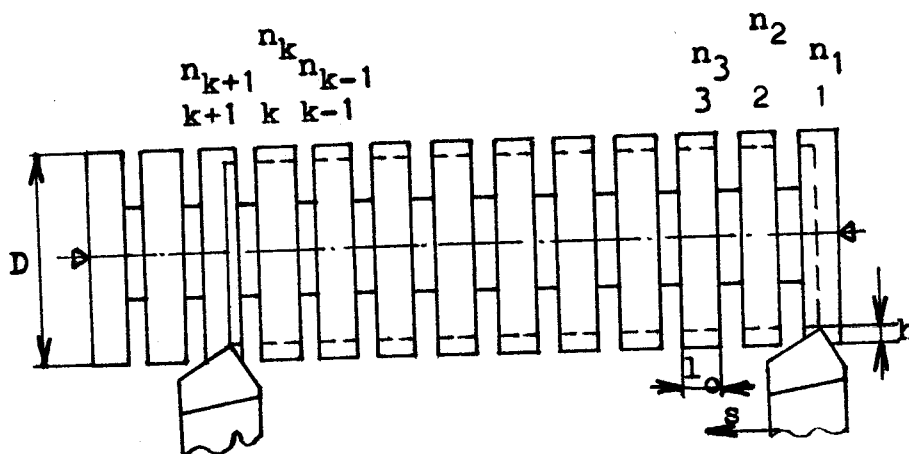
#### 4.2. Krátkodobá zkouška podle Andonova

Podstata zkoušky spočívá v přerušované narůstajících řezných rychlostech při obrábění po úsecích, a to při různých počátečních rychlostech, které jsou dány geometrickou řadou. Zkouška musí probíhat při konstantním posuvu, hloubce a proměnných otáčkách /10/.

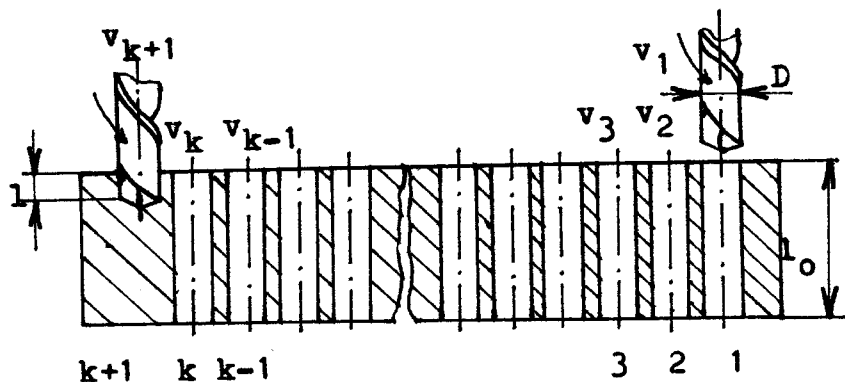
Na prvním úseku se pracuje s otáčkami obráběcího stroje  $n_1$ , na druhém úseku s otáčkami obráběcího stroje  $n_2 = n_1 \cdot \psi$ , na dalším s otáčkami  $n_3 = n_1 \cdot \psi^2$ , a pod. Obecně na  $k + 1$ . úseku v délce  $l$  nastává destrukční opotřebení.

Následuje zkouška s dalším nástrojem, pracujícím s počátečními otáčkami  $n_2$  a měření se opakuje. Průběh zkoušky přibližuje obr.4.4.

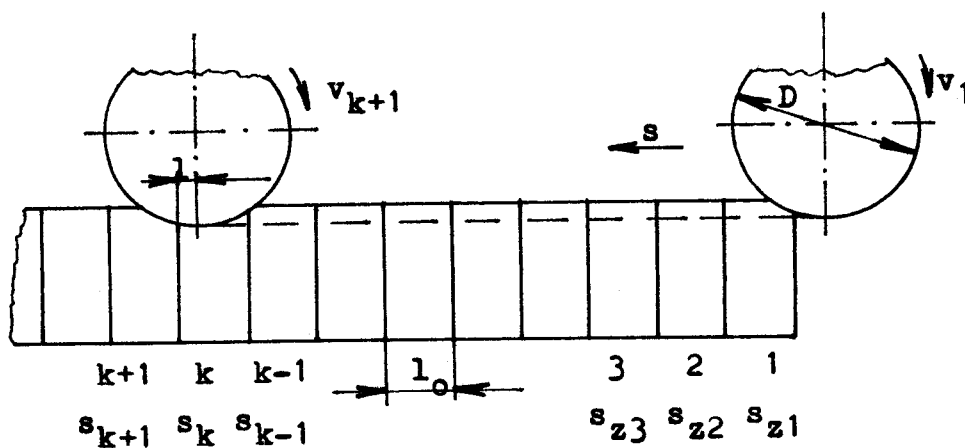
**Soustružení**



**Vrtání**



**Frézování**



obr.4.4.

