

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci  
nositelka Řádu práce  
Fakulta strojní

obor 23 - 07 - 8  
Strojírenská technologie

zaměření  
OBRÁBĚNÍ A MONTÁŽE  
Katedra obrábění a montáže

OBRÁBĚNÍ NÁSTROJI S POVLAKEM TiN

KOM - OM - 515

Lukáš Havlas

Vedoucí práce: Ing. Vladimír Gabriel/VŠST Liberec-KOM/  
Konzultant: Ing. Vladimír Gabriel/VŠST Liberec-KOM/

#### ROZSAH PRÁCE A PŘÍLOH

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Počet stran .....                  | 52 |
| Počet příloh a tabulek .....       | 11 |
| Počet obrázků .....                | 6  |
| Počet výkresů .....                | 0  |
| Počet modelů a jiných příloh ..... | 1  |

Datum: 3. května 1988

Vysoká škola: Strojní a textilní Fakulta: Strojní  
Katedra: obrábění a montáže Školní rok: 1987/88

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Havlas Lukáš  
obor 23-07-8

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

Název tématu: Obrábění nástrojů s povlakem TiN

### Zásady pro vypracování:

1. Povrchové úpravy nástrojů za účelem zvýšení otěruvzdornosti
2. Povlakování TiN
3. Návrh metodiky porovnání závitníků bez povlaku a s povlakem TiN
4. Zkoušky závitníků a jejich vyhodnocení
5. Závěr

V 270 / 88 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ  
Ústřední knihovna  
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 8  
PSČ 461 17

*Chybí  
podpis  
prof. Ing. J. J. J.*

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 50 - 60 stran

Seznam odborné literatury:

materiály fy Gühring a Nářadí

Kvapil, R. - Bukač, K. - Gabriel, V.: Řezivost závitníků  
s povlakem TiN /Výzkumná zpráva/ VŠST Liberec

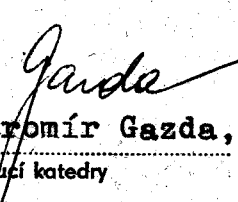
Vedoucí diplomové práce: Ing. Vladimír Gabriel

Konzultant: Ing. V. Gabriel

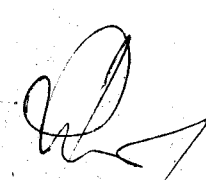
Datum zadání diplomové práce: 30. 9. 1987

Termín odevzdání diplomové práce: 10. 5. 1988

L.S.

  
Doc. Ing. Jaromír Gazda, CSc.

Vedoucí katedry

  
Prof. Ing. Vladimír Prášil, DrSc.

Děkan

v Liberci dne 30. 9. 1987

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci  
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

*Lukáš Havlas*

Lukáš Havlas

V Liberci, dne 3. května 1988

| <u>OBSAH</u>                                                          | <u>STRANA</u> |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------|
| Úvodní list                                                           | 1             |
| Zadání                                                                | 2             |
| Místopřísežné prohlášení                                              | 3             |
| Obsah                                                                 | 4 - 5         |
| 1. POVRCHOVÉ ÚPRAVY NÁSTROJŮ ZA ÚČELEM<br>ZVÝŠENÍ OTĚRUVZDORNOSTI     | 6             |
| 1.1. Úvod - Požadavek efektivní výroby                                | 6             |
| 1.2. Užité vlastnosti materiálů řezných<br>nástrojů                   | 7             |
| 1.3. Povrchové nanášení tenkých vrstev<br>na nástrojové materiály     | 11            |
| 1.3.1. Nástřik vrstev                                                 | 12            |
| 1.3.2. Plazmatický nástřik                                            | 12            |
| 1.3.3. Iontová nitridace                                              | 13            |
| 1.3.4. Cementace                                                      | 14            |
| 1.3.5. Iontová implantace                                             | 15            |
| 1.3.6. Metoda CVD                                                     | 15            |
| 1.3.7. Metoda PVD                                                     | 19            |
| 1.3.8. Srovnání metod CVD a PVD                                       | 20            |
| 2. POVLAKOVÁNÍ TiN                                                    | 23            |
| 2.1. Vlastnosti povlaků TiN                                           | 23            |
| 2.2. Postup při povlakování nástrojů                                  | 24            |
| 2.2.1. Vstupní kontrola                                               | 24            |
| 2.2.2. Čištění nástrojů                                               | 24            |
| 2.2.3. Sortace vsázky                                                 | 26            |
| 2.2.4. Depozice                                                       | 26            |
| 2.2.5. Výstupní kontrola                                              | 27            |
| 2.3. Povlakování nástrojů v ČSSR                                      | 27            |
| 3. NÁVRH METODIKY POROVNÁNÍ ZÁVITNÍKŮ<br>BEZ POVLAKU A S POVLAKEM TiN | 28            |
| 3.1. Řezivost závitníků                                               | 28            |
| 3.2. Použitý stroj a nástroje                                         | 29            |

|                                           | <u>STRANA</u> |
|-------------------------------------------|---------------|
| 3.3. Obráběný materiál                    | 31            |
| 3.4. Řezné podmínky                       | 32            |
| 3.5. Způsob měření hodnot opotřebení      | 32            |
| 4. ZKOUŠKY ZÁVITNÍKŮ A JEJICH VYHODNOCENÍ | 34            |
| 4.1. Přehled jednotlivých zkoušek         | 34            |
| 4.2. Naměřené hodnoty opotřebení          | 35            |
| 4.3. Zhodnocení zkoušek                   | 49            |
| 5. ZÁVĚR                                  | 51            |
| Seznam použité literatury                 | 52            |

## 1. POVRCHOVÉ ÚPRAVY NÁSTROJŮ ZA ÚČELEM ZVÝŠENÍ OTĚRUVZDORNOSTI

### 1.1. Úvod - požadavek efektivní výroby

K dosažení předpokladů pro efektivní a ekonomické obrábění ve strojírenské výrobě patří dobré technické vybavení výroby výkonnými obráběcími stroji, doplněnými mechanizovanými a automatizovanými systémy pro manipulaci s obrobky. Avšak každý, i nejdokonalejší obráběcí stroj naruší plynulost výroby v tom okamžiku, když pro jeho funkci není zajištěno potřebné množství vhodného nářadí a zejména obráběcích nástrojů.

Každý nástroj především v hromadné a seriové výrobě se během své činnosti opotřebovává, postupně ztrácí ostrost břitů, takže zaniknou jeho řezné schopnosti. Při další práci s otupeným nástrojem se zpravidla začne vylamovat ostří a obvykle dojde k poškození nástroje. Tím se značně zkracuje životnost nástrojů, stoupá jejich spotřeba i náklady na nástroje a na jejich přestřování.

Otupení obráběcích nástrojů se projevuje hlavně zaoblováním ostří a otěrem na hřbetech i na čelech břitů. Z ekonomického hlediska je pro každý druh nástroje přípustná tzv. optimální velikost otupení. Je to takové otupení, které umožňuje běžné přestřžení nástroje bez dalších pracných a nákladných úprav. Nadměrně otupené nebo částečně poškozené nástroje se musí před ostřením nejprve opravit. Zpravidla je nutné obrousit nebo odříznout značnou část nástroje a vybrousit nové břity. Tím se nejen zvětšují náklady na pracnost a údržbu nástrojů,

ale také, a to zejména je podstatné, značně se zkracuje životnost takto opravovaných nástrojů a výrazně se zvětšuje jejich spotřeba. Je třeba mít na zřeteli, že jde o poměrně nákladné výrobní prostředky, neboť cena rychlořezné nástrojové oceli, používané pro výrobu převážné většiny nástrojů se pohybuje řádově v rozsahu 100,- až 200,- Kčs za jeden kilogram.

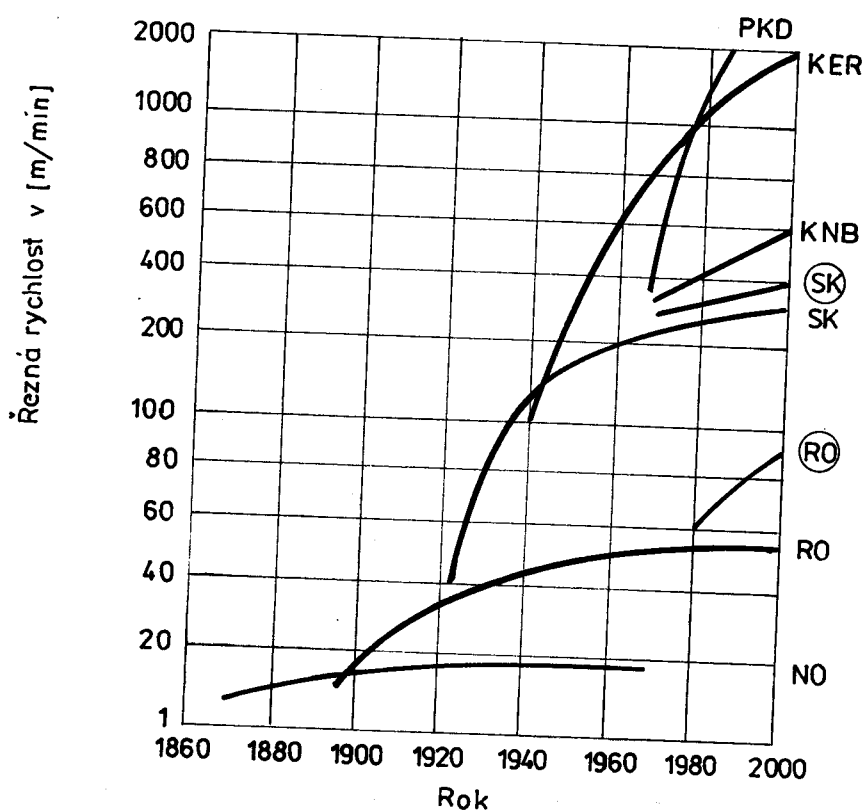
Vývoj řezných materiálů probíhal v minulých letech ve shodě se zvyšujícími se požadavky na jejich výkonnost při obrábění. Přinesl podstatně výkonnější řezné materiály, které i při intenzivnějších řezných podmínkách mají značnou rezervu provozní spolehlivosti. Nejvýznamějším směrem vývoje těchto materiálů jsou vyměnitelné břitové destičky s otěruvzdornými povlaky, které spojují velkou otěruvzdornost s poměrně značnou houževnatostí povlakovaného materiálu.

Úspěšné použití karbidu a nitridu titanu bylo dáno jeho vysokou chemickou stabilitou, zejména odolností vůči slitinám železa a vůči oxidaci. Tyto příznivé vlastnosti se mnohem výrazněji projevily při nanesení TiN ve formách tenkých souvislých povlaků, tzv. otěruvzdorných vrstev. /2/

## 1.2. Užité vlastnosti materiálů řezných nástrojů

Jedním ze základních faktorů, ovlivňujících trvalou kvalitu výrobků a vysokou produktivitu ve velkoseriové výrobě je výběr, konstrukce a výroba nástrojů a pečlivá volba řezných materiálů. Na každý nástroj jsou kladeny vysoké nároky, zejména na jeho odolnost proti otěru, mechanickou i chemickou stálost při vysokých teplotách a houževnatost. Vyšší řezné rychlosti namáhají ná-

stroj na otěr a teplotní odolnost, zvýšení posuvů je limitováno houževnatostí nástroje. Jelikož přirozeně nelze všechny tyto faktory současně maximalizovat, je každý řezný materiál určitým kompromisem. Ze širokého spektra řezných materiálů jsou v současné době nejrozšířenější rychlořezné oceli a slinuté karbidy s perspektivou v oblasti řezné keramiky a polykrystalického diamantu. Vývoj řezných materiálů a používaných řezných rychlostí uvádí obr. 1./5/



Obr. 1. Vývoj řezných materiálů a používaných řezných rychlostí.

NO - nástrojové oceli; RO - rychlořezné oceli  
 SK - slinuté karbidy; RO (povlak) - mater. s povlakem  
 KNB - kubický nitrid bóru; KER - řezná keramika  
 PKD - polykrystalický diamant.

Rychlořezné oceli si udržují stále přední místo mezi významnými řeznými materiály pro výrobu rozličných druhů a typů obráběcích nástrojů.

