



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## ZVYŠOVÁNÍ ŽIVOTNOSTI STŘIŽNÍKŮ POVLAKOVÁNÍM

INCREASING THE LIFE OF BLANKING PUNCH BY COATING

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Šplíchal

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2017

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Jan Šplíchal**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**  
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Zvyšování životnosti střížníků povlakováním

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o zpracování literární studie možností prodloužení životnosti střížníků z oceli 19436 ve spolupráci s firmou Siemens. Rešerše bude obsahovat rozbor možností, principy, výhody a nevýhody. Součástí práce bude i praktické měření tvrdosti se zhodnocením.

### Cíle bakalářské práce:

- provést průzkum vhodných metod pro zvyšování životnosti střížníků
- popsat principy
- zhodnotit využitelnost a problémy
- provést měření tvrdosti dodaných vzorků

### Seznam doporučené literatury:

HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

SCHULER GMBH. Handbuch der Umformtechnik. Berlin Heidelberg: Springer, 1996, 565 s. ISBN 35-406-1099-5.

SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ a Zdeněk LIDMILA. Speciální technologie tváření. vydání 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010-2011, 2 sv. , 134, 155 s. ISBN 978-80-214-4406-52.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření. Brno: RVO VA, 1994. 214 s.

KOTOUČ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Luděk MÁDLE. Tvářecí nástroje. vydání první. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993, 349 s. ISBN 80-010-1003-1.

STANĚK, Jiří. Základy stavby výrobních strojů: Tvářecí stroje. 1. vydání. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2001. ISBN 80-7082-738-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

ŠPLÍCHAL Jan: Zvyšování životnosti střížníků povlakováním.

---

Práce předkládá možné metody vedoucí ke zvýšení životnosti střížných nožů vyrobených z oceli 19 436 určených ke stříhání statorových a rotorových plechů z křemíkové oceli. Tyto plechy se vyznačují vysokou tvrdostí, což negativně působí na ostří střížníků. Experimentálním měřením tvrdosti na dodaných vzorcích bylo ověřeno stávající tepelné zpracování na povrchu a uvnitř střížníku. Naměřená hodnota 62 HRC odpovídá vstupním požadavkům. Na základě literární studie byla jako nejvhodnější metoda zvolena kombinace chemicko – tepelného zpracování a povlakování. Z důvodu zachování mikrostruktury střížníku vzniklé po tepelném zpracování bylo nutné povlak nanést pomocí fyzikálního napařování, které se vyznačuje nízkými teplotami depozice. Povlak s označením FeinAl se bude aplikovat pomocí katodového obloukového napařování a je primárně určen k ochraně tvářecích a střížných nástrojů.

Klíčová slova: Střížní nástroj, ocel 19 436, životnost, katodové obloukové napařování

## **ABSTRACT**

ŠPLÍCHAL Jan: Increasing the life of blanking punch by coating.

---

This Bachelor thesis presents possible methods for increasing the lifespan of cutting tools made of steel 19 436 designed for cutting stator and rotor plates made of silicon steel. These sheets are characterized by high hardness, which adversely affects the edges of the scissors. Experimental hardness measurement on delivered samples has verified the actual heat treatment on the surface and inside the scraper. The measured value 62 HRC corresponds to the input requirements. Based on the literature study, a combination of chemical – heat treatment and coating was chosen as the most appropriate method. In order to preserve the microstructure of the punch produced after the heat treatment, it was necessary to apply the coating by physical vapor deposition, which is characterized by low deposition temperatures. The FeinAl coating will be applied by cathodic arc deposition and is primarily designed to protect tools and cutting tools.

Keywords: Cutting tool, steel 19 436, lifespan, cathodic arc deposition

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Šplíchal, Jan. *Zvyšování životnosti střížníků povlakováním*. Brno, 2017. 30s, 1 příloha, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V ..... dne 26.5.2017

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce, panu Vojtěchu Řiháčkovi za ochotu a pomoc při měření tvrdosti a společnosti Siemens za poskytnutí podkladů a materiálů. Dále bych chtěl poděkovat svojí rodině za podporu během studia.

## OBSAH

Zadání  
Abstrakt  
Bibliografická citace  
Čestné prohlášení  
Poděkování  
Obsah

	Str.
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 ROZBOR ZADANÍ</b> .....	<b>10</b>
1.1 <b>Varianty zvýšení životnosti</b> .....	16
1.1.1. Tepelné zpracování .....	16
1.1.2. Chemicko – tepelné zpracování .....	17
1.1.3. Povlakování.....	19
<b>2 PŘEDPOVRCHOVÉ ÚPRAVY NÁSTROJE</b> .....	<b>23</b>
2.1 <b>Mechanické úpravy povrchu</b> .....	23
2.2 <b>Chemické úpravy povrchu - odmašťování</b> .....	25
<b>3 POVLAK FEINAL</b> .....	<b>27</b>
3.1 <b>Katodové obloukové napařování</b> .....	27
<b>4 ZÁVĚRY</b> .....	<b>30</b>

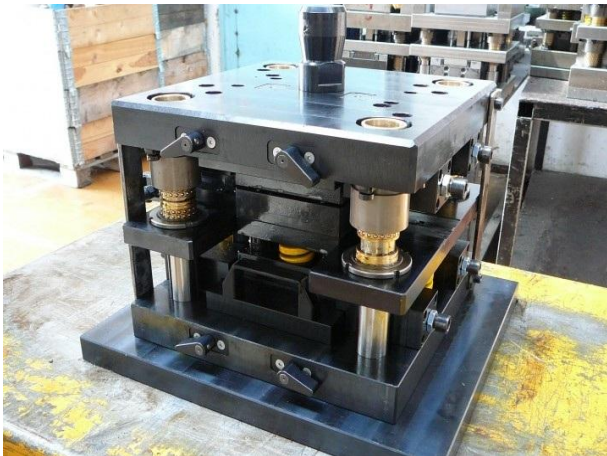
Seznam použitých zdrojů  
Seznam obrázků  
Seznam tabulek



## ÚVOD [2; 3; 10; 56; 57; 63; 64; 65]

Při každém výrobním procesu je nedílnou součástí dělení polotovaru, ze kterého je výsledný výrobek vyroben. Metod k dělení materiálu je velká řada, avšak jedna vystupuje z řady díky své vysoké produktivitě a nízké ekonomické zátěži. Jedná se o proces stříhání, který je definován dvojicí nástrojů střížník – střížnice a spadá do jednoho z nejdůležitějších a velmi rozšířených procesů strojírenské technologie. Nože střížného nástroje (obr. 1) patří k nejvíce namáhaným součástem. Z tohoto hlediska dochází u těchto nástrojů k zlepšování vlastností materiálu, které se po aplikaci na nástroj a následném zavedení do výrobního procesu projeví nejen lepší odolností vůči opotřebení, ale také zvýšenou produktivitou, efektivitou a v neposlední řadě zvýšenou ekonomikou výroby.

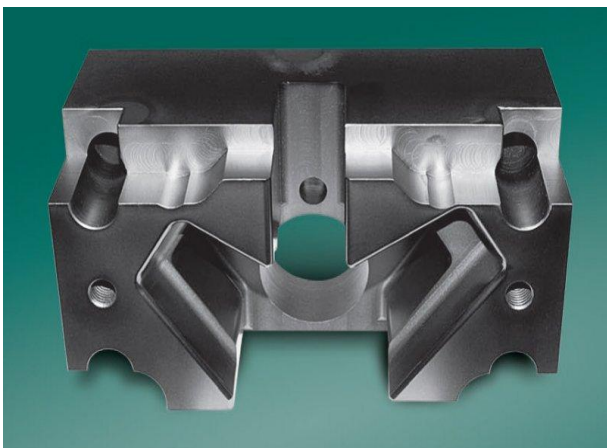
Možností ke zlepšení životnosti nástroje je několik. Nejjednodušším způsobem je výměna materiálu, ze kterého je daný nástroj vyroben. Zmíněný krok je však doprovázen velkým zvýšením pořizovací ceny s neodpovídajícím nárůstem životnosti, který by z hlediska stále rostoucí náročnosti byl i tak nedostačující. Další variantou je tepelné nebo chemicko-tepelné zpracování. Nejmodernějším způsobem je metoda povlakování, což je nanesení ochranného povlaku na povrch nástroje, který posouvá hranice využitelnosti velkým krokem vpřed. Metoda je využívána zejména u řezných nástrojů jako jsou soustružnické nože, břitové destičky (obr. 2) a frézy, ale díky svým výborným vlastnostem získává zastoupení i u vstřikovacích forem pro plasty (obr. 3), lisovacích nástrojů (obr. 4) a dalších tvářecích technologií.



Obr. 1 Střížný nástroj [63]



Obr. 2 Břitová destička [57]



Obr. 3 Forma pro plasty [64]



Obr. 4 Lisovací nástroj [65]

## 1 ROZBOR ZADANÍ [4; 5; 7; 12; 13; 14; 49; 50; 51; 55; 58; 68; 82]

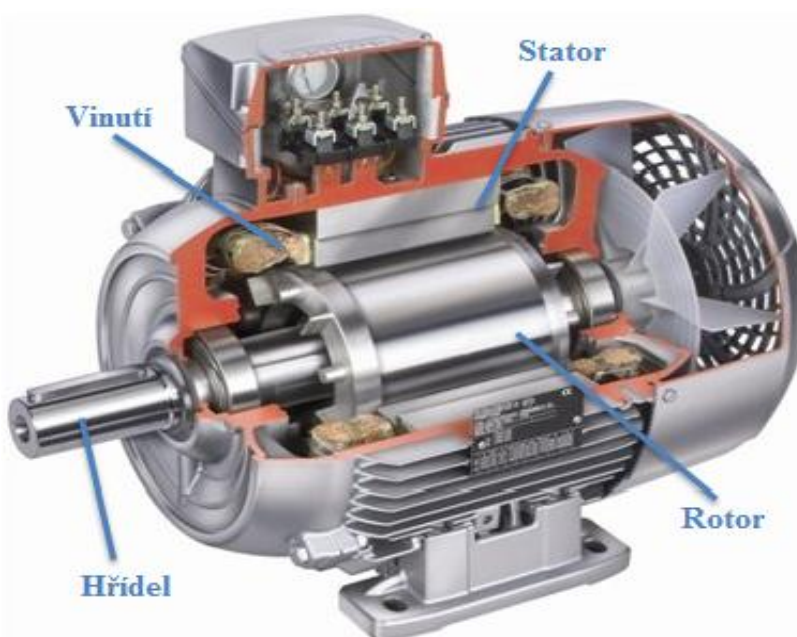
Při výrobě elektromotorů a generátorů je velmi důležitou součástí stator a rotor, který je složen z vrstvených plechů opatřených drážkami. Pro vytvoření těchto drážek je využívána metoda konvenčního stříhání dvojicí nástrojů – střížník, střížnice. Střížné nástroje patří mezi velmi zatěžované součásti, což se projevuje degradací jejich ostří. Tento problém řeší firma Siemens Electric Machines s.r.o. v Drásově.

Společnost Siemens Electric Machines s.r.o. (obr. 5) v Drásově vyrábí synchronní generátory do 25 MVA a synchronní a asynchronní motory do výkonu 20 MW. Historie závodu sahá více jak 100 let do minulosti, během kterých prošel řadou změn, ale výroba motorů zde probíhala stále. Roku 1994 byl závod odkoupen firmou Siemens. Založení SEM Drásov Siemens Electric Machines s.r.o. proběhlo v roce 2001 a v roce 2006 došlo ke změně názvu na Siemens Electric Machines s.r.o. Pod tímto názvem firma vystupuje dodnes a stále se posouvá vpřed ve vývoji a výrobě. Závod má 650 zaměstnanců, kteří za rok navrhnu a vyrobí v průměru 350 strojů, z nichž převážná většina jde na export do zemí Evropy, Ameriky a Asie. Stroje z tohoto závodu se využívají na největších dopravních a výletních lodích světa, dále ve vlacích, na ropných plošinách a v průmyslu.



Obr. 5 Siemens Electric Machines s.r.o. [68]

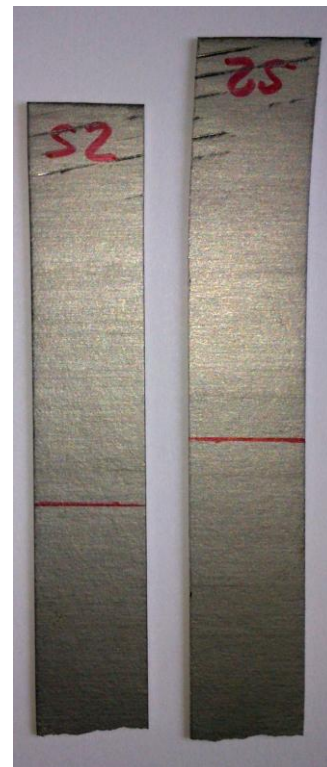
Elektrické točivé stroje využívají elektromagnetického principu ke změně elektrické energie v mechanickou (motory) nebo mechanické energie v elektrickou (generátory). Základními konstrukčními prvky těchto strojů jsou stator, rotor a vinutí. U asynchronního motoru (obr. 6) je stator složen z vrstvených plechů tvaru mezikruží, které jsou opatřeny drážkami na vnitřním obvodu. Těmito drážkami je obvykle vedeno třífázové vinutí. Statorové plechy mívají tloušťku 0,5 - 1 mm a jsou od sebe vzájemně izolovány lakem. Rotor je také složen z vrstvených plechů tvaru mezikruží. Tyto plechy jsou na vnější straně opatřeny drážkami, kterými je vedeno vinutí rotoru (kotva). Vnitřkem prochází hřídel.



Obr. 6 Asynchronní motor [13]

Statorové a rotorové plechy musí být z křemíkové oceli, neboť křemík zvětšuje rezistivitu materiálu. Díky tomu dochází u elektrických strojů ke snížení ztrát vlivem vířivých proudů. Zároveň však dochází ke zvýšení tvrdosti tohoto materiálu, což se projeví zhoršenou zpracovatelností. Vlivem tohoto negativního jevu dochází při stříhání ke zrychlenému opotřebení střížných hran.

