



## **Středoškolská technika 2019**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

# **ANALÝZA POVLAKOVANÝCH POVRCHŮ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ**

**Jakub Chlaň, Matouš Hyk, Lukáš Procházka**

Sřední škola elektrotechniky a strojírenství  
Jesenická 1 106 00 Praha 10 - Záběhlice

## **ANOTACE**

Projekt s názvem „Analýza povlakovaných povrchů rezných nástrojů“ je cílem představit tři metody povlakování. Teoretická část se zabývá popisem metod CVD, PACVD, PVD. V praktické části jsou prezentovány povlakované obráběcí nástroje.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Povlakování, napařování, naprašování, CVD, PACVD, PVD

## **ANNOTATION**

The project entitled "Analysis of Coated Cutting Surfaces" aims to present three coating methods. The theoretical part deals with the description of CVD, PACVD, PVD methods. The practical part presents coated machining tools.

## **KEYWORDS**

Coating, fomentation, Sputtering, CVD, PACVD, PVD

## Obsah

Úvod .....	4
Povlakování .....	4
Metoda CVD .....	5
Princip.....	5
Shrnutí .....	6
Výhody.....	6
Nevýhody.....	6
Použití.....	6
Metoda PVD .....	7
Rozdělení způsobu povlakování PVD.....	7
Shrnutí .....	7
Výhody.....	7
Nevýhody.....	8
Použití.....	8
Metoda PACVD.....	9
Aplikace .....	9
Shrnutí .....	9
Výhody.....	9
Nevýhody.....	10
Použití.....	10
Závěr .....	11
Zdroje: .....	12

# Úvod

Tato práce pojednává o představení třech způsobů povlakování, kterými jsou chemické povlakování (CVD), fyzikálním povlakováním (PVD), chemické povlakování s pomocí plazmy (PACVD). U jednotlivých metod jsou popsány principy depozice, výhody a nevýhody. V práci se také zabýváme použitím povlakovaných vrstev v praxi.

## Povlakování

Povlakování neboli depozice je nanesení vrstvy materiálu na nástroj. Vrchní vrstva povlaku působí, jako chemická a tepelná bariéra mezi řezným nástrojem a obrobkem, zvyšuje odolnost proti opotřebení řezného nástroje a zabraňuje deformaci břitu v důsledku nadměrného zahřívání.

Faktory ovlivňující účinnost povlaku:

- zvolená metoda
- tloušťka
- tvrdost
- chemické složení
- adheze povlaku na substrát
- krystalická struktura
- chemická a tepelná stabilita
- modul pružnosti
- lomová houževnatost
- odolnost proti opotřebení
- tepelná vodivost
- difuzní stabilita
- geometrie nástroje

Pro povlakování se používají různé metody, které jsou založené na fyzikálních nebo chemických principech. Je to metoda CVD, PVD, PA CVD.

## Metoda CVD

Povlakovací metoda CVD - Chemical Vapour Deposition umožňuje depozici rozmanitých vrstev kovů a různých chemických sloučenin v krystalickém či amorfním stavu, jež jsou vysoce čisté a mají požadované vlastnosti.

### Předdepoziční přípravy:

- úprava řezných hran
  - pískováním
  - omíláním
- chemické čištění substrátu
- iontové čištění substrátu
- v případě redepozice tenké vrstvy předchází pochodem 1 - 3 tzv. stripping - odpovlakování substrátu

Všechny procesy mají vliv na adhezi.

### Princip

Při CVD procesu jsou nástroje umístěny v hermeticky uzavřeném reaktoru ve směsi plynů. Zdrojový materiál pro růst vrstvy se do komory přivádí v plynné fázi a po vyhřátí atmosféry a substrátů na teplotu cca 1000°C dochází k zahájení chemické reakce a růstu vrstvy. Přiváděný plyn také obsahuje i nosný plyn (Ar, H<sub>2</sub>), který dopravuje danou směs plynů k povlakované ploše a ovlivňuje rychlost růstu povlaku. Vytvářejí se povlaky jako karbid titanu (TiC), nitrid titanu (TiN), karbonitrid titanu (TiCN), oxid hlinitý (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) a jiné.