V daném případě se zintenzivní proces řezání a získají se dostatečné výsledky s menší spotřebou času, práce i materiálu.

Zkoušky Andonov prováděl na soustruhu, radiální vrtačce a frézce s koeficientem geometrické řady otáček 1,26. Zkoušeným materiálem byla ocel 12 050.1 se zaručeným chemickým složením, strukturou i mechanickými vlastnostmi. Řezné nástroje byly z rychlořezné oceli.

Konečné výsledky získané touto zkouškou se přibližují dlouhodobým zkouškám trvanlivosti. Andonov uvádí následující hodnoty /tabulka č.5/.

Tabulka č.5

Nástroj	Řezné podm.	Metoda	m	$c_v$	$v_{60}$	Chyba
Soustr.nůž $\alpha=10^\circ, \gamma=10^\circ$ $\alpha_r=60^\circ$	s = 0,25 h = 1	dlouhodobá	6,2	76	39,5	10%
		zrychlená	6,7	84	43,5	
Vrták D = 15	s = 0,2	dlouhodobá	5,0	23	10,7	3,8%
		zrychlená	5,6	194	9,8	
Fréza D=60mm, z=6 l=60mm, $\alpha=6^\circ$	s <sub>z</sub> = 0,06 h = 1,2	dleuhodobá	3,0	342	82,4	9%
		zrychlená	3,3	308	90,0	

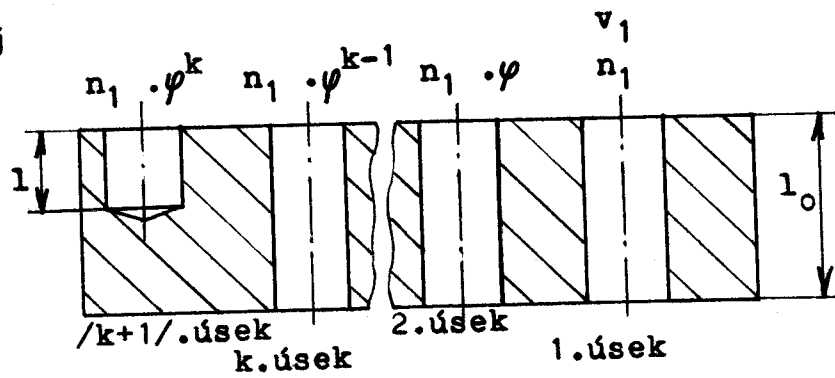
#### 4.2.1. Teoretická analýza metody

V této diplomové práci je tato metoda prováděna pouze jako doplňující, aby bylo možno zkontrolovat výsledky, kterých bylo dosaženo v provozních zkouškách.

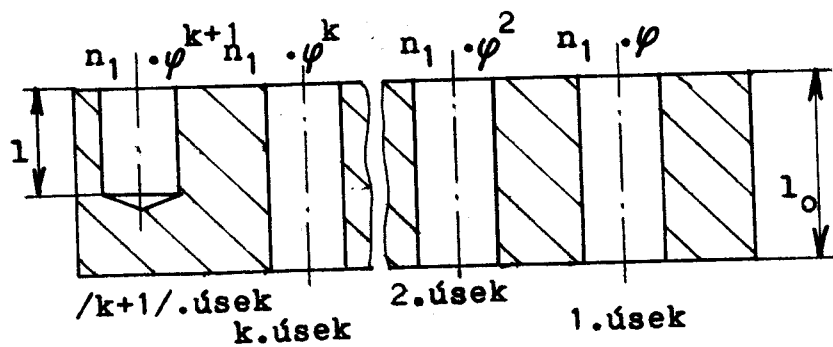
Byla zvolena právě tato zkouška, protože vychází vzhledem k dlouhodobým zkouškám zjišťování trvanlivosti vrtáků s malou chybou /Andonov uvádí 3,8%/

Řezná rychlost u Andonovy zrychlené zkoušky je proměnlivá veličina, která nabývá diskretních hodnot po jednotlivých úsecích /viz obr.4.5./

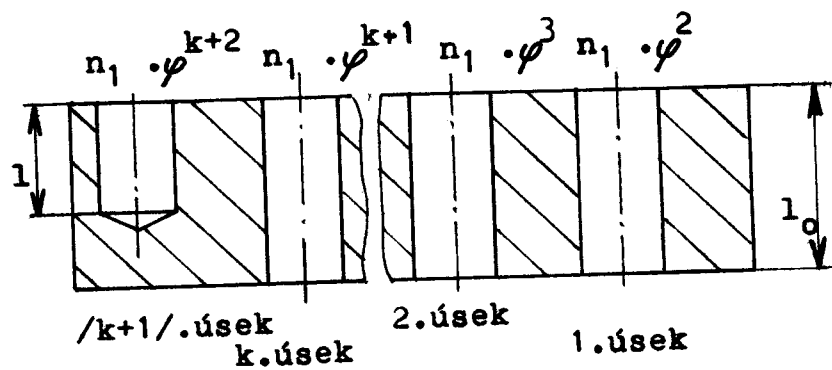
1. nástroj



2. nástroj



3. nástroj



obr.4.5.