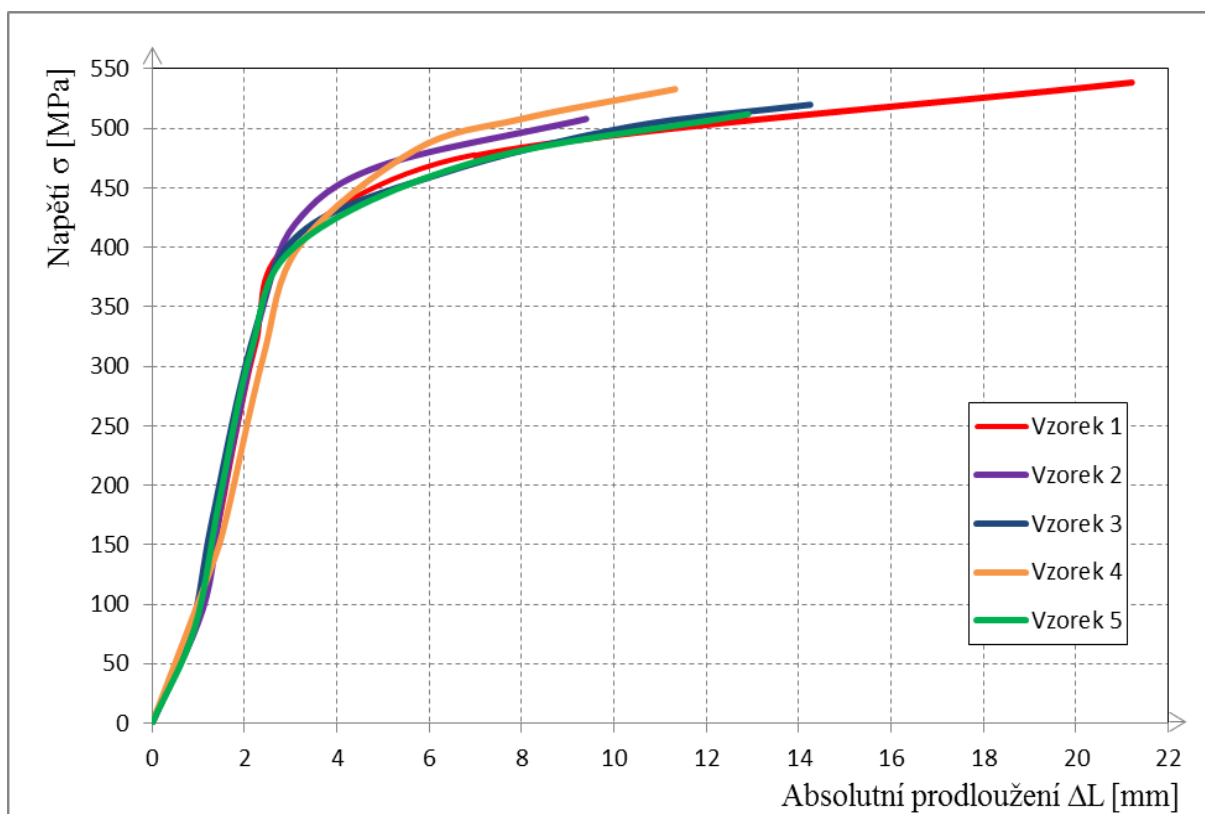
K zjištění materiálových charakteristik byl poskytnut vzorek plechu z křemíkové oceli, který byl následně rozdělen do pěti zkušebních vzorků. Díky tomu mohla být provedena zkouška tahem, z které byly získány výstupní informace o stříhaném plechu, jako je tažnost, mez pevnosti a smluvní mez kluzu, které jsou zaznamenány v tabulce 1. Z této tabulky je jasně patrné, že materiálové charakteristiky jednotlivých vzorků jsou dosti odlišné. Největší rozdíl vykazuje srovnání tažnosti prvního vzorku se vzorkem druhým. Procentuální rozdíl dosahuje téměř 70 %. Tento rozdíl lze vysvětlit nehomogenním rozložením křemíku ve struktuře. Průběh tahové zkoušky všech pěti vzorků je zaznamenán na tahovém diagramu (obr. 8). Příklad přetrženého vzorku je zachycen na obrázku 7.



Obr. 7 Přetržený vzorek

Tab. 1 Tahová zkouška křemíkové oceli

	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4	Vzorek 5
R <sub>m</sub> [MPa]	535,71	496,64	520	501,17	511,97
R <sub>p0,2</sub> [MPa]	415,23	404,77	387,38	381,67	385,51
A [%]	11,25	3,75	6,25	4,38	4,38



Obr. 8 Tahový diagram

Zkouška tahem byla provedena na hydraulickém stroji ZD40/400kN (obr. 9) od firmy HBN, který umožňuje provádět tahové, tlakové i ohybové zkoušky s nastavením rychlosti zatěžování. Měřicí rozsah zatížení je 8 – 400 kN a rozsah měření dráhy 0 – 280 mm. Příčnick je vybaven inkrementálním délkovým snímačem polohy s rozlišením 0,01 mm a snímačem síly. Veškeré informace jsou zpracovány řídicí jednotkou EDC 60 s následným zaznamenáním výsledku tahové zkoušky v softwaru M-TEST v.1.7.

Ve firmě Siemens je pro dělení materiálu využívána dvojice nástrojů střížník - střížnice vyrobených z nástrojové vysokolegované oceli 19 436 (X210Cr12, 1.2080), jejíž chemické složení je zachyceno v tabulce 2. Z chemického složení je zcela evidentní, že se jedná o vysokolegovanou chromovou ledeburitickou ocel. Základním legovacím prvkem je chrom.

Tato ocel je určena pro stříhání za studena. Při stříhání je nástroj namáhán zejména tlakem, ohybem, stříhem, popřípadě rázem. Krom těchto negativních jevů působí na břit také otěr, tudíž další potřebnou vlastností materiálu, je schopnost odolávat proti adhezivnímu a abrazivnímu opotřebením. Při výrobě velmi přesných výstřížků je na nástroj kladen důraz na co možná nejmenší změnu rozměru po tepelném zpracování.



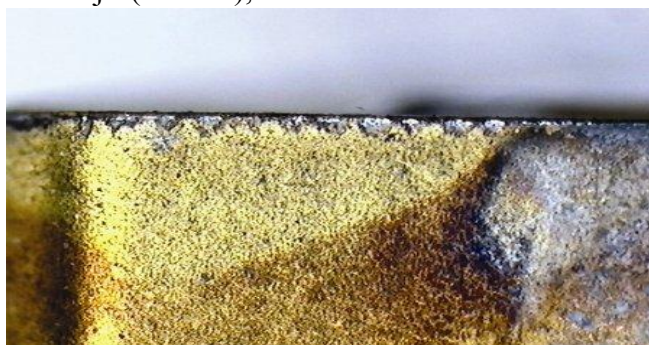
Obr. 9 ZD40/400kN

Tab. 2 Chemické složení oceli 19 436 [4]

	Chemické složení oceli v procentech						
	C	Mn	Si	P (max)	S (max)	Cr	Ni (max)
19 436	1,80 - 2,05	0,20 - 0,45	0,20 - 0,45	0,03	0,035	11,0 - 12,5	0,50

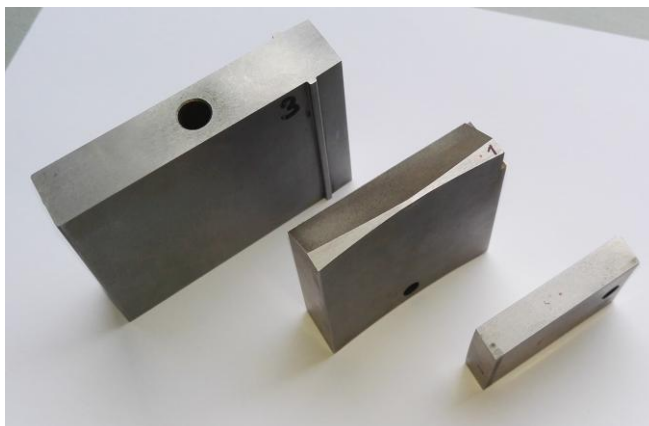
Namáhání nástroje je závislé na druhu, tloušťce a pevnosti stříhaného materiálu. Otěru jsou více vystavovány nástroje, které slouží pro stříhání slabých a tvrdých materiálů. Naopak houževnatost nástroje je vyžadována u stříhání silných materiálů. Vysoký obsah chromu v této oceli způsobí větší odolnost proti popouštění. To je nezbytně nutné u nástrojů, které pracují při pokojové teplotě (za studena), neboť při vyšší zátěži se jejich teplota může vyšplhat přes hranici 300 °C.

Při opakovaném cyklickém namáhání hrozí nebezpečí vzniku trhlinek a vyštipování mikroobjemů funkčních hran nástroje (obr. 10), což má za následek snižování jejich životnosti. Tomuto jevu lze zabránit rovnoměrnou a homogenní strukturou bez shluku karbidů, které dosáhnou dobrým protvářením výchozího polotovaru pro výrobu nástroje. Běžným opotřebením při provozu je zaoblení střížných hran, což vede ke zvýšení tření mezi nástrojem a materiálem. Důsledkem je snížená přesnost výstřížku.



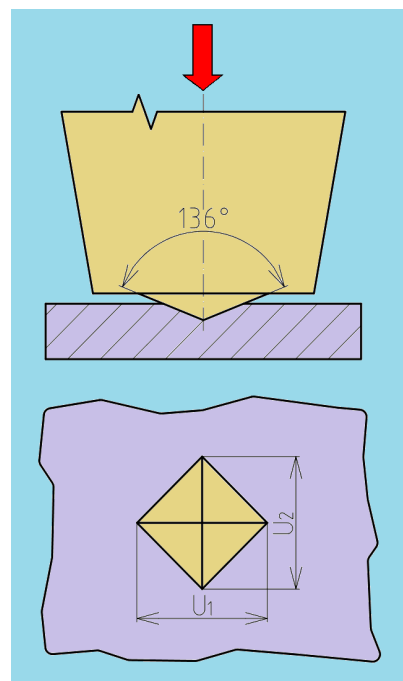
Obr. 10 Vyštipování funkčních hran nástroje [14]

K ověření udávané tvrdosti střížníků po tepelném zpracování byla provedena zkouška tvrdosti na dodaných vzorcích. Zkoušce byly podrobeny tři vzorky (obr. 11), na kterých se změřila povrchová tvrdost na třech na sebe vzájemně kolmých plochách. Dalším krokem bylo rozdělení vybraného vzorku za účelem změření tvrdosti pod povrchem. Výsledné hodnoty byly zapsány a následně porovnány s hodnotami udávanými.



Obr. 11 Vzorky

Měření tvrdosti probíhalo dle Vickersovy zkoušky. Tato zkouška se vyznačuje vtlačováním čtyřbokého diamantového jehlanu s vrcholovým úhlem stěn  $\alpha = 136^\circ$ . Rozevření tohoto úhlu je voleno z důvodu, aby tření mezi vtlačovaným indentorem a zkoumaným vzorkem co nejméně ovlivňovalo výsledek měření. Zatěžující sílu vyvolává závaží, jehož hmotnost se může pohybovat od 5 – 100 kg a je voleno s ohledem na tvrdost měřeného vzorku. Při měření vzorku o neznámé tvrdosti je nutné nejprve provést zkušební vtisk a následně dle nutnosti zatížení upravit. Doba působení zatížení je přesně specifikována a musí se pohybovat v rozmezí 10 – 15 sekund. Po odlehčení se změří úhlopříčky vtisku  $u_1$  a  $u_2$ , z nichž se určí výsledná tvrdost zkoumaného vzorku. Princip zkoušky tvrdosti dle Vickerse je na obrázku 12.



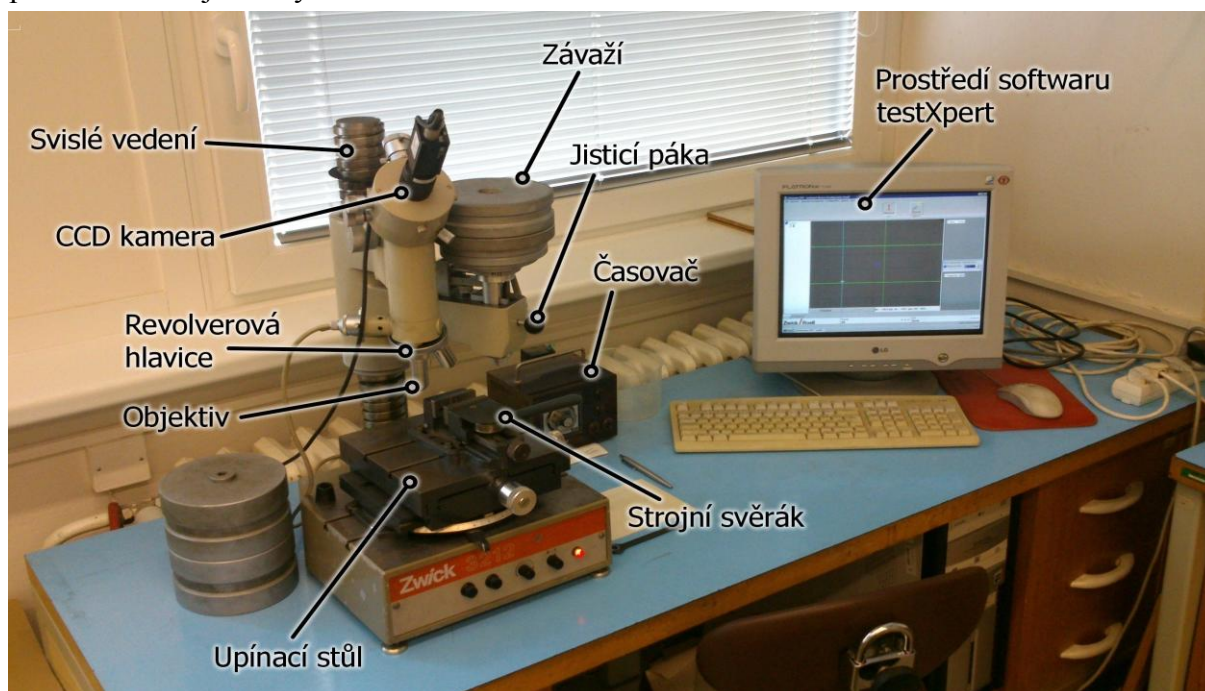
Obr. 12 Princip Vickersovy zkoušky [82]

Aby byla zkouška co nejpřesnější, je třeba splnit určité nároky, do kterých lze zařadit teplotu při provádění zkoušky, jenž se musí pohybovat v rozmezí teplot 10 – 35 °C. Měřený povrch vzorku má být čistý, hladký a nesmí obsahovat cizí tělíška. Dále je nutné, aby vtlačovaný indenter, jehož doba od uvolnění po dosednutí na vzorek musí být od 2 – 8 sekund, dosedl na zkoušený povrch kolmo bez rázů a chvění. Po celou dobu zkoušky je vzorek pevně uchycen a je mu zamezen pohyb ve všech osách.