Použití této metody je omezeno vysokou teplotou, při které může dojít k degradaci základního materiálu. Proto se metoda CVD používá především k depozici povlaků na nástroj ze SK.

CVD proces je ekonomicky výhodný a je také vhodný k povlakování těžko přístupných dutin a drážek. Lze vytvářet povlaky s vysokou hustotou, teplotní stabilitou, vynikající adhezí k substrátu a rovnoměrnou tloušťkou u tvarově složitých nástrojů. Je možno také vytvářet poměrně složité vrstvy (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, uhlíkové kluzné vrstvy, diamantové vrstvy).

Nevýhodou metody je vysoká energetická náročnost. Je to dané samotným principem dané metody, tj. dlouhý pracovní cyklus (8 až 10 hodin) a tahová pnutí ve vrstvě (rozdílný koeficient tepelné roztažnosti). Dalším problémem je zaoblování řezných hran při povlakování.

## Shrnutí

- teplota nanášení 900 - 1000 °C
- tloušťka povlaku 5-20 μm
- tvrdost 2000 HV
- kalení a popouštění po povlakování

## Výhody

- povlakování dutin
- povlakování průchozích a neprůchozích otvorů o velké štíhlosti
- pro vysoce výkonné nástroje s vysokými nároky na abrazivní odolnost
- složité vrstvy nitridu kovů, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, diamantů, kovových prvků (např. TiAlN)
- možnost vytvoření vrstvy z několika kovových prvků
- nízké pořizovací náklady

## Nevýhody

- nutno zušlechťovat ocelové nástroje až po povlakování

## Použití

- obráběcí břitové destičky
- nástroje pro tváření
- zápustky
- vytlačovací či trimovací formy
- různé mechanické díly podléhající abrazivnímu nebo korozivnímu prostředí

## Metoda PVD

PVD je zkratka anglických slov Physical Vapour Deposition, neboli fyzikální napařování nebo naprašování materiálů obsažených v povlaku (Ti, Al, Si, Cr aj.), ionizaci a jejich následné nanesení na nástroje.

Metoda je charakteristická nízkými pracovními teplotami (pod 500 °C). Byla původně vyvinuta pro povlakování nástrojů z rychlořezné oceli, které mají nižší pracovní teplotu. Je ekologicky nejšetrnější metodu depozice vrstev, neboť se zde nepoužívají žádné nebezpečné materiály a při procesu depozice se neuvolňují žádné toxické látky.

Tato metoda umožňuje nanesení 2µm tenkých vrstev, které mají vynikajících fyzikálními i chemickými vlastnostmi. Nejčastějšími prvky povlaku jsou TiN - nitrid titanu a TiAlN - titan-aluminium nitrid. TiN vyniká houževnatostí, vysokou tvrdostí a je vhodný pro razníky, střížníky, tažníky stejně jako pro vrtáky, frézy a ostatní řezné nástroje. Vysoce otěruvzdorný TiAlN lze použít při suchém obrábění vysokými rychlostmi a posuvy.

### Rozdělení způsobu povlakování PVD

- Povlakování metodou PVD se dělí do dvou základních skupin (naprašování a napařování)
- Nanášený materiál se spojuje s podkladem na molekulární bázi
- Po napařování mají povlaky jiné vlastnosti než po naprašování, Jde o tvrdost, strukturu, přilnavost, čistotu, chemickou odolnost, tepelnou odolnost a další.

## Shrnutí

- teplota pod 500 °C
- povlakovaná vrstva nejčastěji 2-5 µm
- na principu fyzikálního napařování nebo naprašování
- ekologicky nejšetrnější metoda

## Výhody

- Nízké tření
- Vysoká tvrdost
- Odolnost vůči otěru
- Odolnost vůči vysoké teplotě

- Odolnost proti korozi i kyselinám
- Vysoká produktivita

## **Nevýhody**

- komplikovaný vakuový systém povlakovacího zařízení
- nutnost důkladného odmašťování a čištění povrchu před povlakováním
- směrový účinek povlakování – nutnost neustálého pohybu povlakovaných předmětů při povlakování.

