

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ  
PRÁCE**

**Dvořáček  
Jiří**

**2020**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Dvořáček** Jméno: **Jiří** Osobní číslo: **466699**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**  
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Moderní trendy materiálů pro střížné nástroje**

Název bakalářské práce anglicky:

**Modern trends in materials for cutting tools**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Seznámení s problematikou
- 2) Návrh materiálových jakostí použitelných pro střížníky, návrh tepelného zpracování
- 3) Návrhu zkoušení pro vybraný střížný nástroj
- 4) Závěr

Seznam doporučené literatury:

Sheet Metal Forming Processes and Die Design, Vukota Bojanovic  
ASM Handbook Volume 14B: Metalworking: Sheet Forming  
Metal Forming Handbook, SCHULER GmbH  
Další literatura na doporučení vedoucího práce

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. František Tatíček, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS**


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:


**Ing. Michal Valeš, ústav strojírenské technologie FS**

Datum zadání bakalářské práce: **29.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2020**

  
Ing. František Tatíček, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

  
doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

24.6.2020

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá volbou vhodného materiálu pro extrémně namáhané střížné nástroje, pracující za studena. Teoretická část popisuje značení, výrobu a tepelné zpracování těchto materiálů. Experimentální část se zaměřuje na návrh praktické aplikace zjištěných poznatků v podobě střížného nástroje na lisování otvorů fluidního kotle, a to volbou vhodného materiálu, tepelného zpracování a následnou výrobu střížného nástroje. Cílem této práce je navrhnout vhodný materiál a jeho tepelné zpracování.

### **Klíčová slova:**

Nástrojové materiály, značení nástrojových materiálů, výroba nástrojových materiálů, tepelné zpracování nástrojových materiálů, volba nástrojových materiálů

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with a choice of appropriate material for extremely strained cold work cutting tools. Theoretical part describes labelling, manufacturing and heat treatment of those materials. Experimental part aims to design these theoretical findings for application in form of cutting tool for fluid boiler, in parts of material choice, heat treatment and tool manufacturing. Goal of this thesis is designing right material and its heat treatment.

### **Keywords:**

Tool materials, labelling of tool materials, manufacturing of tool materials, heat treatment of tool materials, choice of tool material

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma **Moderní trendy materiálů pro střížné nástroje** vypracoval samostatně a veškeré literární prameny a zdroje informací, které jsem použil, cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne .....

.....

Jméno, Příjmení

## **Poděkování**

Tímto děkuji panu Ing. Františku Tatíčkoví Ph.D. za cenné rady a připomínky při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat společnosti Bolzano a to hlavně panu Ing. Luboši Procházkovi za poskytnuté materiály a konzultace.

# Obsah

1. Úvod .....	8
2. Značení materiálů.....	9
2.1 Značení dle ČSN 42 0002:1976.....	9
2.2 Značení dle ČSN EN 10027-1 .....	10
2.3 Značení dle W.Nr. (převzato z ČSN EN 10027-2).....	12
2.4 Značení podle výrobců .....	14
3. Výroba nástrojových materiálů .....	15
3.1 Konvenční nástrojové oceli .....	15
3.1.1 Tavení v elektrické obloukové peci (primary melting, EAF) .....	15
3.1.2 Elektrostruskové tavení (ESR) .....	16
3.1.3 Kontinuální lití .....	16
3.1.4 Primární rozpad.....	17
3.1.5 Válcování .....	17
3.1.6 Tažení za studena a za tepla.....	18
3.2 Práškové oceli.....	19
3.2.1 Výroba prášku .....	19
3.2.2 Úprava prášku .....	21
3.2.3 Legování prášku.....	22
3.2.4 Formování prášku.....	22
3.2.5 Slinování (spékání, sintrace).....	25
3.2.6 Napájení kovem.....	26
4. Tepelné zpracování nástrojových materiálů .....	27
4.1 Tepelné zpracování hutního polotovaru .....	27
4.2 Žihání na odstranění pnutí .....	27
4.3 Kalení.....	27
4.4 Popouštění .....	27
5. Vrstvy a povlaky nástrojových materiálů .....	28
5.1 Vrstvy.....	28
5.2 Povlaky .....	29
6. Vhodné nástrojové materiály.....	30
6.1 Konvenční nástrojová ocel .....	30
6.1.1 19 312.....	30
6.1.2 19 435.....	31
6.1.3 19 437.....	32
6.2 Prášková nástrojová ocel.....	33
6.2.1 CPM REX M4.....	34

6.2.2	ASP 2053.....	35
6.2.3	ASP 2005.....	37
6.3	Maragingová ocel.....	38
7.	Návrh podmínek pro zvýšení životnosti moderních nástrojových materiálů .....	40
7.1	Chemické složení.....	40
7.2	Tepelné zpracování .....	40
7.3	Povrchové úpravy.....	44
8.	Návrh zkoušení pro vybraný střižný nástroj.....	45
8.1	Střižník.....	45
8.2	Lisovací nástroj.....	46
8.3	Zkoušení nástroje .....	48
9.	Závěr.....	49

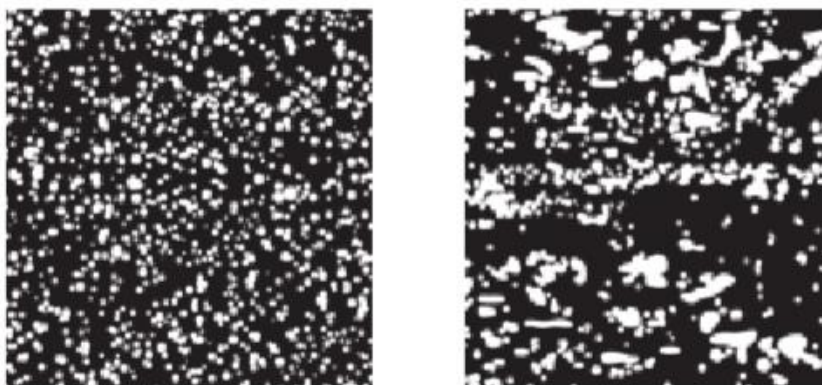
# 1. Úvod

V moderním strojírenství se s narůstajícím počtem výrobců zvyšuje i počet vyráběných materiálů, k čemž se váží i určité problémy.

V dřívějších dobách v Česku a Československu existovalo společné značení, kterého se výrobci drželi. Naopak v dnešní době si výrobci označení sami vytvářejí, pokud materiál nelze přiřadit chemickým složením a mechanickými vlastnostmi k již existujícímu materiálu, protože má například lepší vlastnosti a jedná se tím o modifikaci, která má užší upotřebení.

Hlavním smyslem této práce tedy je tento zmatek ve značení materiálů uspořádat tak, aby bylo možné vybrat vhodný materiál pro střižný nástroj s co nejlepšími mechanickými vlastnostmi a dlouhou životností.

Hlavními používanými materiály v tomto odvětví strojírenství jsou konvenční nástrojové oceli a práškové nástrojové oceli. Tyto dva typy se od sebe liší jak po stránce ekonomické, tak technologické a konstrukční. V této práci se ale budu zabývat pouze technologickou stránkou řešení této problematiky. Konvenční nástrojové oceli jsou široce používané, osvědčené, levnější, s nižší náročností na tepelné zpracování a obstojnými vlastnostmi. Naopak práškové nástrojové oceli jsou vesměs dražší, náročné na přesné dodržení postupu tepelného zpracování, s vynikajícími vlastnostmi, které předčí většinu konvenčních nástrojových ocelí. Podíl na těchto odlišnostech má také struktura práškové oceli oproti konvenční nástrojové, protože prášková, dosahuje jemnější struktury, díky způsobu její výroby.



*Obr. 1 Struktura práškové (vlevo) a konvenční nástrojové (vpravo) oceli [10]*

Pokud dojde k nedodržení předepsaných parametrů pro tepelné zpracování nebo k volbě materiálu nevhodné jakosti pro daný nástroj, může dojít k předčasnému opotřebení, deformaci, lámání nebo celkové destrukci nástroje, což se dále promítne v nákladech na výrobu, a to v podobě nutnosti častého přeastřování nástroje, nebo dokonce k výrobě nového. Tím samozřejmě vznikají prostoje a výroba není efektivní.

Možnosti využití informací a poznatků, které v této práci logicky uspořádám, dají možnost konstruktérům, kteří tyto nástroje používají, správně zvolit materiál pro jejich specifickou aplikaci a následně vhodné tepelné zpracování, které zaručí ty nejlepší požadované vlastnosti nástroje.



## 2. Značení materiálů

Existují obecná pravidla pro značení materiálů, která vycházejí z norem, které jsou národního a mezinárodního charakteru. Národní norma platí ve státě, pro který je vydávána (např. ČSN pro ČR, DIN pro Německo, ANSI pro USA atd.). Mezinárodní norma naopak platí pro určitou část (např. EN pro Evropu), nebo dokonce celosvětově s několika výjimkami (ISO).

Primárně zde rozeberu způsoby značení pro normy evropské, protože pro naší aplikaci se normy, např. ze zámoří, nehodí. Dále se také budu věnovat problematice vlastního značení výrobců, opět s orientací na evropský region.

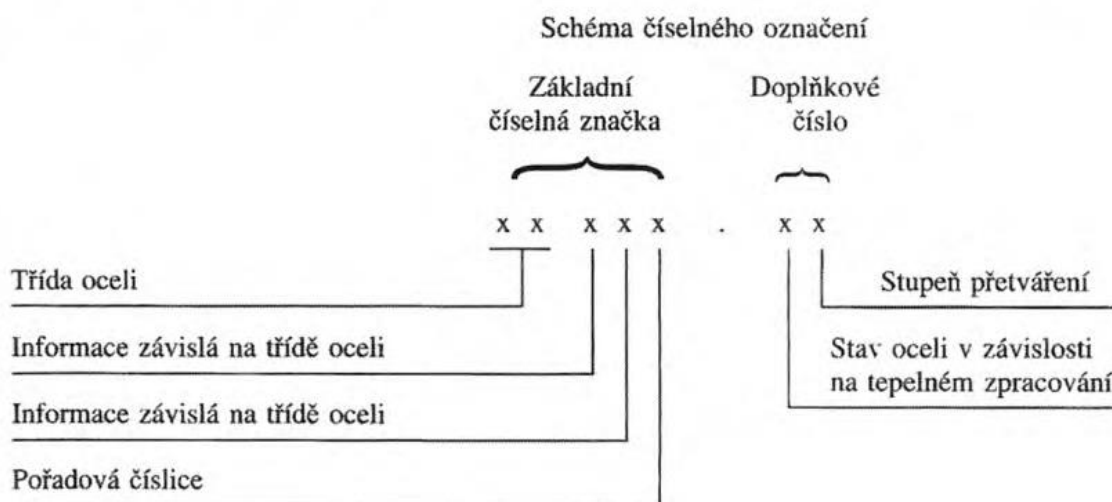
### 2.1 Značení dle ČSN 42 0002:1976

Jedná se o starý způsob značení a o původní českou normu. Základem je pětimístné číslo označující základní materiál. První číslice je „1“ a označuje tvářenou ocel. Druhá číslice ve spojení s první označuje třídu oceli. Třetí a čtvrtá číslice mají různý význam podle třídy oceli. Doplnkové číslo má jednu, nebo dvě doplňkové číslice. První určuje stav oceli po tepelném zpracování a význam těchto číslic je k nahlédnutí v [Příloha 1](#). Druhá doplňková číslice určuje stupeň přetváření, ale vzhledem k charakteru práce se jí zabývat nebudu. [26]

U tohoto značení musíme rozlišit to, že ta samá ocel je popsána názvem pomocí pětimístného čísla, např. 19 313, nebo dle normy šestimístným číslem:

ČSN 41 9313, „41“ udává to, že se jedná o „Hutnictví - materiálové listy ocelí“. [13]

V tomto případě se budu zabývat ocelmi třídy 17 a 19, které se používají pro nástroje ke stříhání.



Obr. 2: Schéma číselného označení [26]

## Třída 17

Tabulka 1: Typ legování třídy 17 [3]

Číselná značka	Význam třetí číslice
17 0xx	Oceli chromové
17 1xx	Oceli chromové s dalšími přísadovými prvky (Al, Mo, Ni)
17 2xx	Oceli chromniklové, popř. stabilizované (Ti, Nb)
17 3xx	Oceli chromniklové, popř. stabilizované (Ti, Nb) a s dalšími přísadovými prvky (Mo, V, W, aj)
17 4xx	Oceli manganochromové, manganochromniklové
17 5xx	Oceli niklové
17 6xx	Oceli manganové
17 7xx	Volné

Čtvrtá číslice v základní číselné značce ocelí třídy 17 vyjadřuje obsah hlavních legovacích prvků Cr, Mn a Ni v jednotlivých druzích ocelí podle typu legování. [6]

## Třída 19

Tabulka 2: Typ legování třídy 19 [6]

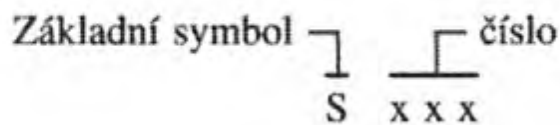
Číselná značka	Význam třetí číslice	
19 0xx	Dvojčíslí ze 3. a 4. číslice vyjadřuje u nelegovaných ocelí střední obsah uhlíku	Nástrojové oceli uhlíkové
19 1xx		
19 2xx		
19 3xx	Oceli manganové, křemíkové, vanadové	Nástrojové oceli legované
19 4xx	Oceli chromové	
19 5xx	Oceli chrommolybdenové	
19 6xx	Oceli niklové	
19 7xx	Oceli wolframové	
19 8xx	Oceli rychlořezné	
19 9xx	Speciální oceli	

Třetí číslice v základní číselné značce ocelí třídy 19 vyjadřuje jednak nelegované oceli, jednak typ legování oceli jednotlivými legovacími prvky nebo skupinou hlavních legovacích prvků dle tabulky. Čtvrtá číslice v základní číselné značce legovaných ocelí třídy 19 má význam pořadový. [6]

## 2.2 Značení dle ČSN EN 10027-1

Nový způsob značení, který nahrazuje normu ČSN 42 0002. Označování je složeno z písmena a čísel, která vyjadřují základní charakteristické znaky ocelí. Dále se toto značení dělí na:

- A) Značky ocelí podle použití a mechanických nebo fyzikálních vlastností
- B) Značky ocelí podle jejich chemického složení [26]



Obr. 3: Systém označení [26]

Všechna písmena a čísla se píše bez mezery, přídatné symboly se připojují rovněž bez mezery. Symboly skupiny 2 mohou být použity pouze ve spojení se symboly skupiny 1 a připojují se za nimi. [13]

### Značky ocelí podle použití a mechanických nebo fyzikálních vlastností

Tabulka 3: Značky vytvořené na základě použití a mechanických, nebo fyzikálních vlastností [26]

Značka	Význam značky
S	oceli pro ocelové konstrukce pro všeobecné použití
P	oceli pro tlakové nádoby
L	oceli pro potrubí
E	oceli pro strojní součásti
G	oceli na odlitky
B	oceli pro výztuž do betonu
H	ploché výrobky válcované za studena z ocelí k tažení a vyšší pevnosti
D	ploché výrobky z měkkých ocelí pro tažení za studena
R	oceli na kolejnice
T	tenké a pocínované plechy a pásy; pochromované plechy a pásy
M	plechy a pásy pro elektrotechniku
Y	oceli pro předpínací výztuž do betonu

Tabulka 3 nám ukazuje, že toto třídění při výběru daného materiálu je vhodné jen, pokud bych vybíral podle mechanických a fyzikálních vlastností, s tím že jediná použitelná skupina je E (oceli na strojní součásti).