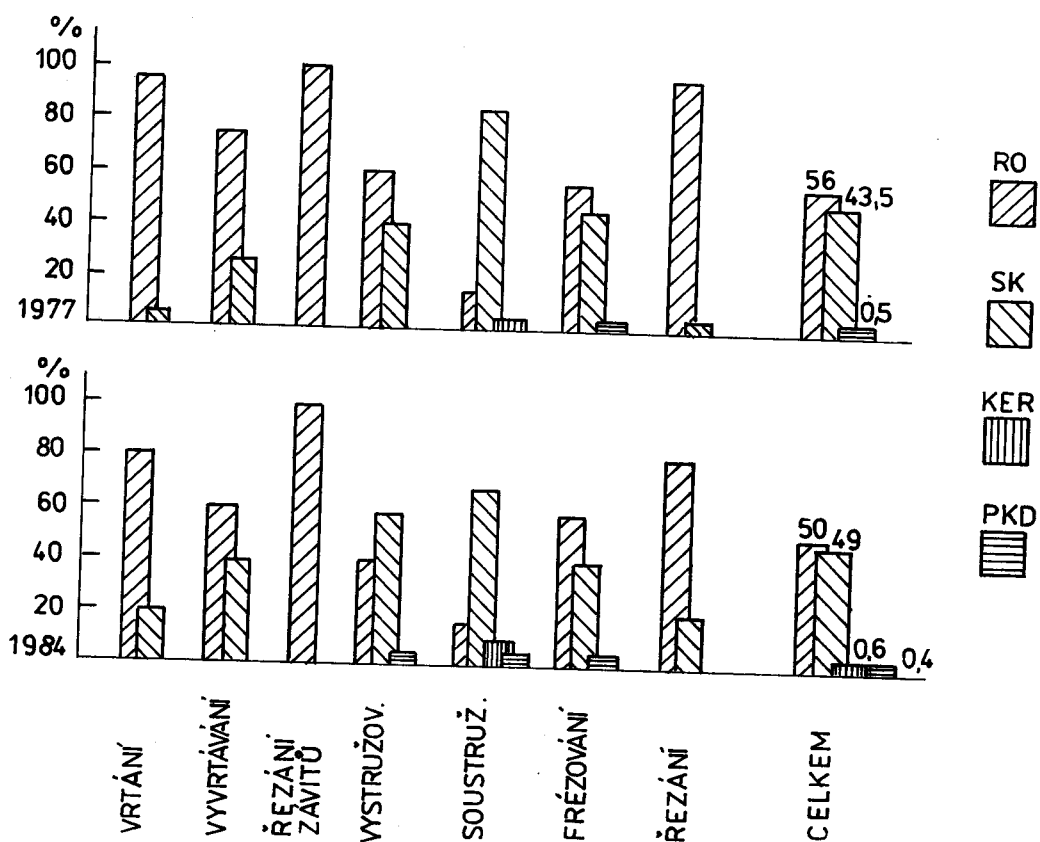
Označení nových rychlořezných ocelí RO:

| Poldi                   | ČSN     |
|-------------------------|---------|
| Maximum<br>Moc          | 419 850 |
| Maximum<br>Special 45   | 419 851 |
| Maximum<br>Special MO5H | 419829  |
| Maximum<br>MO           | 419 820 |

Mezi nejvýznamnější vlastnosti, které se řadí mezi špičkové rychlořezné oceli o velmi velké řezivosti patří: vhodnost pro nejvíce namáhané obráběcí nástroje při nejnáročnějších podmínkách pro obrábění, především při ubírání třísky velkého průřezu, materiálů o velké a velmi velké pevnosti, materiálů houževnatých a pevných, schopnost obrábění nepřerušovaným řezem materiálů těžko obrobitelných, zejména tvrdých a abrazivních materiálů při nejnáročnějších řezných podmínkách. /3/

Podstatnou úlohu při obrábění na moderních výkonných obráběcích strojích má použití břitových destiček ze slinutých karbidů. Základní složkou těchto soustav jsou karbidy wolframu a titanu, jejichž velká tvrdost a stálost je hlavní vlastností slinutých karbidů. Pro obrábění litiny se používají slinuté karbidy, označené G a H, jsou tvořeny pouze karbidy wolframu. K obrábění oceli se používají slinuté karbidy, označené S a F, složené z karbidů wolframu a titanu. Pro velkou tvrdost za tepla a otěruvzdornost břitů zaujímají nástroje ze

slinutých karbidů význačné postavení v oblasti plynulého obrábění. V oblasti proměnného tepelně-mechanického zatížení je vzhledem k menší odolnosti proti křehkému porušení jejich postavení méně výrazné. Slinuté karbidy se nejvíce používají při přerušovaném obrábění snadno obrobitelných materiálů s dlouhou dobou záběru a s úzkým intervalem teplotních změn v aktivní části břitu. V současné době se podařilo užité vlastnosti zlepšit pomocí chemické optimalizované homogenní struktury s malou četností nežádoucích koncentrací napětí. Moderní břit nástroje musí vedle dostatečné odolnosti proti křehkému mikro-porušení prokazovat i velkou odolnost vůči tepelné únavě. Porovnání použití materiálů v sériové výrobě automobilového průmyslu uvádí obr. 2. /5/



Obr. 2. Podíl řezných materiálů v sériové automobilové výrobě.

### 1.3. Povrchové nanášení tenkých vrstev na nástrojové materiály

S rostoucími nároky na kvalitu, užité vlastnosti a životnost obráběcích strojů, roste úsilí hledání nových způsobů při výrobě levných a kvalitních nástrojů a součástek s dlouhou životností. Tyto úspěšně realizované snahy vedou ke zkracování ztrátových časů při výměně nástrojů a součástek, zároveň k velmi potřebné úspoře deficitních kovů a úsporám energie, potřebné k výrobě nástrojů a součástí.

Efektivním způsobem se jeví vytvoření tenké vrstvy nebo několika vrstev na povrchu nástrojů nebo v podpovrchové vrstvě, tedy v oblasti maximálního namáhání nástrojů, kdy dochází při obrábění ke kontaktu nástrojů s obráběným materiálem.

Povrchová úprava nástrojových materiálů je však značně složitým problémem. Povrchové vrstvy musí mít kromě požadovaných vlastností také dobrou adhezi k povlakovanému materiálu. Žádoucí je, aby částice povrchové vrstvy prodívaly zcela nebo alespoň částečně do základního materiálu. Adheze silně závisí na složení a struktuře základního materiálu, na čištění a stavu jeho povrchu těsně před vlastní povrchovou úpravou. Stejně tak je velmi důležitá geometrie součástky. /3/

Technologie vytváření tenkých otěruvzdorných vrstev na povrch nástrojů se volí podle tloušťky povlaku, podle velikosti, tvaru, funkce a použití součástky. Nanášení vrstev se provádí:

- nástřikem
- iontovou nitridací
- cementací a mikrocementací
- iontovou implantací
- chemickou depozicí vrstev
- fyzikální depozicí vrstev

### 1.3.1. Nástřik vrstev

Používá se pro běžné nanášení silnějších vrstev o tloušťce 0,1 - x mm za atmosferického tlaku nebo za sníženého tlaku 0,1 atm. Povlakovací materiál se přidává do plamene ve formě prášku. Hořáky se používají plamenné - pro látky s nízkým bodem tání nebo obloukové - pro látky těžko tavitelné (W, Mo, Pt, Zr, Hf, Ta, Nb).

Za atmosferického tlaku je maximální teplota podložky 180°C. Vrstva má dobrou adhezi a drsnější povrch. Chrání součást proti korozi, otěru a tepelnému namáhání.

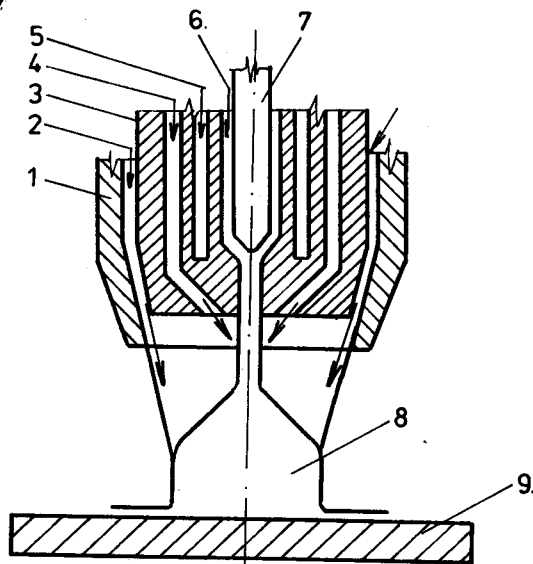
Za sníženého tlaku (VPS) probíhá nástřik obdobným způsobem, vrstva je však kvalitnější, má vyšší adhezi, větší hustotu, dokonalejší strukturu a hladší povrch. Používá se pro nástřik nových typů vrstev, jako je např. TiN, AlN. Vrstva opět chrání proti korozi, erozi a oxidaci./6/

### 1.3.2. Plazmatický nástřik

Nové možnosti při vytváření tenkých vrstev požadovaných vlastností na rychlořezné nástroje nabízí další metoda, tzv. plazmatický nástřik, která pracuje s podstatně nižšími teplotami a má řadu význačných výhod. Plazmatický nástřik vrstev je dnes již běžnou technologií.

Materiál, z něhož má být vytvořena vrstva (viz obr.3), se v práškovém stavu přivádí do plazmatu, kde se taví a v roztaveném stavu se transportuje na podložku, na níž se vytváří vrstva.

Protože se pracuje s plazmatem v modu obloukového výboje, pro který jsou charakteristické velké proudové hustoty, je v plazmatronu zajištěn vysoký stupeň ionizace plazmatu a teplot, které ve středu plazmatu dosahují teploty až 30.000 K. Působením vysokých teplot lze využitím plazmatu stříkat látky s vysokým bodem tání./3/



- 1. - Hubice; 2. - Ochranný plyn s práškem
- 3. - Tryska hořáku; 4. - Fokusační plyn
- 5. - Vodní chlazení; 6. - Plazmový plyn
- 7. - Wolframová elektroda; 8. - Plazmový paprsek s rozptýleným práškem
- 9. - Podložka

Obr. 3. Plazmatický nástřik

### 1.3.3. Iontová nitridace

Používá se ke zpevňování povrchů různých materiálů a ke zvyšování odolnosti proti korozi. Iontovou nitridací vzniká difuzní vrstva o tloušťce  $100\text{ }\mu\text{m}$  při teplotách  $450 - 800^{\circ}\text{C}$  v plazmatu za přítomnosti  $\text{H}_2 + \text{N}_2$  nebo  $\text{C}_2\text{H}_2 + \text{N}_2$ , přičemž katodou je předmět. Mechanismus se stává z rozprašování katody - rozprášené atomy Fe reagují s  $\text{N}_2$ , vzniká nestabilní  $\text{FeN}$ ,

tyto se rozptylují a vrací se zpět na předmět. Tímto dochází k rozpadu na stabilnější nitridy ( $\text{Fe}_2\text{N}$ ,  $\text{Fe}_3\text{N}$ ,  $\text{Fe}_4\text{N}$ ). Atomární  $\text{N}_2$ , který se uvolňuje při rozkladu  $\text{FeN}$ , difunduje do oceli,

Rozlišujeme tři druhy iontové nitridace:

- iontová nitridace za normálního tlaku  $10^2 - 10^3$  Pa s dobou cyklu 5 - 10 hodin
- iontová nitridace za nízkého tlaku 0,1 - 1 Pa s dobou cyklu do 5 hodin
- mikrovlnná nitridace za tlaku 0,1 - 1.000 Pa s dobou cyklu do 2 hodin

Nejvýhodnější metodou je iontová nitridace za nízkého tlaku, neboť představuje více uvolněného  $\text{N}_2$  a tím i účinnější způsob. Pohyb mezi anodou a katodou je výraznější, tzv. bezsrážkový pohyb s nižším tlakem. Efektivní ohřev umožňuje nezvýšení energetické náročnosti a zkrácení procesu. Povrch předmětu má čistý kovově šedý povrch. /6/

#### 1.3.4. Cementace

Nejpoužívanějším způsobem zpracování ocelí je nasycování povrchu součástí uhlíkem - tzv. cementování. Vytváří se jím na povrchu měkkých ocelí (s obsahem uhlíku asi do 0,3%) vrstva, obohacená uhlíkem do eutektoidní nebo slabě nadeutektoidní koncentrace.

Zakalením nacementované součásti se získá ve vrstvě martenzitická struktura o vysoké tvrdosti. V jádru dojde v závislosti na prokalitelnosti oceli a velikosti průřezu jen k částečnému zakalení. Vzhledem k malé rozpustnosti uhlíku v železe se cementuje při teplotách  $850 - 950^\circ\text{C}$ . Vytvářejí se vrstvy obvykle o tloušťce do 2 mm v závislosti na tvaru, velikosti

a funkci součástí. Doba pochodu se obvykle pohybuje mezi 1/2 - 4 hod. /7/

#### 1.3.5. Iontová implantace

Principem této metody je difuze iontů do povrchu tělesa, které jsou urychleny energií 10 - 100 eV. Výhodou iontové implantace je nízká teplota substrátu (10-100°C) a malá tepelná deformace povrchu. Neexistuje zde rozhraní mezi starým a novým povrchem - lze implantovat různé materiály (např. keramiku). Implantace do ocelí se děje za teplot nejvýše 200°C, do slinutých karbidů nejvýše 500°C. Používá se zejména k vytváření povrchů tvářecích nástrojů za studena a kontrolních kalibrů.