K výhodám lze zařadit možnost měření jak měkkých, tak i tvrdých materiálů. Díky velmi malým vtiskům nedochází k poškození zkoumané součásti. K nevýhodám se řadí nutnost kvalitního opracování zkoušené plochy, čehož lze dosáhnout jemným broušením a nutnost zamezení chvění a rázů na tvrdoměr. Tato metoda by také neměla být využívána při měření hrubozrnných a heterogenních materiálů z důvodu možného vtisku právě do místa zrna některé fáze, jenž se svoji tvrdostí liší od zbytku materiálu.

Vickersova zkouška tvrdosti byla provedena na tvrdoměru ZWICK 3212. Tvrdoměr je vybaven mikroskopem s CCD kamerou, která zachycuje strukturu povrchu měřeného prvku a v reálném čase ji přenáší na monitor počítače. Ten díky softwaru testXpert od firmy Zwick Roell umožňuje pomocí ohrazení vzniklého vtisku rychle a jednoduše vypočítat tvrdost vzorku. Při měření bylo použito závaží o hmotnosti 10 kg, jenž je ekvivalentem zatěžující síly o hodnotě 98,1 N. Naměřené hodnoty tedy mají udávanou jednotku HV 10. Po odjištění jisticí páky je diamantový hrot spuštěn směrem k měřenému vzorku, který je pevně zajištěn ve strojním svěráku. Spuštění hrotu probíhá omezenou konstantní rychlostí po dobu 8 sekund díky převodům a speciálnímu oleji v krku tvrdoměru. Po plném dosednutí hrotu je spuštěn

časový měřič nastavený na 10 – 15 sekund jak udává norma. Následuje odlehčení zatížení a změření tvrdosti odvozené od uhlopříček vzniklého vtisku. Tvrdoměr s nutným příslušenstvím je zachycen na obrázku 13.



Obr. 13 Tvrdoměr s příslušenstvím



Obr. 14 Vzorky s barevně zvýrazněnými měřenými plochami

Všechny tři dodané vzorky podstoupili zkoušku tvrdosti na třech na sebe vzájemně kolmých plochách. Vybrané plochy jsou barevně zvýrazněny na obrázku 14. Naměřené hodnoty jsou zpracovány v tabulce 3 se zachováním barev pro dané plochy dle obrázku 14 a označením dle zvoleného souřadného systému.

Tab. 3 Experimentálně změřená tvrdost vzorků

	Tvrdost dle Vickerse					Tvrdost dle Rockwella				
	X	Y	Z	$\bar{X}$	Udávaná hodnota	X	Y	Z	$\bar{X}$	Udávaná hodnota
1. Vzorek	819	756	819	798	748	65	63	65	64,3	62
2. Vzorek	815	799	851	822	748	65	64	66	65	62
3. Vzorek	881	848	824	851	748	66	66	65	65,7	62

Experimentálně změřená tvrdost na zvolených plochách převyšuje udávané hodnoty. Odlišnost mohla vzniknout chybou při měření. Dalším zpřesňujícím krokem by mohlo být změření ve více bodech a z nich následně vypočítat aritmetický průměr.

Dalším krokem bylo měření tvrdosti pod povrchem, které probíhalo na vzorku číslo 3. K měření byla vybrána plocha, která je v přímém styku s děleným materiálem a její orientace vůči tomuto materiálu je rovnoběžná. Na obrázku 14 je zvýrazněna modrou barvou. Vnitřní plocha leží ve vzdálenosti 15 mm od výše zmíněné plochy. Aby mohla být měřena tvrdost i uvnitř střížníku, bylo nutné ho rozdělit. Dělicí rovina je zobrazena na obrázku 15.

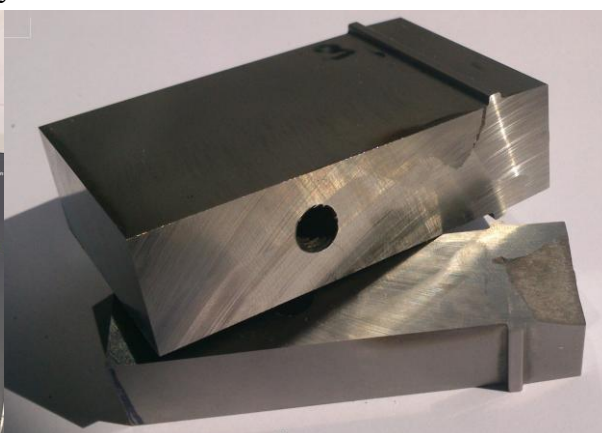


Obr. 15 Označení dělicí roviny

Rozdělení střížníku bylo provedeno ve vzdálenosti 15 mm od povrchu. Při dělení vzorku je nutné splnit určitá kritéria, která zabezpečí minimální chybovost při následném měření tvrdosti. K nim se řadí především nutnost zařazení chladicí emulze do procesu řezu, čímž se zabrání tepelnému ovlivnění, které by vedlo ke změně struktury materiálu. Tato změna by měla negativní dopad na tvrdost. Dále je nutné dodržet kolmost řezu a minimální drsnost. Z těchto důvodů byl řez proveden na metalografické pile (obr. 16), která výše zmíněná kritéria splňuje. Výsledek této operace je zachycen na obrázku 17.



Obr. 16 Metalografická pila [51]

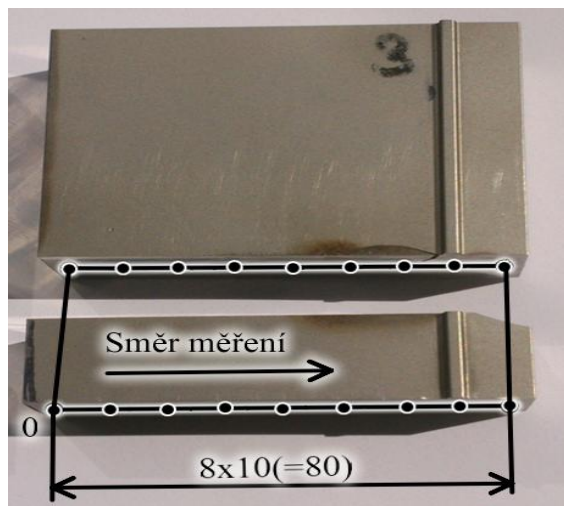


Obr. 17 Rozříznutý vzorek

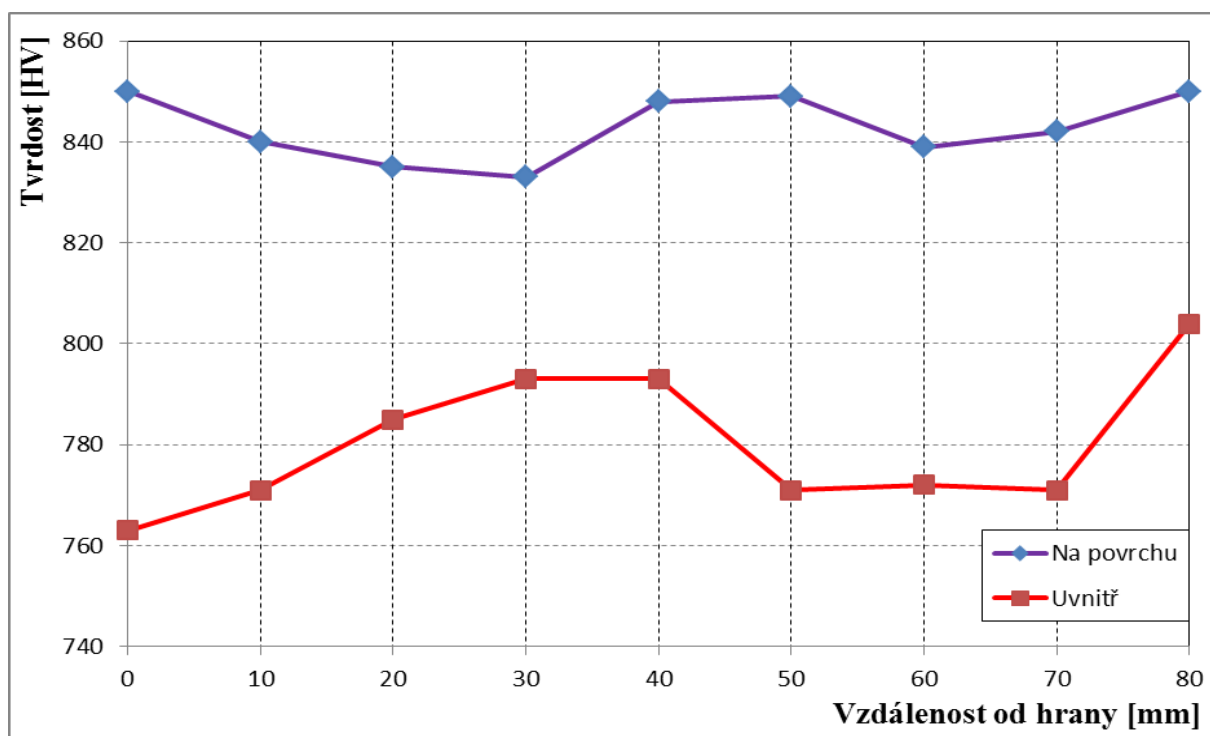
Na povrchu i uvnitř vzorku bylo zhotoveno 9 vtisků, celkově tedy 18. Vtisky na jednotlivých plochách leželi 10 mm od sebe, první vtisk 2 mm od hrany. Polohy vtisků jsou znázorněny na obrázku 18. V tabulce 4 jsou zapsány naměřené hodnoty, které jsou znázorněny i v grafu (obr. 19). Tvrdost pod povrchem je menší. Tento fakt je dán tepelným zpracováním (kalením). Směrem ke středu klesá rychlost ochlazování, což ovlivňuje i vzniklou strukturu.

Tab. 4 Tvrdost na povrchu a uvnitř

Tvrdost HV		Vzdálenost od hrany [mm]
Na povrchu	Uvnitř	
850	763	2
840	771	10
835	785	20
833	793	30
848	793	40
849	771	50
839	772	60
842	771	70
850	804	80



Obr. 18 Polohy vtisků



Obr. 19 Tvrdość na povrchu a uvnitř

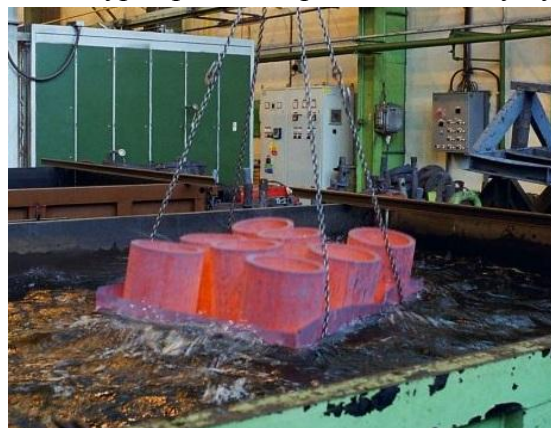
## 1.1 Varianty zvýšení životnosti [14]

Při procesu stříhání je dvojice nástrojů střížník – střížnice vystavována řadě opotřebení, které je způsobeno působením tlaku, ohybu, stříhu a rázu. Výsledkem těchto zatížení je zaoblení, případně i vyštipování střížných hran. Tyto negativní jevy se při výrobním procesu projeví zhoršenou přesností výstřížků, nárůstem ořepů a rostoucí rychlostí opotřebení střížných nástrojů vedoucí až k možnému zastavení výroby. Z těchto důvodů je kladen velký důraz na vhodnou úpravu střížníku a střížnice vedoucí ke zvýšení životnosti.

### 1.1.1. Tepelné zpracování [8; 9; 10; 12; 18; 19; 59; 61; 62; 69; 70;]

Je řízený proces, kterým lze podstatně měnit vlastnosti materiálů, díky změně jeho mikrostruktury. Těto změny je dosaženo záměrným využíváním fázových a strukturních přeměn v tuhém stavu. Principem tohoto zpracování je ohřev na požadovanou teplotu, setrvání na této teplotě a následně definované ochlazování. Vhodnou volbou řízeného tepelného cyklu je možné dosáhnout zhodnocení požadovaných vlastností i levnějších materiálů, které mohou následně splnit poslání materiálů dražších nebo méně dostupných.

Kalení + popouštění – u nástrojových ocelí je tento typ tepelného zpracování nezbytný k dosažení potřebných vlastností všech druhů nástrojů. Proces kalení se skládá z ohřevu na austenitizační teplotu, výdrž na této teplotě a následujícího rychlého ochlazení v kalicí lázni (obr. 20). Kalení u oceli 19 436 začíná stupňovitým ohřevem na austenitizační teplotu 940 – 970 °C s následnou výdrží na této teplotě po dobu 15 – 30 minut. Správná kalicí teplota a doba výdrže na této teplotě určuje správné



Obr. 20 Kalicí lázeň [18]



množství nadeutektoidních karbidů, které musí zůstat nerozpuštěny. Tyto nerozpuštěné karbidy zvyšují ve výsledné struktuře tvrdost a odolnost proti otěru. K dosažení martenzitické struktury musí být ohřátá ocel z kalící teploty ochlazena rychlostí větší, nebo alespoň stejnou, jako kritická rychlost ochlazování. Při této rychlosti je zabráněno přeměně austenitu v perlit nebo bainit. S rostoucím obsahem uhlíku a slitinových prvků, klesá kritická rychlost ochlazování. Díky svému složení má ocel 19 436 vysokou prokalitelnost, takže lze kalit v oleji nebo na vzduchu. Hloubka prokalené vrstvy odpovídá asi 25 mm a tvrdost 58 – 63 HRC.

Po zakalení v materiálu vznikne vnitřní pnutí, které lze odstranit popouštěním. Zároveň dojde ke zvýšení houževnatosti, ale i tvrdosti. Popouštění (obr. 21) je nutné realizovat ihned po kalení. Začíná se pomalým ohřevem na popouštěcí teplotu, která bývá v rozsahu 500 – 650 °C. Výdrž na této teplotě volíme podle tloušťky popouštěné součásti, kdy platí pravidlo 1 hodiny na 20 mm tloušťky. Popouštění při takto vysoké teplotě vede ke zvýšení tvrdosti - tzv. sekundární tvrdost. Sekundární tvrdost souvisí s transformací zbytkového austenitu na martenzit a s precipitací speciálních karbidů legur v oceli při ochlazování z popouštěcí teploty.