## Značky ocelí podle jejich chemického složení

Tabulka 4: Značky vytvořené na základě chemického složení oceli [26]

Značka	Význam značky
C + čísla odpovídající stonásobku středního obsahu uhlíku	nelegované oceli (s výjimkou automatových) se středním obsahem manganu pod 1%
číslo odpovídající stonásobku středního obsahu uhlíku + chemické symboly legujících prvků + čísla vyjadřují charakteristiky legujících prvků	nelegované oceli se středním obsahem Mn $\geq$ 1%, nelegované automatové oceli a legované oceli (kromě rychlořezných) se středními obsahy jednotlivých legujících prvků $<$ 5%
X + číslo odpovídající stonásobku střední hodnoty rozsahu předepsaného pro obsah uhlíku + chemické symboly legujících prvků charakterizujících ocel + čísla udávající obsahy charakteristických legujících prvků	legované oceli (kromě rychlořezných) s obsahem minimálně jednoho legujícího prvku $\geq$ 5%
HS + čísla udávající obsahy prvků v následujícím pořadí wolfram (W), molybden (Mo), vanad (V), kobalt (Co)	rychlořezné oceli

Toto rozdělení už je pro volbu správného materiálu a jejich třídění vhodnější a umožňuje mi účinně vybírat materiály dle jejich chemického složení. Písmena PM před názvem oceli určují, že byla ocel vyrobena práškovou metalurgií. U nelegovaných ocelí se středním obsahem manganu pod 1% mě bude zajímat přídatný symbol skupiny 1: „U – na nástroje“. [26]

U nelegované oceli se středním obsahem Mn  $\geq$  1%, nelegované automatové oceli a legované oceli (kromě rychlořezných) se středními obsahy jednotlivých legujících prvků  $s <$  5% se za obsah uhlíku udávají chemické značky legujících prvků a za ně se dále udávají čísla oddělená spojovací čárkou, která odpovídají střednímu obsahu příslušného prvku vynásobenému koeficienty, viz [Příloha 3](#) a [Příloha 4](#). [26]

### 2.3 Značení dle W.Nr. (převzato z ČSN EN 10027-2)

Druhá část normy ČSN EN 10027-2 byla převzata do německé normy DIN, pod názvem Werkstoffnummer, zkráceně W.Nr. Tato norma stanoví systém číselného označování oceli, pro označení ocelí značkami. Tato čísla platí jako doplňková ke značkám EN 10027-1. Čísla ocelí stanovená podle tohoto systému mají určitý počet číslic. Systém je proto vhodnější pro zpracování dat, než značky ocelí stanovené podle EN 10027-1. Každé číslo musí odpovídat pouze jedné značce oceli. Naopak, každá značka oceli musí odpovídat pouze jednomu číslu oceli. [26]

### Stavba čísel ocelí

Čísla ocelí se tvoří následovně



POZNÁMKA Číslice 2 až 9 čísla hlavní skupiny materiálu mohou být přiřazena jiným materiálům.

Obr. 4: Stavba čísel ocelí [26]

Při přidělování nových čísel ocelí se čtyřmístnými pořadovými čísly musí zajistit, aby první dvě číslice pořadového čísla byly zcela naplněny (např. 1.xx99) dříve, než se přidělí poslední dvě číslice pořadového čísla (např. 1.xx9901). [26]

Tabulka 5 uvádí čísla skupin ocelí, které se používají pro střížné nástroje.

Tabulka 5: Čísla skupin vybraných ocelí [26]

Nelegované oceli		Legované oceli			
Oceli ušlechtilé					
/	/	Nástrojové oceli		Různé oceli	
10	/	20	Cr	30	/
11	/	21	Cr-Si, Cr-Mn, Cr-Mn-Si	31	/
12	/	22	Cr-V, Cr-V-Si, Cr-V-Mn, Cr-V-Mn-Si	32	rychlořezná ocel s Co
13	/	23	Cr-Mo, Cr-Mo-V, Mo-V	33	rychlořezná ocel bez Co
14	/	24	W, Cr-W	34	otěruvzdorné oceli
15	nástrojové oceli	25	W-V, Cr-W-V	35	/
16	nástrojové oceli	26	W, kromě tříd 24, 25 a 27	36	/
17	nástrojové oceli	27	S Ni	37	/
18	nástrojové oceli	28	Ostatní	38	/
19	/	29	/	39	/

Toto značení je používáno některými dodavateli ocelí, proto je vhodné ho zde uvést. Jako ostatní značení je možné ho pro některé případy, převést do jiného typu, např. ČSN EN 10027-1.

## 2.4 Značení podle výrobců

V dnešní době začíná být stále častější, že výrobci, nebo i dodavatelé ocelí si vytváří vlastní označení jimi vyráběných materiálů. To představuje problém v jednom důležitém faktoru, a to ve vhodné volbě oceli. Pokud si výrobce vytvoří označení vlastní, nemusí dodržovat mechanické vlastnosti, chemické složení a další parametry materiálu, které platí, pro již zavedené normy, ať už v ČSN, EN, ISO nebo v dalších.

U tohoto označení je také obtížné z názvu vyčíst některé klíčové parametry materiálu, jako může být jeho složení, mez pevnosti nebo například druh tepelného zpracování. V tomto případě se jeví jako jediná možnost nahlédnutí do materiálových listů přímo od výrobce, nebo dodavatele. Většinou se totiž jedná o obchodní názvy, které nám zprvu nic neřeknou (např. TENASTEEL). V této práci jsem vybíral vhodné materiály pro střižné nástroje také z materiálových listů, které nám poskytují výrobci a dodavatelé, kteří používají vlastní značení, pro jejich původní materiály, nebo modifikovali materiál uvedený v normách, ale nemohou používat původní značení tohoto materiálu, protože v nějakém ohledu jejich materiál neodpovídá dané normě.

### 3. Výroba nástrojových materiálů

U výroby mě především zajímají dvě nejpoužívanější skupiny oceli na střižné nástroje, a to konvenční nástrojové (tool steels) a práškové (PM, neboli powder metallurgy steels). Tyto skupiny mají různé postupy výroby a své výhody a nevýhody. Právě na ty se zaměřím v této části mé práce a budu se zabývat tím, jak se tyto oceli vlastně vyrábějí.

#### 3.1 Konvenční nástrojové oceli

Již z charakteru oceli musí být při výrobě prováděna řádná kontrola podmínek a kvality, aby bylo zaručeno vhodné chemické složení a vlastnosti materiálu. V dalších podkapitolách budou uvedeny jednotlivé procesy výroby konvenčních nástrojových ocelí.

##### 3.1.1 Tavení v elektrické obloukové peci (primary melting, EAF)

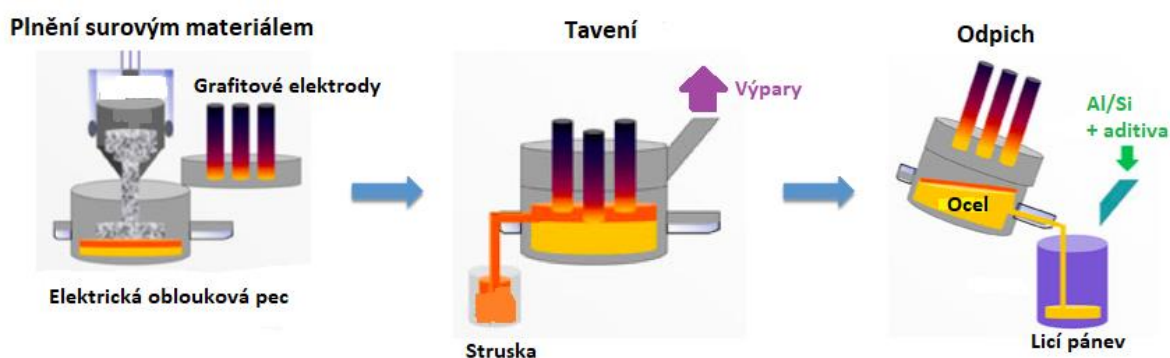
Tavení v elektrické obloukové peci je široce využíváno, protože je možné dosáhnout velmi nízkých výrobních nákladů. [37]

Materiál pro výrobu je především šrot a to až 75 %, jedná se o směs zbytkového a nakupovaného šrotu. Je ale velmi důležité, aby nedošlo ke kontaminaci kovy, kterých se nemůžeme zbavit pomocí oxidace, jako například nikl, kobalt a měď. [22]

Většina tavení nástrojových ocelí probíhá v elektrické obloukové peci, kde dochází ke dvěma stádiím: [22]

1. Šrot se rychle zahřeje v peci.
2. Horký kov je převeden do samostatného konvertoru, k dalšímu zpracování. Tento proces je znám také jako sekundární rafinace, a umožňuje nám dosažení vysoké efektivity a možnost zpracování velkých objemů materiálu.

Kov je následně převeden do lící stanice a odlit do ingotů, ty jsou následně obvykle žíhány, aby se předešlo praskání, z důvodu vzniku pnutí v materiálu. [22]



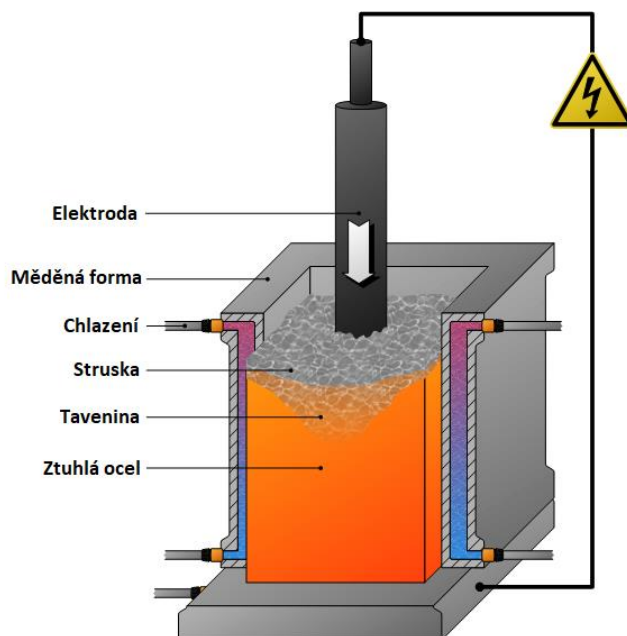
Obr. 5: Výroba oceli elektrickou obloukovou pecí [34]

### 3.1.2 Elektrostruskové tavení (ESR)

Elektrostruskové přetavení je progresivní tavící proces výroby ingotů s hladkým povrchem, bez děr a dalších nedokonalostí. Ingoty mají zlepšenou zpracovatelnost za tepla, zlepšenou poddajnost při zpracování, čistotu, lepší tažnost a vlastnosti při únavě materiálu.

Jedná se o drahý proces výroby, a ani lepší poddajnost oceli nemusí vyvážit náklady elektrostruskového tavení. Tento typ výroby se vyplatí převážně pro specializované aplikace. [22]

Vakuové obloukové přetavení (VAR) je proces někdy zároveň používaný při ESR. Nicméně je opět omezen na speciální aplikace se specifickými požadavky na materiál. Při výrobě je teplo dodáváno elektrodou, která je ve vysoce vakuovaném prostředí. Výsledná ocel má kvalitní makro a mikro strukturu a je chemicky jednotná. [22]

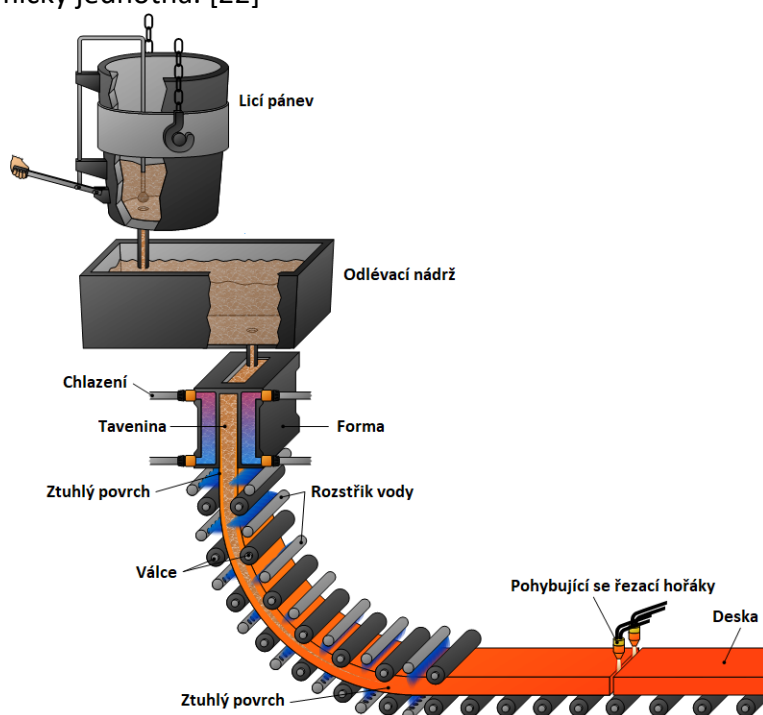


Obr. 6: Elektrostruskové tavení [20]

### 3.1.3 Kontinuální lití

Jedná se o velmi ekonomickou metodu výroby nástrojových ocelí, která je oproti tradičnímu odlévání oceli do ingotů rychlejší a energeticky méně náročná. [25]

Výroba probíhá tak, že se tekutá ocel lije do svislého, vodou chlazeného krystalizátoru, kde tuhne. Pod krystalizátorem v pásnu sekundárního chlazení tuhne také střed kontistlitku. Ten se ze svislé polohy ohýbá do vodorovné a pak se řeže na požadované délky. Produktem kontilití je ocel v základních tvarech (bramy, sochory, bloky) rovnoměrných vlastností, při tomto způsobu výroby vzniká malé množství odpadního materiálu. [25]

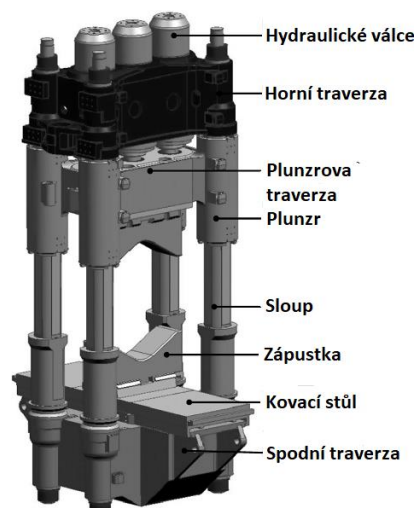


Obr. 7: Kontinuální lití [21]



### 3.1.4 Primární rozpad

Rozpadová metoda používá hydraulický lis s otevřenou zápustkou, nebo rotační kovací stroj. Tento proces je velmi všestranný a lze vyrábět tyče kruhové, obdélníkové atd. v délkách 6 až 13 metrů. Konečný polotovar je vysoké kvality s malým počtem prasklin a rýh, u kterého může být dosaženo vysokého stupně přímosti. [22]



Obr. 8: Hydraulický lis s otevřenou zápustkou [18]