Dosud nejrozšířenějšími v současnosti používanými metodami vytváření ochranných povlaků především na nástroje ze slinutých karbidů jsou metody CVD (chemická depozice vrstev), které patří k nejstarším a nejlépe propracovaným. Touto technologií však nelze připravit vrstvy pro všechny aplikace. Nové potřeby ve všech oblastech průmyslu zvyšují požadavky na vlastnosti a kvalitu tenkých vrstev, proto je nutné zdokonalovat dosavadní a hledat nové postupy jejich přípravy. Výsledkem výzkumu v této oblasti jsou nové technologie, především fyzikální metody PVD. /6/

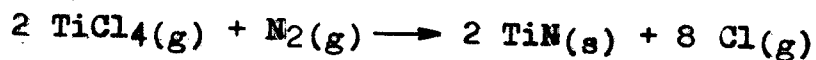
#### 1.3.6. Metoda CVD - chemická depozice vrstev

Pro povlakování slinutých karbidů je velmi výhodná metoda CVD. Využívá chemického procesu, stimulovaného interakcí par deponovaných materiálů s ohřátou

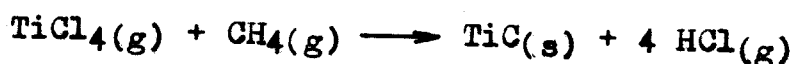
povlakovanou součástí, na které produkty reakce vytvářejí povlak. Vytváření tenkých vrstev pomocí metod CVD je tedy založeno na klasické chemické syntetické reakci látek, která probíhá při vysokých teplotách cca 1.000°C.

Rozlišujeme 4 základní vrstvy:

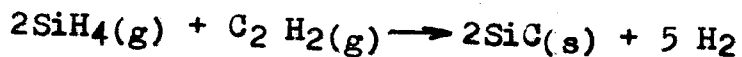
Pro TiN (nitrid titanu):



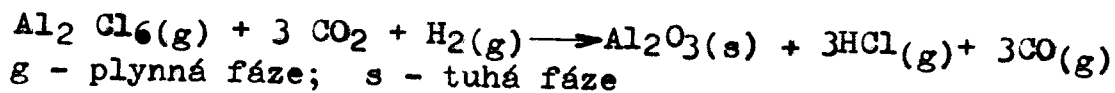
Pro TiC (karbid titanu):



Pro SiC (karbid křemíku):



Pro Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (korund):



Povlakování nitridem titanu se děje v povlakovací komoře s N<sub>2</sub> při teplotě cca 1.000°C - disociací vpouštěného plynného chloridu titaničitého a ukládáním nitridu titanitého na povrch tovaru v důsledku reakce atomárního titanu s dusíkem. /6/

Vrstev využíváme k povlakování řezných břitových destiček, průvlaků, protahovacích trnů, vrtáků a závitníků. V současné době jsou vyráběny destičky s jednovrstvovými, s vícevrstvovými a především s kombinovanými povlaky, které současně umožňují univerzálnější využívání nástrojů s vyměnitelnými

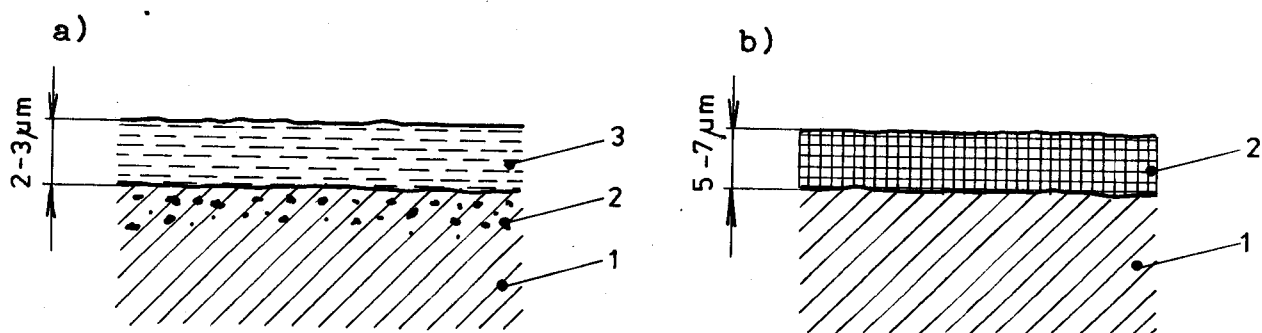
břitovými destičkami. (Viz obr. 4.)

Jednovrstvové povlaky (S 10 T, S 26 T) jsou tvořeny především karbidem titanu a nitridem titanu. Zkouškami bylo zjištěno, že destičky s vrstvou TiC mají oduhličenou křehkou vrstvu o tloušťce 2 mm, označovanou jako fáze eta. Tato vrstva je příčinou zvětšení citlivosti destiček na nárazy a výkony břitů při obrábění. Proto jsou tyto destičky vhodné pouze pro soustružení nepřerušovaným řezem. Překvapivé je, že povlaky o tloušťce 2 - 3  $\mu$ m měly dvojnásobné i vícenásobné otěruvzdorné vlastnosti v porovnání s nepovlakovanými. Vývojem vrstvy TiN se odstranila nežádoucí eta fáze, a to tak, že vrstva TiN se tvoří za nižší teploty. Tím bylo dosaženo dokonalého metalurgického spojení povlaků se základním materiálem do větší hloubky.

Vícevrstvé povlaky (Gm 15, 25, 35) jsou význačným krokem pro další zlepšení v oblasti trvanlivosti řezných destiček slinutých karbidů. Jedná se o vícevrstvé povlaky typu např. TiC-Ti(C,N) - TiN, Ti(C, N) -  $Al_2O_3$  - TiN. /2/

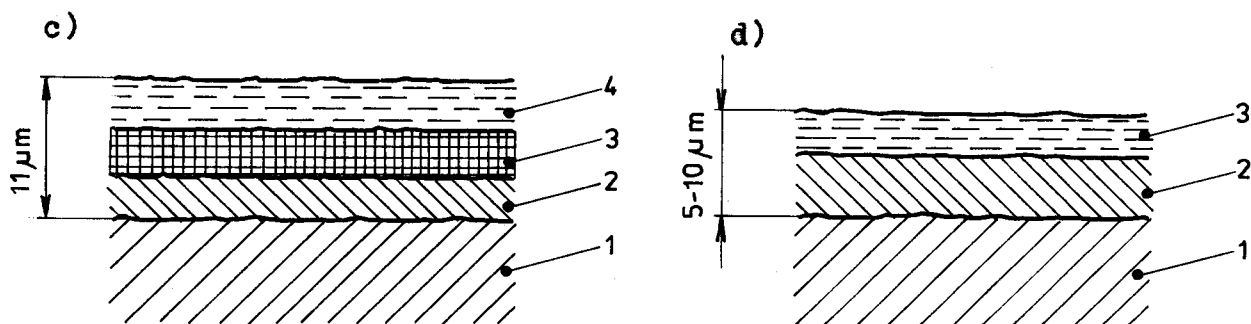
Nevýhodou CVD je požadovaná vysoká teplota reakce, s úspěchem se však používá při povlakování slinutých karbidů, neboť jejich tepelná odolnost je vyšší. V případě její aplikace, např. na nástroje z rychlořezné oceli nutno je po povlakování opět tepelně zpracovat, což má nepříznivý vliv na dodržení požadovaných přísných výrobních tolerancí.

Celosvětový trend rozvoje a zdokonalení metody CVD ukazuje na snížení depoziční teploty na cca 500°C s průběhem v plazmatu, jehož asistenci řeší tzv. metoda PACVD - nejnovější úprava CVD. /6/



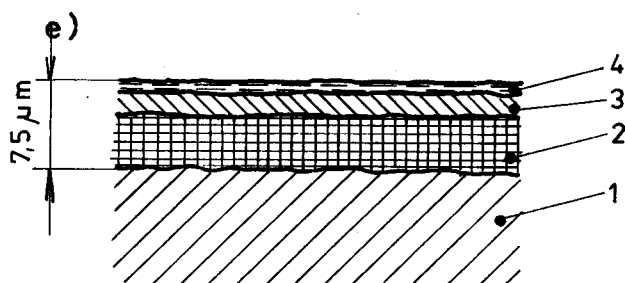
a) První jednovrstvový povlak na destičkách ze SK  
( 1 - SK, 2 - fáze eta, 3 - TiC)

b) Povlak na destičce ze SK tvořený vrstvou TiN  
( 1 - SK, 2 - TiN)



c) Vícevrstvý povlak Tizit Goldmaster na destičkách ze SK  
( 1 - SK, 2 - TiC, 3 - Ti( C, N), 4 - TiN)

d) První destička z keramickým povlakem - SANDVIK GC 015  
( 1 - SK, 2 - TiC, 3 -  $Al_2O_3$ )



e) Vícevrstvý povlak na destičkách SANDVIK GC 415  
( 1 - SK, 2 - TiC, 3 -  $Al_2O_3$ ), 4 - TiN)

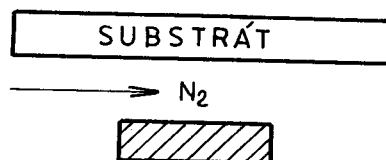
Obr. 4 - Jedno a vícevrstvé povlaky

### 1.3.7. Metoda PVD - fyzikální depozice vrstev

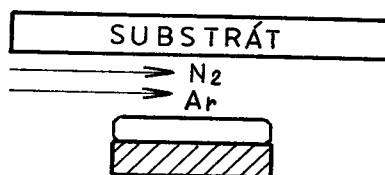
Fyzikální metody PVD tvoří zcela nové možnosti při zhotovování tenkých otěruvzdorných vrstev. Jsou předmětem intenzivního výzkumu s cílem urychleného zavádění do průmyslové praxe. V současné době je možné zařízení, pracující na fyzikálních principech rozdělit do tří skupin: (obr. 5)

- napařování (a)
- naprašování - pevného terče a kondenzace směsi neutrálních atomů a iontů materiálu terče na substrát (b)
- iontové plátování - aplikace interakce plazmatu s povrchem substrátu (c)

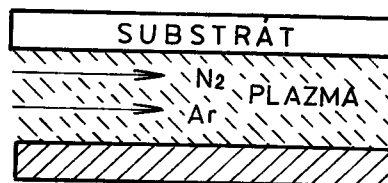
a)



b)



c)



Obr. 5 - metody PVD - schema

Metoda PVD se používá při povlakování TiN, TiC,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CrN, W<sub>2</sub>C, SiC, HfN, TiB<sub>2</sub> za teplot cca 500°C. Kovový titan je odpařován nebo odprašován ve vakuové komoře, kde probíhá ionizace.

Tovarem je v tomto případě kateda, zdrojem anoda s připuštěným dusíkem za vzniku TiN.

Odpařování se děje buď elektronovým svazkem za vysoké energie nebo nízkonapěťovým obloukem za nízké energie.

Nejvýhodnější metody pro povlakování otěruvzdornými tenkými vrstvami jsou založeny na principu rozprašování nebo odpařování. Jde o metody iontového plátování, u kterých se využívá rozprašování nebo odpařování magnetronovým způsobem nebo elektrickým obloukem.

Iontové povlakování je průmyslově použitelné cestou PVD technologie pro úpravu povrchu řezných nástrojů z rychlořezných ocelí, zejména povlakem TiN. Tloušťka nanesené vrstvy je v rozmezí 2 - 6  $\mu\text{m}$ . Nástroje musí být naostřeny a tepelně zpracovány. Zpracování po povlakování není nutné. Konkrétně vrstev PVD využíváme na řezné, vrtací, lisovací a protahovací nástroje. /6/

#### 1.3.8. Srovnání metod CVD a PVD

Vzhledem k své propracovanosti zcela jednoznačně převládající metodou, využívanou pro povlakování, je CVD, byť její aplikace není univerzální. Tuto prioritu si tato metoda zachová ještě mnoho let. Obě skupiny technologií povlakování nástrojů se intenzivně rozvíjejí, aniž by si navzájem konkurovaly. Nejznámější výrobci průmyslových CVD - zaří-

zení v Evropě jsou firmy Berna-Bernex, Surmetal, Metallwerk, Plansee, Sandvik- Coromant. PVD zařízení nabízejí firmy Balzers, Leybold, Surmetal. Známá jsou též zařízení PUSK a BULAT, vyráběná v SSSR. Výchozími surovinami při CVD procesech jsou dle typu vylučovaného povlaku chlorid titaničitý, vodík, dusík, plynný nebo těkavý uhlovodík (metan, propan, benzen), plynný chlorovodík, oxid uhličitý.