Proto se při výpočtu musí vycházet ze střední řezné rychlosti  $v_s$  příslušející všem úsekům. Při jejím odvozování Andonov vycházel ze střední řezné rychlosti dvou sousedních úseků všech použitých nástrojů. Po aproximování a zjednodušení vztahů matematickými úpravami vychází :

$$v_s^m \approx \frac{v_1^m \cdot / \varphi^{-1/} \cdot \varphi^{k_1 \cdot /m+1/}}{/ \varphi^{-1/} \cdot / \varphi^{-1/}}, \quad /1/$$

kde :

$$k_1 = k + \frac{1}{l_0} \quad . \quad /2/$$

Při výpočtu trvanlivosti se vychází z doby potřebné na vyvrtání jednoho úseku :

$$T_i = \frac{l_0}{s \cdot n_i} \quad , \quad /3/$$

kde :

$$n_i = n_1 \cdot \varphi^{i-1} \quad . \quad /4/$$

Celkovou trvanlivost dostaneme ze součtu jednotlivých  $T_i$  :

$$T = \sum_{i=1}^k T_i + T_{k+1} \quad . \quad /5/$$

Dosažením vztahu /3/ a /4/ do vzorce /5/ a dalšími matematickými úpravami, na př.pomocí součtu prvních členů geometrické řady, vyjde :

$$T = \frac{l_0 \cdot / \varphi^k - 1 /}{s \cdot n_1 \cdot \varphi^k - 1 \cdot / \varphi - 1 /} + \frac{1}{s \cdot n_1 \cdot \varphi^k} \quad /6/$$

Nyní můžeme dosadit vztahy /1/ a /6/ do Taylorovy rovnice /7/:

$$T = \frac{c_T}{v^m} \quad /7/$$

dostáváme:

$$\frac{l_0 \cdot \psi^k}{s \cdot n_1 \cdot \psi^{k-1}} + \frac{l}{s \cdot n_1 \cdot \psi^k} = \frac{c_T}{v_1 \cdot \psi^{m+1} \cdot \psi^{k_1 \cdot m+1}} \cdot \frac{\psi^{k_1 \cdot m+1}}{\psi^{k_1 \cdot m+1}}$$

a při nahrazení  $v_1$  a  $c_T$  následujícími vztahy:

$$v_1 = \frac{\pi \cdot D \cdot n_1}{1000} \quad /8/$$

$$c_T = c_v^m \quad /9/$$

dostaneme:

$$n_1^{\frac{m-1}{m}} \cdot \psi^{k_1} = \left[ \frac{1000 \cdot c_v^m}{\pi \cdot D} \cdot \frac{\psi^{m+1}}{l_0 \cdot \psi} \cdot s \right]^{\frac{1}{m}} = Q \quad /10/$$

po zlogaritmování:

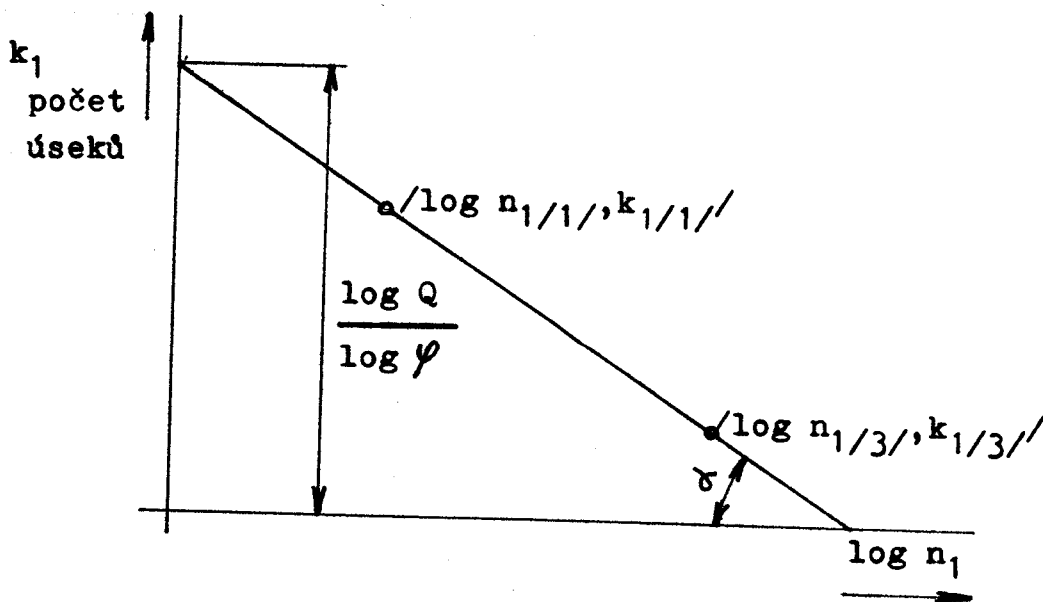
$$-\frac{m-1}{m} \cdot \log n_1 + k_1 \cdot \log \psi = \log Q$$

a vytknutím  $k_1$ :

$$k_1 = \frac{\log Q}{\log \psi} - \frac{m-1}{m \cdot \log \psi} \cdot \log n_1 \quad /11/$$

obdržíme směrniceový tvar rovnice přímky, přičemž souřadnice grafu přímky jsou v semilogaritmickém tvaru /obr. 4.6 /.