### 3.1.5 Válcování

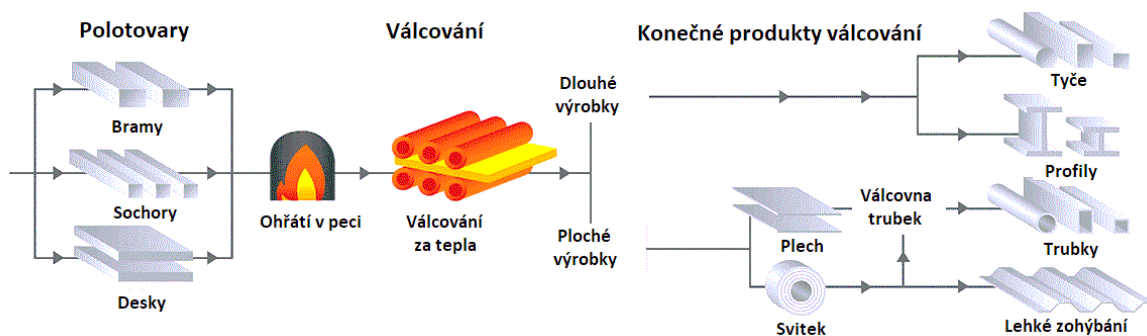
V moderní pojetí výroby může být použito i několik tuctů válců za sebou. Kov je ohříván pomocí plynové pece, průběžné pece, nebo indukční pece. Rychlé ohřátí zaručí, že nedojde k oduhličení, tzn. ztrátě obsahu uhlíku. Válcování je automatizováno pomocí počítačů a měřicí stroje provádějí kontrolu tolerance průměru a povrchové kvality zpracovávaného materiálu. To umožňuje vyrobit výrobek požadovaného tvaru během několika desítek minut. [22]

#### Válcování za tepla

Předvalek se před vstupem na válcovací stolicí ohřeje na teplotu přibližně 1000 °C a deformuje se mezi otáčejícími se pracovními válci. Snižuje se výška materiálu, upravuje jeho šířka, a materiál se postupně prodlužuje. Zvyšuje se také rychlost jeho průchodu následující válcovací stolicí. Při použití jediné válcovací stolice se materiál nejdříve válcuje napříč, následně podélně a jako výrobek vzniká plech, který není vhodný pro naše zadání. Oproti tomu u druhé technologie materiál postupně prochází větším počtem válcovacích stolic a je válcován pouze v podélném směru. Tímto způsobem je možné vyrobit profily různých tvarů. [25]

Při válcování za tepla se materiál ohřívá na rekrystalizační teplotu, která je vyšší než 70% teploty tání daného materiálu. Materiál se proto při válcování nezpevňuje. Na tváření postačují síly až desetkrát menší než na válcování za studena. [25]

V závislosti na rozměrových požadavcích může po válcování za tepla následovat válcování za studena. [37]

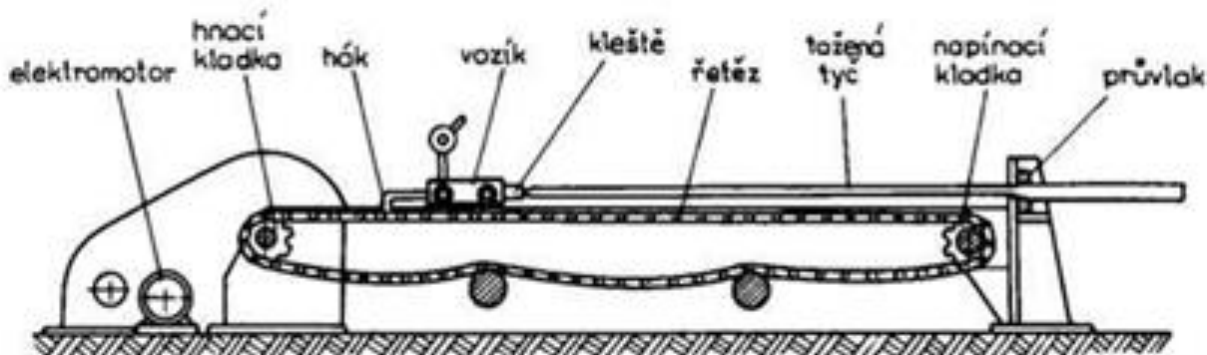


Obr. 9: Válcování [2]

## Válcování za studena

Teplota nepřesahuje 30% teploty tání vstupního materiálu. Při válcování se zplošťují zrna oceli a materiál se zpevňuje. Zlepšují se hodnoty meze pevnosti a kluzu, ale klesá tažnost. Lze dosáhnout vysoké přesnosti rozměrů, kvalitního povrchu a lepší pevnostní charakteristiky oceli. Po tváření se výrobek obvykle zahřeje, čímž se částečně obnoví plasticita kovu a možnost jeho dalšího tváření. Pro úplné obnovení plasticity se musí výrobek vyžít. Rekrytalizací při 35 až 40% teploty tání kovu dosáhneme zmenšení zrn kovu. [25]

### 3.1.6 Tažení za studena a za tepla



Obr. 10: Tažení [29]

Při tažení se polotovar protahuje otvorem menším, než je rozměr polotovaru, čímž se zmenšuje jeho průřez a prodlužuje jeho délka, a zároveň dochází ke zlepšení kvality povrchu a mechanických vlastností kovu. Klíčové pro tento proces je dostatečné mazání, které musí oddělovat polotovar a průvlak, odvádět teplo a zajišťovat hladkost povrchu. [25]

U nástrojových ocelí nám tento proces zaručuje lepší rozmezí tolerancí, možnost zmenšení rozměrů, nebo vytvoření speciálních tvarů. Je zde ale problém s tím, že nástrojové oceli mají vysokou pevnost a omezenou tažnost, z toho důvodu je tažení za studena většinou omezeno jen na jeden průchod válcováním za působení malých sil, tím se předejde praskání materiálu. Při tažení za tepla do 540 °C můžeme zpracovávanou nástrojovou ocel nechat táhnout několikrát a dosáhneme tím větší pevnosti. [22]

## 3.2 Práškové oceli

Práškovou metalurgií můžeme vyrobit vysoce legované oceli, jako například vysokouhlíkové, s vysokým obsahem chromu a rychlořezné. Tato metoda výroby se v posledních letech stává více a více populární, protože klasickými metodami nastávají problémy při výrobě vysokolegovaných nástrojových ocelí. Při klasické výrobě máme pomalé časy ochlazení, což má za následek formaci nežádoucí hrubosti zrna, které dále způsobí nerovnoměrnost tepelného zpracování a nízkou tuhost. [22]

Prášková metalurgie tedy překonává problémy, které nám vznikaly při tradičním zpracování nástrojových ocelí. Výsledkem rovnoměrného rozmístění karbidů je zlepšená obrobitelnost ve vyžíhaném stavu, rychlejší vytvrzování a zlepšená brusitelnost. Je zde ale nevýhoda v podobě menší odolnosti za určitých podmínek (např. práce za vysoké teploty). [22]

Způsob výroby práškových materiálů do značné míry ovlivňuje jeho fyzikální a technologické vlastnosti. Téměř všechny materiály lze vyrobit ve formě prášku, ale volba technologie výroby závisí na specifických vlastnostech materiálu, ekonomických aspektech, požadovaných výsledných charakteristikách prášku a konkrétním typu aplikace. [33]

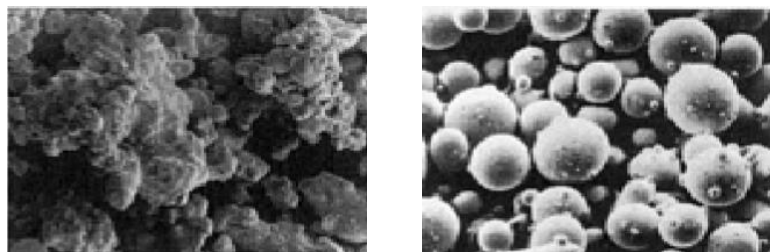
V této kapitole si tedy uvedeme, jaké jsou možnosti a postupy výroby práškové oceli právě pro materiály pro střižné nástroje.

### 3.2.1 Výroba prášku

Kovové prášky jsou vyráběny metodami mechanickými, nebo chemickými. Výběr vhodné metody záleží na velikosti produkce, a na fyzikálních a chemických vlastnostech materiálu. Při výrobě nástrojových ocelí se používá atomizace [3]

#### Atomizace

Atomizace je jednoduše rozpad taveniny do malých kapek. Jakýkoliv materiál i v tekuté formě může být atomizován. Velikost částec prášku je méně než 150  $\mu\text{m}$ , ale mohou být vyráběné i větší, u kterých se pak jedná o granule. Prášky na výrobu nástrojových ocelí se vyrábí vodní atomizací, nebo plynovou atomizací, kdy je tekutý kov rozbit na kapičky pomocí nárazu plynu, nebo vody proudící skrze vysokotlaké trysky. Dle typu atomizace se vyrobený prášek liší ve tvaru částic, chemickém složení a vyžaduje rozdílné zpevňovací techniky. [3]

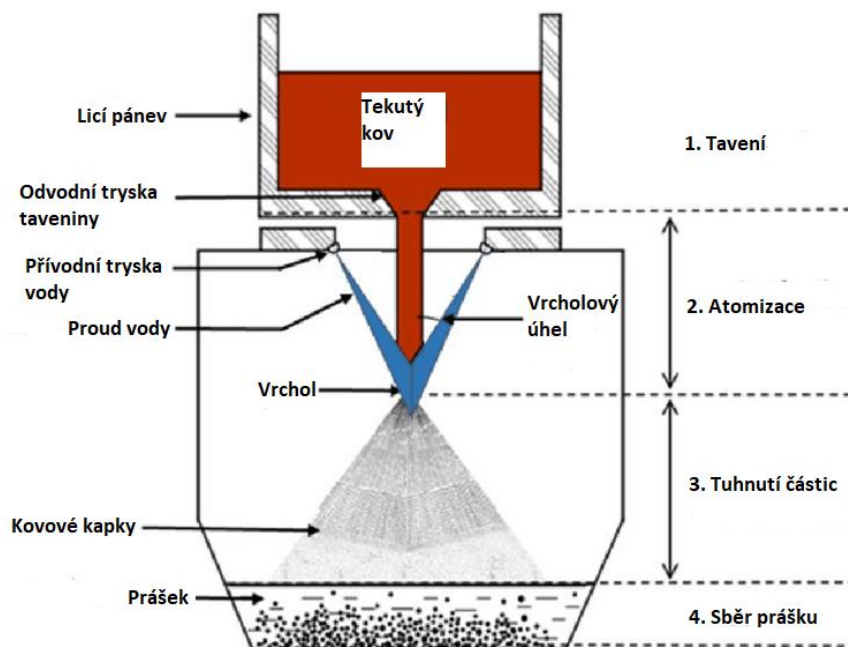


Obr. 11: Tvar částic při atomizaci vodní (vlevo) a plynové (vpravo) [3]

#### Vodní atomizace

Prášky jsou vyrobené indukčním tavením nového surového materiálu a/nebo kovového šrotu, mají nepravidelně tvarované částice a jsou použitelné pro konvenční slisování

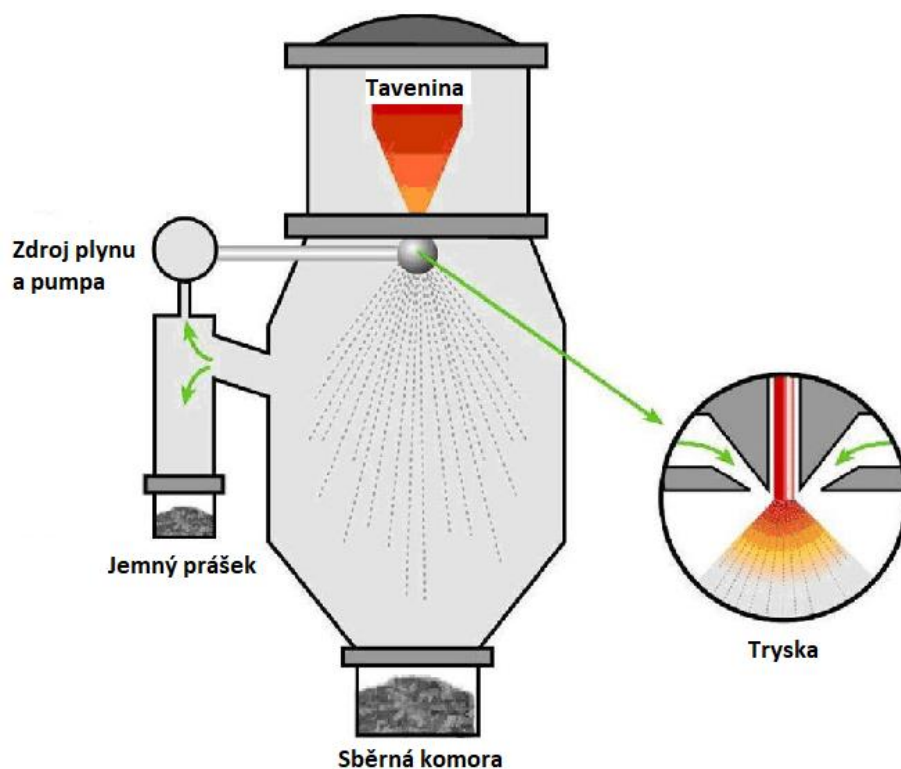
v záпустce a spékání k vysoké hustotě. Vodou atomizované nástrojové práškové oceli jsou vakuově odkysličený a vyžhány, což snižuje obsah kyslíku v materiálu a zlepšuje jejich zhutňovací vlastnosti. Odkysličení probíhá za zvýšené teploty a dochází ke snížení obsahu kyslíku z 1500 až 3000 ppm na méně než 1000 ppm. Žhání snižuje tvrdost ze 700 na méně než 300 HV. Během spékání je obsah kyslíku snížen na méně než 100 ppm. Vodně atomizovaný prášek může být rozdrčen, čímž získáme velmi malé částčky a zrychlené spékací charakteristiky. [3]



Obr. 12: Schéma vodní atomizace [32]

## Plynová atomizace

Prášky vyrobené plynovou atomizací mají kulový tvar a jsou zpevňovány do požadované hustoty izostatickým lisováním za tepla, extruzí, nebo vstřikováním do formy. Zlepšení technologie tavení, separace strusky a atomizace vedlo ke snížení obsahu kyslíku na méně než 50 ppm, zmenšení velikosti vměstků a snížení dalších vad (argonová porozita). Uzavřené zpracování prášku minimalizuje výskyt makro vměstků. Zdokonalená mikrostruktura prášku je zachována ve zpevněném produktu a má vliv na zlepšení tuhosti, pevnosti při ohybu, životnosti a dalších vlastnostech. [3]

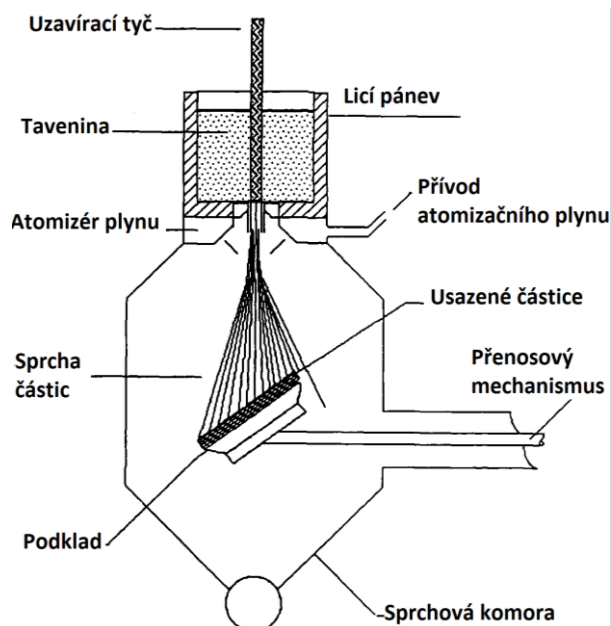


Obr. 13: Schéma plynové atomizace [27]

### Osprey proces

Tento speciální proces je používán pouze ve Velké Británii a Japonsku, má ale vysoký technický a obchodní potenciál. Rztavená slitina je vylévána z indukční pece skrze trysku a vystřelena z vysokotlakých plynových atomizačních trysek, při výtoku dochází ke vzniku malých kapiček. Tyto kapky jsou poté sbírány a použity k vytvoření polotovaru, jako například tyčí, plechů atd. [22]

Výhody této metody jsou podobné jako u běžné práškové metalurgie. Nástrojové oceli vyrobené tímto procesem mají rovnoměrné rozmístění karbidů. Nevýhodou je finanční náročnost, proto je běžná prášková metalurgie aktuálně výhodnější, než Osprey proces, který je dražší. [22]



Obr. 14: Schéma Osprey procesu [30]

### 3.2.2 Úprava prášku

Aby byl prášek použitelný pro aplikace práškové metalurgie, musí být upraven z několika důvodů, které si uvedeme v této kapitole.