PVD metodami se nanáší převážně zlatý povlak nitridu titanitého, v tomto případě je však zdrojem kovový titan.

CVD zařízení mohou pracovat jak při normálním tlaku, tak za podtlaku okolo 10 kPa, PVD zařízení pracují zásadně ve vakuu, které v některých fázích procesu musí dosahovat až  $10^{-4}$  Pa. Značný rozdíl je mezi teplotami, používanými u obou technologií: chemické reakce, probíhající při CVD vyžadují teploty minimálně 900 - 1.050°C, vylučování PVD povlaků je možné i za normální teploty. Tento výrazný rozdíl se však postupem času smazává, PVD povlaky se již běžně nanášejí za teplot okolo 500°C, neboť se tím zlepšuje soudržnost povlaku s podložkou. Naopak u CVD procesů jsou vyvíjeny snahy snížit pracovní teplotu, aby se zabránilo případným nežádoucím změnám u podkladových materiálů. Podařilo se to u tzv. MT CVD procesu (=CVD procesu za "středních teplot"), použitím speciálních organokovových sloučenin se teploty vylučování povlaku karbidu - nitridu titanu snížily na 700-900°C. Další snížení teploty u CVD procesu by sice bylo možné, ale ne účelné, neboť by se podstatně zhoršila přilnavost a ostatní pozitivní vlastnosti povlaku. CVD zařízení

pro nanášení otěruvzdorných povlaků sestává obvykle z těchto základních částí:

- zdroje plynných reakčních látek, příp. odpařovače, je-li reakční látka kapalná ( $\text{TiCl}_4$ ) nebo vedlejšího reaktoru, je-li třeba sublimující reakční látku syntetizovat ( $\text{AlCl}_3$ )
- zařízení pro měření a regulaci proudu plynných reakčních látek
- vlastního reaktoru
- systému odvodu plynných reakčních zplodin./3/

Stavba PVD zařízení je uvedena v kapitole 3.2.

## 2. POVLAKOVÁNÍ TiN

### 2.1. Vlastnosti povlaků TiN

Nejvýhodnější ochranou požadovaných vlastností pro nástrojové materiály je v současné době povlak TiN. Tenké vrstvy TiN vynikají velkou tvrdostí, otěruvzdorností, nízkým součinitelem tření, odolností proti oxidaci a korozi. Povlaky TiN na nástrojích, vyrobených z rychlořezných ocelí zaručují lepší stabilitu tvrdosti povrchu nástroje. Dovolují zvýšit řeznou rychlost až o trojnásobek za současného zvětšení posuvu při opracování. Středně teplotní fyzikální povlakování nepřekračuje 550°C, jeví se tedy přijatelné pro předem tepelně zpracované materiály. K hlavním vlastnostem povlaků TiN patří:

- vysoká tvrdost vrstvy 2.000 - 2.500 HV, čímž je dána vysoká odolnost proti otěru a tím dochází ke zvýšení trvanlivosti břitu nástroje
- optimální struktura nanášené vrstvy TiN (je jemnozrná, má vysokou hustotu a čistotu)
- vysoká přilnavost k základnímu materiálu nástroje
- malá tepelná vodivost (chrání základní hmotu nástroje proti přehřátí)
- trvanlivost nástroje s povlakem TiN závisí na druhu a tvrdosti základního materiálu nástroje: čím vyšší je tvrdost základního materiálu, tím vyšší je tvrdost nástroje
- vrstva TiN ovlivňuje odolnost nástroje proti otěru a základní hmota nástroje ovlivňuje odolnost břitu proti praskání a vyštípování
- původní tvar řezné části nástroje zůstane po nanesení povlaku exaktně nezměněn (nenastává přehnutí,

ani zakulacení na hranách a radiusech)

- rozměry nástroje se zvětší o tloušťku nanesené vrstvy, tj. 2 - 8  $\mu\text{m}$
- povlak TiN má malou chemickou afinitu k železným materiálům a působí jako bariéra proti difuznímu opotřebení a zvyšuje odolnost břitu proti oxidaci
- vrstva TiN brání vytváření studených svarů (tvoreni nárůstků)
- nástroje, opatřené povlakem TiN pracují s řeznými silami vyššími
- vrstva TiN zlepšuje odvod třísek (snižuje součinitel tření mezi třískou a čelem nástroje)
- vrstva TiN má vyšší odolnost proti korozi, než základní materiál /1/

## 2.2. Postup při povlakování nástrojů

### 2.2.1. Vstupní kontrola

Je pravidlem, že stav nástrojů, tak jak jsou vyrobeny běžnou výrobní technologií, není vhodný pro povlakování. Ve velké většině případů je nutno hledat kompromisní řešení úpravou buď výrobní technologie nebo při depasivaci (čištění) nástrojů. Mezi nejrozšířenější způsoby možného znečištění nebo defektů nástrojů patří:

- povrchové vrstvy olejů, zbytků kalících lázní a kovových oxidů
- hroty, otřepy, připáleniny a trhliny po broušení
- ocelový prach (po broušení) s vysokou přilnavostí u magnetických materiálů /5/

### 2.2.2. Čištění nástrojů

K dosažení reaktivního povrchu substrátu před depozicí

se používá několika způsobů depasivace. Tyto způsoby je možno vzájemně kombinovat, s ohledem na stav povrchu nástroje lze i některé fáze vypustit. Je však bezpodmínečně nutné dosáhnout dokonale kovově čistého povrchu před založením vsázky do recipientu.

#### Mokrý chemický čištění.

Ultrazvuková čistička využívající několika typů freonů a alkalické lázně slouží k hrubému odměštění a odstranění lehkých oxidických vrstev včetně vytěsnění vody a finálního dosušení v parách. Pro kvalitní celobroušené nástroje je tato příprava povrchu zcela dostačující.

#### Suché mechanické čištění

Speciálně vyvinuté poloautomatické tryskací zařízení na suchý stlačený vzduch nebo dusík. Tryskacím médiem je  $\text{Al}_2\text{O}_3$  o zrnitosti asi  $20\mu\text{m}$  v rozmezí 0 - 0,6 MPa. Tímto způsobem lze spolehlivě odstranit masivní oxidické vrstvy, zbytky solných lázní a korozní produkty. Při definovaných tlakových podmínkách nedochází k poškození řezných břitů, ale pouze k nepatrnému zhoršení drsnosti. V případě starých, použitých, ne celobroušených nástrojů je mechanické čištění nezbytné. Naopak, v mnoha případech může plně nahradit mokré čištění - otryskaný povrch je dostatečně aktivován.

#### Doutnavý výboj a bombardování energetickými ionty

Tyto způsoby fyzikálního čištění probíhají ve vakuu a slouží současně k ohřevu substrátu. Některé z uvedených nástrojů se čistily pouze chemickým způsobem, některé byly pouze mechanicky otryskány a část se čistila kombinací obou způsobů. Všechny nástroje se fyzikálně čistily doutnavým výbojem a iontovým bombardem ve vakuu.

Všemi uvedenými způsoby lze dosáhnout kvalitního povlaku s dostatečnou adhezí. /5/

### 2.2.3. Sortace vsázky

Sortace vsázky je samostatným problémem, který je často opomíjen. Při povlakování v produkčním měřítku hraje významnou roli. V podmínkách servisního povlakování je často nutné zpracovávat smíšené vsázky, tj. několik různých typů nástrojů rozdílných rozměrů, geometrie i hmotnosti. To je dáno relativně velkým efektivním objemem recipientu a dále požadavkem uživatelů na rychlou obrátku nástrojů. S problémem nehomogenních vsázek souvisí i požadavky na vysokou univerzálnost rozsáhlé banky speciálních držáků a fixačních elementů s rotačním nebo planetovým pohybem.

V praxi je možno připustit u smíšených vsázek hmotnostní rozdíly 10 - 15% při zachování geometrické podobnosti. Uvedené zpracovávané nástroje musí splňovat tyto požadavky. /5/

### 2.2.4. Depozice

Teplota substrátu je kritickou veličinou vzhledem k nebezpečí popuštění nástrojů. (Riziko znehodnocení vsázky popuštěním je nemalé - průměrná hodnota vsázky činí 80-200 tis. Kčs). Teplotu je třeba měřit v místech nejvyšší teplotní zátěže, tj. v blízkosti řezných hran, zvláště u ozubení menších modulů. Vzhledem k obtížně definovatelné emisivitě substrátu a jeho pohybu je výhodnější a přesnější provádět měření termočlánkem. To však vyžaduje zhotovení měřicí makety shodných nebo podobných rozměrů a tvarů. V praxi používáme ke každému typu nástroje makety, zhotovené z opotřeбенého nebo jinak znehodnoceného totožného nástroje. Tím je zaručena vysoká přesnost absolutního měření.

K relativnímu měření lze použít IR teploměru.

Tloušťka vrstvy je závislá (kromě hlavních depozičních parametrů, tj. dep. rychlosti a času) na poloze substrátu vůči odpařovači. U válcových nástrojů, které jsou povlakovány tak, že válcová plocha je kolmá na směr dopadajících částic, dochází k největšímu nárůstu tloušťky vrstvy právě na těchto funkčních plochách. /5/

#### 2.2.5. Výstupní kontrola

Vizuální kontrolou je možno odhalit poměrně široký rozsah vad vrstvy. Jde především o odlupování, změny vybarvení, stopy po výbojích apod. Vizuální kontrola vyžaduje nemalou zkušenost v pozorování v intenzivním světle rtuťové výbojky barevné teploty 5.500 K.

Měření tvrdosti, tloušťky a adheze vrstev patří mezi rutinní nedestructivní (resp. nástroj nezneškodňující) zkoušky, prováděné na vzorcích i nástrojích. Přístroje pro měření tloušťky vrstev metodou KALOTEST a pro měření adheze metodou SCRATCHTEST vyrábí VÚSTE Praha.

Funkční zkoušky jsou nejspolehlivějším měřítkem užitných vlastností povlaku. Pro tyto účely se používá spirálových vrtáků, které jsou představitelem relativně levného nástroje. Tento způsob kontroly je ovšem možný pouze u vsázek nástrojů podobného typu.

Speciální a málo četné analytické metody slouží ke zjišťování fyzikálně-chemických charakteristik vrstev a jsou používány při ověřování a vývoji technologických parametrů procesu. /5/

#### 2.3. Povlakování nástrojů v ČSSR

V ČSSR existuje pro fyzikální povlakování zatím jediné

provozní zařízení BULAT 3T, které je již čtvrtým rokem využíváno v k. p. Náradí Ždánice s výbornými výsledky. Teprve koncem minulého roku se podařilo získat další dvě zařízení, označená NNV 6, podstatně zmodernizovaná s vyšší výrobní kapacitou. V minulém roce byl též instalován inspirační vzorek firmy Leybold-Heraeus ve VVZ k. p. ZEZ Liberec a stejné zařízení získává k. p. Zbrojovky Vsetín.

V rámci státního úseku RVT "Progresivní technologie zvyšování životnosti strojních součástí a nástrojů", pracovala určitý čas na vývoji opět jiného typu zařízení košická pobočka VÚKOV Prešov s využitím vzorku anglické firmy NANOTECH a do VÚSTE Praha byl dodán inspirační vzorek SURO HTC 1500 firmy Hauzer Techno-Coating z Holandska.

Uvážíme-li spotřebu necelých 100g TiN na provozní dávku v průměru 150 kg vsázky nástrojů z rychlořezné oceli, jejíž kilogramová cena je cca 100,-Kčs, pak z výpočtu úspor dalších dvou vsázek díky zvýšené životnosti dospějeme k teoretické kilogramové hodnotě TiN 300 tis. Kčs. Zlatožlutý povlak nitridu titanitého znamená kvalitativní skok na vývojové křivce užité hodnoty nástrojů nejen v ČSSR, ale i v celém světě. /4/

### 3. NÁVRH METODIKY POROVNÁNÍ ZÁVITNÍKŮ BEZ POVLAKU A S POVLAKEM TiN

#### 3.1. Řezivost závitníků

Řezivost závitníků byla zjišťována na základě opotřebení měřeného na hřbetě (VB) posledního závitu řezného kužele závitníku. Byla sledována závislost opotřebení na počtu

vyřezaných závitových otvorů.