Z grafu je zřejmé, že směrnici přímky můžeme určit ze známých /naměřených/ hodnot  $k_1$  a příslušných počátečních otáček  $n_1$  jednotlivých nástrojů / 1,2,3,.../.



obr.4.6.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{k_{1/1} - k_{1/3}}{\log n_{1/3} - \log n_{1/1}} \quad /12/$$

Z výrazu /11/ vyplývá, že záporná hodnota směrnice přímky :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{m - 1}{m \cdot \log \varphi} \quad /13/$$

Tato rovnice je výchozí pro výpočet exponentu  $m$  :

$$m = \frac{1}{1 - \operatorname{tg} \alpha \cdot \log \varphi} \quad /14/$$

kde za  $\operatorname{tg} \alpha$  dosadíme hodnotu vypočtenou z rovnice /12/.

Nyní zbývá odvodit konstantu  $c_T$ . Vycházíme ze vztahu /10/.

$$\frac{m-1}{n_1} \cdot \varphi^{k_1} = \frac{1000 \cdot c_v}{\pi \cdot D} \cdot \left[ \frac{\varphi^{m+1} - 1}{l_0 \cdot \varphi} \cdot s \right]^{\frac{1}{m}}$$



pak :

$$c_v = \frac{\pi \cdot D \cdot n_1}{1000} \cdot \varphi^{k_1} \cdot \left[ \frac{l_0 \cdot \varphi}{s \cdot n_1 \cdot \varphi^{\frac{m+1}{-1}}} \right]^{\frac{1}{m}}$$

dosazením za  $k_1 = k + 1$  a vztahu /8/ a /9/ obdržíme konstantu  $c_T$  pro první testovaný nástroj :

$$c_{T1} = v_1^m \cdot \frac{l_0 \cdot \varphi}{s \cdot n_1} \cdot \frac{\varphi^{m/k+1/}}{\varphi^{\frac{m+1}{-1}}} \quad /15/$$

Konstanta  $c_{T1}$  vypočtena podle vztahu /15/ se musí určit pro každý nástroj zrychlené zkoušky. Konečná hodnota konstanty  $c_T$  se určí jako střední hodnota všech sledovaných vrtáků:

$$c_T = \frac{\sum_I^p c_{T1}}{p} \quad /16/$$

#### 4.2.2. Postup zkoušky

Praktická vrtací zkouška byla prováděna na vrtačce VR 4 nepovlakovanými a povlakovanými nástroji podle následujícího postupu.

Na stůl vrtačky se pomocí úpinek upne obráběný materiál, což je v tomto případě ocel 12 050.4. Potom se nastaví posuv.

Měření bylo provedeno ve dvou seriích. V první serii byly testovány vrtáky nepovlakované, ve druhé pak vrtáky s povlakem TiN.

Pro každou serii zkoušek bylo připraveno 10 kusů vrtáků. Po nastavení počátečního počtu otáček se prvním testovaným nástrojem pevně upnutým do hlavičky vyvrtá předepsaný počet otvorů /v našem případě 10 otvorů/. Vrtání musí probíhat za současného intenzivního chlazení řeznou kapalinou. Nyní se nastaví otáčky vyšší o koeficient  $\varphi$  a vyvrtá se znovu předepsaný počet otvorů. Takto se postupuje až do kritického opotřebení, které se projeví destrukcí vrtáku, nebo tak velkým opotřebením a tím i ztrátou řezné schopnosti a zastavením automatického posuvu do záběru. Do tabulky č.6 se u vrtáku č.1 zaznamená pořadové číslo posledního nastavení otáček a počet dekončených otvorů při tomto nastavení. Stejně se postupuje s nástroji 2 a 3.

Pokračuje se nastavením počátečního počtu otáček, který je o koeficient  $\varphi$  vyšší než u předchozí série. Upne se vrták č.4 a vyvrtá se předepsaný počet otvorů. Postupně se nastaví otáčky vyšší až dojde opět ke kritickému opotřebení. Totéž se provede s vrtáky č.5 a 6. U všech se provede obdobný záznam jako v předchozím případě.

Tabulka č.6

Nepevlakované vrtáky

Vrták číslo	Pořadové číslo otáček		Počet otvorů
	počátečních	konečných	
1	1	3	0
2	1	2	9
3	1	2	7
4	2	3	3
5	2	3	2
6	2	3	5
7	3	4	3
8	3	4	4
9	3	4	3

Obdobně se postupuje i s další skupinou vrtáků, kde se nastavuje počáteční počet otáček o  $\varphi^2$  vyšší než v prvním případě. Upne se vrták č.7,8 a 9 a po vyvrtání předepsaného počtu otvorů se nastaví počet otáček o koeficient  $\varphi$  vyšší, atd.