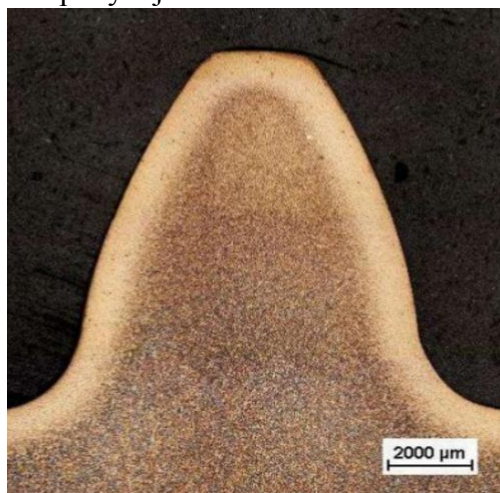


Obr. 21 Popouštění [69]

### 1.1.2. Chemicko – tepelné zpracování [19; 20; 21; 22; 23; 24; 70; 71; 72; 73; 74; 75]

Je způsob difuzního sycení povrchu oceli různými prvky (C, N, B, Si, Al aj., tedy kovy i nekovy) s cílem dosáhnout odlišných mechanických nebo fyzikálně chemických vlastností povrchu a jádra součásti. Požadovaných vlastností lze dosáhnout buď přímo, tedy jen obohacením povrchové vrstvy příslušným prvkem za zvýšené teploty a pozvolným ochlazením, nebo následujícím tepelným zpracováním (kalení + nízkoteplotní popouštění). Chemicko – tepelným zpracováním lze dosáhnout zvýšení tvrdosti a odolnosti povrchu proti opotřebení a zároveň zachování houževnatosti jádra. Celý proces probíhá v prostředí obsahujícího aktivní látky, které mohou mít plynné, kapalné nebo tuhé skupenství. K základním dílčím pochodům patří disociace, adsorpce a difuze.

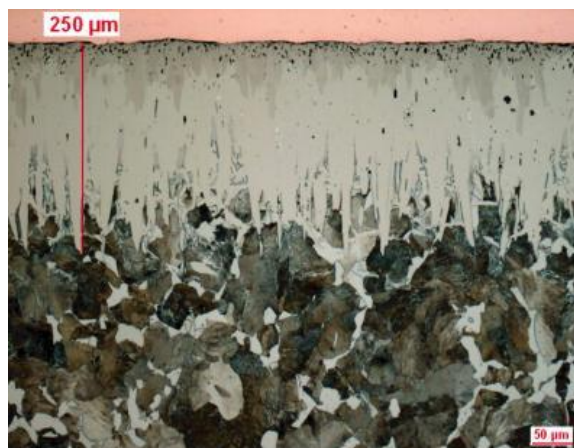
- ❖ Cementování – je jedním z nejpoužívanějších způsobů chemicko – tepelného zpracování, při kterém se difuzně přidává uhlík do povrchu ocelových dílů. K cementaci se používají oceli s nízkým obsahem uhlíku v rozmezí 0,10 až 0,25 %. Termochemický proces probíhá za zvýšené teploty, jejíž hodnota se pohybuje v rozmezí 850 – 950 °C v závislosti na druhu oceli, cementačním prostředí i velikosti předmětu. Technologie cementování lze rozdělit dle použitého prostředí, které bývá tuhé, kapalné nebo plynné. Výsledný obsah uhlíku na povrchu cementované součásti se pohybuje v obsahu 0,7 až 0,9 % s hloubkou nauhličené vrstvy (obr. 22) 0,5 až 1,5 mm. Zakalením této vrstvy se dosáhne vysoké tvrdosti povrchu (až 800 HV) se zachováním houževnatosti jádra. Posledním krokem je proces popouštění, díky kterému je minimalizováno špičkové



Obr. 22 Nauhličená vrstva [70]

napětí po kalení a omezuje možnost prasknutí kalených dílů.

- ❖ Boridování – je způsob termochemického vytvrzování povrchu, při kterém dochází k obohacení povrchové vrstvy bórem. Tento proces je založen na difúzi atomů bóru do krystalové mřížky základního kovu. Nadifundovaný bór vytváří se železem sloučeninou vrstvu, která je charakteristická zubovým spojením (obr. 23) se základním materiálem a vykazuje vysokou tvrdost (1700 až 2000 HV) a díky propojené struktuře i vynikající soudržnost. Tato vrstva je charakteristická dobrou odolností proti abrazivnímu otěru a malým sklonem k nalepování. K nejvíce propracovanému technologickému postupu patří boridování v pevných prostředcích. Teploty ležící v rozsahu 850 – 1000 °C se dosahují pomocí komorových nebo trubkových pecí, které zároveň umožňují odvod vznikajících zplodin. Doba boridování je ovlivněna boridovacím prostředkem, typem materiálu určeného ke zpracování, požadované síly vrstvy a teplotou, při níž dochází k boridování. Tloušťka nově vzniklé vrstvy se pohybuje v rozmezí od 20 do 250 μm. Po uplynutí požadované doby zpracování lze boridované součásti zušlechťovat, čímž se dosáhne vysoké pevnosti, avšak austenizační teplota nesmí překročit 1050 °C, aby nedošlo k natavování.



Obr. 23 Boridovaná vrstva s viditelným zubovým spojením [21]

- ❖ Nitridování – je proces chemicko – tepelné zpracování, při němž se tenká povrchová vrstva oceli obohacuje dusíkem. Cílem je získat vysokou tvrdost povrchu a zachovat houževnatost jádra součásti. Oproti cementování se požadovaných vlastností povrchu dosahuje již během nasycování dusíkem, kdy vznikají v tenké vrstvě nitridy, které způsobují velkou tvrdost bez následného tepelného zpracování. Důvodem vysoké povrchové tvrdosti je vznik velmi tvrdých chemických sloučenin dusíku se železem a některými legujícími prvky jako jsou chrom, molybden, hliník a vanad. Zpravidla se nitridují konstrukční oceli se středním obsahem uhlíku 0,3 až 0,4 %. Před samotnou nitridací je velmi vhodné obrobené součásti zušlechtit, čímž se dosáhne optimálních vlastností jádra. Popouštěcí teplota bývá vyšší než nitridační. Důležitá je také kovová čistota a nulová mastnota nitridovaných ploch. Nitridace konstrukčních ocelí probíhá v plynném prostředí v plynotěsných zvonových, šachtových (obr. 24) nebo komorových pecích s řízenou cirkulací vzduchu. Zde je součást ohřata na teplotu 500 – 550 °C a obohacuje se dusíkem na koncentraci až 12 %. Zdrojem dusíku je plynný čpavek, který ve styku s povrchem oceli disociuje. Vliv na rychlost vzniku nitridované vrstvy a její výslednou strukturu má nitridační teplota, stupeň disociace čpavku a druh použité oceli. Tloušťka vrstvy bývá do 0,1 mm a její tvrdost dosahuje



Obr. 24 Šachtová pec [23]

hodnot 1000 až 1200 HV. Doba nitridace dosahuje až 60 hodin v důsledku nízké teploty.

- ❖ Nitrocementování a karbonitridování – pro oba procesy je charakteristické sycení povrchu oceli uhlíkem a zároveň dusíkem. Hlavními rozdíly jsou rozdílné teploty pochodů, čímž je způsoben i rozdílný obsah uhlíku a dusíku v povrchové vrstvě a způsob, kterým se dosahuje požadovaných vlastností vrstvy.

Nitrocementování lze provádět v plynné atmosféře (směs uhlovodíků a čpavku) při teplotě 800 až 860 °C nebo v kapalném prostředí (solné lázně s přísadou kyanidů na obrázku 25) při teplotě 750 až 850 °C. Tyto způsoby se liší hloubkou vzniklé vrstvy a časovou náročností. V plynné atmosféře se dosahuje hloubky vrstvy 0,3 až 0,4 mm za 1 až 2 hodiny, v kapalném prostředí lze dosáhnout hloubky vrstvy do 0,2 mm do 1 hodiny. Oceli vhodné pro nitrocementování obsahují obvykle 0,25 až 0,4 % uhlíku. Po nitrocementaci se součást kalí do oleje, který díky menší ochlazovací rychlosti nezpůsobí velký nárůst vnitřního pnutí a následně popouští po dobu 1 až 2 hodin při teplotě 180 °C stejně jako po cementaci. Tvrdost vrstvy dosahuje 700 až 800 HV.



Obr. 25 Solná lázeň s přísadou kyanidů [24]

Karbonitridování se nejčastěji uskutečňuje v plynných atmosférách složených ze směsí čpavku s přísadou uhlovodíků. Sycení povrchu součástí probíhá až po dobu 4 hodin za zvýšené teploty 600 - 630 °C. Cílem je dosažení souvislé povrchové vrstvy karbonitridů  $\epsilon$  o tloušťce 0,05 mm s tvrdostí dosahující až 1000 HV. Tato vrstva se vyznačuje odolností vůči zadírání a opotřebení. Oproti nitrocementaci se vzniklá vrstva po chemickém zpracování nemusí kalit, což se projeví menší deformací součástí.

### 1.1.3. Povlakování [6; 15; 16; 17; 25; 26; 27; 57; 64; 66; 67; 76]

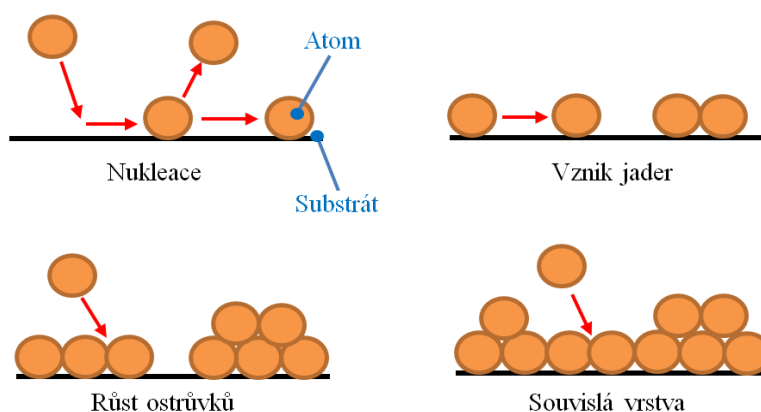
Je způsob, při kterém se na základní materiál (substrát) nanáší tenká vrstva materiálu s vysokou tvrdostí a vynikající odolností proti opotřebení. Tloušťka této vrstvy se pohybuje v rozsahu od zlomků nanometru až po několik mikrometrů. Díky faktu, že povlakovaný materiál neobsahuje žádné pojivo, má o jeden i více řádů menší zrnitost, obsahuje menší množství strukturních defektů (dutiny, póry) a tvoří bariéru proti difuznímu mechanismu opotřebení nástroje, dosahuje povlak vyšší tvrdosti i pevnosti než stejný homogenní materiál v jakékoli jiné formě. Nanesený povlak může obsahovat více než deset vrstev různého chemického složení tzv. multivrstvý povlak (obr. 26), díky čemuž lze dosáhnout požadovaných vlastností na daný nástroj. Nanesení povlaku na základní materiál je možné pomocí vícero metod, z nich každá má své určité výhody a nevýhody.



Obr. 26 Multivrstvý povlak [17]

- ❖ PVD – tato metoda vytváření vrstev (Physical Vapour Deposition – fyzikální napařování) byla vynalezena v 60. letech 20. století. Využívá principu odprašení nebo odpaření pevné látky na požadovaný materiál a její následné kondenzace na tomto materiálu. Kritickou podmínkou kvalitní depozice povlaku je vysoké vakuum, které umožňuje přenos plynné fáze k substrátu a zajišťuje vznik čisté vrstvy. Z tohoto důvodu probíhá proces ve vakuové komoře (0,1 – 1,0 Pa). Do této komory je vháněn pracovní plyn např. argon, dusík. Podle uvolnění kovových iontů ze zdroje částic tzv. terč, se metody rozdělují na napařování, napařování a iontovou implantaci. Celý tento proces probíhá v rozmezí teplot 350 – 500 °C, díky čemuž je metoda vhodná i pro materiály, které by mohli být vlivem vyšších teplot tepelně ovlivněny.

Celý proces vzniku PVD povlaku je zachycen na obrázku 27. Nejprve je převeden materiál z terče do plynné fáze. Následuje přenos par ze zdroje na základní materiál. Atomy se na povrchu zachytí procesy sorpce a pohybují se po povrchu. Část z těchto atomů vytvoří trvalou vazbu, zbytek je zpětně uvolněn.

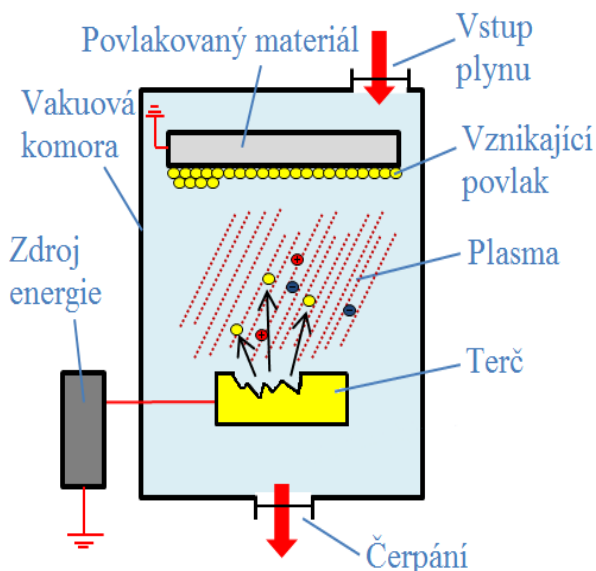


Obr. 27 Proces vzniku PVD povlaku [6]

Následujícím atomům, které dopadají na povrch je umožněno vytvoření vazby a spojení s dříve zachycenými atomy. Díky tomuto procesu dochází nejprve k tvorbě izolovaných zárodků s následným růstem, až do souvislé vrstvy se stále se zvětšující tloušťkou.

K hlavním výhodám metody PVD patří vynikající řízení procesu, nízká deponitní teplota, možnost povlakování ostrých hran a ekologická šetrnost v porovnání s ostatními metodami. Mezi nevýhody lze zařadit složitý vakuový systém a nutnost pohybovat povlakovanými předměty.