Počet závitových otvorů byl přepočten na čas obrábění podle vzorce: 
$$t = \frac{l}{h \cdot n}$$

t-čas na vyřezání jednoho závitu-při  $n_1, t_1=0,034$  min.  
-při  $n_2, t_2=0,024$  min.

l-délka závitu;  $l = 30$  mm

h-stoupání závitu;  $h = 1,75$  mm . ot<sup>-1</sup>

n-otáčky;  $n_1 = 500$  ot . min.<sup>-1</sup>

$n_2 = 710$  ot . min.<sup>-1</sup>

Délka vyřezaných závitů je ekvivalentní době obrábění. Řezání závitů se provádělo do doby, kdy závitník dosáhl hodnoty kritériálního opotřebení. Na základě získaných hodnot byly sestrojeny VB-t diagramy a T<sub>av</sub> diagramy. Z diagramů bylo provedeno vyhodnocení řezivosti závitníků. Opotřebení se měřilo na dílenském mikroskopu Zeiss-Jena. Hodnota kritériálního opotřebení byla stanovena  $VB_k = 0,3$  mm. /l/

### 3.2. Použitý stroj a nástroje

Řezání závitů M 12 se provádělo na radiální vrtačce VR-4 v laboratorních VŠST - katedry obrábění a montáže. Závitník byl upnut v upínací hlavě GB-3 (M 12 - M 30) - výrobek NDR.

Vzorky byly upínány na upínací kostku vrtačky VR-4 upínkami a za jeden otvor, aby upnutí bylo dostatečně tuhé. Předvrtání děr pro závitování, při kterém se měřilo opotřebení, se provádělo vrtákem ø 10. Řezání závitů se provádělo závitníky M 12 - ISO 1 ON 22 30 44 HSS 30 nepovlakovanými a týmiž závitníky povlakovanými TiN. (Viz příloha 1)

Povlakovací zařízení BULAT-3T pro závitníky, použité v této práci, pracující na principech PVD, sestává z reaktivní komory, vakuového systému, usměrňovače, napájecích jednotek a ovládacího stojanu.

Některé technické parametry:

- plocha napovlakovaná v jednom cyklu -  $1.000 \text{ cm}^2$
- doba trvání pracovního cyklu - 60 - 120 min.
- příkon - 55 kW
- rozměry reaktivní komory a vakuového systému  
2.710 x 1.950 x 2.160 mm

Proces probíhá ve vakuové komoře, ve které se provede ionizační vyčištění nástrojů a v průběhu nanášení TiN se komora naplní dusíkem, jehož tlak je udržován na konstantní výši po celou dobu procesu. Uvnitř vakuové komory je upínací buben pro nástroje, který se během procesu povlakování otáčí. Pro každý rozměr, ale i délku nástroje je potřebné konstruovat a vyrobit zvláštní upínací buben pro nástroje, který stanoví optimální vzdálenost jak mezi povlakovanými nástroji, tak mezi nástrojem a elektrodou.

Při iontovém čištění vsázky je prakticky uskutečňován ohřev. U větších součástí se provádí je prohřev mikrovrstvy, aby se snížil propal titanové katody. Tento způsob se osvědčil i u závitníků větších rozměrů. Proces probíhá při teplotě  $300 - 500^\circ\text{C}$ . Tepelné odpařování titanu se uskutečňuje pomocí řízeného oblouku ve vakuu. Titanové katody jsou chlazeny vodou. Chladicí systém musí být dokonale těsný, protože vodní pára by poškodila vakuum.

Závitníky byly před vlastním procesem očištěny v ultrazvukové lázni pro dosažení dobré přilnavosti nanášené vrstvy. /1/

### 3.3. Obráběný materiál

Obráběný materiál a jeho vlastnosti jsou rozhodující nejen pro volbu geometrie závitníku, ale také pro určení rozměrů, tvaru a počtu drážek i pro volbu nástrojového materiálu a řezné rychlosti. Na vlastní řezání závitu má pak největší vliv pevnost a tažnost obráběného materiálu.

Při řezání závitu v materiálech velké pevnosti dochází v důsledku většího řezného odporu k nadměrnému namáhání a tím i k rychlému otupování nástroje. V takových případech se zpravidla musí používat speciální závitníky z vysoce výkonných rychlořezných ocelí.

Ke zkouškám řezivosti byly vybrány materiály, zařazené do dvou skupin obrobitelnosti a rozdílných tříd obrobitelnosti:

- a) materiál 14220, třídy obrobitelnosti 12b, rozměru tyče  $\phi$  100 mm. Jedná se o manganochromovou ocel, určenou k cementování o pevnosti v tahu  $\sigma_{\text{H}} = 637-785$  MPa. Používá se na výrobu strojních součástí, výkovků a výlisků, určených k cementování, s velmi tvrdou cementovanou vrstvou a s velkou pevností v jádře po zakalení; (výroba ozubených kol, Kardanových křížů, řetězových kol atd.).
- b) materiál 15260, třídy obrobitelnosti 11b, rozměru tyče  $\phi$  100 mm. Jedná se o manganochromovanadovou ocel k zušlechťování o pevnosti v tahu  $\sigma_{\text{H}} = 785-932$  MPa. Vyznačuje se špatnou svařitelností a používá se na výkovky a výlisky velmi namáhaných strojních součástí, např. pro hřídele silničních motorových vozidel atd./8/

Vzorky ocelí byly nařezány z tyčí uvedených průměrů na tloušťku 30mm. Do takto připravených desek byly předvrtány průchozí otvory  $\phi 10$  a byla u nich dodržována osová vzdálenost 1,5 průměru závitníku, stejně jako od okraje vzorku.

### 3.4. Řezné podmínky

Řezná rychlost  $v_c$  byla volena vyšší vzhledem k normativním rychlostem. Je to z toho důvodu, že povlakované nástroje TiN umožňují zvýšení řezných rychlostí až o 300 % oproti nominálním hodnotám, doporučeným normativy řezných podmínek.

Základní normativ řezné rychlosti: /8/

| materiál           | pevnost<br>(kg/mm <sup>2</sup> )<br><u>přes do</u> | řezná rychlost (m.min. <sup>-1</sup> )<br>oceli |          |
|--------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------|
|                    |                                                    | rychlořez.                                      | uhlíkové |
| slitinové<br>oceli | 70 až 90                                           | 5 až 10                                         | 2 až 3   |
|                    | 90                                                 | 1 až 5                                          | 1 až 2   |

Z důvodu srovnání řezivosti byly rychlosti pro oba druhy materiálu voleny dvě:

$$v_{c1} = 18,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}; \text{ při } n_1 = 500 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$$

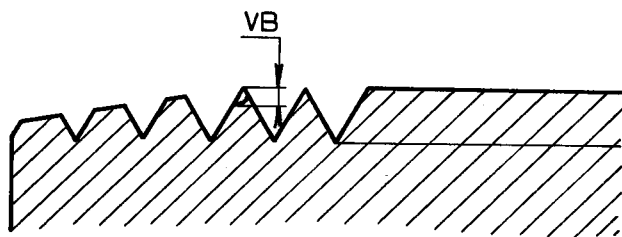
$$v_{c2} = 26,8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}; \text{ při } n_2 = 710 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$$

Závitník byl mazán řeznou kapalinou Calorex 100, která se nanášela štětcem. /1/

### 3.5. Způsob měření hodnot opotřebení

Opotřebení závitníků bylo sledováno ve zvolených časových intervalech (počtu závitových otvorů) na dílenském mikroskopu, při 50ti násobném zvětšení. Opotřebení na hřebě (VB) bylo zaznamenáno do tabulek.

Způsob měření opotřebení VB udává obr. 6 .



Obr. 6 - Opotřebení na hřebětě (VB) posledního zubu na řezném kuželi závitníku.

V případě, že závitník byl poškozen ještě dříve, než došlo ke kritickému opotřebení, ( zalomení nebo vylo-  
mení), zkouška byla opakována. Pro každý druh materiálu  
bylo měřeno za uvedených  $v_{c1}$  a  $v_{c2}$  u povlakovaných a ne-  
povlakovaných závitníků opotřebení VB. Výsledky zkoušek  
charakterizují uvedené diagramy /1/

#### 4. ZKOUŠKY ZÁVITNÍKŮ A JEJICH VÝHODNOCENÍ

##### 4.1. Přehled jednotlivých zkoušek

| materiál | záv.          | $v_c$<br>m.min <sup>-1</sup> | č.měř. | tab.<br>str. | graf VB-t<br>str. | graf T-v<br>str. |
|----------|---------------|------------------------------|--------|--------------|-------------------|------------------|
| 14220    | M12<br>(nep.) | 18,9                         | 1      | 35           | 43                | 47               |
| 14220    | M12<br>(nep.) | 26,8                         | 2      | 36           | 43                | 47               |
| 14220    | M12<br>TiN    | 18,9                         | 3,4    | 37           | 44                | 47               |
| 14220    | M12<br>TiN    | 26,8                         | 5      | 38           | 44                | 47               |
| 15260    | M12<br>(nep.) | 18,9                         | 6,7    | 39           | 45                | 48               |
| 15260    | M12<br>(nep)  | 26,8                         | 8      | 40           | 45                | 48               |
| 15260    | M12<br>TiN    | 18,9                         | 9,10   | 41           | 46                | 48               |
| 15260    | M12<br>TiN    | 26,8                         | 11,12  | 42           | 46                | 48               |

#### 4.2. Naměřené hodnoty opotřebení

Materiál 14220

Závitník M 12 (nepovlakovaný)

$v_c = 18,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

$n = 500 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$

| číslo<br>měření | počet<br>otvorů | opotřebení<br>VB(mm) | čas<br>t(min) | poznámka |
|-----------------|-----------------|----------------------|---------------|----------|
| 1               | 20              | 0,12                 | 0,68          |          |
|                 | 40              | 0,13                 | 1,36          |          |
|                 | 60              | 0,15                 | 2,04          |          |
|                 | 70              | 0,16                 | 2,38          |          |
|                 | 80              | 0,18                 | 2,72          |          |
|                 | 90              | 0,19                 | 3,06          |          |
|                 | 100             | 0,20                 | 3,40          |          |
|                 | 110             | 0,22                 | 3,74          |          |
|                 | 120             | 0,23                 | 4,08          |          |
|                 | 130             | 0,24                 | 4,42          |          |
|                 | 150             | 0,25                 | 5,10          |          |
|                 | 170             | 0,26                 | 5,78          |          |
|                 | 180             | 0,27                 | 6,12          |          |
|                 | 200             | 0,28                 | 6,80          |          |
|                 | 220             | 0,29                 | 7,48          |          |
|                 | 240             | 0,30                 | 8,16          |          |

Materiál 14220

Závitník M 12 (nepovlakovaný)

$v_c = 26,8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

$n = 710 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$

| číslo<br>měření | počet<br>otvorů | opotřebení<br>VB(mm) | čas<br>t(min) | poznámka |
|-----------------|-----------------|----------------------|---------------|----------|
| 2               | 20              | 0,13                 | 0,48          |          |
|                 | 40              | 0,14                 | 0,96          |          |
|                 | 60              | 0,16                 | 1,44          |          |
|                 | 80              | 0,17                 | 1,92          |          |
|                 | 100             | 0,19                 | 2,40          |          |
|                 | 120             | 0,21                 | 2,88          |          |
|                 | 140             | 0,23                 | 3,36          |          |
|                 | 160             | 0,26                 | 3,84          |          |
|                 | 180             | 0,29                 | 4,32          |          |
|                 | 200             | 0,31                 | 4,80          |          |

Materiál 14220

Závitník M 12 TiN

$v_c = 18,9 \text{ m} \cdot \text{min.}^{-1}$

$n = 500 \text{ ot} \cdot \text{min.}^{-1}$

| číslo<br>měření | počet<br>otvorů | opotřebení<br>VB(mm) | čas<br>t(min.) | poznámka |
|-----------------|-----------------|----------------------|----------------|----------|
| 3               | 20              | 0,11                 | 0,68           | zlomen   |
|                 | 30              | 0,13                 | 1,02           |          |
|                 | 32              |                      | 1,088          |          |
| 4               | 20              | 0,08                 | 0,68           |          |
|                 | 30              | 0,12                 | 1,02           |          |
|                 | 40              | 0,16                 | 1,36           |          |
|                 | 50              | 0,19                 | 1,70           |          |
|                 | 60              | 0,22                 | 2,04           |          |
|                 | 70              | 0,23                 | 2,38           |          |
|                 | 80              | 0,25                 | 2,72           |          |
|                 | 90              | 0,26                 | 3,06           |          |
|                 | 100             | 0,27                 | 3,40           |          |
|                 | 120             | 0,28                 | 4,08           |          |
|                 | 130             | 0,29                 | 4,42           |          |
|                 | 150             | 0,30                 | 5,10           |          |

Materiál 14220

Závitník M 12 TiN

$v_c = 26,8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

$n = 710 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$

| číslo<br>měření | počet<br>otvorů | opotřebení<br>VB(mm) | čas<br>t(min) | poznámka          |
|-----------------|-----------------|----------------------|---------------|-------------------|
| 5               | 10              | 0,9                  | 0,24          | vylomen<br>neřeže |
|                 | 20              | 0,17                 | 0,48          |                   |
|                 | 30              | 0,19                 | 0,72          |                   |
|                 | 40              | 0,20                 | 0,96          |                   |
|                 | 50              | 0,21                 | 1,20          |                   |
|                 | 60              | 0,23                 | 1,44          |                   |
|                 | 70              | 0,24                 | 1,68          |                   |
|                 | 80              | 0,26                 | 1,92          |                   |
|                 | 90              | 0,27                 | 2,16          |                   |
|                 | 100             | 0,28                 | 2,40          |                   |
|                 | 110             | 0,29                 | 2,64          |                   |
|                 | 115             | 0,30                 | 2,76          |                   |