Po zaznamenání všech naměřených hodnot máme k dispozici 9 údajů pro další výpočet. Je to dostatečný počet pro aproximaci přímkou.

S druhou serií, to znamená s vrtáky povlakovanými, které musí být z jedné dodávky a povlakovány totožnou technologií, provedeme stejný postup. Naměřené hodnoty zaznamenáváme do tabulky č.7.

Tabulka č.7  
Povlakované vrtáky

Vrták číslo	Pořadové číslo otáček		Počet otvorů
	počátečních	konečných	
1	1	3	9
2	1	4	2
3	1	4	6
4	2	4	8
5	2	4	8
6	2	5	1
7	3	5	7
8	3	5	8
9	3	5	7

V případě, že při zkoušce některý z testovaných vrtáků vykazuje v serii tři testů atypické hodnoty oproti ostatním testovaným nástrojům, provede se ještě jedno vrtání s náhradním

vrtákem, jehož naměřené hodnoty se zapíše místo hodnot původního testu. Tím se omezí případ neplatnosti proložení přímky při výpočtu rozptylu měření.

Poznámka : Pro naši zkoušku je použit konstantní posuv  $s$  a řezná rychlost zvyšující se podle nastaveného počtu otáček  $n$  /viz tabulka č.8/.

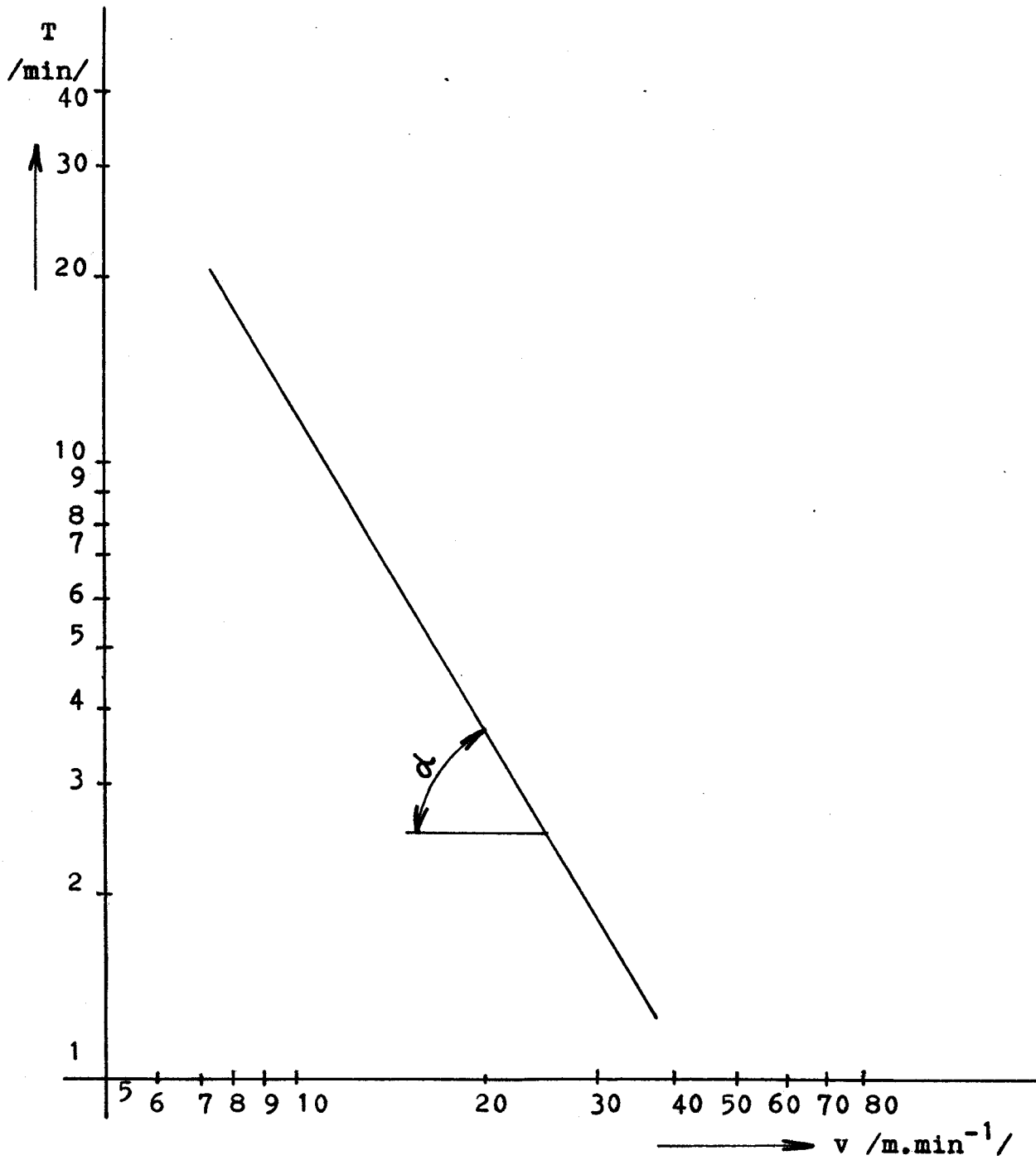
Tabulka č.8

Pořadové číslo	Počet otáček $n$	Řez. rychlost $v$
1	500	7,8
2	710	11,1
3	1000	15,7
4	1400	22,0
5	2000	31,4
Posuv	0,10	

### 4.2.3. Diagramy závislosti T - v

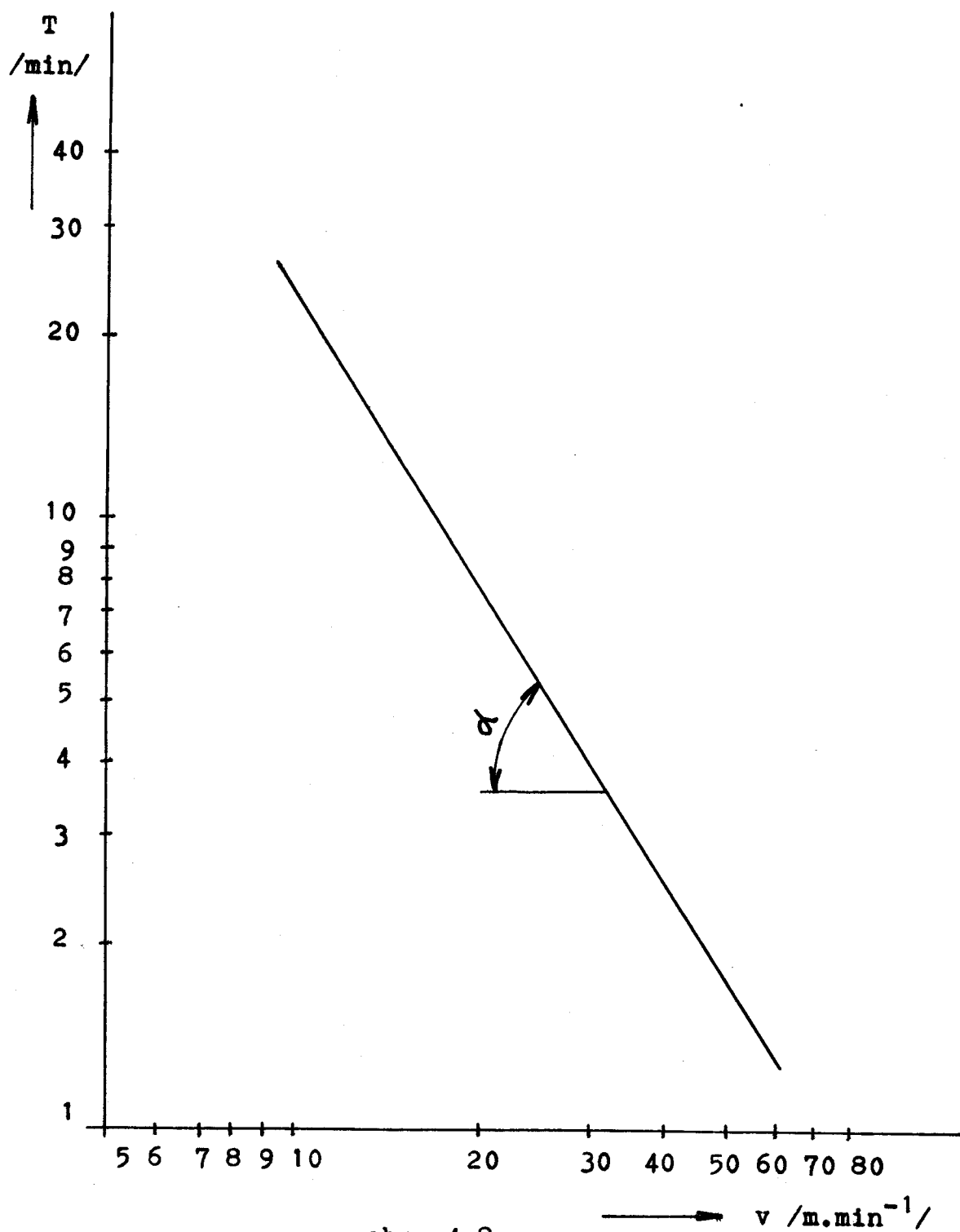
#### 4.2.3.1. Diagram závislosti T - v pro nepovlakované vrtáky

/obr.4.7./



obr.4.7.

4.2.3.2. Diagram závislosti T - v pro povlakované vrtáky  
povlakem TiN /obr. 4.8./



obr. 4.8.