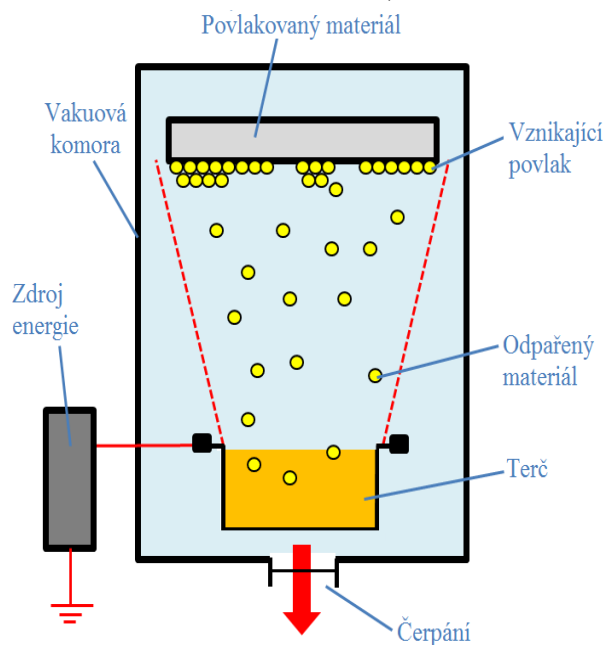
- Napařování – jedná se o způsob depozice částic oddělených z povrchu terče fyzikálním odprašovací procesem. Proces probíhá v pracovní komoře za sníženého tlaku  $10^{-1}$  Pa, ve které je umístěn terč z vodivého materiálu. Tento terč tvoří katodu, neboť na něj je přiveden záporný potenciál v řádu tisíce voltů. Substrát, na kterém má být vytvořen povlak, je umístěn na anodě. Do komory se vhání pracovní inertní plyn (obvykle argon). Před terčem je po přivedení napětí zapálen doutnavý výboj, jehož důsledkem nastane nerovnoměrné rozložení potenciálů v prostoru a je vyvolán katodový spád v oblasti katody. Ve výboji vznikají kladné ionty, které jsou unášeny směrem ke



Obr. 28 Schéma procesu napařování [26]

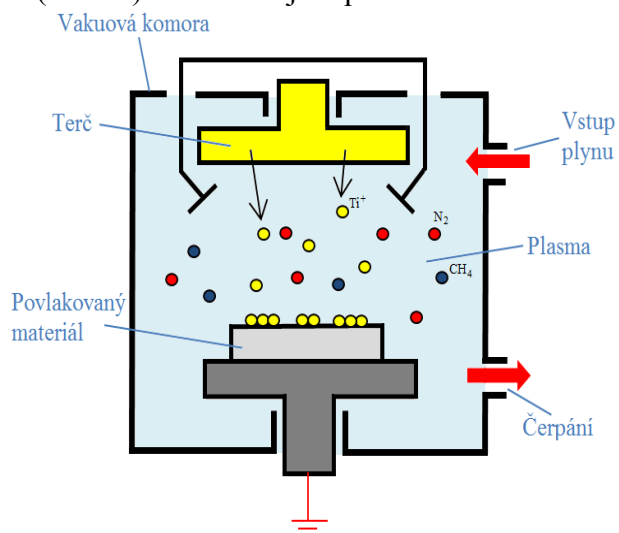
katodě (terč) a v prostoru katodového spádu jsou urychleny, díky čemuž mají dostatek energie na vyražení částic naprašovaného materiálu. Rozprášené částice se usazují na okolních tělesech. Substrát se tedy umísťuje před terč a především na něm vzniká tenká vrstva. Aby byla zajištěna co nejlepší homogenita povlaku, mohou se substráty pohybovat (např. rotovat). Schéma procesu naprašování je znázorněno na obrázku 28.

- Napařování – materiál, kterým má být povlakováno je odpařován z terčů. K tomuto odpaření materiálu z terčů je využíván elektronový svazek, obloukový výboj nebo laser dle způsobu napařování. Napařovací proces probíhá ve vakuu, při tlaku  $10^{-3}$  až  $10^{-8}$  Pa. Při takovém tlaku je průměrná délka trajektorie, na níž nedojde ke srážce atomů v porovnání se vzdáleností terč – substrát velmi velká ( $5 \cdot 10^2 - 10^7$  cm). Neboť se odpařené atomy před kondenzací na podkladový materiál pohybují po nekolizních drahách, vytváří se povlak s nerovnoměrnou tloušťkou, kdy nad terčem je tloušťka největší a se zvětšující se vzdáleností od terče klesá. Aby bylo dosaženo vytvoření rovnoměrné tloušťky vrstvy povlaku, je třeba snížit střední volnou dráhu odpařené složky. Toho je dosaženo přívodem plynu (např. argon) do komory pod tlakem  $0,7 - 26,7$  Pa, jenž způsobí vícenásobné srážky. Další vliv na růst povlaku má teplota povlakovaného materiálu a úhel dopadu atomů odpařené látky. Schéma procesu napařování je zobrazeno na obrázku 29.



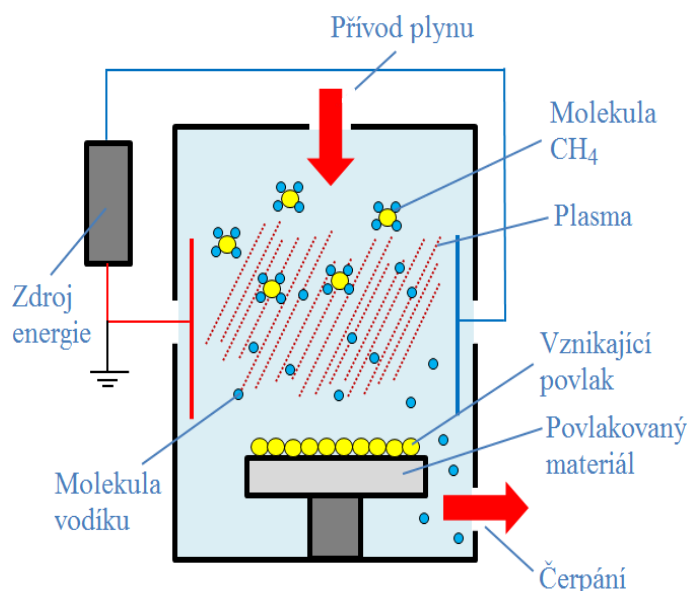
Obr. 29 Schéma procesu napařování [26]

- Iontová implantace – z názvu této vyplývá její podstata, při které jsou zavedeny cizí prvky do povlakovaného materiálu. Jde o proces, při kterém je povrch substrátu předmětem neustálého bombardování vysokoenergetického svazku částic. Zdrojem deponovaných částic může být odpařování, odprašování, ale i plyny nebo páry. Na substrát je přiveden záporný potenciál (katoda) a na zdroj odpařovaného materiálu (terč) kladný (anoda). Následně je mezi těmito prvky vytvořeno silné elektrické pole v rozsahu hodnot  $50 - 1000$  V a dochází k elektrickému výboji v plynné atmosféře. Tento výboj ionizuje částice plynu a odpařené částice terče. Reakcí iontů vzniká povlak, jenž se usazuje na substrátu. Celý proces probíhá ve vakuové komoře při tlaku  $10^{-1}$  Pa a teplotě  $200 - 450$  °C. Časová náročnost této metody se pohybuje od 2 – 5 hodin. Schéma procesu iontové implantace je znázorněno na obrázku 30.



Obr. 30 Schéma procesu iontové implantace [6]

- ❖ CVD – jedná se o první technologii povlakování z počátku 50. let minulého století. Metoda CVD (Chemical Vapour Deposition – chemické napařování z plynné fáze) se vyznačuje tlakem několika set Pascalů a vysokými teplotami (700 – 1200 °C) při aplikaci povlaků. Chemický proces je založen na reakci plynných chemických sloučenin v plazmě, jež je vytvořena v blízkosti povrchu povlakovaného materiálu a následném uložení produktů vzniklých při heterogenní reakci na povrchu. Důležitým požadavkem je, aby vstupní plyny obsahovaly stabilní, ale zároveň prchavou sloučeninu (např. kovový halogenid,  $TiCl_4$ ,  $AlCl_3$ ). Tato sloučenina se chemicky rozkládá v důsledku působení přivedené energie, kterou může být ohřev, plazmový oblouk nebo laser. Vzniklé produkty při chemickém rozkladu jsou následně ukládány na povrch povlakovaného materiálu. Vstupní plyn musí také obsahovat i nekovový reaktivní plyn (např.  $N_2$ ,  $CH_4$ ,  $NH_4$ ) z důvodu proběhnutí požadované reakce, která vede na vznik vrstvy povlaku. Schéma procesu CVD je znázorněno na obrázku 31.



Obr. 31 Schéma procesu CVD [27]

K hlavním výhodám patří vynikající adheze k podkladovému materiálu, rovnoměrná tloušťka u tvarově složitých součástích, ekonomická výhodnost tvorby silných vrstev povlaků, povlakování součásti ze všech stran v důsledku vysokých pracovních tlaků plynné směsi a nízké pořizovací i provozní náklady. Povlak nanesený touto metodou má vysokou hustotu, teplotní stabilitu a homogenitu. Velkou nevýhodou je vysoká pracovní teplota, která může mít negativní vliv na vlastnosti povlakovaného materiálu. K dalším nevýhodám lze zařadit nemožnost depozice ostrých hran, vysoká energetická náročnost, dlouhý pracovní cyklus (8 – 10 hodin) a ekologicky nevyhovující pracovní plynné směsi.

Z výše uvedených metod vedoucích ke zlepšení životnosti střížných nástrojů se jako nejideálnější volba jeví chemicko – tepelné zpracování a povlakování. Z důvodů nutného tepelného zpracování nástroje před samotnou depozicí povlaku, je pro zadanou ocel 19 436 jedinou možnou volbou metoda fyzikálního napařování, kterou je možno nanést vrstvu povlaku za nejnižších možných teplot. Jiná metoda by vedla k velkému tepelnému ovlivnění, které by mohlo způsobit změnu mikrostruktury materiálu a nepříznivě ovlivnit nutné materiálové charakteristiky pro proces stříhání.

Metodou PVD je možné nanést velké množství povlaků, z nichž každý má své specifické vlastnosti, které je při výběru nutné zhodnotit. Z celé řady povlaků se jako optimální jeví dva. Duplexní povlak  $TiCN$  a  $FeinAl$ . Oba jsou určeny pro vysoce namáhané tvářecí a střížné nástroje, avšak nástroj opatřený povlakem  $FeinAl$  vyniká svými lepšími mechanickými vlastnostmi. Z toho hlediska je daný povlak upřednostněn. Depozice zvoleného povlaku je aplikována pomocí katodového obloukového napařování.

## 2 PŘEDPOVRCHOVÉ ÚPRAVY NÁSTROJE [6; 33; 35]

Depozice povlaku má svá určitá pravidla, která je nutná dodržet, neboť mají značný vliv na délku životnosti ochranné vrstvy. Velmi důležitá je již samotná příprava povrchu vzorku před povlakováním, jenž zahrnuje jak mechanické tak i chemické opracování. K hlavním mechanickým procesům patří broušení, leštění a kartáčování. Tyto operace vedou ke snížení drsnosti nástroje, která se projeví menším třením mezi nástrojem a obrobkem a lepší adhezí mezi podkladem a povlakem. Odmašťování, sloužící k odstranění konzervačních a jiných mastných látek z povrchů nástroje, se řadí do chemického zpracování. Po těchto operacích je nástroj kvalitně očištěný, což je nezbytné z důvodů dobré adheze deponované vrstvy. Při následném fyzickém napařování se do důležitých faktorů řadí tlak ve vakuové komoře a teplota, jenž může značně ovlivnit vlastnosti mikrostruktury povlakovaného nástroje. Zmíněné problematice jsou věnovány následující kapitoly.

Mezi předpovrchové úpravy nástroje se řadí technologie, které zbavují povrch nástroje před nanesením povlaku nečistot tak, aby bylo dosaženo technicky čistého nebo fyzikálně čistého povrchu (čištění ve vakuu). Takto připravený nástroj zajišťuje dostatečnou přilnavost konečných povlaků, stejnoměrný vzhled a dobrou odolnost proti opotřebením. Úprava povrchu probíhá ve dvou fázích, do kterých se řadí mechanické a chemické úpravy povrchu.

Těmito kroky jsou splněny dva základní požadavky předpovrchové úpravy. Prvním je příprava určité požadované mikrostruktury a kvalita povrchu, druhým zajištění požadované čistoty povrchu. Kvalita přípravy povrchu je velmi důležitá, neboť rozhoduje o úspěchu či nezdaru následných operací.

### 2.1 Mechanické úpravy povrchu [6; 30; 31; 32; 36; 37; 38; 41; 77]

Mechanická úprava povrchu nástroje je takový způsob jeho opracování, jímž se dosáhne požadované kvality povrchu nástroje, aniž se mění jeho tvar. Účelem této úpravy je především zbavení povrchu nástroje od korozních produktů, vytvořit ideální podmínky pro zakotvení povlaků, vytvořit podmínky vedoucí k zvýšení korozní odolnosti a zlepšit mechanické vlastnosti (pevnost materiálu v únavě).

- ❖ Broušení – spadá do technologie obrábění, při nichž dochází k úběru materiálu a tím odstranění nerovností pomocí brusných prostředků. Jako brusných prostředků se využívá rozemletých minerálů a hornin určité tvrdosti a stálých vlastností. Od velikosti zrna se odvíjí stupeň broušení, a proto je nutné dbát na správnou volbu velikosti zrna. Nejlepšího výsledku je dosaženo použitím různého zrnění od nejhrubšího k nejjemnějšímu. Brusný účinek a rychlost broušení je závislá na tvrdosti použitého prostředku i na tvrdosti broušeného materiálu. Po broušení jsou na povrchu materiálu pouhým okem jasně patrné rýhy a stopy, které musí být dalšími operacemi odstraněny. Na obrázku 32 je zachycen povrch materiálu před broušením a po broušení v závislosti na různé velikosti brusného zrna.