Materiál 15260

Závitník M 12 (nepovlakovaný)

$v_c = 18,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

$n = 500 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$

| číslo<br>měření | počet<br>otvorů | opotřebení<br>VB(mm) | čas<br>t(min.) | poznámka          |
|-----------------|-----------------|----------------------|----------------|-------------------|
| 6               | 10              | 0,15                 | 0,34           | vylomen<br>neřeže |
|                 | 20              | 0,16                 | 0,68           |                   |
|                 | 30              | 0,18                 | 1,02           |                   |
|                 | 38              | 0,19                 | 1,29           |                   |
| 7               | 10              | 0,12                 | 0,34           |                   |
|                 | 20              | 0,14                 | 0,68           |                   |
|                 | 30              | 0,17                 | 1,02           |                   |
|                 | 40              | 0,19                 | 1,36           |                   |
|                 | 50              | 0,21                 | 1,70           |                   |
|                 | 60              | 0,22                 | 2,04           |                   |
|                 | 70              | 0,23                 | 2,38           |                   |
|                 | 80              | 0,25                 | 2,72           |                   |
|                 | 90              | 0,26                 | 3,06           |                   |
|                 | 100             | 0,28                 | 3,40           |                   |
|                 | 110             | 0,29                 | 3,74           |                   |
|                 | 120             | 0,30                 | 4,08           |                   |

Materiál 15260

Závitník M 12 (nepovlakovaný)

$v_c = 26,8 \text{ m} \cdot \text{min.}^{-1}$

$n = 710 \text{ ot} \cdot \text{min.}^{-1}$

| číslo<br>měření | počet<br>otvorů | opotřebení<br>VB(mm) | čas<br>t(min.) | poznámka |
|-----------------|-----------------|----------------------|----------------|----------|
| 8               | 10              | 0,12                 | 0,24           | vylomen  |
|                 | 20              | 0,14                 | 0,48           |          |
|                 | 30              | 0,19                 | 0,72           |          |
|                 | 40              | 0,20                 | 0,96           |          |
|                 | 50              | 0,21                 | 1,20           |          |
|                 | 60              | 0,24                 | 1,44           |          |
|                 | 70              | 0,26                 | 1,68           |          |
|                 | 80              | 0,28                 | 1,92           |          |
|                 | 88              | 0,32                 | 2,332          |          |

Materiál 15260

Závítník M 12 TiN

$v_c = 18,2 \text{ m} \cdot \text{min.}^{-1}$

$n = 500 \text{ ot} \cdot \text{min.}^{-1}$

| číslo<br>měření | počet<br>otvorů | opotřebení<br>VB(mm) | čas<br>t(min.) | poznámka |
|-----------------|-----------------|----------------------|----------------|----------|
| 9               | 10              | 0,04                 | 0,34           | zlomen   |
|                 | 20              | 0,05                 | 0,68           |          |
|                 | 30              | 0,06                 | 1,01           |          |
|                 | 40              | 0,08                 | 1,36           |          |
|                 | 47              |                      | 1,598          |          |
| 10              | 10              | 0,05                 | 0,34           |          |
|                 | 20              | 0,06                 | 0,68           |          |
|                 | 30              | 0,08                 | 1,02           |          |
|                 | 40              | 0,09                 | 1,36           |          |
|                 | 50              | 0,10                 | 1,70           |          |
|                 | 60              | 0,12                 | 2,04           |          |
|                 | 70              | 0,13                 | 2,38           |          |
|                 | 80              | 0,15                 | 2,72           |          |
|                 | 90              | 0,16                 | 3,06           |          |
|                 | 100             | 0,18                 | 3,40           |          |
|                 | 120             | 0,22                 | 4,08           |          |
|                 | 140             | 0,26                 | 4,76           |          |
|                 | 160             | 0,28                 | 5,44           |          |
|                 | 180             | 0,30                 | 6,12           |          |

Material 15260

Závitník M 12 TiN

$v_c = 26,8 \text{ m} \cdot \text{min.}^{-1}$

$n = 710 \text{ ot} \cdot \text{min.}^{-1}$

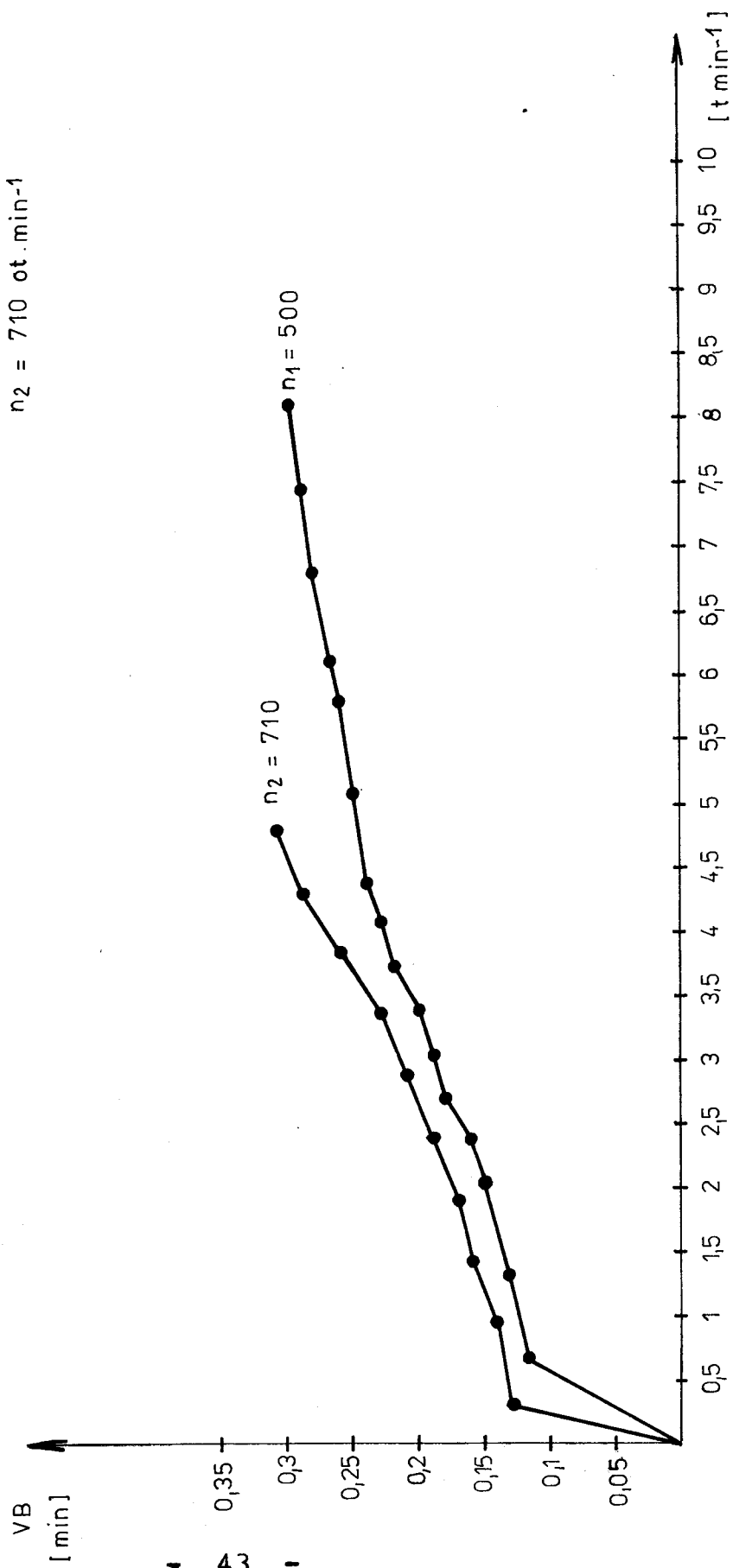
| číslo<br>měření | počet<br>otvorů | opotřebení<br>VB(mm) | čas<br>t(min.) | poznámka |
|-----------------|-----------------|----------------------|----------------|----------|
| 11              | 10              | 0,04                 | 0,24           | zlomen   |
|                 | 17              |                      | 0,41           |          |
| 12              | 10              | 0,05                 | 0,24           |          |
|                 | 20              | 0,07                 | 0,48           |          |
|                 | 30              | 0,09                 | 0,72           |          |
|                 | 40              | 0,10                 | 0,96           |          |
|                 | 50              | 0,12                 | 1,20           |          |
|                 | 60              | 0,14                 | 1,44           |          |
|                 | 70              | 0,15                 | 1,68           |          |
|                 | 80              | 0,17                 | 1,92           |          |
|                 | 90              | 0,19                 | 2,16           |          |
|                 | 100             | 0,21                 | 2,40           |          |
|                 | 110             | 0,23                 | 2,64           |          |
|                 | 120             | 0,25                 | 2,88           |          |
|                 | 130             | 0,26                 | 3,12           |          |
|                 | 140             | 0,27                 | 3,36           |          |
|                 | 150             | 0,28                 | 3,60           |          |
|                 | 160             | 0,31                 | 3,84           |          |

DIAGRAM VB - t

MATERIÁL 14220  
ZÁVITNÍK M12 (NEPOVLAKOVANÝ)

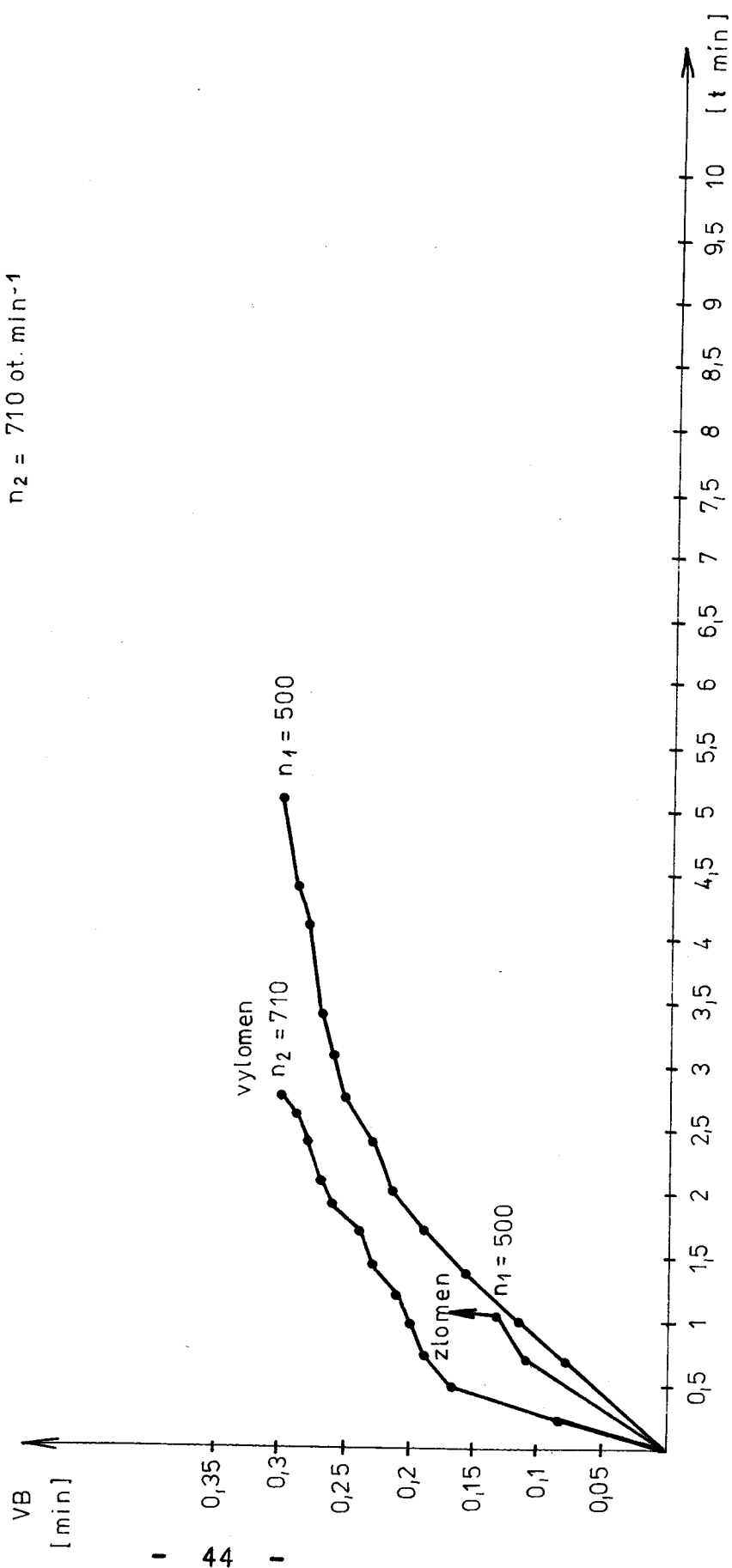
$n_1 = 500 \text{ ot. min}^{-1}$

$n_2 = 710 \text{ ot. min}^{-1}$



# DIAGRAM VB - t

MATERIÁL 14 220  
 ZÁVITNÍK M12 TiN  
 $n_1 = 500 \text{ ot. min}^{-1}$   
 $n_2 = 710 \text{ ot. min}^{-1}$