## 5. Ekonomické hodnocení

Ekonomické hodnocení vychází ze sledování práce šroubovitých vrtáků /povlakovaných TiN i nepovlakovaných/ nejprve při původním naostření, dále pak po čtyřech přeostřeních.

### 5.1. Vyhodnocení zkoušek vrtáků $\varnothing$ 5 mm povlakovaných TiN

Zkoušky vrtáků  $\varnothing$  5 mm byly provedeny v měsíci srpnu 1988. Při vrtání matric na jedoučelovém vrtacím stroji bylo dosaženo velmi dobrých výsledků. Povlakování vrtáků bylo provedeno v k.p. Nářadí Ždánice.

#### 5.1.1. Náklady na povlakování TiN

Dle údajů z k.p. Nářadí Ždánice lze umístit do jedné náplně pro povlakování 300 - 400 kusů vrtáků. Pro  $\varnothing$  5 mm a délku vrtáku 200 mm lze předpokládat 350 ks vrtáků v jedné povlakovací náplni. Cena provedení jedné povlakovací náplně je 2530Kčs. Náklady na povlakování jednoho vrtáku  $/N_p/$  tedy činí 7,22 Kčs.

#### 5.1.2. Výsledky zkoušek

Při zkouškách bylo zjištěno zvýšení životnosti ostří vrtáků povlakovaných TiN oproti vrtákům bez povlaku /viz tabulka č.9,10,11/.

Tabulka č.9

Ostření	Zvýšení životnosti o	Koefficient zvýšení životnosti	
		nepovlakované	TiN
1	200%	1	3,00
2	165%	1	2,65
3	160%	1	2,60
4	160%	1	2,60
5	158%	1	2,58
Celkem		5	13,43

Tabulka č.10

Ostření	Zvýšení životnosti o	Koeficient zvýšení životnosti nepovlakované	TiN
1	200%	1	3,00
2	175%	1	2,75
3	163%	1	2,63
4	160%	1	2,60
5	160%	1	2,60
Celkem		5	13,58

Tabulka č.11

Ostření	Zvýšení životnosti o	Koeficient zvýšení životnosti nepovlakované	TiN
1	190%	1	2,90
2	165%	1	2,65
3	160%	1	2,60
4	160%	1	2,60
5	160%	1	2,60
Celkem		5	13,35

Průměrné zvýšení životnosti /ž/ :

$$13,453 : 5 = 2,6906$$

Životnost vrtáků povlakovaných TiN se oproti vrtákům, které nejsou povlakem opatřeny, zvýší 2,6 krát.

### 5.1.3. Úspora vrtáků

Zvýšením životnosti břitu dojde k úspoře vrtáků. Jeden povlakovaný vrták nahradí 2,6906 nepovlakovaného vrtáku.



$$\dot{U}_1 = C_v \cdot \dot{Z} - / C_v + N_p / \quad /17/$$

Cena jednoho vrtáku $\varnothing$ 5 mm PN 221133 / $C_v$ / .....	32,50 Kčs
Životnost vrtáku / $\dot{Z}$ / . . . . .	2,6906
Náklady na povlakování vrtáku / $N_p$ / . . . . .	7,22 Kčs
Úspora při použití vrtáku s TiN / $\dot{U}_1$ / . . . . .	47,72 Kčs

#### 5.1.4. Úspora na ostření

Vyšší životnost povlakovaných vrtáků má za následek úspory přeostrřování vrtáků. Při použití jednoho povlakovaného vrtáku dojde k úspoře 8,453 ostření.

$$\dot{U}_0 = M + \frac{M \cdot R}{100} \quad /18/$$

Čas potřebný na jedno ostření . . . . .	1,5 minuty
Celkový čas na ostření 1 vrtáku . . . . .	12,68 minuty
Hodinová mzda ostřiče . . . . .	13 Kčs/hod
Celkem mzda za naostření 1 vrtáku / $M$ / . . . . .	2,75 Kčs/vrták
Výrobní režie / $R$ / . . . . .	497 %
Celkem úspora na ostření / $\dot{U}_0$ / . . . . .	16,42 Kčs/vrták

Ve výpočtu nejsou uvažovány přípravné časy na ostření.

#### 5.1.5. Vyhodnocení úspor

Úspora / $\dot{U}$ / při využití jednoho povlakovaného vrtáku činí:

$$\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_0 - N_p \quad /19/$$

Úspora při použití vrtáku s TiN / $\dot{U}_1$ / .....	47,72 Kčs
Úspora na ostření / $\dot{U}_0$ / . . . . .	16,42 Kčs
Náklady na povlakování / $N_p$ / . . . . .	7,22 Kčs
Úspora při využití jednoho povlak.vrtáku / $\dot{U}$ /	56,95Kčs

Podle údajů z OHN je zjištěno, že v r.1988 bylo použito 3500 ks povlakovaných vrtáků TiN. Celková úspora za rok tedy činí 199325 Kčs.