## **Použití**

- Poslední krok ve výrobě nástrojů – bez ztráty houževnatosti, deformací, nebo ovlivnění mikrostruktury oceli
- Obrábění reznými nástroji,
- tvářecí technika
- Zpracovávání plastů



## Metoda PACVD

Technologie PACVD - Chemická depozice vrstev za asistence plazmatu - (Plasma Asisted Chemical Vapour Deposition). Metoda PACVD je povlakování nástrojů při mnohem nižších teplotách než u metody CVD. Plazmou aktivovaný CVD proces umožňuje snížit teplotu potřebnou pro vznik vrstvy na 470–530 °C

### Plazma

Plazmu lze vytvořit pomocí vnějšího elektrického napájecího zdroje (nízkofrekvenční střídavé napětí, vysokofrekvenční střídavé napětí, stejnosměrné napětí, pulzní stejnosměrné napětí) nebo reaktivním plynem (např. čpavek  $\text{NH}_3$ ).

### Aplikace

Zařízení na povlakování metodou PACVD umožňuje jak samotné povlakování, tak i nitridaci a iontové čištění povrchů. Po ustálení na procesní teplotě probíhají následující operace:

1. **Iontové čištění povrchu** – kladně nabitě ionty procesního plynu dopadají na povrch substrátu, kde jsou zakotveny atomy nečistot. Předáním vysoké kinetické energie iontů (cca 10 eV) dojde k vyražení nečistot z povrchu materiálu.
2. **Plazmová nitridace povrchu** – provádí se pro zlepšení adheze povlaku a základního materiálu. V případě speciálních aplikací je možné realizovat hlubokou nitridaci dle požadavku zákazníka (tzv. duplex).
3. **Nanesení povlaku** – v plazmě vznikají kladně nabitě molekuly ( $\text{Ti}^+$ ,  $\text{N}^+$  atd.), které se vyloučí na záporně nabitěm polotovaru. Cíleným řízením procesu vzniknou vrstvy v požadovaném složení a se žádanými vlastnostmi.

## Shrnutí

- povlakovací teplota 450 - 550 °C
- max. tloušťka povlaku 4  $\mu\text{m}$
- tvrdost 2000 - 2600 HV
- konečné tepelné zpracování před povlakováním
- plazmová nitridace

## Výhody

- vysoká odolnost proti nalepování barevných kovů a plastů
- nízký koeficient tření;
- výborné tribologické vlastnosti;

- snížené opotřebení;
- žádné změny v mikrostruktuře a rozměrech;
- snížení spotřeby mazadel a separátorů;
- snížení přilnavosti hliníků, mědi a jiných barevných kovů na povrch nástroje
- zvýšení odolnosti proti tepelné únavě
- vysoká životnost nástrojů
- umožňuje povlakování rozměrných a těžkých kusů až do hmotnosti 1 250 kg.

## **Nevýhody**

- vysoká teplota povlakování pro některé nástrojové oceli
- omezené množství typů povlaků

## **Použití**

- Povlakování dutin
- Povlakování průchozích a neprůchozích otvorů o velké štíhlosti
- Řezné a obráběcí nástroje
- Tvářecí
- Lisovací
- Vstřikovací nástroje
- Komponenty
- Automobilový průmysl
- Letecký průmysl
- Lékařství
- Dekorace

## Závěr

Projekt „Analýza povlakovaných povrchů řezných nástrojů“ popisuje způsob povlakování povrchu řezných nástrojů, podrobně vysvětluje rozdílné principy jednotlivých metod deponitace, jejich výhody, nevýhody a jejich použití.

V praktických ukázkách se budeme věnovat prezentaci obráběcích nástrojů povlakovaných různými způsoby. Porovnáme jejich povrch z hlediska barvy, chemického složení a různých fyzikálních, mechanických a technologických vlastností.

## Zdroje:

- <https://www.mmspektrum.com/clanek/povlakovani-nastroju-metodou-pacvd.html>
- [https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/13844/mod\\_resource/content/1/5.%20POVLAKOV%C3%81N%C3%8D.pdf](https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/13844/mod_resource/content/1/5.%20POVLAKOV%C3%81N%C3%8D.pdf)
- <https://www.mmspektrum.com/clanek/novinky-v-pvd-povlakovani.html>
- [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=102944](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=102944)
  
- [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=6370](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6370)