Obr. 32 Povrch materiálu před broušením a po v závislosti na velikosti brusného zrna

- ❖ Leštění – je operace, při níž dochází k menšímu úběru materiálu oproti broušení a navíc dochází k plastické deformaci povrchové vrstvy. Jde tedy o odstranění nejjemnějších stop po předcházejících operacích s dosažením velmi nízké drsnosti (0,1 Ra) a vysokého lesku. Konečným stupněm leštění je tedy kovový povrch tak hladký, že ani velkým zvětšením nejsou na povrchu viditelné rýhy a stopy a že plocha takto vzniklá odráží světelné paprsky. Tohoto stavu lze dosáhnout pouze tehdy, je-li leštící prostředek tak jemný, že do kovu neřeže rýhy, ale stírá částice, které jsou mikroskopicky nerozeznatelně malé. Mechanismus leštění je závislý jak na tvrdosti a velikosti částic leštícího prostředku, tak i od rychlosti, s jakou se nové částice stýkají s kovovým povrchem. Při předlešťování se využívá vyšších obvodových rychlostí při použití tvrdších látkových nebo plstěných či kožených kotoučů a mastnější i ostřejší pasty. Pro dolešťování je obvodová rychlost menší a využívá se měkkých kotoučů s kombinací sušší a jemnější pasty. Na obrázku 33 je vidět rozdíl povrchu materiálu před a po leštění.



Obr. 33 Povrch materiálu před a po leštění [37]

- ❖ Kartáčování – je operace, která slouží k dvojí úpravě povrchu materiálu. Jednou z nich je odstranění hrubých nečistot, jako je rez, volné korozní produkty či starý nátěr. Hlavním nástrojem je kartáč (obr. 35), který se liší v závislosti na upravovaném materiálu. K čištění a matování ocelových materiálů se používá kartáčů z ocelového rovného či vlnitého drátu. Při úpravě neželezných kovů se využívá drátů z jiného materiálu (mosaz, bronz). Druhá úprava slouží k zjemnění a sjednocení upravovaného povrchu po broušení a před leštěním nebo k odstranění oxidické vrstvy vzniklé předchozím broušením. V tomto případě je využíváno měkkých a pružných kartáčů z přírodních a umělých vláken, na kterých dobře drží brusné pasty. Elasticita nástroje je vhodná především u členitých výrobků.



Obr. 34 Kartáčování [77]



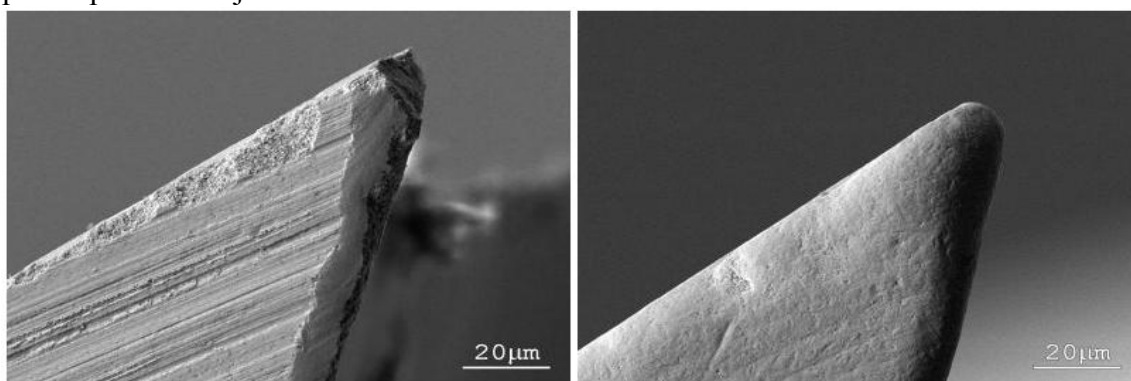
Obr. 35 Kartáče z různých materiálu, zleva: ocel, mosaz, bronz [41]



- ❖ Omílání – je způsob mechanické úpravy povrchu, při kterém dochází k obroušování, leštění a zároveň k odhroťování většinou menších předmětů hromadným způsobem v omílacích bubnech (obr. 36) brousícími tělísky a leštícími suspenzemi za přítomnosti chemických přípravků pro zlepšení jakosti povrchu urychlení procesu. Omílat lze součásti různých velikostí, od drobných spadajících do hodinářského nebo bižuterního průmyslu, až po velké jakou jsou například převodovky automobilů. Z počátku dochází k intenzivnímu úběru materiálu s následným klesajícím účinkem z důvodu zaoblení hran a hrotů ale i snížením brousícího účinku omílacích prostředků. Velkou výhodou tohoto procesu jsou nízké provozní náklady, dané malou pracností a zmetkovitostí. U nástrojů ze slinutých karbidů lze použitím této metody výrazně zlepšit adhezi povlaku na funkčních plochách. Vzhled funkčních ploch nástroje před a po omílání je zobrazen na obrázku 37.



Obr. 36 Omílací buben [38]



Obr. 37 Vzhled funkčních ploch před a po omílání [6]

## 2.2 Chemické úpravy povrchu - odmašťování [30; 31; 34; 35; 39; 40; 78]

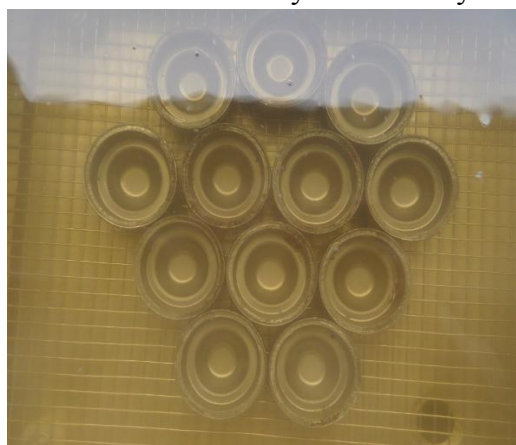
Chemické resp. elektrochemické úpravy povrchu (obr. 38) se uplatňují především při odstraňování nečistot z povrchu materiálu. Zpravidla se využívají při přípravě povrchu materiálu před jinou konečnou povrchovou úpravou (pokovování, vytváření galvanického povlaku), ale mohou být i konečnou úpravou povrchu (barvení, bezproudové pokovování). Nečistoty, které mohou ulpět na povrchu součásti, lze rozdělit do dvou skupin. První jsou ulpělé nečistoty, které jsou vázány pouze adhezními silami. Patří sem převážně zbytky mastných látek, proto proces, kterým jsou odstraněny, se nazývá odmašťování. Druhou skupinou jsou vlastní nečistoty, které jsou k povrchu vázány chemisorpcí a jsou tedy s kovem spojeny určitou chemickou vazbou. Řadí se sem především korozní zplodiny, které se odstraňují mořením.



Obr. 38 Chemická úprava povrchu [78]

Odmašťování je souhrnný název pro odstranění všech druhů ulpělých nečistot z povrchu materiálu. Tyto nečistoty jsou k povrchu vázány buď fyzikální adsorpcí (mastnota) nebo adhezními silami (prach, kovové třísky). U kovového povrchu je síla vazby ke kovovému povrchu daleko menší než u nečistot vázaných chemicky, jako např. korozní zplodiny, lze je tedy lehce odstranit bez změny kovového povrchu. Odmašťování lze rozdělit dle použitého prostředku na odmašťování v alkalických roztocích, v organických rozpouštědlech a na elektrolytické odmašťování.

- ❖ Odmašťování v alkalických roztocích - patří k nejrozšířenějšímu způsobu čištění kovového povrchu. Účinnost alkalického odmašťovacího prostředku je především v koloidně chemických pochodech tj. emulgaci a dispergaci nečistot. U rostlinných a živočišných tuků a olejů dochází ke zmýdelnění. Mastné látky minerálního původu jsou chemicky odolnější a nedají se touto cestou odstranit. Tyto mastnoty se v odmašťovací lázni rozptylují ve formě kapiček do roztoku (emulgují) působením některých přísad a tím se odstraňují z povrchu. Další přísady podporují schopnost rozptylu tuhých látek v roztoku a zabraňují jejich zpětnému usazování na čistý předmět. Alkalické odmašťovací prostředky se aplikují ponorem (obr. 39), postřikem nebo ultrazvukem. Největší předností alkalických roztoků je nehořlavost a cenová výhodnost, ale i odmašťovací proces je hygienicky méně závadný a dokonalejší ve srovnání s organickými rozpouštědly.



Obr. 39 Odmašťovací alkalická lázeň

- ❖ Odmašťování v organických rozpouštědlech – je nejjednodušším způsobem odmašťování s vysokou čistící účinností při relativně jednoduchém procesu. Proces odmašťování je velmi podobný jako u alkalických roztoků a provádí se taktéž ponorem, postřikem a ultrazvukem. Mezi zástupce organických rozpouštědel lze zařadit petrolej, benzin, benzen, toluen, trichloretylén. K nevýhodám se řadí nemožnost použití na vlhké povrchy, nelze odstranit heteropolární sloučeniny, obtížná likvidace použitých rozpouštědel a také nevyhovují požadavkům bezpečné a zdravotně nezávadné práce.
- ❖ Elektrolytické odmašťování – využívá alkalických odmašťovacích roztoků stejně jako u alkalického odmašťování. Jejich účinek je ovšem ještě navýšen působením elektrického proudu, čímž se z povrchu odstraní i pevně lpící nečistoty. Toto má význam především v případech, kde je třeba dosáhnout odmaštění co nejčistšího povrchu. Princip tohoto odmašťování spočívá v tom, že čištěný materiál je zapojen jako katoda, následně se ponoří do alkalického roztoku a je na něj přiveden co největší stejnosměrný proud. Působením elektrolýzy se na povrchu součásti vytvoří alkalická zóna o vysoké aktivitě a zároveň dochází k silnému vývoji vodíku. Tento vodík je silně reaktivní, což způsobí redukci tenké vrstvy oxidů. Na obrázku 40 je zachycena lázeň pro elektrolytické odmašťování.

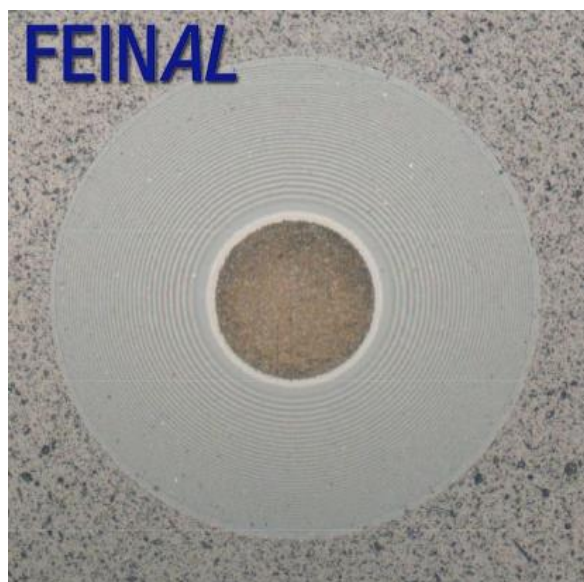


Obr. 40 Lázeň el. odmašťování [40]

### 3 POVLAK FEINAL [52; 53; 54]

Z variantní rozvahy vhodných povlaků byl zvolen povlak s obchodním označením FeinAl, který lze zařadit mezi novinky na trhu povlaků deponovaných metodou PVD. Nanostrukturovaný povlak FeinAl je dílem společného vývoje švýcarských specialistů z firmy FEINTOOL zabývajících se nástroji pro stříhání a odborníků v oblasti povrchových úprav B.C.I.Blösch Corporation Inc. Povlak byl uveden poprvé na trh v roce 2014 po dvouletém vývoji.

FeinAl je unikátní svojí mikrostrukturou. Celý je složen z dvaceti velmi jemných vrstviček AlCrN s různým poměrem prvků Al/Cr. Multivrstvnost tohoto povlaku zachycuje obrázek 41. Finální tloušťka povlaku se pohybuje v rozmezí 2 – 4  $\mu\text{m}$ . Díky tomuto multivrstvému složení je možné po zakulacení střížné hrany střížník znovu nabrousit pouhým odstraněním několika vrstviček a pokračovat při výrobě bez ztráty požadovaných vlastností. Chemické složení povlaku zabezpečuje jeho vysokou odolnost vůči oxidaci až do teploty 1000  $^{\circ}\text{C}$ . Konvenční povlaky TiCN, TiN, které jsou běžně používány při stříhání, dosahují oxidační odolnosti do teploty 600  $^{\circ}\text{C}$ . Při dosažení této teploty začínají degradovat. Mikrotvrdost [HV 0,05] povlaku FeinAl dosahuje hodnoty 3500. Vzniklá vrstva povlaku je charakteristická minimální drsností, díky čemuž je koeficient tření vůči oceli pouhých 0,6. Mezi další velmi výhodné vlastnosti lze zařadit vynikající přilnavost i na komplikovaném nástroji, nízká tendence k lepení ocelových materiálů, vícevrstvá architektura pro dobrou tepelnou izolaci a nižší tepelná vodivost než u běžných povlaků, která vede k ochraně nástrojových ocelí.



Obr. 41 Multivrstvnost povlaku [53]

#### 3.1 Katodové obloukové napařování [6; 42; 43; 44; 45; 46; 47; 48; 79; 80; 81]

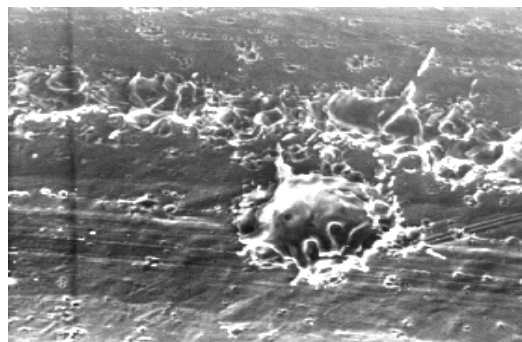
Katodové obloukové napařování je jednou z metod fyzikálního napařování. Možnost využití katodového oblouku ve vakuu pro vytvoření povlaku je známá již od druhé poloviny 19. století, díky čemuž lze zařadit tento způsob k nejstarším známým možnostem povlakování materiálu ve vakuu. V minulém století bylo zjištěno, že velké množství iontů produkovaných při procesu nabízí určité výhody vedoucí ke zlepšení vlastností povlaku. Konkrétně ionty mohou být řízeny a urychlovány směrem k deponovanému dílu. Díky tomu je zajištěna zvýšená přilnavost, hustota a možnost širokého materiálového složení povlaku. Z názvu metody lze vyčíst hlavní podstatu a princip. K uvolnění nanášeného materiálu z terče dochází pomocí vysoké teploty zapříčiněné elektrickým obloukem. Důsledkem tohoto stavu je materiál z terče odpařen a následně z kondenzován na povlakovaném substrátu. V dnešní době patří k nejvíce rozšířené metodě díky své jednoduchosti.