## 6. Závěr

Tato diplomová práce se zabývala zjišťováním zvýšení trvanlivosti vrtáků povlakovaných povlakem TiN oproti vrtákům nepovlakovaným při vrtání matric.

V mezinárodním měřítku se vynakládá velké úsilí na to, jak nanášet nové materiály a kombinace materiálů novými metodami na nástroje a jak stanovit jejich výkonnostní parametry. Materiál povlaků i způsob jejich nanášení závisí na účelu použití nástroje s povlakem.

Před vlastním použitím povlakovaných nástrojů je třeba zvážit, zda výroba, která se tímto způsobem uskuteční, bude rentabilní.

Zahraniční firmy, které se zabývají povlakováním /např. firma Leybold - Heraeus/, kladou při práci s povlakovanými nástroji do popředí hlavně otázku technického stavu stroje, na kterém budou práce prováděny. Je zřejmé, že nejsou-li odpovídající parametry zařízení, práce s povlakovanými nástroji nepřinese žádaný efekt.

V případě, který řeší tato diplomová práce bylo zjištěno zvýšení trvanlivosti nástrojů opatřených povlakem TiN oproti nepovlakovaným 2,5 až 3 krát.

Provozní zkoušky byly prováděny za normálního provozu a z tohoto důvodu měla na výsledky měření vliv celá řada ovlivňujících činitelů.

Veliký vliv měl zejména technický stav zařízení. Práce byly prováděny na jedoučelovém vrtacím stroji, který je v provozu již sedm let, a proto se již na něm projevuje

řada technických závad. Pro tuto práci bylo nejdůležitější zajistit především pevné upnutí nástrojů. U většiny vřeten je již možno pozorovat určitou vůli. Některá vřetena měla dokonce i vůli vodicích pouzder. Proto byla pro tuto práci vybrána čtyři vřetena s nejmenší vůlí, aby se zajistilo co nejpřesnější měření.

Dalším činitelem, který ovlivňoval veškeré provozní zkoušky, byl vrtaný materiál. Jednalo se o uhlíkovou ocel 12 O50.4. Problém byl ale v tom, že materiál matrice je výkovek, a tudíž není možno zaručit homogenní vlastnosti v celém objemu materiálu.

Značný vliv na průběh zkoušek mělo i naostření nástrojů. Vrtáky byly ostřeny strojně, přímo u výrobce k.p. Náradí Ždánice.

Výsledky, které byly získány v provozních zkouškách a ověřeny krátkodobou zkouškou podle Andonova, jsou uspokojivé. Lze z nich vyvodit, že při používání povlakovaných vrtáků dojde nejen k vysoké úspoře nástrojů, ale i k velké úspoře finančních prostředků.

Je zřejmé, že práce s povlakovanými nástroji je jednou z progresivních technologií a má velikou budoucnost. Umožňuje zvýšení produktivity práce, pokles materiálové a energetické náročnosti výroby a zlepšení pracovních podmínek.

## Seznam použité literatury

- /1/ Gazda, M. : Nástroje s otěruvzdorným povlakem TiN a zkušenosti s jejich použitím. Intenzifikace obrábění, DT ČSVTS, 1986
- /2/ Protokol o řezné zkoušce vrtáků firmy Stock, vypracovaný státní zkušebnou 202 v Jablonci nN., 1984
- /3/ Václavík, M. - Hamšík, M. : Využití tenkých vrstev povrchové úpravě nástrojů. Strojírenství, svazek 38, 1988, čís. 2, s. 91-92
- /4/ Roček, V. : Příčiny vad při vrtání děr šroubovitými vrtáky. Strojírenská výroby, 1985, čís. 7, s. 516-517
- /5/ Gazda, M. : Vstupní požadavky na nástroje a technologie čištění substrátů. Zvyšování životnosti nástrojů, MON, Praha 1987
- /6 / Gazda, M. : Povlakování nástrojů vrstvou TiN na zařízení BULAT - 3T a MNV 6. Řezné nástroje na výrobu otvorů, DT ČSVTS, Ostrava 1987
- /7/ Hamšík, M. : Povlakování šroubovitých vrtáků TiN. Intenzifikace obrábění, DT ČSVTS, Ostrava 1986
- /8/ Knotek, O. : 6th Int. Conf. IPAT, Brighton 1987, s. 190
- /9/ Todorova, S. : 6th Int. Conf. IPAT, Brighton 1987, s. 248
- /10/ Dobiášová, O. : Zrychlená metoda hodnocení trvanlivosti vrtáků Ø 6 mm a povlaky TiN. DP VŠST Liberec 1988

V závěru bych chtěla poděkovat vedoucímu diplomové práce s.ing.K.Bukačovi za cenné připomínky, které mi poskytl v průběhu zpracování diplomové práce a s.ing. J.Veverkovi a kolektivu podniku TMS Pardubice za významnou pomoc při realizaci praktických zkoušek a za odborné rady v průběhu celé práce.