## **Třídění prášků**

Částice mají v surovém prášku zpravidla velký rozsah velikostí. Aby bylo dosaženo optimální hustoty a lisovatelnosti použitého prášku, je nutné zajistit určité složení z hlediska velikosti částic. [33]

Prášek se proto třídí na různé frakce, těmito metodami:

1. Prosévání – rozdělování pomocí vibračních sít
2. Vzdušné třídění – rozdělování vhodně řízeným proudem vzduchu
3. Plavení – rozdělování vhodně řízeným proudem vody, nebo jiné kapaliny [33]

## **Žihání prášku**

Redukce prášků je nutná, pokud dojde vlivem okolních podmínek k jejich povrchové oxidaci a provádí se ve slinovacích pecích v atmosféře vodíku nebo amoniaku. Al, Cr, Mn nebo Ti se nedají účinně redukovat a musí se při jejich výrobě zamezit kontaminaci kyslíkem. Redukce se provádí za co nejnižší teploty, abychom zamezili spékání částic, z ekonomického hlediska, a z potřeby menší síly na rozměňování. [33]

## **Dodávání přísad a příměsí**

K práškům se špatnou slisovatelností se přidávají různé pomocné přísady, které snižují tření mezi stěnami stroje a jednotlivými částicemi, dále zmenšují opotřebování matric a jejich „zapečení“. Jejich použití vede ke snížení tekutosti a sypné hustoty prášků. Slinovadla jsou kovové přísady, které zdokonalují slinovací pochod. Plniva se během slinování odpařují a ve výrobku vzniká žádaný stupeň pórovitosti. [33]

## **Mísení a homogenizace**

Mísení a homogenizace prášků zaručuje jednotnou kvalitu výchozí suroviny, a tím i dobrou reprodukovatelnost výroby a vhodné technologické vlastnosti zpracovávaného prášku. Vlastní mísení se provádí v mísičích, např. bubnových, nebo skříňových. [33]

### **3.2.3 Legování prášku**

Legování prášku má vliv na jeho technologické vlastnosti, slinovací proces a finální vlastnosti výrobku.

Uplatňuje se několik způsobů legování, z nichž jsou pro nás vhodné předlegované prášky, které mají vysokou tvrdost, nebo hybridní prášky, které vznikají mísením předlegovaných nebo částečně legovaných prášků s elementárními prášky nebo práškovými feroslitinami pro dosažení požadovaného chemického složení. [33]

### **3.2.4 Formování prášku**

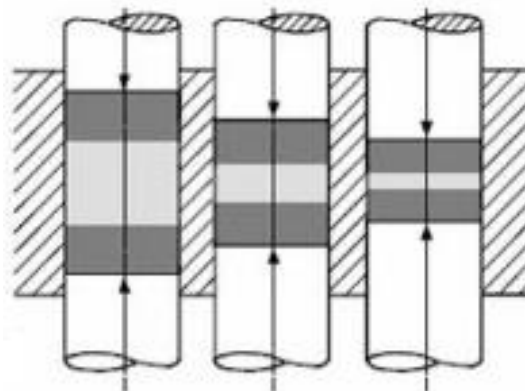
Poté co je vyroben prášek i se všemi přísadami, příměsemi a legurami, se z něj musí vytvořit použitelný polotovar, ze kterého bude následně vyroben střížný nástroj. Uvedu zde používané metody formování těchto prášků.

## Lisování v matricích

Má největší technické uplatnění, existuje několik druhů jako jednosměrné lisování, obousměrné lisování, lisování s plovoucí matricí. Upřednostňuje se lisování oboustranné, kde dochází k příznivějšímu rozložení hustoty a umožňuje rychlejší vytahování vylisku z matrice. [33]

Matrice se nejdříve naplní práškem, poté se působením razníků prášek slisuje a nakonec se vylisek vysune. Pro dodatečné zvýšení relativní hustoty se může použít dolisování, což je opětovné lisování vylisku za účelem získání přesných rozměrů a zlepšení vlastností. [33]

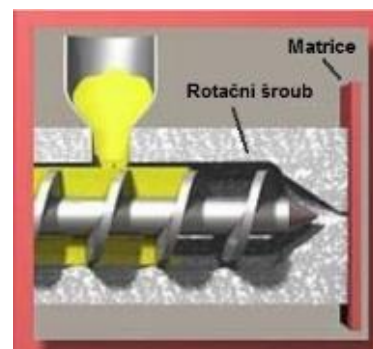
Pro zajištění dobrého slinování se požaduje použití jemných prášků, které mají velký měrný povrch, což ale ztěžuje proces lisování. Tyto vylisky vykazují nízkou relativní hustotu po lisování a pro její zvýšení musí být tyto prášky zpracovány jinou metodou. [33]



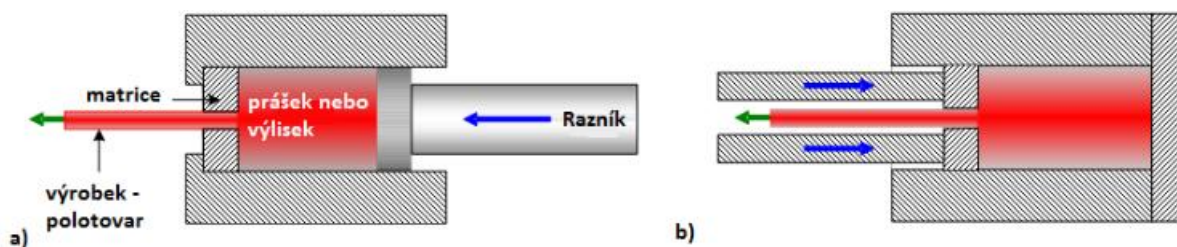
Obr. 15: Proces obousměrného lisování [33]

## Protlačování (extruze)

Jde o lisování kovového prášku, nebo polotovarů vyrobených předlisováním, ev. předběžným slinováním v souvislém plamenu, které může probíhat za normální nebo zvýšené teploty. Tato technologie se používá na všechny materiály, které mohou být zpracovány postupy práškové metalurgie. Lisovací tlak je realizován např. pomocí pístu nebo šneku. [33]



Obr. 16: Protlačování šnekem [33]



Obr. 17: Způsoby protlačování pístem: a) nepřímé; b) přímé [33]

Průtláčkové lisování prášků při vyšších teplotách, kdy lze materiál pro zamezení oxidace a kontaminace mazivem uzavřít do pouzdra z měkkého ocelového plechu. Touto metodou dosáhneme vysoké hustoty i u takových materiálů, které mají z důvodu vysoké afinity ke kyslíku oxidické povlaky, a proto se špatně slinují. Použitá pouzdra během procesu zoxidují, takže se od vylisku odlupují, nebo odmoří. [33]

## Izostatické lisování

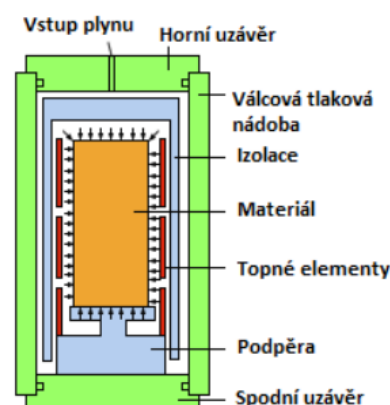
Prášek je uzavřen v pouzdře, na které působí tlak přenášený plynem, gumou, plastickou hmotou nebo kapalinou. Pouzdro, ve kterém uzavřeme prášek, musí mít speciální vlastnosti. Za vysokého tlaku se musí chovat jako kapalina, aby přenášelo tlak na prášek izostaticky, a za normálního tlaku se zase naopak musí chovat jako pevná látka, aby při naplnění těžkým práškem držela svůj tvar, což souvisí s přesností výlisku. Izostatické lisování umožňuje dosáhnout vyšších hustot lisovaných materiálů, dovoluje vyrábět komponenty větších rozměrů a zpracovávat obtížně lisovatelné prášky. [33]

### A. Izostatické lisování za studena (CIP – cold isostatic pressing)

Provádí se v ocelové nádobě, po jejím uzavření se vhodným zařízením vyvine požadovaný tlak v rozmezí 200-400 MPa. Tento způsob lisování se nepoužívá na materiály pro střižné nástroje a dále se jím nebudeme zabývat. [33]

### B. Izostatické lisování za tepla (HIP – hot isostatic pressing)

Provádí se při teplotách až 2000 °C, kterých dosáhneme umístěním ohřívacího zařízení do nádoby. Izolační válec nám odděluje pracovní prostor, kde jsou vysoké teploty, a ocelovou nádobu, jejíž teplota nesmí překročit 150 °C, aby nedošlo k poklesu pevnostních vlastností ocelového pláště. Médium pro přenos tlaku je argon, a pracuje se s tlaky do 200 MPa. Neporézní slinuté materiály mohou být izostaticky lisovány za tepla bez dalších opatření. Porézní výlisky a prášky musí být umístěny do pouzdra z plechu, nebo skla a jsou evakuovány. [33]



Obr. 18: Izostatické lisování za tepla [33]

## Kování

Jedná se o spojení práškové metalurgie a kování v zápustkách. Výrobky jsou komplikovaných tvarů o vysoké hustotě a přesnosti. Lze provádět kování neslinovaného výlisku, nebo výlisku slinovaného, což se většinou děje v ochranné atmosféře za tepla. [33]

### Injekční vstřikování kovů (PIM – powder injection moulding)

Vychází z technologie vstřikování plastů kombinované s klasickou práškovou metalurgií. V závislosti na použitém prášku rozlišujeme dvě modifikace:

1. Keramické prášky (CIM – ceramic injection moulding)
2. Kovové prášky (MIM – metal injection moulding)

Tato technologie umožňuje získat výrobky přesných rozměrových tolerancí, které nejsou konvenčním lisováním a slinováním dosažitelné. Do prášku se přidávají pojiva jako např. vosky



a následně se tato směs před vstřikováním granuluje. Vstřikování probíhá pomocí vstřikovacích lisů, kdy se směs ohřeje na teplotu tání pojiva (150-180 °C), poté se tato tavenina vstříkne do formy pod tlakem 15 – 30 MPa, a tato forma se následně ochladí. Pojivo se musí následně z výrobku odstranit, abychom dosáhli požadovaných vlastností výrobku. Toto odstranění probíhá např. tepelným rozkladem, rozpouštěním pojiva rozpouštědly, gelatizací a odpařením pojiva. [33]

### **3.2.5 Slinování (spékání, sintrace)**

Jedná se o proces, kdy je materiál převáděn z práškového stavu s velkým měrným povrchem do stavu kompaktního, bez dosažení teploty tání. Hlavní procesy při slinování jsou zvýšení pevnosti a zmenšení pórovitosti. U jednosložkových materiálů se provádí při teplotách 0,6 – 0,75 teplotách tání slinovaného materiálu. Multisložkové práškové směsi se slinují za teplot blízkých, nebo o něco vyšších, než je teplota tání složky s nejnižší teplotou tání. V závislosti na požadovaných vlastnostech spékaného materiálu může být proces jednostupňový nebo vícestupňový. Při vyšších požadavcích může následovat dodatečné zhutňování materiálu a dodatečné spékání za účelem zvýšení hustoty, pevnosti a tažnosti. Pevnost a tvrdost může být dále zvýšena dodatečným povrchovým, nebo objemovým tepelným zpracováním. [33]

Při slinování musí být dodrženy určité parametry, které musí být následně reprodukovatelné, mezi něž patří:

- volba a kontrola pracovní teploty
- použití vhodné pracovní atmosféry
- způsob zajištění teploty
- velikost, tvar a počet zpracovávaných výlisků atd. [33]

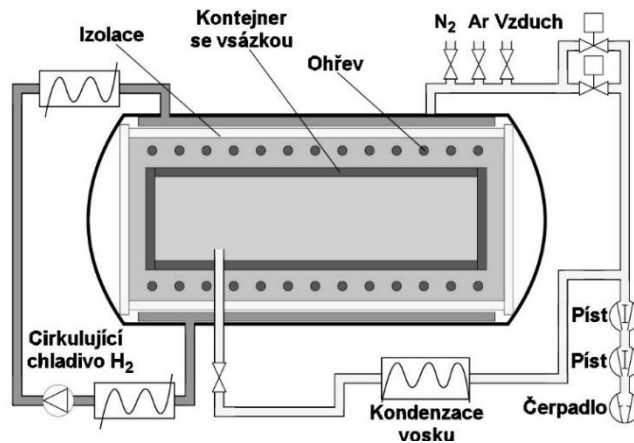
### **Ochranná atmosféra**

Z důvodu porozity prášku mají výlisky zvýšený sklon k reakci s okolní atmosférou. Je tedy vhodné při procesu slinování použít ochranné atmosféry s cílem zamezení oxidace výlisků, nebo stávající oxidy redukovat a tím zvýšit kontakt mezi částicemi. Jako ochranný plyn pro oceli se používá vodík, amoniak, nebo vakuum. [33]

### **Slinovací pece**

Slinovací pece zajišťují vhodné podmínky pro dosažení požadovaného zhutnění materiálu a rozdělují podle:

- ochranného plynu – vodíkové, štěpné plyny NH<sub>3</sub>, vakuové
- ohřevu – elektrické, plynové
- provozu – s plynulým, nebo přerušovaným provozem [33]



Obr. 19: Schéma slinovací pece [23]

### 3.2.6 Napájení kovem

Jedná se o napouštění výlisků roztaveným kovem. Provádí se úplným, nebo částečným ponorem, následkem čeho se tekutý kov nasaje do porézního kovového výlisku kapilárními silami. Tímto způsobem se ale připravují kompozitní materiály, které je nemožné připravit klasickou, nebo práškovou metalurgií. [33]

## 4. Tepelné zpracování nástrojových materiálů

Existuje velké množství možností tepelného zpracování, já zde uvedu doporučené postupy tepelného zpracování nástrojových ocelí, které uvádí buď přímo výrobci, nebo studie, které se touto problematikou zabývají.