# DIAGRAM VB-t

MATERIÁL 15 260  
 ZÁVITNÍK M12 [nepovlakovaný]  
 $n_1 = 500 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$   
 $n_2 = 710 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$

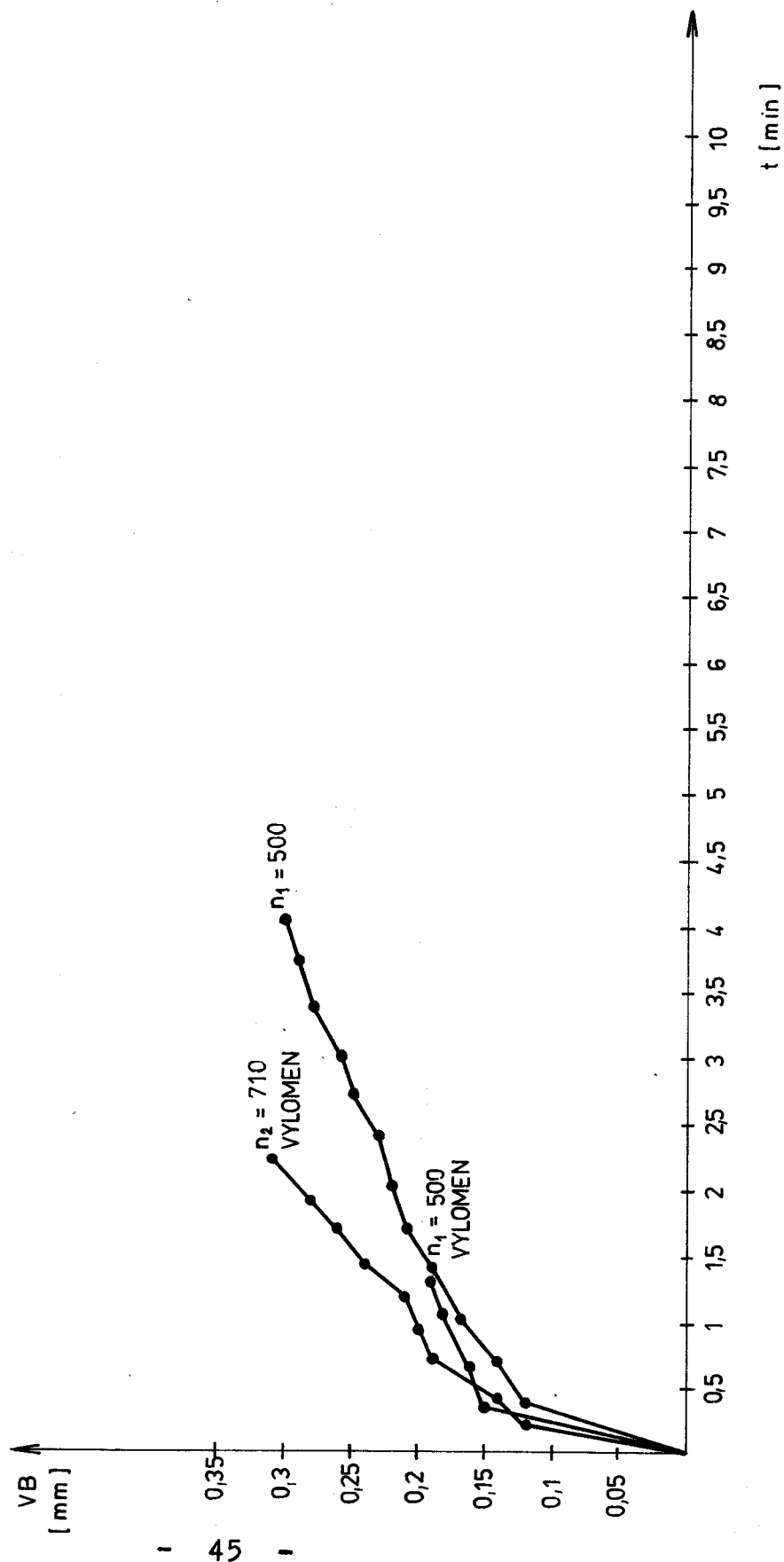
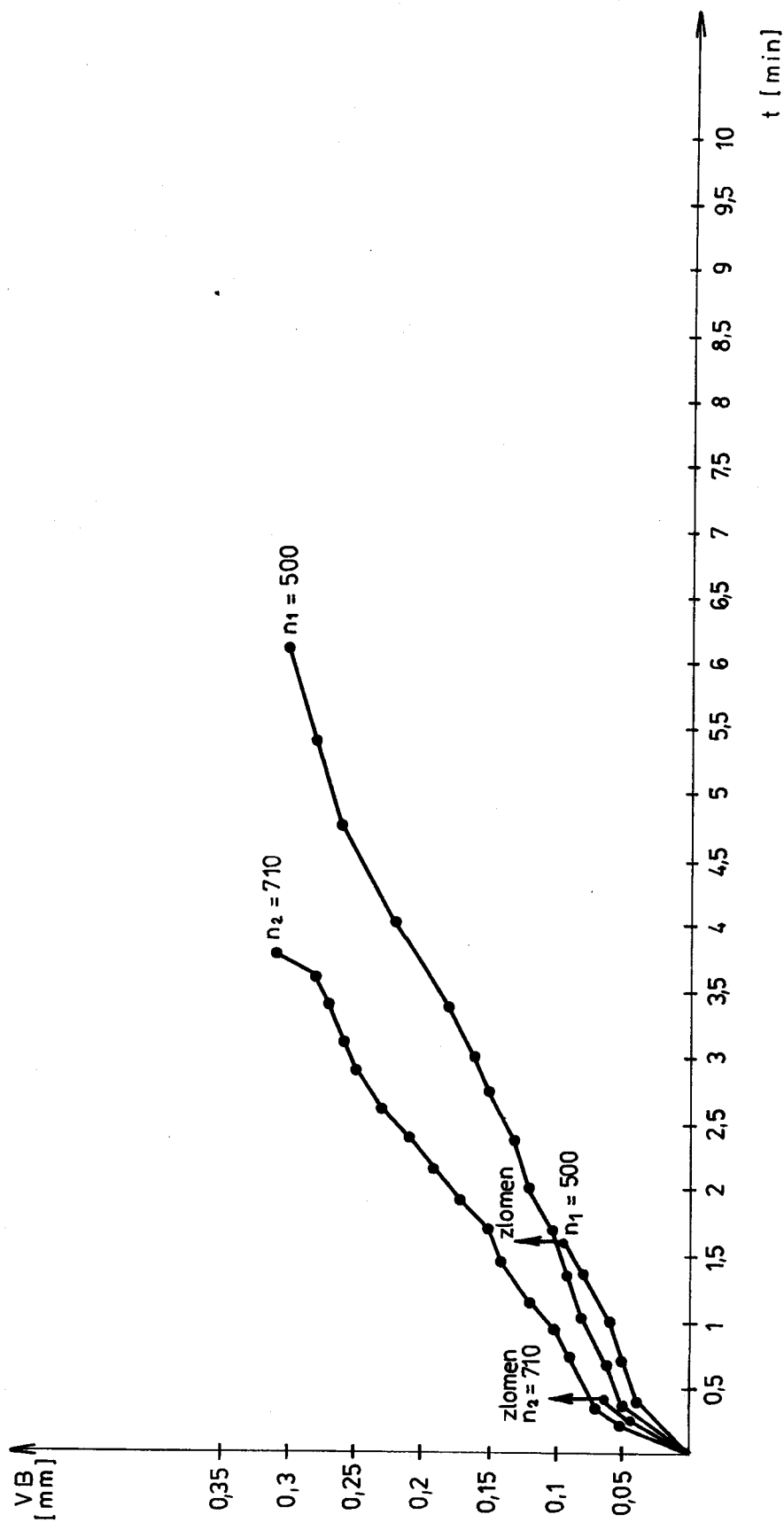


DIAGRAM VB - t

MATERIÁL 15 260  
 ZÁVITNÍK M12 TiN  
 $n_1 = 500 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$   
 $n_2 = 710 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$



# DIAGRAM T - v

MATERIÁL 14220

ZÁVITNÍK M12 ČSN 22 3044

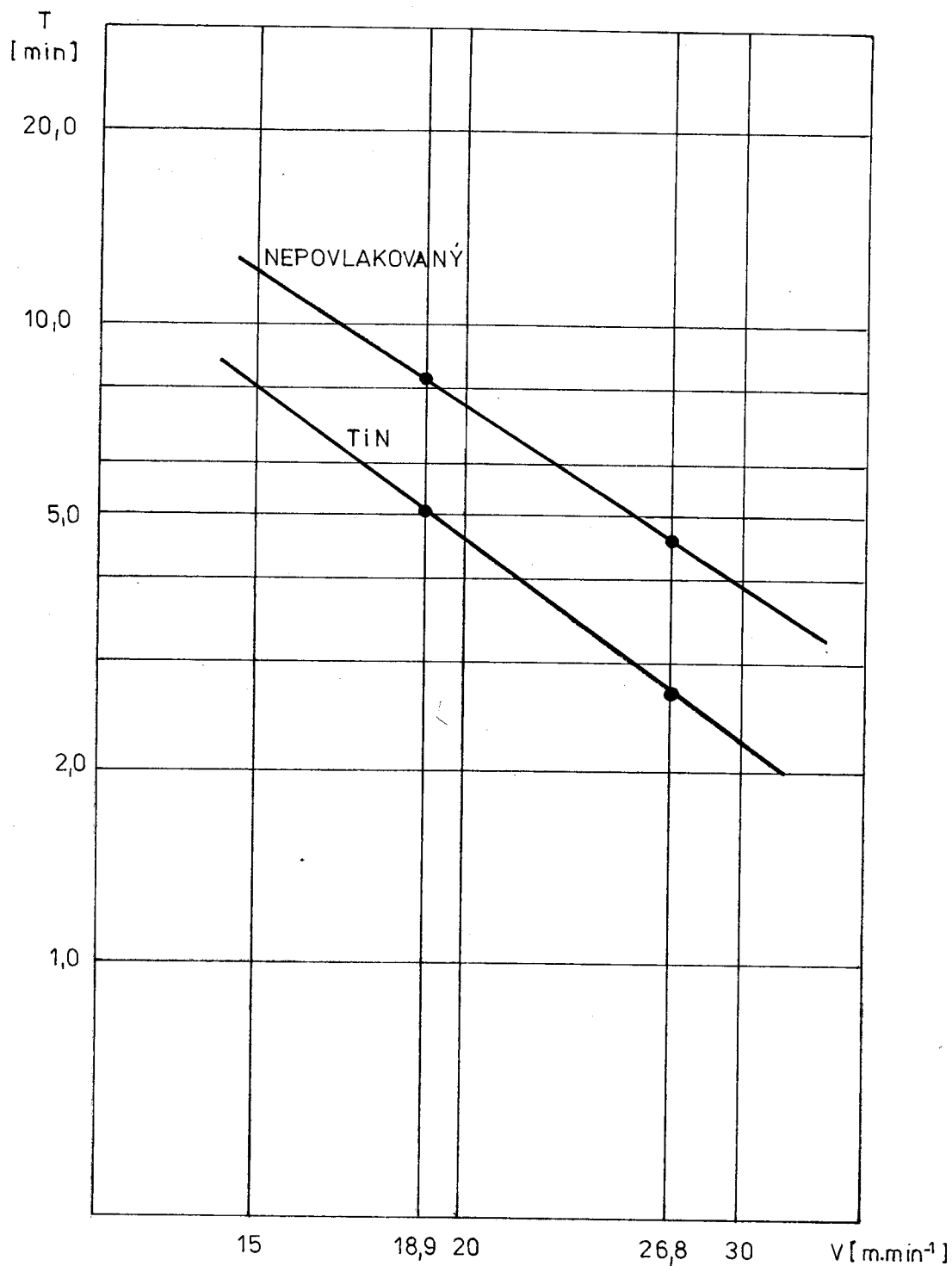
NEPOVLAK.