Celý proces napařování probíhá ve vakuové komoře - anoda (obr. 42) při tlaku okolo 0,2 Pa a to z důvodů zamezení reakce mezi odpařenou látkou a zbytky vzduchu. Následuje ohřátí materiálu určeného k pokrytí substrátu na tak vysokou teplotu, aby nastalo jeho vypařování nebo sublimace. Ohřev je uskutečněn pomocí nízkonapěťového oblouku, který může být dvojího druhu. Prvním je pulzní, který je opakovaně zapalován a zhasen díky kondenzátoru. Výhodou toho systému je, že terč se mezi jednotlivými cykly nachází v chladném stavu, avšak klesá rychlost povlakování. Druhým možným obloukem je oblouk kontinuální, který je systémově jednodušší, ale zároveň vznikají makročástice, které znečišťují povlak. V obou případech využívá napájecí zdroj napětí, které vytváří obloukový výboj mezi katodou a anodou.



Obr. 42 Vakuová komora [67]

Obloukový výboj je soustředěn na malé ploše povrchu katody, což vede k extrémně vysoké proudové hustotě o hodnotě přibližně  $10^{12} \text{ A/m}^2$ . Tato plocha je nazývána katodovou skvrnou. Vysoká proudová hustota je doprovázena extrémně vysokou hustotou výkonu o hodnotě  $10^{13} \text{ W/m}^2$ , díky které dochází k lokální fázové transformaci pevného terče (katoda) na téměř plně ionizovanou depozitní plazmu. Tato plazma rychle expanduje do okolního vakua směrem k substrátu. Katodová skvrna o průměru 20  $\mu\text{m}$  se pohybuje po povrchu terče rychlostí 50 m/s zcela náhodně. Při proudu okolo 100 A dosahuje teplota v okolí katodové skvrny 10 000 – 20 000  $^{\circ}\text{C}$ , což vede k tzv. mikro – explozi na povrchu materiálu. Následek tohoto jevu je zachycen pomocí elektronového mikroskopu na obrázku 43. Při dosažení takto vysoké teploty je zajištěno odpaření jakéhokoliv materiálu. Pohyb katodové skvrny je možné ovlivnit magnetickým polem, čímž je dosaženo řízeného odpařování nanášeného materiálu.



Obr. 43 Kráter vzniklý katodovou skvrnou [43]

Řízení katodové skvrny je jedním z důležitých aspektů kvalitní depozice. Bez vlivu magnetického pole se pohybuje náhodně po povrchu terče a tvoří na něm krátery. Tento náhodný proces by mohl vést k tomu, že by katodová skvrna zůstala na jednom z odpařovaných míst příliš dlouho. Následkem by bylo uvolnění velkého množství makro částic nebo kapiček. Tyto kapičky negativně působí na tvorbu povlaku, neboť jsou špatně drženy a mohou vyčnívat z povrchu vytvořeného filmu. Ještě horší případ může nastat u katod (terčů) s nízkou teplotou tání jako je hliník. Katodová skvrna by se mohla dostat skrz terč, což by vedlo k odpařování podkladového



Obr. 44 Válcové katody [79]

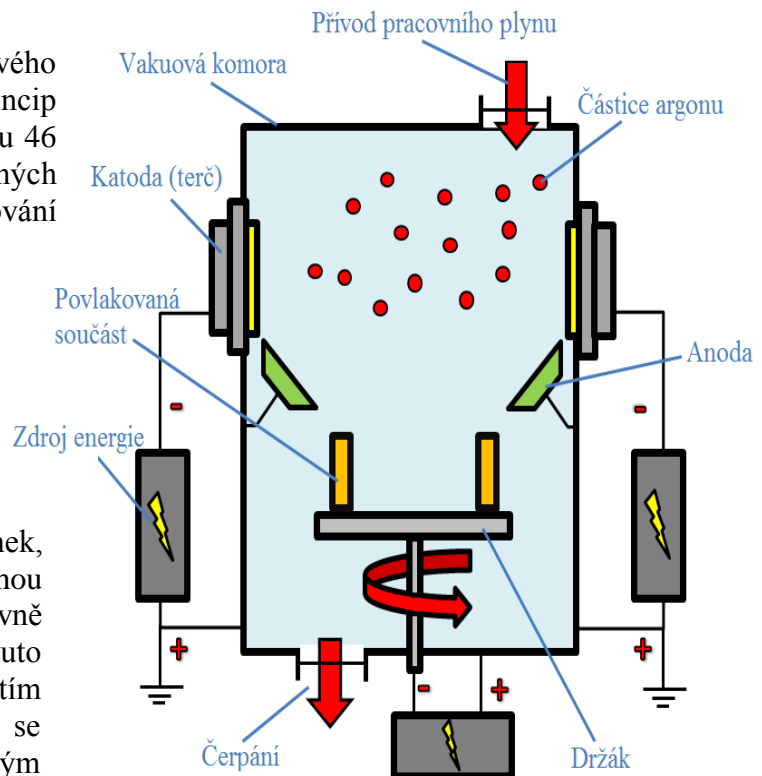
materiálu nebo i možnému celkovému propálení následovaného únikem chladicí kapaliny do komory. Z těchto důvodů je nutné řídit pohyb oblouku, čehož je dosaženo magnetickým polem, které je tvořeno pomocí elektromagnetu. Při použití válcových katod (obr. 44) je možné katodou během procesu otáčet. Tím, že není dovoleno katodové skvrně aby zůstala na jednom místě, lze použít i hliníkové terče. Lze také využít tzv. filtrované oblouky, jež využívají magnetické pole k oddělení kapiček z proudu povlakovaných částic.

Velkým problémem nejen u této metody, ale u všech PVD metod je tzv. stínový efekt, který zabraňuje rovnoměrnému vytváření povlaku. Odstranění tohoto jevu je možné dvěma způsoby. Prvním je, že během samotného procesu napařování je do vakuové komory přiváděn pracovní plyn (argon) pod tlakem 0,7 až 26,7 Pa. Při napařování v pouhém vakuu je střední volná dráha ve srovnání katoda – substrát velmi velká ( $5 \cdot 10^2 - 10^7$  cm). Odpařené částice se tedy před samotnou kondenzací pohybují po nekolizních drahách. Důsledkem je vytvoření povlaku s největší tloušťkou těsně nad terčem, která s přibývajícím vzdáleností klesá. Tento negativní jev je zmírněn pracovním plynem, neboť odpařené látky při přesunu na substrát prodělávají vícenásobné srážky, což se projeví vytvořením povlaku s rovnoměrnější tloušťkou. Druhým způsobem je zajištění pohybu povlakovaných součástí, který je umožněn pomocí rotačních držáků (obr. 45). Nejčastěji se používá držáků skládajících se z více segmentů, ve kterých jsou v kruhovém uspořádání umístěny jednotlivé součásti. Tyto segmenty rotují kolem své osy a zároveň rotují kolem centrální osy celého držáku. Tyto dvě opatření vedou k rovnoměrnému povlaku, jenž se vyznačuje malou drsností, nízkým koeficientem tření a odolností proti korozi.



Obr. 45 Rotační držák [81]

K hlavním výhodám katodového obloukového napařování, jehož princip je schématicky zobrazen na obrázku 46 patří možnost použití katod různých tvarů v libovolné poloze, odpařování veškerých elektricky vodivých materiálů, malé zatížení tepelnou radiací (katodická oblouková depozice) a v porovnání s reaktivním napařováním menší znečištění terče. Mezi nevýhody lze zařadit možnost odpařování pouze elektricky vodivých materiálů a možný vznik kapének, které se po odpaření z katody mohou dostat až do povlaku a tím negativně ovlivnit žádané parametry. Tomuto jevu lze zabránit použitím elektromagnetického filtru, což se ovšem projeví mnohonásobným snížením rychlosti depozice.



Obr. 46 Schéma katodového obl. napařování [48]

## 4 ZÁVĚRY

K nezbytným součástem elektromotorů patří stator a rotor, které jsou tvořeny vrstvenými plechy z křemíkové oceli. Křemík snižuje ztráty vlivem vířivých proudů v motoru, ale zároveň zvyšuje tvrdost materiálu, která se při zpracování projevuje zrychleným opotřebením střížných nožů.

K lepšímu pochopení opotřebení nástrojů byly provedeny experimentální zkoušky jak na zpracovávaném křemíkovém plechu, tak i na dodaných střížnicích. Vzorky plechu z křemíkové oceli byly podrobeny tahové zkoušce, jejím výsledkem bylo zjištění základních materiálových charakteristik. Následně pomocí zkoušky tvrdosti dle Vickerse byla ověřena tvrdost střížníků vyrobených z oceli 19 436 po tepelném zpracování, která dosahovala udávané tvrdosti 62 HRC.

Způsobů vedoucích ke zvýšení životnosti střížných nástrojů je velká řada, avšak některé metody jsou vlivem stále rostoucích nároků nedostatečné. Tepelné zpracování je základním procesem, který je využíván především u nástrojových ocelí. Dalším způsobem je chemicko – tepelné zpracování, využívající difuzního sycení povrchu oceli různými prvky s cílem dosáhnout odlišných mechanických nebo fyzikálně chemických vlastností povrchu a jádra součásti. K nejpokrokovější metodě, jenž dokáže zvýšit několikanásobně životnost nástroje patří povlakování. Ochrana nástroje před negativními vlivy je zabezpečena nanesením slabé vrstvy, která je charakteristická výbornými mechanickými vlastnostmi.

Z možných variant vedoucích ke zvýšení životnosti střížníku byla vybrána metoda povlakování. Z důvodů nutného tepelného zpracování nástroje před samotnou depozicí povlaku, je pro zadanou ocel 19 436 jedinou možnou volbou metoda fyzikálního napařování, která umožňuje nanesení povlaku za nejnižších možných teplot. Díky tomuto kroku byl omezen výběr možných povlaků na duplexní povlak TiCN a FeinAl. Upřednostněn byl povlak FeinAl díky lepším mechanickým vlastnostem. Depozice zvoleného povlaku je aplikována pomocí katodového obloukového napařování. Princip této metody spočívá na odpaření základního materiálu z terče pomocí vysoké teploty zapříčiněné elektrickým obloukem a následnou kondenzací par na povrchu povlakované součásti.

V dnešní době je na trhu velké množství firem, které se zabývají depozicí tenkého ochranného filmu na těžce zatěžované součásti. Díky tomu je možné vybírat ze širokého sortimentu povlaků splňujících nutné podmínky dané provozem součásti, ale nabízí se i možnost zakoupení vlastního povlakovacího zařízení, což může vést v delším časovém úseku k finanční úspoře. Mezi možné zástupce umožňujících povlakování nástrojů pomocí obloukové technologie se řadí stroje firmy Platit s označením PL70,  $\pi 80$  nebo  $\pi 603$ . K hlavnímu rozdílu těchto strojů patří především velikost vakuové komory, od které se odvíjí nejen množství napovlakovaných součástí za jeden pracovní cyklus, ale i energetická náročnost.

Doporučený povlak bude ve firmě s největší pravděpodobností vyzkoušen a porovnán se stávajícím. Tímto se bude zabývat navazující práce. Při depozici povlaku je nutné dbát zvláštní pozornosti na povlakovací teplotu, která by díky možnému teplotnímu ovlivnění vedla ke snížení výsledné životnosti střížníku.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [1]

1. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
2. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010, (6), 72 [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
3. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. : il. ISBN 80-214-2683-7.
4. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli*. Brno: Dům techniky, 1994, 229 s.
5. HRABOVCOVÁ, Valéria a Pavol RAFAJDUS. *Elektrické stroje teória a príklady*. Žilina: ŽU, 2009. ISBN 978-80-554-0101-0.
6. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008, 235 s. : il. (převážně barev.) ; 26 cm. ISBN 978-80-254-2250-2.
7. JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jindřich KUBÁT. *Automobily. 5, Elektrotechnika motorových vozidel I*. 3. vydání. Brno: Avid, s. r. o, 2012, 259 stran : ilustrace (převážně barevné). ISBN 978-80-87143-22-3
8. JECH, Jaroslav. *Tepelné zpracování oceli: metalografická příručka*. Praha: SNTL, 1969, 342 s. : il., tabulky, grafy. příloha (5 l.).
9. KORECKÝ, Jan. *Tepelné zpracování kovů*. Vyd. 2.upr. Praha: SNTL, 1965, 88 s.
10. KRAUS, Václav. *Tepelné zpracování a slinování*. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2013, 270 s. : obr., tabulky, schémata, grafy. ISBN 978-80-261-0260-1.
11. Modern Surface Technology. Weinheim, FRG: Wiley-VCH Verlag, 2006. DOI: 10.1002/3527608818. ISBN 9783527315321.
12. MORÁVEK, Otakar a Vladislav BABOROVSKÝ. *Nástrojové materiály a tepelné zpracování nástrojů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1972, 505 s. : obr., čb. fot., tabulky, graf
13. Novinky na veletrhu Amper 2013. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2013, (3) [cit. 2016-12-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/novinky-na-veletrhu-amper-2013.html>
14. Příručka pro technology - Opotřebení se nevyhneme!. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2012, (6) [cit. 2016-12-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-opotrebeni-se-nevyhneme.html>
15. Thin film. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-02-03]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Thin\\_film](https://en.wikipedia.org/wiki/Thin_film)
16. Trendy v povlakování slinutých karbidů. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001 [cit. 2017-02-03]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/trendy-v-povlakovani-slinutych-karbidu.html>
17. HUMÁR, A., *Technologie 1, Technologie obrábění - 1.část Studijní opory*. VUT FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2006. [online]. [cit. 2017-02-04]. Dostupné na World Wide Web:
18. JEŘICHOVÁ, Miroslava. *Kalené oceli* [online]. In: . 2013, s. 43 [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <https://www.realistic.cz/ke-stazeni>
19. PLUHAR, Jaroslav. *Nauka o materiálech*. Praha: SNTL, 1989, 549 s. : il. ; 25 cm.
20. PTÁČEK, Luděk, Jaroslav CIHLÁŘ, Eduard DORAZIL, Rudolf FORET, Bohumil PACAL, Josef STEIDL, Jaroslav ŠENBERGER a Jiří ŠVEJCAR. *Nauka o materiálu II*. Brno: CERM, 1999, 350 s. ISBN 8072041304.
21. Vytváření tvrdých a otěruvzdorných povrchů pomocí boridování. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010 [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vytvareni-tvrdych-a-oteruvzdornych-povrchu-pomoci-boridovani.html>