### 4.1 Tepelné zpracování hutního polotovaru

Hutní výrobky se po tváření a řízeném chladnutí zpravidla žíhají pro dosažení tvrdosti vhodné pro další zpracování. Průběh žíhání, tj. teplota a čas jsou opět závislé na druhu oceli. Pro dosažení co nejnižší tvrdosti je důležitá prodleva na doporučené teplotě žíhání a následné pomalé chladnutí pod teplotu, kdy již bezpečně neprobíhají žádné strukturní přeměny. Po provedeném žíhání se lamely cementitu, vzniklé rozpadem austenitu při chladnutí z dotvářecí teploty sferoidizují a výsledná struktura se pak skládá z feritu a globulárního cementitu. Obecně platí, že teplota žíhání se pohybuje těsně pod teplotou  $A_{c1}$ , přičemž oceli s vyšším obsahem uhlíku (nadeutektoidní) a oceli s vyšším obsahem karbidotvorných prvků (např. oceli rychlořezné) se žíhají při teplotách i nad teplotou  $A_{c1}$ . [40]

### 4.2 Žíhání na odstranění pnutí

Účelem žíhání je snížení pnutí, které vzniká v průběhu obrábění nebo tváření za studena. Zařazuje se do technologického postupu výroby nástroje po hrubování, před vlastním dohotovením nástroje (mezioperační žíhání), aby se pnutí neuvolňovalo během ohřevu a kalení. Provádí se nejčastěji při teplotách v rozmezí 600 až 650 °C po dobu asi jedné hodiny s následným pomalým ochlazením na vzduchu. [40]

### 4.3 Kalení

Konečné vlastnosti nástroje se získávají kalením a následným popouštěním. Pod pojmem kalení se rozumí ohřev na teplotu austenitizace, po které následuje rychlé ochlazení pod teplotu počátku vzniku martenzitu ( $M_s$ ). Teplota austenitizace musí být zvolena tak, aby došlo k uvedení přiměřeného množství karbidů do roztoku a tím k obohacení austenitu uhlíkem a dalšími prvky, které se na tvorbě karbidů podílely. Uvedení karbidů do roztoku je též funkcí času, proto je nutná i prodleva na teplotě austenitizace (kalicí teplotě). Ochlazení v doporučeném prostředí musí proběhnout rychlostí, při které se co nejvíce austenitu přemění na martenzit. Přeměna na martenzit však nebývá úplná, proto je nutno počítat s tzv. zbytkovým austenitem. Obecný postup je k nahlédnutí v [Příloha 5](#). [40]

### 4.4 Popouštění

Nástroje po kalení jsou křehké a náchylné k praskání. Proto musí bezprostředně po kalení následovat popouštění. Výše popouštěcí teploty se volí podle požadované tvrdosti, respektive pevnosti. Doporučené teploty popouštění jsou uvedeny u jednotlivých druhů ocelí v jejich materiálových listech, obecná doporučení pro popouštění jsou popsána v [Příloha 6](#).

## 5. Vrstvy a povlaky nástrojových materiálů

Další z možností, kterou lze zvýšit životnost nástroje je použití vhodné vrstvy nebo povlaku. V této kapitole si uvedu pro přehlednost jen základní informace ohledně tvorby vrstev a povlaků.

### 5.1 Vrstvy

Chemicko-tepelným zpracováním se vytvářejí vrstvy, které mají odlišné chemické složení a také jiné vlastnosti než základní materiál. Nejčastěji jsou to vrstvy, které zvyšují povrchovou tvrdost, odolnost proti opotřebení, popřípadě odolnost proti zadírání a odolnost proti chemickému působení. [41]

#### Cementování

Jedná se o sycení povrchu uhlíkem. Volí se pro oceli s nízkým obsahem uhlíku. Činnou plochou nástroje je pak kalená cementovaná vrstva o vysoké tvrdosti. Jádro nástroje je houževnaté. [41]

#### Nitridování

Jedná se o sycení povrchu uhlíkem. Tímto způsobem lze získat vysokou tvrdost povrchu bez následného tepelného zpracování. Nástroj se před nitridací zušlechťuje. Teplota popouštění však musí být vyšší než teplota nitridace. Vzhledem k nízké teplotě nitridace (okolo 500 °C) a stálosti struktury zušlechtěné oceli jsou rozměrové a tvarové deformace nitridovaných nástrojů prakticky zanedbatelné. Nitridovaná vrstva zvyšuje i odolnost proti korozi. [41]

#### Sulfonitridování

Jedná se o sycení povrchové vrstvy dusíkem a sírou. Vzniklá vrstva má kombinované vlastnosti. Vedle tvrdých nitridů, zvyšujících odolnost proti opotřebení, působí síra jako „mazadlo“. Povrch nástroje opatřený touto vrstvou je proto i při vysoké tvrdosti méně náchylný k zadírání. [41]

#### Zvláštní úpravy povrchu

Pro speciální účely se používá borování a tvrdé chromátování. Na funkčních plochách nástrojů se též vytvářejí povlaky na bázi karbidu nebo nitridu titanu pro zvýšení odolnosti proti opotřebení. [41]

## 5.2 Povlaky

Povlakování je nanášení tenkých vrstev na povrch nástroje, jedná se o finální úpravu již hotového a tepelně zpracovaného nástroje. Lze nanášet dvěma způsoby a to fyzikálně (PVD), nebo chemicky (CVD). [17]

Vytvořený povlak má mnohem vyšší tvrdost i pevnost než stejný základní materiál v jakékoli jiné formě, vyznačuje se také odolností proti opotřebení. Tyto vlastnosti vyplývají zejména z toho, že povlakovaný materiál ve srovnání se substrátem neobsahuje žádné pojivo, má o jeden i více řádů jemnější zrnitost a méně strukturních defektů, také nám slouží jako ochrana proti difuznímu mechanismu opotřebení nástroje. [35]

### PVD (Physical Vapour Deposition)

Probíhá v prostředí vysokého vakua 0,1 až 0,5 Pa, při teplotách v rozmezí 150 až 500 °C. K samotnému procesu povlakování dochází v důsledku kondenzace atomů, případně jejich shluků, které jsou uvolňovány z tzv. terčů (zdrojů částic). Takto vytvořené povlaky mají obecně menší tloušťku než stejné typy povlaků vytvářené metodou CVD. V dnešní době jsou nejčastěji využívány tři odlišné PVD technologie na podobném principu a to napařování, kdy k uvolňování částic z terče dochází působením urychlených iontů Argonu, napařování, kdy k uvolňování částic dochází v důsledku působení nízkonapětového oblouku, elektronového paprsku, laseru nebo indukci a iontová implantace, kde jsou ionizované uvolněné částice urychlovány elektrickým polem směrem k povrchu substrátu, kde dochází k jejich implantaci. Nevýhodou všech metod PVD je však poměrně složitý vakuový systém a nutnost pohybovat povlakovaným předmětem, aby bylo zaručeno rovnoměrné vytvoření povlaku. Tento požadavek souvisí s tzv. stínovým efektem. Na plochách, které neleží ve směru pohybu deponovaných částic, se buďto povlak vůbec nevytvoří nebo je vzniklý povlak velmi nekvalitní. [24]

### CVD (Chemical Vapour Deposition)

Zkratka CVD je podle anglického výrazu Chemical Vapor Deposition. Jedná se o chemický proces povlakování, který je založen na reakci plyných chemických sloučenin (např.: CH<sub>4</sub>, TiCl<sub>4</sub>, AlCl<sub>3</sub> atd.) v plazmě, která se tvoří v bezprostřední blízkosti povrchu podkladového materiálu a následném uložení produktů heterogenní reakce na tomto povrchu. Povlakování pomocí metody CVD probíhá za poměrně vysokých teplot, které se pohybují v rozsahu 900-1100 °C, které jsou podmínkou pro termickou disociaci plynů a podporou vzájemné chemické reakce složek atmosféry a tlaků plynné atmosféry (1 ÷ 100 kPa). [1]

Tyto povlaky mají vysokou tvrdost, odolnost proti otěru, nízký koeficient tření a skvělou adhezi ke slinutým karbidům. Dále se vyznačují dobrou tepelnou vodivostí, chemickou inertností a biokompatibilitou. [16]

Pro strojírnoství je tato technologie jedna z nejdůležitějších při povlakování řezných, lisovacích a silně mechanicky namáhaných strojních součástí. [31]

## 6. Vhodné nástrojové materiály

V této části uvedu, které materiály, od kterých výrobců jsou vhodné pro střížné nástroje pro práci za studena. Při jejich výběru budu brát v potaz jejich chemické složení a obsah legujících prvků, náročnost výroby a tepelného zpracování a jejich finální mechanické vlastnosti.

Původní materiál byla ocel 19 436, u kterého docházelo k opotřebení nástroje po cca 300 zdvizích. Začínal se tvořit otřep a docházelo k vyštípnutí ostří. Z tohoto důvodu jsem hledal vhodné materiály, jak ve skupině konvenčních nástrojových ocelích, ze které je i původní materiál 19 436, ale dále jsem se zaměřil na práškové nástrojové oceli a okrajově také na bezkobaltové rychlořezné oceli, které se dají zařadit do konvenčních nástrojových ocelí a maragingové oceli, které tu také zmiňuji.

V [Příloha 8](#) a [Příloha 9](#) jsou vloženy odkazy, ve kterých se nacházejí Materiálové listy a Excel, který jsem z těchto listů zpracoval. Z těchto podkladů jsem následně vybíral vhodné nástrojové materiály.

### 6.1 Konvenční nástrojová ocel

Jedná se o zavedený typ ocelí, u kterých můžeme dosáhnout požadovaných vlastností, nejsou tolik náročné na zpracování a výrobu i cenově se jedná o nejlevnější možnost. Zvolil jsem 3 materiály, které jsem rozebral podrobně, a v Tabulka 6 jsou možné další alternativy, které jsem zvažoval.

Tabulka 6: Vhodné nástrojové oceli

Název	Tvrdost [HRC]	Název	Tvrdost [HRC]
19 356	64	1.1545	60-64
19 732	52-57	1.2080	60-63
19 733	49-61	1.2158	64
19 800	55-65	1.2363	63
19 824	55-65	1.2379	59-63
19 830	57-65,5	1.2842	58-61

#### 6.1.1 19 312

Jedná se o nástrojovou nízkolegovanou Mn-V ocel pro práci za studena. Při správném zakalení v oleji drží svůj tvar a rozměry, je houževnatá a dobře se obrábí. Je špatně prokalitelná při větších rozměrech, to způsobuje problémy při kalení nástrojů složitějších tvarů a ostrých přechodů hran. Používá se například pro kotoučové nože strojních nůžek, ostříhovadla zápusťkových výkovků, malé a velké průstřížníky materiálů malých tlouštěk, tvarovací lisovadla atd. [12]

Tabulka 7: Chemické složení 19 312 [12]

Prvek	C	Mn	Si	P	S	V
[hm. %]	0,75-0,85	1,85-2,15	0,15-0,35	Max. 0,030	Max. 0,035	0,10-0,20

Tabulka 8: Mechanické vlastnosti 19 312 [12]

Tvrdość HRC	Pevnosť v ohybu R <sub>mo</sub> [MPa]	Mez kluzu v tlaku R <sub>et</sub> [MPa]
55-62	4 300 (při HRC 60)	2 200-3 000 (při HRC 55-62)

Mechanické vlastnosti byly stanoveny pro stav žíhaný naměkko a teplotu 20-100°C na referenčních vzorcích ø20 mm.

Tabulka 9: Tepelné zpracování 19 312 [12]

Typ TZ	Teplota [°C]	Ostatní parametry
žíhání naměkko	680-710	ochlazování v peci, max. 225 HB
žíhání ke snížení pnutí	600-650	ochlazování v peci
kalení	740-780	ochlazování v oleji, menší kusy, min 61 HRC
kalení	780-800	ochlazování v oleji, větší kusy, min 61 HRC
popouštění	150-300	ochlazovat na vzduchu

Teplota přeměny A<sub>c1</sub> je přibližně 710-730 °C a M<sub>s</sub> je přibližně 195 °C, prokalitelnost je v celém průřezu max. do 35 mm.

Tabulka 10: Závislost tvrdosti na popouštěcí teplotě 19 312 [12]

Teplota [°C]	100	150	200	250	300
Tvrdość HRC	63	62	60	58	55

### 6.1.2 19 435

Jedná se o nástrojovou, vysokolegovanou chromovou ocel pro práci za studena. Tato ocel má díky vysokému podílu chromu zvýšenou korozní odolnost, obtížnou svařitelnost. Používá se například pro měřidla, formy, střížné nástroje se zvýšenou odolností proti korozi. Nepoužívá se ve vyžíhaném stavu, protože v něm koroduje. [13]

Tabulka 11: Chemické složení 19 435 [13]

Prvek	C	Mn	Si	P	S	Cr
[hm. %]	0,40-0,50	0,30-0,70	Max. 0,70	Max. 0,030	Max. 0,030	14,0-16,0

Tabulka 12: Mechanické vlastnosti 19 435 [13]

Tvrdość HRC	Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	Mez kluzu v tlaku R <sub>et</sub> [MPa]
52-53	1 900	1 900-2 000

Mechanické vlastnosti byly stanoveny pro stav žíhaný na referenčních vzorcích ø20 mm.

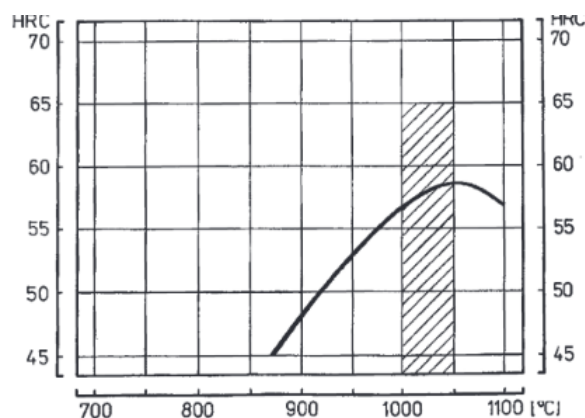
Tabulka 13: Tepelné zpracování 19 435 [13]

Typ TZ	Teplota [°C]	Ostatní parametry
žíhání	800-840	1 h na teplotě, ochlazovat v peci rychlostí 0,5 °C/minutu do 650 °C, pak na vzduchu
žíhání ke snížení pnutí	600-650	1-2 h pomalu ohřát, ochlazovat ve vypnuté peci
kalení	1 000-1 050	ochlazovat v oleji, nebo v lázni o teplotě 350-400 °C
popouštění	150-200	ochlazovat na vzduchu

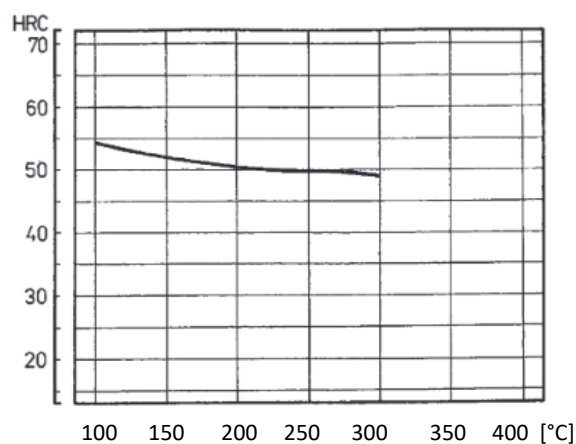
Teplota přeměny  $A_{c1}$  je přibližně 800 °C a  $A_{c3}$  je přibližně 850 °C prokalitelnosti v celém průřezu do 150 mm dosáhneme při kalení v oleji.

Tabulka 14: Závislost tvrdosti na popouštěcí teplotě 19 435 [13]

Teplota [°C]	100	150	200	250	300
Tvrdost HRC	54	53	52	51	50



Obr. 20: Kalicí diagram 19 435 [13]



Obr. 21: Popouštěcí diagram 19 435 [13]

### 6.1.3 19 437

Jedná se o nástrojovou vysokolegovanou CR-W-V ocel pro práci za studena. Tato ocel má relativně malou odolnost vůči korozi, velmi malou odolnost vůči křehkému lomu a je obtížně svařitelná a tvářitelná.

Tabulka 15: Chemické složení 19 437 [15]

Prvek	C	Mn	Si	P	S
[hm. %]	1,80-2,05	0,20-0,45	0,20-0,45	Max. 0,030	Max. 0,035
Prvek	Cr	Ni	W	V	/
[hm. %]	11,00-12,50	Max. 0,50	0,60-1,00	0,15-0,30	/

Tabulka 16: Mechanické vlastnosti 19 437 [15]

Tvrdost HRC	Pevnost v ohybu $R_{m0}$ [MPa]	Mez kluzu v tlaku $R_{et}$ [MPa]
58-64	3 750 (při HRC 62)	2 200-3 000 (při HRC 58-64)

Mechanické vlastnosti byly stanoveny pro stav žíhání naměkko na referenčních vzorcích  $\varnothing 20$  mm.