TiN

$V_{c1} = 18,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

$V_{c2} = 26,8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

|          | T(min) |      |
|----------|--------|------|
|          | Vc 1   | Vc 2 |
| NEPOVLAK | 8,16   | 4,56 |
| TiN      | 5,1    | 2,76 |



# DIAGRAM T - V

MATERIÁL 152 60

ZÁVITNÍK M12 ČSN 22 3044

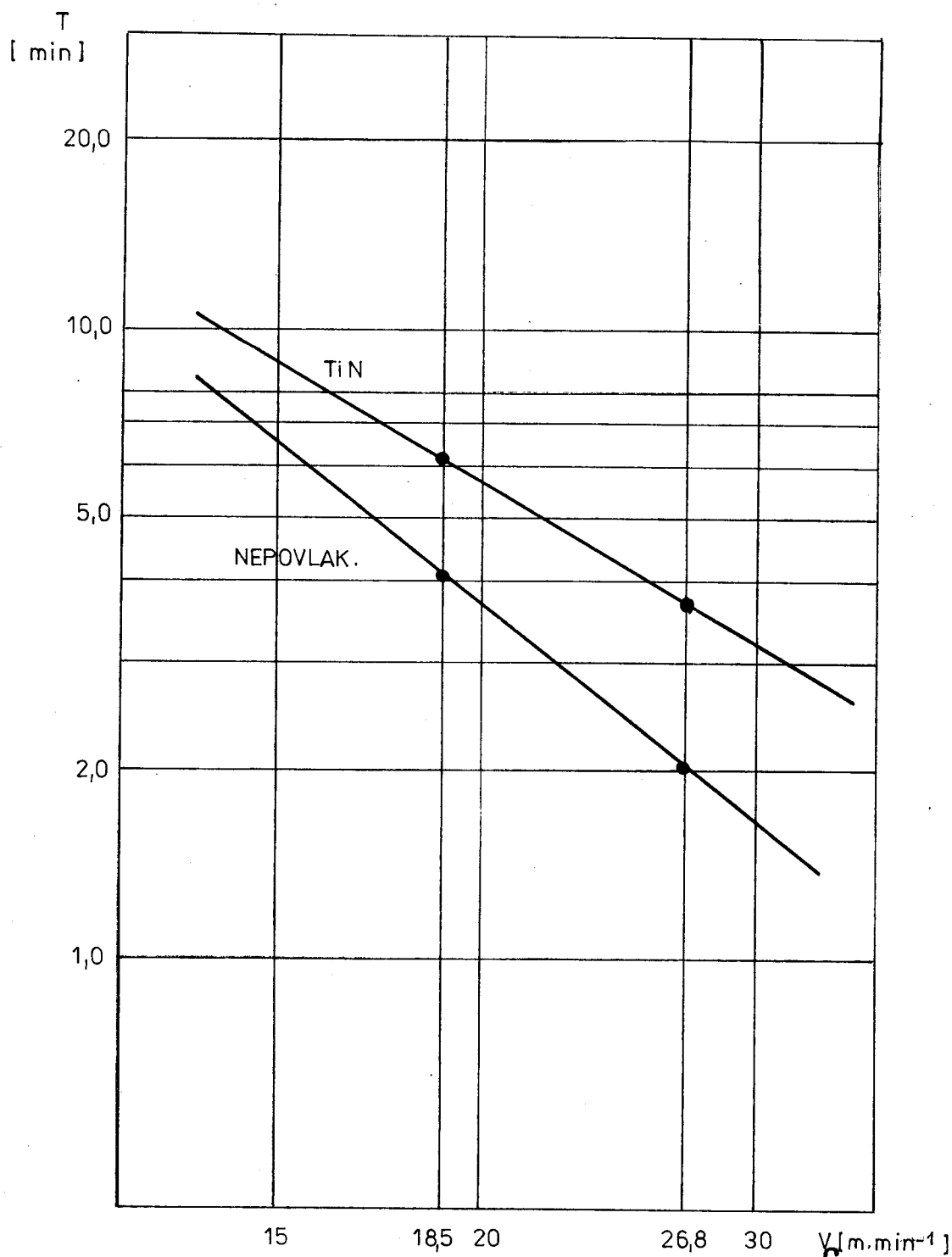
NEPOVLAKOVANÝ

TiN

|          | T(min) |      |
|----------|--------|------|
|          | Vc1    | Vc2  |
| NEPOVLAK | 4,08   | 2,04 |
| TiN      | 6,12   | 3,70 |

$$V_{c1} = 18,9 \text{ m.min}^{-1}$$

$$V_{c2} = 26,8 \text{ m.min}^{-1}$$



#### 4.3. Zhodnocení zkoušek

K základnímu ověření obecných vlastností povlaků řezných nástrojů TiN a tím posouzení jejich životnosti a ekonomické výhodnosti (za předpokladu zaručené jakosti povlaku), je třeba provést v plném rozsahu uvažovaných řezných podmínek značné množství experimentálních funkčních zkoušek. Teprve na základě všech těchto zkoušek, provedených s jednotlivými druhy řezných nástrojů, lze vypracovat celková vyhodnocení a doporučit optimální pracovní režimy příslušného nástroje, a to především ve vztahu obráběný materiál - řezná rychlost. Cílem zadaných a provedených funkčních zkoušek, zpracovaných v této diplomové práci, je vyhodnocení jen dílčí části široké škály zkoušek strojního řezání závitů závitníky, povlakovanými TiN. Jak bylo již uvedeno v předchozích kapitolách, byly řezné zkoušky závitníků prováděny na slitinových materiálech třídy 14 a 15, a to v oblasti vyšších řezných rychlostí. Tyto zkoušky byly prováděny tak, aby mohly být porovnány dosažené výsledky zkoušek závitníků povlakovaných TiN se závitníky nepovlakovanými při shodných technologických podmínkách, tj. na stejném výrobním zařízení, při užití obráběného materiálu stejné jakosti a při shodných řezných rychlostech. Vycházíme-li ze stávajících doporučených řezných rychlostí pro nepovlakované závitníky z rychlořezné oceli jako směrových hodnot, byly pro provedení zkoušek zvolené řezné rychlosti u materiálu jakosti 14220 zvýšeny řádově o 90 - 170%, u materiálu 15260 byly zvýšeny o 380 - 540%. Je třeba mít na zřeteli, že výrazné zvýšení řezných rychlostí s sebou přináší zvýšené namáhání na otěr a teplotní odolnost.

Podrobné vyhodnocení měření je provedeno na základě průběhů závislostí opotřebení - čas a diagramů T-v (diagramy na str. 43 a 48).

Charakteristické průběhy závislostí opotřebení - doba obrábění jsou patrné jen při řezání závitů závitníky nepovlakovanými. U povlakovaných závitníků dochází k prudkému nárůstu opotřebení, až k případnému vylomení břitu nebo k zlomení závitníku, a to přibližně 2x častěji, než u závitníků nepovlakovaných.

Při řezání závitů do oceli jakosti 14220 vykazoval závitník s povlakem TiN nižší řezivost, než závitník nepovlakovaný, při rychlosti  $18,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  1,60krát a při rychlosti  $26,8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  1,65krát.

- Při řezání závitů do oceli jakosti 15260 vykazoval závitník s povlakem TiN vyšší řezivost, než závitník nepovlakovaný, při řezné rychlosti  $18,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  1,50krát a při rychlosti  $26,8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  1,81krát. Podrobný přehled o řezivosti závitníků udává následující tabulka:

| materiál       | závitník              | $v_c$ | hodnocení                       |
|----------------|-----------------------|-------|---------------------------------|
| 14220<br>14220 | M12 TiN<br>M12(nep.)  | 18,9  | nižší řezivost M12 TiN<br>o 60% |
| 14220<br>14220 | M12 TiN<br>M12(nep.)  | 26,8  | nižší řezivost M12 TiN<br>o 65% |
| 15260<br>15260 | M12 TiN<br>M12(nep.)  | 18,9  | vyšší řezivost M12 TiN<br>o 50% |
| 15260<br>15260 | M12 TiN<br>M12 (nep.) | 26,8  | vyšší řezivost M12 TiN<br>o 81% |

## 5. ZÁVĚR

V práci byly porovnány řezivosti nepovlakovaných závitníků M 12 ISO 1 HSS 30 ON 223044 s týmiž závitníky, opatřenými povlakem TiN. Porovnání bylo provedeno za vyšších řezných rychlostí, než doporučují normativy řezných podmínek. Závitníky byly řezány do oceli 14220 a 15260.

Při použití oceli 14220 se závitník s povlakem TiN projevil z hlediska řezivosti jako nevýhodný. Došlo ke snížení řezivosti asi o 60 - 65% u obou řezných rychlostí. Materiál 14220 vyniká vysokou houževnatostí, která je příčinou neúměrného tepelného namáhání a tím i častého poškození závitníků.

U oceli 15260 sice došlo ke zvýšení trvanlivosti asi o 50-80%, avšak vzhledem k opětovnému vylamování, či zalomení závitníků oproti nepovlakovaným a ekonomické náročnosti povlakování, ani zde se nejeví použití závitníků TiN jako výhodnější. Z toho lze předpokládat, že technologický postup povlakování neovlivnil příliš příznivě celkovou houževnatost závitníku i pevnost břitu a pro obrábění ocelí 14220 a 15260 za uvedených řezných rychlostí je nevhodný. Významný vliv na povlakování má dále volba geometrie břitu, tloušťka povlaku TiN, vhodnost použitého materiálu a jeho tepelné zpracování pod povlak TiN, vhodná drsnost a stav povrchu. Optimalizací těchto parametrů bychom měli dojít k dosažení perspektivních výsledků povlakovaných závitníků a řezných nástrojů vůbec. Vytvoření předpokladů pro využití aplikací TiN vrstev v řezném nářadí může tak napomoci dalšímu rozvoji racionalizace a ekonomiky výroby.

### Seznam použité literatury

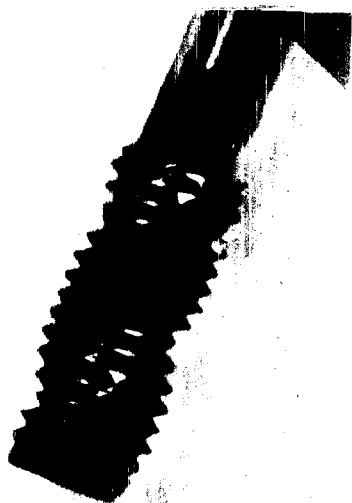
- /1/ Ing. Kvapil, R. - Ing. Bukač, K. - Ing. Gabriel, V. :  
Řezivost závitníků s povlakem TiN (Výzkumná zpráva  
1 - 3) VŠST Liberec
- /2/ Roček, V.: Vývoj povlakování slinutých karbidů  
Strojírenská výroba 1985 č. 4
- /3/ Prof. Ing. Pilous, V. a kol.: Metody nanášení, ana-  
lýza a použití tenkých vrstev na nástrojové materiály  
Strojírenství 1986 č. 12
- /4/ Ing. Dufek, V.: Otěruvzdorné povlaky, jejich význam  
a využití v praxi  
Strojírenství 1987 č. 3
- /5/ Ing. Šlár, I. - Novák, L.: Povlakované nástroje ve  
velkoseriové výrobě  
Strojírenská výroba 1988 č. 3
- /6/ Ing. Průšek, A.: Technologie vytváření tenkých otěru-  
vzdorných vrstev na povrchu nástroje  
Přednáška VŠST Liberec
- /7/ Ing. Pluhař, J. - Koritta, J.: Strojírenské materiály
- /8/ Ing. Černochoch, S.: Strojně technická příručka

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Vladimíru Gabrielovi za metodické vedení a cenné informace, které mi poskytl při vypracování této diplomové práce.

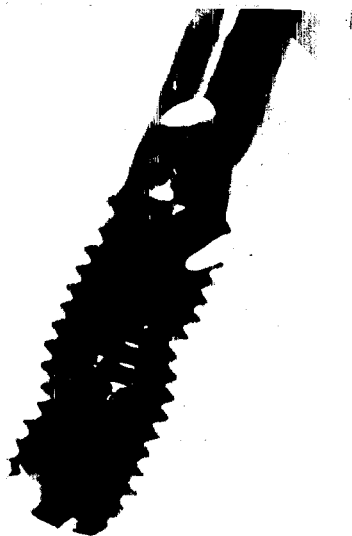
Dále děkuji pracovníkům vývojových dílen KOM za poskytnuté rady v praktické části práce.

*Lukáš Havlas*

Lukáš Havlas



a) Závítník M 12 - ISO 1  
HSS 30 ON 223044  
nepovlakovaný



b) Závítník M 12 - ISO 1  
HSS 30 ON 223044  
povlakovaný TiN

Obrazová příloha použitých závitníků