22. Vytváření otěruvzdorných povrchových vrstev boridováním. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2003 [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vytvareni-oteruvzdornych-povrchovych-vrstev-boridovanim.html>
23. Plynotěsná šachtová pec s cirkulací vnitřní atmosféry SRC. *LAC* [online]. [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <http://www.lac.cz/cs/pece-a-susarny/prumyslove-pece-a-susarny/tepelne-zpracovani-kovu/chemicko-tepelne-zpracovani/plynotesna-sachtova-pec-s-cirkulaci-vnitri-atmosf>
24. Ferritic Nitrocarburizing in Salt Baths -Tenifer®. *TECMA* [online]. [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <http://www.tecmasrl.eu/en/2013/01/nitrocarburazione/>
25. Současnost a trendy povlakování technologií PVD. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/soucasnost-a-trendy-povlakovani-technologieii-pvd.html>
26. BACH, Friedrich-Wilhelm, Andreas LAARMANN a Thomas WENZ, ed. *Modern Surface Technology*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co., 2006. ISBN 3-527-31535-2.
27. Thin Film Deposition Technologies. *Engineering and Technology History Wiki* [online]. [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: [http://ethw.org/Thin\\_Film\\_Deposition\\_Technologies](http://ethw.org/Thin_Film_Deposition_Technologies)
28. Trendy v PVD a CVD povlakování. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2014 [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/trendy-v-pvd-a-cvd-povlakovani.html>
29. DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007, 608 s. : barev. il. ; 25 cm. ISBN 978-80-86706-19-1.
30. KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 216 s. : il. ; 21 cm. ISBN 80-7082-668-1.
31. KREJČÍK, Vladimír. *Povrchová úprava kovů " : pro 2. ročník středních odborných učilišť / I*. Praha: SNTL, 1987, 168 s.
32. TROJÁNEK, František. *Příručka pro povrchové úpravy / díl. 1., Opatřování a mechanické úpravy*. Praha: SNTL, 1962, 150 s
33. IHLÁŘOVÁ, Petra. *Zvyšování řezivosti rychlořezných nástrojových ocelí na bázi PVD povlakování a použití moderních řezných kapalin = Cutting performance of high speed steels with PVD coatings and use of modern cutting fluids*. Brno: VUT FSI, 2007, 111 s. 1 CD-ROM
34. MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. Ostrava: VŠB, 1995, 151 s. : il. ISBN 80-7078-267-6.
35. PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I*. VŠB. Ostrava, 1997. ISBN 80 - 7078 - 235 - 8.
36. KORECKÝ, Jan. *Povrchové zušlechťování kovů: praktické pokyny pro broušení a leštění - odmašťování - moření - oxydování - fosfátování - galvanické i mechanické pokovování - tvrdé chromování - lakování a smaltování kovů*. Praha: Josef Hokr, 1944, 262 s.
37. Spin polishing. *CUSTOM MANUFACTURING & POLISHING, INC* [online]. Springfield [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.cmpionline.com/spin-polish/>
38. Omílání, odhrotování a leštění. *Brumovská speciální výroba* [online]. Zlín [cit. 2017-04-28].
39. Zařízení a fotogalerie. *Videmann* [online]. Pesvice, 2014 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.videmann.cz/galerie>
40. Lakování ponorem. *Kovo finiš* [online]. Ledec nad Sázavou [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://kovofinis.cz/lakovani-ponorem>
41. Drátěné kotouče z vlnitého drátu. *Abrasiv* [online]. Mladá Boleslav [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://eshop.abrasiv.cz/dratene-kotouce-a-kartace/z-vlniteho-dratu?sort=sku>



42. Large Scale Vacuum Systems, Custom. *Abbess* [online]. Ashland [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: [http://abbess.com/vacuum/custom\\_vacuum\\_cycle\\_system/](http://abbess.com/vacuum/custom_vacuum_cycle_system/)
43. Cathodic Arc Deposition. *Plasma Applications Group* [online]. California [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://plasma.lbl.gov/Research-Topics/cathodic-arc-deposition>
44. Využití plazmových metod ve strojírenství. *ČVUT - Ústav fyziky* [online]. Praha [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://fyzika.fs.cvut.cz/subjects/fzmt/lectures/>
45. ALSHEKHLI, Omar. Pulsed electron deposition and characterization of nanocrystalline diamond thin films. Sudbury, Ontario, Canada, 2013.
46. Cathodic Arc Deposition. *Acree Technologies* [online]. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://www.acreetech.com/index.php/pvd-technology/cathodic-arc-deposition>
47. SANDERS a ANDERS. *Review of Cathodic Arc Deposition Technology at the Start of the New Millennium* [online]. , 35 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/245662.pdf>
48. A study on the abrasive and erosive wear behavior of arc-deposited Cr–N–O coatings on tool steel. *Research gate* [online]. 2014 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/248319056\\_fig1\\_Fig-1-Schematic-diagram-of-the-cathodic-arc-evaporation-system](https://www.researchgate.net/figure/248319056_fig1_Fig-1-Schematic-diagram-of-the-cathodic-arc-evaporation-system)
49. MACHÁČ, Miroslav. *Měření tvrdosti materiálů a zpracování zjištěných hodnot*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Milan Kalivoda.
50. Zkouška tvrdosti dle Vickerse. *Hanyko Praha* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.hanyko-praha.cz/produkty/tvrdomery/co-je-tvrдост-a-jak-se-meri/zkouska-tvrdomery-podle-vickerse/>
51. Zkoušky mikrostruktury - Metalografie: Odběr vzorku. *Ocelový svět* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://ebook.veda-hrou.cz/cms/15-kapitola-5-zkouseni-vlastnosti-oceli.html>
52. Inovativny nanoštrukturovaný PVD povlak pre presné strihanie. *Liss* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.liss.cz/informacni-centrum.php?detail=4>
53. BLÖSCH, Patrick a Jozef SONDROR. *QuadCoatings4®, a New Generation of PVD Coatings for High-Performance Cutting Applications: Laminates – Application FEINAL* [online]. Grenchen [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: [https://www.integrita.zcu.cz/download/skola2/bloesch\\_prez.pdf](https://www.integrita.zcu.cz/download/skola2/bloesch_prez.pdf)
54. *FEINTOOLMAGAZINE: Doubling of service life* [online]. , 24 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: [http://flippage.time-production.com/Feintool/englisch/FT/Feintool/assets/common/downloads/Venture\\_17.pdf](http://flippage.time-production.com/Feintool/englisch/FT/Feintool/assets/common/downloads/Venture_17.pdf)
55. JAREŠ, Vojtěch. *Základní zkoušky kovů a jejich teorie*. Praha: Československé akademie věd, 1966.
56. *CemeCon* [online]. [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.cemecon.cz/povlakovani/default.aspx>
57. *Technický portál* [online]. 2016 [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: [http://www.technickytydenik.cz/rubriky/prumysl/inovacni-skok-v-technologie-povlakovani\\_37771.html](http://www.technickytydenik.cz/rubriky/prumysl/inovacni-skok-v-technologie-povlakovani_37771.html)
58. Siemens [online]. [cit. 2016-12-23]. Dostupné z: [http://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty\\_a\\_sluzby/sem/ servis/pages/servis.aspx](http://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/sem/ servis/pages/servis.aspx)
59. *Základy tepelného zpracování kovů* [online]. In: . [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: [http://jhamernik.sweb.cz/tepelne\\_zpracovani.htm](http://jhamernik.sweb.cz/tepelne_zpracovani.htm)
60. *Bodycote* [online]. [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <http://www.bodycote.cz/cs-CZ/services/heat-treatment.aspx>
61. *JKZ* [online]. Bučovice [cit. 2017-01-31]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz/cs/produkty/nastrojove-oceli/pro-prace-za-studena/w-nr-12080/>
62. *Kalirna* [online]. [cit. 2017-01-31]. Dostupné z: <http://www.kalirna.cz/cz/sluzby/item/31-popousteni.html>

63. *Portal hranice* [online]. [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <http://www.portalhranice.cz/vyroba-prumyslovych-stroju-a-vybaveni/>
64. *Plasticportal* [online]. [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <http://www.plasticportal.cz/cs/firmy-abecedne/ka/1/1/vuhz-as/f/367>
65. *Thefabricator* [online]. [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/stamping/coating-for-stamping-and-forming-tools>
66. Magnetronové naprašování. *Chempoint* [online]. 2012 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/magnetronove-naprasovani>
67. *Technologie výroby a používané materiály* [online]. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: [http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s\\_2\\_3\\_2.htm](http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_2_3_2.htm)
68. SIEMENS. In: *Studuj Siemens* [online]. [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: <http://studujsiemens.cz/>
69. MMHT. *MAHARSH METAL HEAT TREATMENT* [online]. [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.heattreatmentsservices.com/steel-tempering-services-2842693.html>
70. *Slide Share* [online]. Poland, 2015 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/SECOWARWICK/single-flow-continuous-case-hardening-for-gears-bearings>
71. Cementace v atmosférách. *Bodycote* [online]. [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://www.bodycote.cz/cs-CZ/services/heat-treatment/case-hardening-with-subsequent-hardening-operation/atmospheric-carburising.aspx>
72. Cementování. *Tumlikovo* [online]. 2010 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/procesy/chemicko-tepelne-zpracovani-kovu/cementovani/>
73. Boridování. *Bodycote* [online]. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.bodycote.cz/cs-CZ/services/heat-treatment/case-hardening-with-subsequent-hardening-operation/boriding.aspx>
74. Nitridování ocelí. *Tumlikovo* [online]. 2011 [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/nitridovani-oceli/>
75. Nitrocementování. *Strojirenstvi* [online]. [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <http://strojirenstvi.studentske.cz/2008/10/nitrocementovn.html>
76. Metody vytváření tenkých vrstev. *KMT* [online]. 2008 [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: [http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady\\_kmt\\_magistri/VTM/vtm%20Dad/13metody%20na%20vrstvy.pdf](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/VTM/vtm%20Dad/13metody%20na%20vrstvy.pdf)
77. Strojní kartáče. *KPL Trading s.r.o* [online]. Přerov [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.brusivo-nastroje.cz/>
78. Chemické niklování. *Bomex* [online]. Ostrava [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <https://www.bomex.cz/technologie/chemicke-niklovani>
79. Cathodes. *Reactive sputtering* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.reactive-sputtering.info/node/99>
80. Arc Evaporation. *PVD Coatings* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <https://www.pvd-coatings.co.uk/theory/how-are-pvd-coatings-deposited/arc-evaporation/>
81. Videos. *Platit* [online]. Selzach [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://www.platit.com/videos>
82. *HV zkouška tvrdosti podle Vickerse* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [http://www.sps-vitkovice.cz/texty/texty/KOM/KOM\\_3\\_11\\_SPU-mereni\\_tvrdosti\\_2.pdf](http://www.sps-vitkovice.cz/texty/texty/KOM/KOM_3_11_SPU-mereni_tvrdosti_2.pdf)
83. *BÖHLER K100 DIN X210Cr12 W.-Nr. 1.2080* [online]. In: . [cit. 2017-01-31]. Dostupné z: <http://www.bohler.cz/czech/files/downloads/K100.pdf>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Střížný nástroj [63].....	9
Obr. 2 Břitová destička [57].....	9
Obr. 3 Forma pro plasty [64].....	9
Obr. 4 Lisovací nástroj [65] .....	9
Obr. 5 Siemens Electric Machines s.r.o. [68].....	10
Obr. 6 Asynchronní motor [13].....	10
Obr. 7 Přetržený vzorek.....	11
Obr. 8 Tahový diagram .....	11
Obr. 9 ZD40/400kN .....	12
Obr. 10 Vyštipování funkčních hran nástroje [14].....	12
Obr. 11 Vzorky.....	13
Obr. 12 Princip Vickersovy zkoušky [82].....	13
Obr. 13 Tvrdoměr s příslušenstvím .....	14
Obr. 14 Vzorky s barevně zvýrazněnými měřenými plochami.....	14
Obr. 15 Označení dělicí roviny .....	15
Obr. 16 Metalografická pila [51].....	15
Obr. 17 Rozříznutý vzorek .....	15
Obr. 18 Polohy vtisků.....	15
Obr. 19 Tvrdost na povrchu a uvnitř .....	16
Obr. 20 Kalicí lázeň [18].....	16
Obr. 21 Popouštění [69] .....	17
Obr. 22 Nauhličená vrstva [70] .....	17
Obr. 23 Boridovaná vrstva s viditelným zubovým spojením [21] .....	18
Obr. 24 Šachtová pec [23].....	18
Obr. 25 Solná lázeň s přísadou kyanidů [24] .....	19
Obr. 26 Multivrstvý povlak [17] .....	19
Obr. 27 Proces vzniku PVD povlaku [6].....	20
Obr. 28 Schéma procesu naprašování [26].....	20
Obr. 29 Schéma procesu napařování [26] .....	21
Obr. 30 Schéma procesu iontové implantace [6] .....	21
Obr. 31 Schéma procesu CVD [27].....	22
Obr. 32 Povrch materiálu před broušením a po v závislosti na velikosti brusného zrna .....	23
Obr. 33 Povrch materiálu před a po leštění [37] .....	24
Obr. 34 Kartáčování [77].....	24
Obr. 35 Kartáče z různých materiálů, zleva: ocel, mosaz, bronz [41] .....	24
Obr. 36 Omílací buben [38] .....	25
Obr. 37 Vzhled funkčních ploch před a po omílání [6].....	25
Obr. 38 Chemická úprava povrchu [78].....	25
Obr. 39 Odmašťovací alkalická lázeň [39] .....	26
Obr. 40 Lázeň el. odmašťování [40] .....	26
Obr. 41 Multivrstvost povlaku [53].....	27
Obr. 42 Vakuová komora [67] .....	28
Obr. 43 Kráter vzniklý katodovou skvrnou [43] .....	28
Obr. 44 Válcové katody [79].....	28
Obr. 45 Rotační držák [81].....	29
Obr. 46 Schéma katodového obl. napařování [48].....	29

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Tahová zkouška křemíkové oceli.....	11
Tab. 2 Chemické složení oceli 19 436 [4].....	12
Tab. 3 Experimentálně změřená tvrdost vzorků.....	14
Tab. 4 Tvrdost na povrchu a uvnitř .....	15