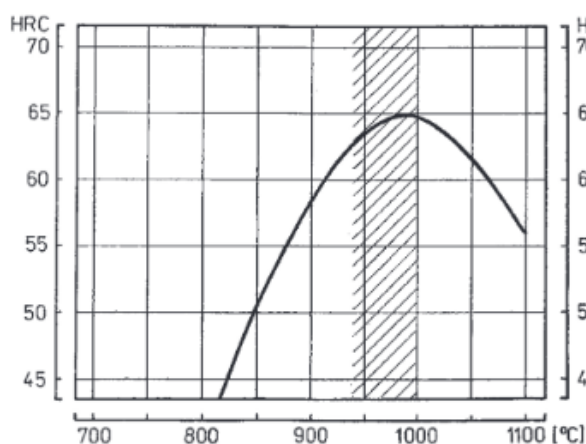
Tabulka 17: Tepelné zpracování ČSN 19 437 [15]

Typ TZ	Teplota [°C]	Ostatní parametry
žhání naměkko	750-780	ochlazovat v peci
žhání na snížení prnutí	600-650	ochlazovat v peci
kalení	960-1 000	ochlazovat v oleji, na vzduchu nebo termálně (min HRC 62), použijí popouštění na primární tvrdost
kalení	1 040-1 080	ochlazovat v lázni o teplotě asi 450 °C, použijí popouštění na sekundární tvrdost, umožňující nitridování nástrojů
popouštění primární	100-300	ochlazovat na vzduchu
popouštění sekundární	520-540	ochlazovat na vzduchu

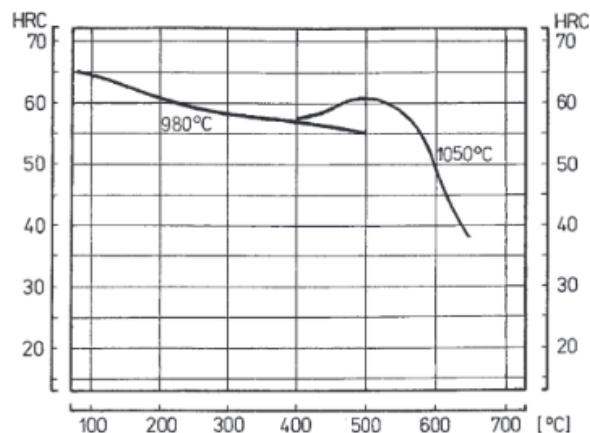
Teplota přeměny  $A_{c1}$  je přibližně 800-830 °C a  $M_s$  je přibližně 190 °C, prokalitelnost je v celém průřezu používaných nástrojů. Tvrdost primární nabývá hodnot HRC 58-64 a tvrdost sekundární nabývá hodnot HRC 59-61.

Tabulka 18: Závislost tvrdosti na popouštěcí teplotě ČSN 19 437 [15]

Teplota [°C]	100	150	200	250	300
Tvrdost HRC	64	63	62	60	58



Obr. 22: Kalicí diagram ČSN 19 437 [15]



Obr. 23: Popouštěcí diagram ČSN 19 437 [15]

## 6.2 Prášková nástrojová ocel

Jedná se o lepší variantu z hlediska výsledných vlastností a požadavků na nástroj. Negativem může být to, že se jedná o dražší materiál s požadavkem na vysokou přesnost zpracování při výrobě nástroje, jak už pro oblast chemického složení, tak i pro tepelné zpracování. Zvolil jsem 3 materiály, které jsem rozebral podrobně a v Tabulka 19 jsem uvedl ostatní materiály, které jsem zvažoval.

Tabulka 19: Vhodné práškové nástrojové oceli

Název	Tvrдост [HRC]	Název	Tvrдост [HRC]
ASP 2017	58-65	CPM 3 V	54-63
ASP 2023	56-66	CPM 4 V	58-62
ASP 2030	56-67	CPM 10 V	58-64
ASP 2052	56-67	CPM 15 V	59-63
ASP 2055	56-69	CPM REX 45 (HS)	63-68
ASP 2060	62-69	CPM REX 76	63-70

### 6.2.1 CPM REX M4

Jedná se o vysokovýkonnou rychlořeznou ocel. Nástroje, díky vysokému obsahu vanadu a uhlíku, mají vysokou životnost, vyšší otěruvzdornost a jsou dobře obrobitelné broušením.

Tabulka 20: Chemické složení CPM REX M4 [9]

Prvek	C	Cr	V	Mo	W	Si	Mn
[hm. %]	1,35	4,25	4,00	4,50	5,75	0,30	0,30

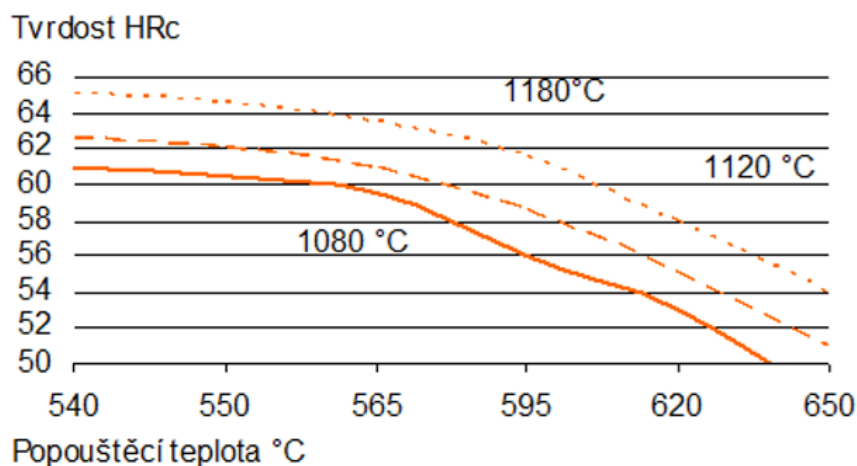
Tabulka 21: Tepelné zpracování CPM REX M4 [9]

Typ TZ	Teplota [°C]	Ostatní parametry
žihání naměkko	900	výdrž na teplotě 2 hodiny, poté ochlazení v peci rychlostí 5 °C/hodinu na 540 °C, dochlazení na vzduchu
žihání na snížení pnutí	600-700	ochlazení v peci na 500 °C, dochlazení na vzduchu
kalení	1 090-1 200	předehřevy 450-500 °C a 850-900 °C
ochlazování	550	ochlazení v lázni (pro vysokou houževnatost), ve vakuu s přetlakem min. 5 bar
popouštění	560	3x s výdrží 2 hodiny poté, co teplota nástroje klesne na 40 °C

Při kalení je maximální houževnatost na teplotě 1 090 °C, a na 1 200 °C vyšší otěruvzdornosti.

Tabulka 22: Kalicí teploty CPM REX M4 [9]

Tvrдост HRC	Kalicí teplota [°C]	Výdrž na kalicí teplotě [s]	Popouštění [°C]
59	1 090	35	560
60	1 100	35	560
61	1 120	35	560
62	1 140	25	560
63	1 160	20	560
64	1 180	15	560
65	1 200	10	560



Obr. 24: Popouštěcí diagram CPM REX M4 [9]

### 6.2.2 ASP 2053

Jedná se o rychlořeznou nástrojovou ocel vysoce legovanou vanadem s výtečnou otěruvzdorností. Tato ocel je vhodná pro povlakování metodami PVD a CVD, pro nitridaci se difuzovaná zóna pohybuje v tloušťkách 2-15  $\mu\text{m}$  a povrch nástrojů může být vaporizován.

Tabulka 23: Chemické složení ASP 2053 [5]

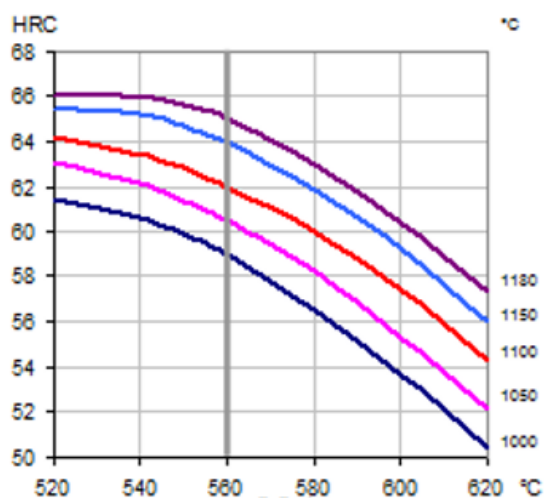
Prvek	C	Cr	Mo	W	V
[hm. %]	2,48	4,20	3,10	4,20	8,00

Tabulka 24: Tepelné zpracování ASP 2053 [5]

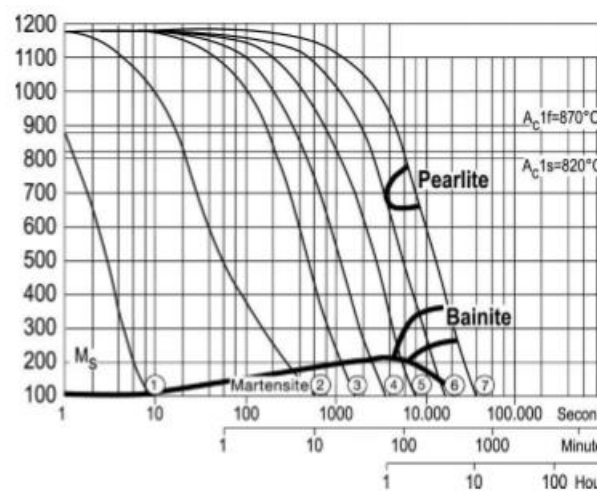
Typ TZ	Teplota [°C]	Ostatní parametry
žihání naměkko	850-900	výdrž na teplotě 3 hodiny v ochranné atmosféře, poté pomalé ochlazení rychlostí 10 °C/hod na 700 °C, dochlazení na vzduchu
žihání na snížení pnutí	600-700	výdrž na teplotě 2 hodiny, poté pomalé ochlazení na 500 °C
kalení	950-1 180	přehřevy 450-500 °C a 850-900 °C
ochlazování	40-50	
popouštění	560	3x s výdrží nejméně 1 hodinu, mezi každým cyklem ochlazovat na teplotu okolí 25 °C

Tabulka 25: Kalicí teploty ASP 2053 [5]

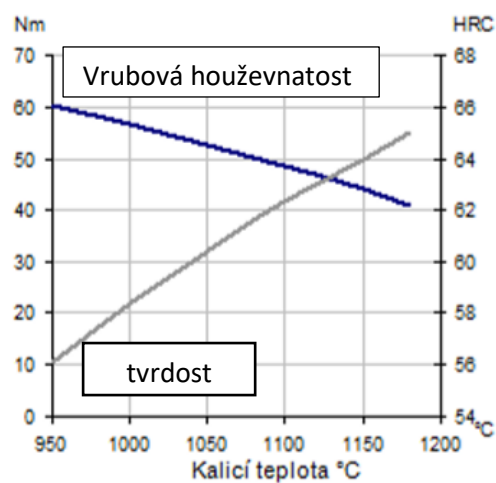
Tvrđost HRC	Kalicí teplota [°C]
56	950
58	1 000
60	1 030
61	1 050
62	1 075
63	1 100
64	1 130
65	1 150
66	1 180



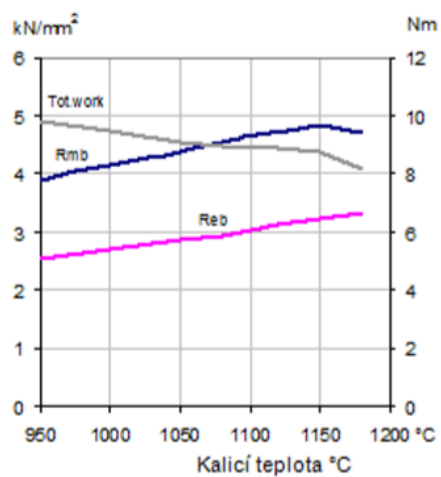
Obr. 25: Diagram tepelného zpracování ASP 2053 [5]



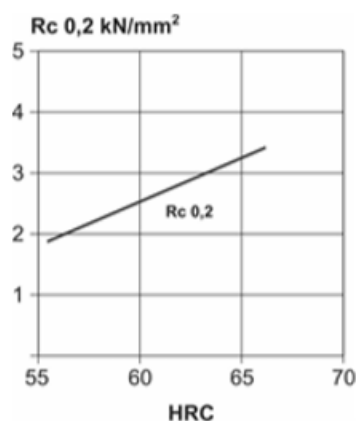
Obr. 26: ARA diagram ASP 2053 [5]



Obr. 27: Diagram vrubové houževnatosti ASP 2053 [5]



Obr. 28: Diagram zkoušky ohybem ASP 2053 [5]



Obr. 29: Mez pevnosti v tlaku ASP 2053 [5]

### 6.2.3 ASP 2005

Jedná se o rychlořeznou nástrojovou ocel určenou pro aplikace s velkými požadavky na houževnatost. Tato ocel je vhodná pro povlakování metodami PVD a CVD, pro nitridaci se difundovaná zóna pohybuje v tloušťkách 2-15  $\mu\text{m}$  a povrch nástrojů může být vaporizován.

Tabulka 26: Chemické složení ASP 2005 [4]

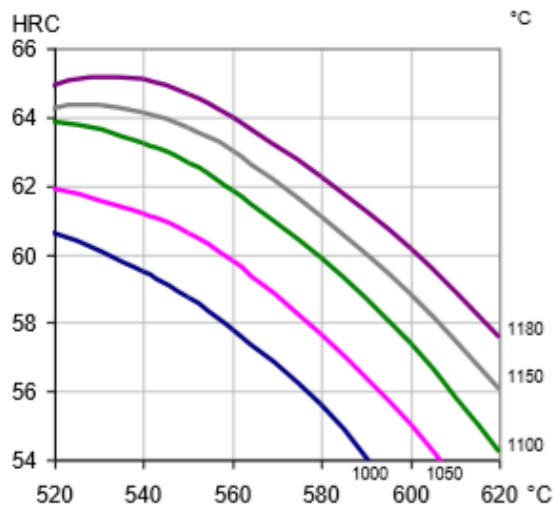
Prvek	C	Cr	Mo	W	V
[hm. %]	1,50	0,40	2,50	2,50	4,00

Tabulka 27: Tepelné zpracování ASP 2005 [4]

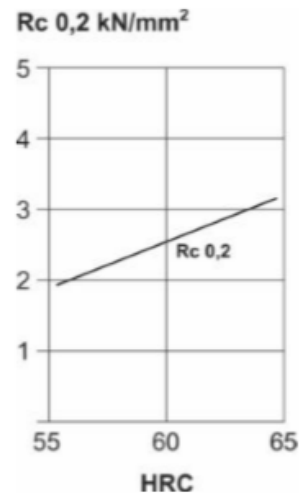
Typ TZ	Teplota [°C]	Ostatní parametry
žihání na měkko	850-900	výdrž 3 hodiny v ochranné atmosféře, poté pomalé ochlazení v peci rychlostí 10 °C/hodinu na 700 °C, dochlazení na vzduchu
žihání na snížení pnutí	600-700	výdrž 2 hodiny, poté pomalé ochlazení na teplotu 500 °C
kalení	1 040-1 180	v ochranné atmosféře, předehřevy 450-500 °C a 850-900 °C
ochlazování	40-50	
popouštění	560	3x nejméně 1 hodinu, mezi každým cyklem ochlazovat na teplotu okolí 25 °C

Tabulka 28: Kalicí teploty ASP 2005 [4]

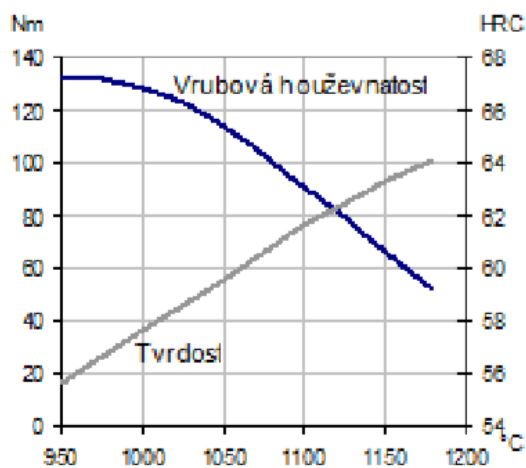
Tvrдость HRC	Kalicí teplota [°C]
59	1 040
60	1 060
61	1 090
62	1 110
63	1 140
64	1 180



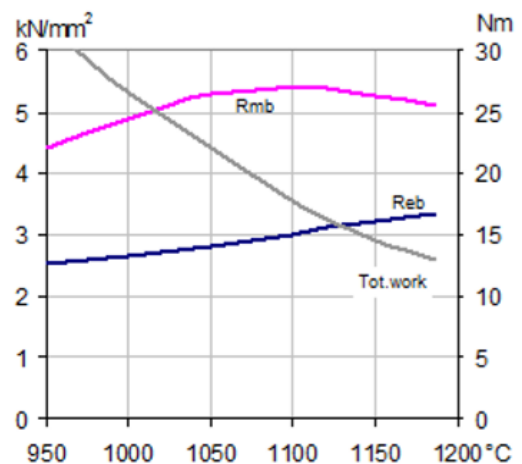
Obr. 30: Kalící diagram ASP 2005 [4]



Obr. 31: Mez pevnosti v tlaku ASP 2005 [4]



Obr. 32: Diagram vrubové houževnatosti ASP 2005 [4]

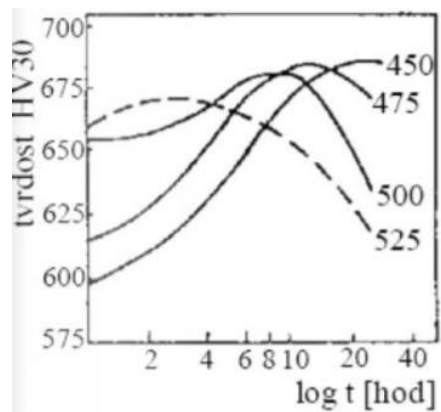


Obr. 33: Diagram zkoušky ohybem ASP 2005 [4]

### 6.3 Maragingová ocel

Jedná se o nejpevnější homogenní materiál, který je odvozen od základního typu slitiny Fe-18 % Ni dolegovaný Co, Mo, Ti a Al, vyznačující se vynikající tvrdostí. Korozivzdorná maraging ocel je dolegována 10 % Cr. Kalení probíhá z teplot 800-840 °C do oleje, poté je ocel dobře obrobitelná a svařitelná. Následně se vytvrzuje při 450-550 °C, kdy dochází ke zpevnění a mez kluzu vzroste 2,5x. [36]

Z těchto ocelí se jeví jako nejlepší ocel s obchodním názvem VACUMAR, která se používá pro velké série, kde je požadován excelentní povrch, vysoká rozměrová stabilita a svařitelnost. Tato ocel má velmi vysokou životnost, a to až 3x více než u podobných ocelí. Díky absenci karbidů, je dosaženo vysoké povrchové jakosti a jednoduché opracovatelnosti. Při tepelném zpracování dosahujeme teplot jen 525 °C a vytvrzování probíhá při 500 °C. [36]



Typ oceli	R <sub>p0,2</sub> [MPa]	A <sub>5</sub> [%]	K <sub>IC</sub> [MPa.m <sup>-1/2</sup> ]
3NiCoMoTiAl 18-8-5	1 950	8	85
3NiCoMoTiAl 18-12-5	2 400	6	48
3CrNiMoTiAl 11-10-2	1 600	8	80

Obr. 34: Průběh vytvrzovacích křivek [36]

Obr. 35: Mechanické hodnoty pro vytvrzený stav [36]

## 7. Návrh podmínek pro zvýšení životnosti moderních nástrojových materiálů

V této části uvedu konkrétní materiály, které byly vybrány pro experiment, jejich chemické složení a požadavky na jejich tepelné zpracování, dále zde také uvedu další praktické možnosti pro zvyšování životnosti.

Byly zvoleny tři materiály, u kterých po konzultaci a porovnání s dalšími vhodnými alternativami bylo shledáno, že jsou nejlépe dostupné pro zakoupení a jedná se o nejlepší materiál pro tuto aplikaci, kdy je nástroj, pro lisování otvoru fluidního kotle, extrémně namáhán. V následující tabulkách si uvedeme požadavky na chemické složení a tepelné zpracování, které budou zadány kalírně.

### 7.1 Chemické složení

Tabulka 29: Požadavky na chemické složení [4], [5], [9]

Materiál/prvek [hm. %]	CPM REX M4	ASP 2053	ASP 2005
C	1,35	2,48	1,50
Cr	4,25	4,20	0,40
V	4,00	8,00	4,00
Mo	4,50	3,10	2,50
W	5,75	4,20	2,50
Si	0,30	/	/
Mn	0,30	/	/

V Tabulka 29 je vidět, že všechny vybrané materiály jsou legovány chromem, vanadem, molybdenem, wolframem a CPM REX M4 je navíc dolegován malým procentem manganu. ASP 2005 je nejméně legovaný, takže lze předpokládat, že bude vykazovat nejhorší mechanické vlastnosti. ASP 2053 obsahuje nejvíce uhlíku, takže by měl být nejtvrdší, ale naopak nejméně houževnatý.

### 7.2 Tepelné zpracování

Chemické složení je jen jedním z faktorů, které ovlivňují vlastnosti nástroje, bude také záležet na tepelném zpracování, které je uvedeno v Tabulka 30. Také zde uvedu další možnosti zlepšování životnosti.



Tabulka 30: Požadavky na tepelné zpracování [4], [5], [9]

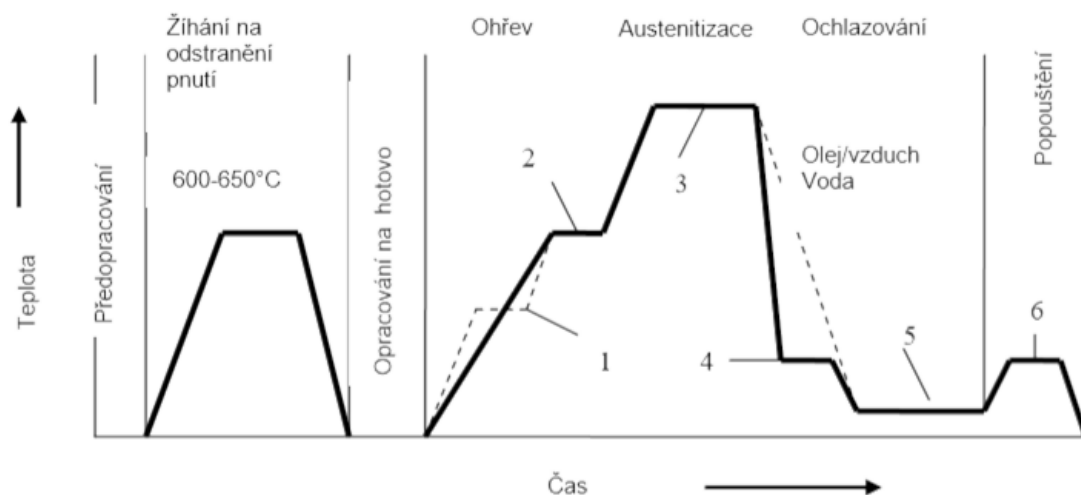
Materiál/požadavek	CPM REX M4	ASP 2053	ASP 2005
použití nástroje na	tváření, stříhání	tváření, stříhání	tváření, stříhání
požadovaná tvrdost HRC	62 ±1	63 ±1	62 ±1
Tepelné zpracování	/	/	/
1. žihání naměkko	900 °C /2 hodiny	850-900 °C/3 hodiny; ochranná atmosféra	850-900 °C; ochranná atmosféra
2. ochlazení	5° C/hodinu; na 540 °C; v peci	10 °C/hodinu; na 700 °C	10 °C/hodinu; na 700 °C
3. dochlazení	na klidném vzduchu	na vzduchu	na vzduchu
4. žihání na snížení pnutí	600-700 °C; důkladné prohřátí	600-700 °C/2 hodiny	600-700 °C/2 hodiny
5. ochlazení	na cca 500 °C; v peci	na cca 500 °C	na cca 500 °C
6. dochlazení	na klidném vzduchu	na vzduchu	na vzduchu
7. první předehřev	450-500 °C	450-500 °C	450-500 °C
8. druhý předehřev	850-900 °C	850-900 °C	850-900 °C
9. austenitizační teplota	1 140 °C/25 sekund	1 000 °C	1 110 °C
10. ochlazení	v oleji; při 550 °C na 40°C	na 40-50 °C	na 40-50 °C
11. popouštění	3x 560 °C/2 hodiny	3x 560 °C/1 hodinu; mezi cykly ochladit na 25 °C	3x 560 °C/1 hodinu; mezi cykly ochladit na 25 °C

Kalírně byly předepsány požadované tvrdosti pro zvolené materiály, ty byly zvoleny po konzultaci s panem Ing. Procházkou. Dále jsem podle těchto základních požadavků navrhl vhodné tepelné zpracování, které je podrobně uvedeno v Tabulka 30. Jeden z pokynů pro kalírnu bude také to, že se jedná o nástroj na tváření, nikoliv na třískové obrábění.

### Tepelné zpracování a prášková nástrojová ocel

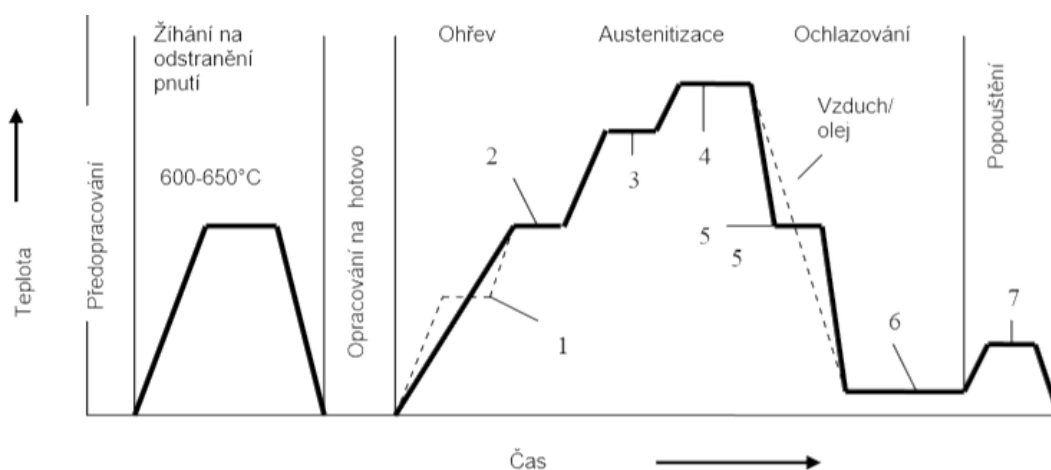
Při tepelném zpracování práškové oceli musíme o to více dbát na správnou volbu a dodržení podmínek. Udáváme kalírně požadavek nejen na cílovou tvrdost, ale vycházíme z materiálových listů dané práškové oceli a uvádíme požadované cílové stavy materiálu tzn. kombinace austenitizačních a popouštěcích teplot. Samozřejmě zde je možnost, úpravy zvolených teplot dle zkušenosti kalírny, musí se brát ale v potaz, že vyšší austenitizační teploty vedou ke snížení houževnatosti. [28]

## Diagramy tepelného zpracování nástrojů



1 – první předehřev (0,5 min/mm ~ 400°C); 2 – druhý předehřev (0,5 min/mm ~ 650°C);  
 3 – kalící teplota; 4 – teplá lázeň ~ 200°C; 5 – vyrovnávací teplota 1 hod. na 100 mm tloušťky;  
 6 - popouštění 1hod. na 20 mm tloušťky / vzduch.

Obr. 36: Tepelné zpracování nástrojů s kalící teplotou do 900 °C [40]

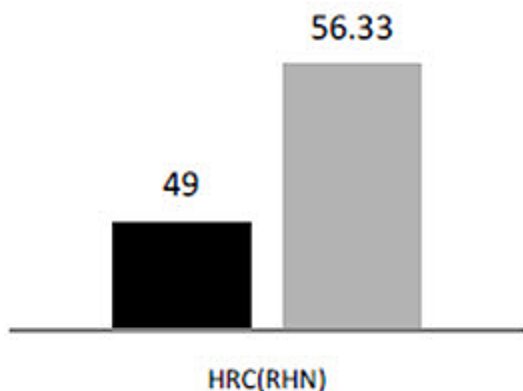


1 – první předehřev (0,5 min/mm ~ 400°C); 2 – druhý předehřev (0,5 min/mm ~ 650°C);  
 3 – třetí předehřev (1 min /mm ~ 850°C); 4 – kalící teplota; 5 – teplá lázeň 500 až 600°C;  
 6 – vyrovnávací teplota 1 hod. na 100 mm tloušťky; 7 - popouštění 1hod. na 20 mm tloušťky / vzduch.

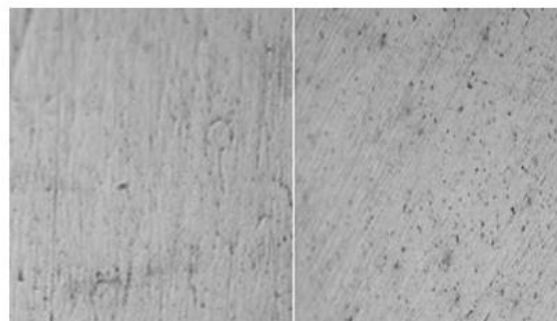
Obr. 37: Tepelné zpracování nástrojů s kalící teplotou nad 900 °C [40]

## Zmrazování

Jedná se o proces, při kterém materiál vystavujeme teplotám pod bodem mrazu, a výsledkem je to, že ocel má následně vyšší životnost, otěruvzdornost, pevnost a odolnost vůči únavě materiálu. Materiál je pomalu ochlazován na velmi nízkou teplotu (teplota tekutého dusíku), následuje výdrž na této teplotě po určitý čas a následné ohřátí na pokojovou teplotu specifickou rychlostí. [11]



Obr. 38: Rozdíl tvrdosti oceli 316L před (vlevo) a po (vpravo) kryogenickém zpracování [11]



Obr. 39: Mikrostruktura před (vlevo) a po (vpravo) kryogenickém zpracování [11]

Obr. 39 nám ukazuje precipitaci karbidů na hranách zrn, toto může být jeden z faktorů, které zvyšují tvrdost. Můžeme také sledovat rozdíl tvrdostí tohoto materiálu na Obr. 38.

Oceli s vyšším obsahem uhlíku a některé výše legované oceli mají teplotu konce martenzitické přeměny nižší, než je teplota místnosti. Ty po kalení obsahují větší podíl zbytkového austenitu. Ten má za následek nižší tvrdost po kalení a vznik dodatečného pnutí, které vzniká jeho postupným rozpadem. Důsledkem je vznik větších deformací a rozměrových změn. Zmrazování se provádí zejména při vyšších požadavcích na rozměrovou stálost při maximální tvrdosti. [40]

Zmrazováním lze též docílit zvýšení tvrdosti řezných nástrojů např. nástrojů chirurgických z nerezavějících ocelí. Ve většině případů stačí zmrazení na teplotu  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  pomocí směsi lihu a pevného kyslíčnicku uhličitého. V menší míře se u vysoce legovaných ocelí používá tekutý dusík. Nejvyššího efektu se dosahuje termálním kalením do lázně o teplotě počátku martenzitické přeměny ( $M_s$ ) a po vyrovnání teplot přenesením nástroje do zmrazovacího prostředí. Při zmrazování dochází vždy ke zvýšení vnitřního pnutí. Proto po zmrazování musí následovat popuštění. [40]

### **7.3 Povrchové úpravy**

Ve zkratce si zde uvedeme možné nejvhodnější povlaky pro použití na střižný nástroj, které by mohly být vhodné pro tuto aplikaci. Skupinu povlaků jsem zvolil, protože poté co se nástroj otupí, se může tento povlak odstranit, nástroj přeastřit a znovu napovlakovat. To sice komplikuje přeastření nástroje, ale výsledná vyšší životnost může toto negativum převážit.

#### **ALWIN**

Jedná se o nanokompozitní povlak CrAlSiN s vysokým obsahem chromu, který je vhodný pro aplikace náročné na oxidační odolnost a odolnost vůči nalepování obráběného materiálu z hliníku. Používá se na nástroje pro lisování, tváření, frézování, vrtání a tlakové lití hliníku. [39]

#### **TiCN MP**

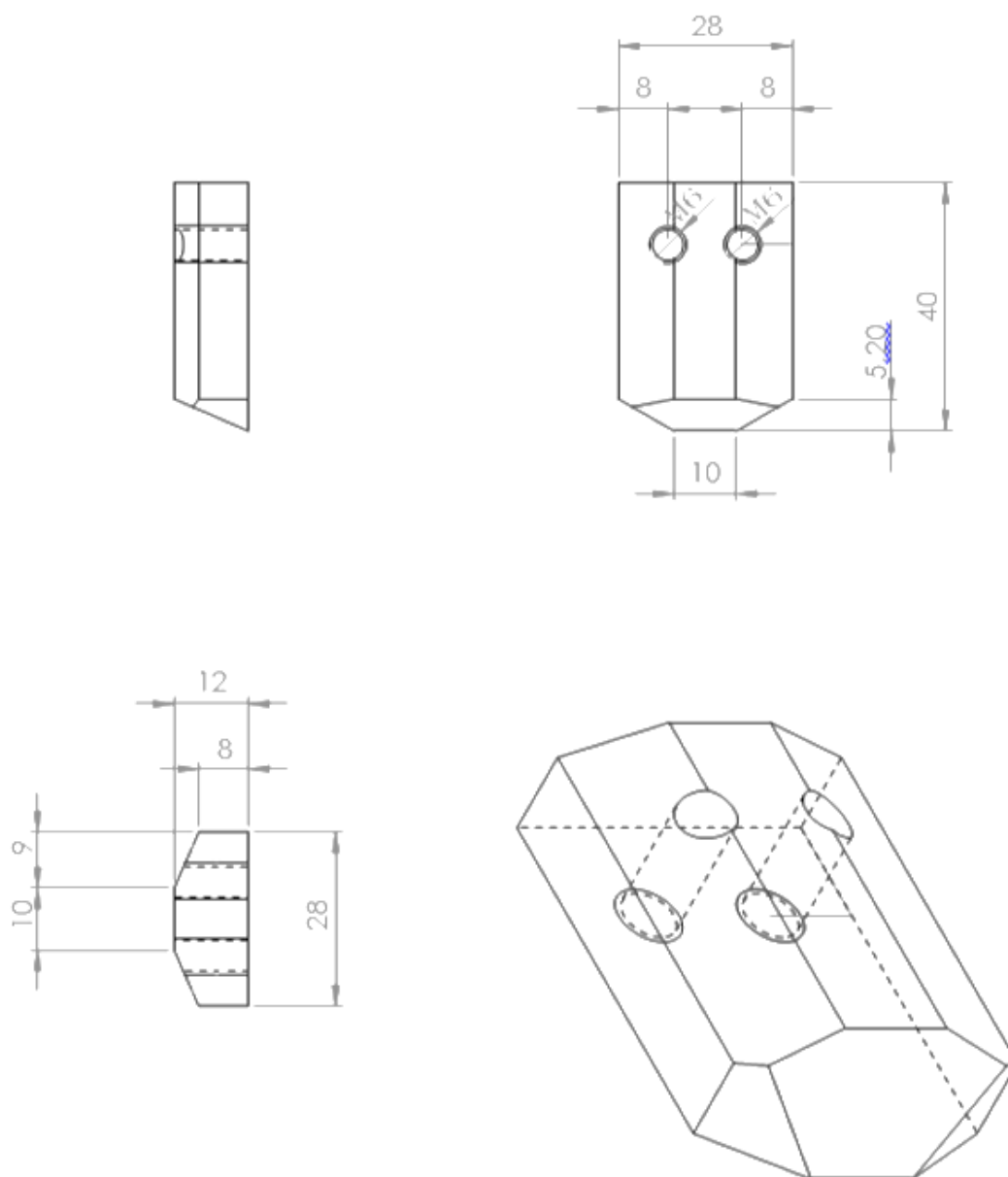
Jedná se o gradientní povlak TiCN, který je optimalizovaný pro víceúčelové použití. Používá se na nástroje pro frézování, závitování, stříhání a tváření. [39]

## 8. Návrh zkoušení pro vybraný střížný nástroj

Zkoušení nástroje vyrobeného z CPM REX M4, ASP 2053 a ASP 2005 mělo proběhnout zkouškou za provozu, z důvodu mimořádné situace nemohly být komponenty pro tuto zkoušku dodány do termínu odevzdání této práce, a proto v této kapitole bude jen naznačeno, jaká je konkrétní problematika zadaného střížného nástroje.

### 8.1 Střížník

V této práci jsem neřešil konstrukci střížníku, ten je po této stránce identický pro všechny zvolené materiály. Pro úplnost zde uvedu, jak tento střížník vypadá. Výkres střížníku je uveden v [Příloha 7](#).



Obr. 40: Konstrukční řešení střížníku

Jak je patrné z Obr. 40 jedná se o jednoduchý střížný nástroj o rozměrech 28x40x12 mm. Tento nástroj je vyroben z oceli 19 436, u které ale po cca 300 zdvizích dojde k opotřebení v podobě otřepu a k následnému vyštípnutí ostří.

Nástroj vytváří tvarový prolis v oceli 1.4404, která má tloušťku 5 mm. Výsledný tvar prolisu je znázorněn v Obr. 41 a Obr. 42.



*Obr. 41: Pohled na prolis ze strany střížníku*



*Obr. 42: Pohled na prolis ze strany střížnice*

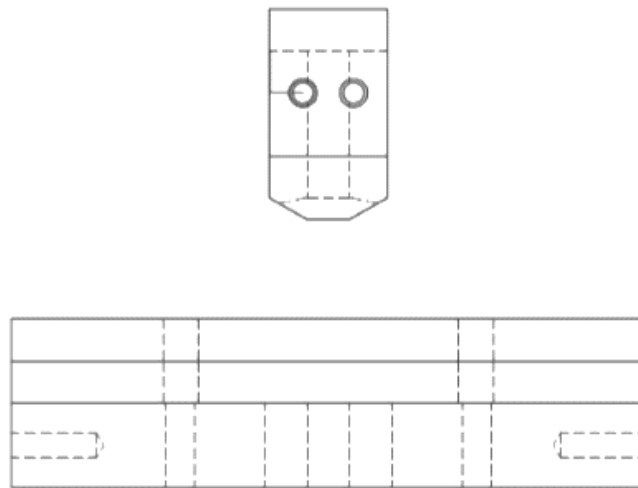
## **8.2 Lisovací nástroj**

Nástroj je složen z horní a dolní části. Horní část je složena ze střížníku a držáku střížníku. Dolní část je tvořena střížnicí, vodící deskou a rozpěrnou deskou. Ve střížnici je vložen segment střížné hrany a dále je v ní dutina pro vytvoření prolisu. Na Obr. 41 a Obr. 42 je patrné jak vypadá kompletní nástroj.

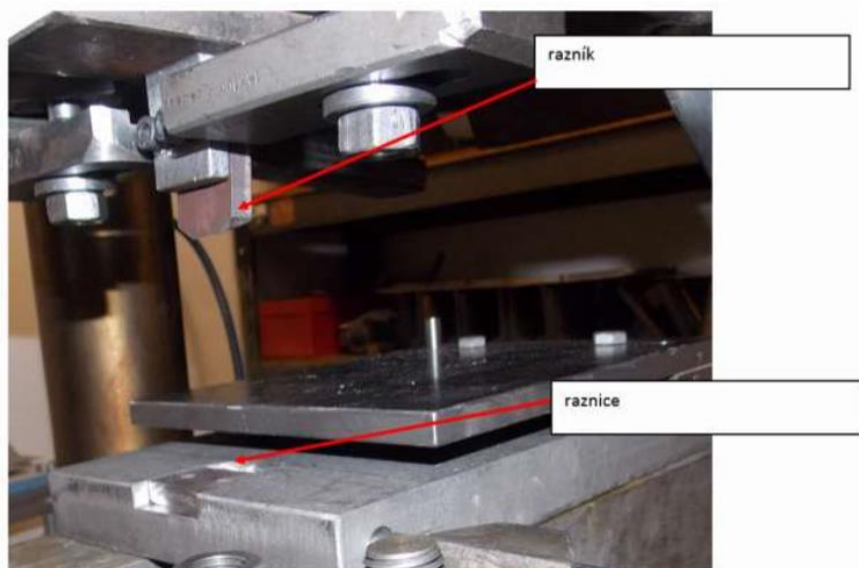
Síly, které vznikají při stříhání, se pohybují okolo 70 kN.



Obr. 43: Boční pohled na sestavu nástroje



Obr. 44: Zadní pohled na sestavu nástroje



Obr. 45: Celkový pohled na upnutý nástroj

### 8.3 Zkoušení nástroje

Nástroje z navržených vhodných materiálů CPM REX M4, ASP 2053 a ASP 2005 by byly vyrobeny a následně tepelně zpracovány, podle postupů a kritérií uvedených v této práci. Následovala by zkouška tvrdosti HRC těchto nástrojů, aby bylo jasné, že materiál je v tolerančním rozsahu požadovaných tvrdostí.

Následovala by zkouška nástroje za provozu, kdy by byl střížník upnut do nástroje, a sledovalo by se, jakým způsobem a za jak dlouho by se tento nástroj opotřeboval. Porovnal by se mezi sebou životnosti nástrojů vyrobených z CPM REX M4, ASP 2053 a ASP 2005. Tyto zjištěné životnosti by se dále porovnal s původní životností nástroje z oceli 19 436, která byla cca 300 zdvihů.

Výsledkem těchto porovnání by bylo znázornění životností těchto materiálů do grafu a finální doporučení pro použití, nebo nepoužití zkoušených materiálů pro výrobu prostřihů. Pokud by nebyla ani jedna z možností použitelná, musel by být tento proces výběru zopakován a bylo by zvoleno buď jiné tepelné zpracování stávajících zvolených materiálů, nebo by v nejhorším případě musel být zvolen jiný materiál se specifickým tepelným zpracováním, a toto by ještě mohlo být doplněno jednou z navržených povrchových úprav pro snížení otěru při stříhání.



## 9. Závěr

Cílem práce bylo zmapování dnes používaných nástrojových ocelí, jejich druhů a možností pro zlepšení vlastností nástrojů pro operace stříhání, s cílem získat materiál pro zajištění dlouhé životnosti.

Motivací bylo stříhání tvarových prostřihů do oceli 1.4404 o tloušťce 5 mm, na které stávající používané jakosti nástrojových ocelí selhávají.

V teoretické části této bakalářské práce jsem zmapoval základní druhy značení používaných nástrojových materiálů, pro danou problematiku střížných nástrojů pracujících za studena. Poté jsem popsal, jak se tyto druhy materiálů vyrábí, jaké existují odlišnosti a podobnosti mezi konvenčními nástrojovými oceli a práškovými nástrojovými oceli.

Tyto dvě skupiny se liší vnitřní strukturou materiálu, a to hlavně jemností struktury. Teoreticky jsem popsal, jak se nástrojové materiály mohou tepelně zpracovávat. Poslední částí bylo informativní popsání základních povrchových úprav.

Na základě analýzy je patrné, že je několik způsobů značení dle platných norem, ale dále výrobci používají svoje značení, čímž se problematika stává podstatně složitější, jelikož tyto výrobci si dělají svoje vlastní materiály, které se od standardních normou definovaných materiálů odlišují, čímž se rozšiřuje spektrum nabídky, ale klesá přehlednost.

Vybral jsem desítky možných materiálů, které by se daly použít a ty jsem rozdělil na dvě hlavní skupiny a to konvenční nástrojové oceli a práškové nástrojové oceli. Vytvořil jsem pro přehlednost tabulku v excelu, která je vzhledem k rozsahu přiložena v [Příloha 9](#). Z této tabulky a materiálových listů viz [Příloha 8](#), jsem vycházel při širší volbě vhodných materiálů, z těchto materiálů jsem vybral pro obě skupiny tři materiály vhodné pro řešenou problematiku. Poté jsem mezi sebou porovnal materiály z obou skupin a zvolil, že nejlepší možností pro střížný nástroj pracující za studena stříhající nerezovou ocel velké tloušťky bude skupina práškových nástrojových ocelí a to konkrétně tyto tři materiály: CPM REX M4, ASP 2053 a ASP 2005. Přímě pro tyto tři materiály jsem předepsal, jaké musí mít chemické složení a jak musí být konkrétně tepelně zpracovány, aby bylo dosaženo těch nejlepších vlastností střížného nástroje.

Zmíním zde ještě dvě další skupiny, které by teoreticky mohly být vhodné, a to bezkobaltové rychlořezné oceli a maragingové oceli, u nichž lze také vhodným tepelným zpracováním dosáhnout zvýšené životnosti a to i pro aplikaci na střížné nástroje.

Možnosti zvyšování životnosti ale nekončí volbou vhodného materiálu a jeho tepelného zpracování. Zvolený materiál můžeme zmrazovat, pak ve vnitřní struktuře dochází ke změnám, které zvyšují životnost. Poté, co je nástroj vyroben a je provedeno tepelné zpracování, můžeme užitím vhodné povrchové úpravy snížit otěr pomocí PVD/CVD. Tyto možnosti by pro tuto aplikaci mohly být také vhodné, ale vzhledem k charakteru práce jsem je pro experimenty nepoužil, ale je důležité je zde také zmínit.

Takto navržený nástroj by měl splňovat požadavek na vysokou životnost. Doporučuji pokračovat v práci a na zjištěných materiálových jakostech dodělat tvary nástrojů, včetně případně různých podmínek tepelného zpracování, a tyto nástroje vyzkoušet z hlediska životnosti. Z hlediska problému souvisejících s COVID-19 se nepodařilo dokončit praktické zkoušení za podmínek navržených v této práci.

# Seznam obrázků

Obr. 1 Struktura práškové (vlevo) a konvenční nástrojové (vpravo) oceli [10]	8
Obr. 2: Schéma číselného označení [26]	9
Obr. 3: Systém označení [26]	11
Obr. 4: Stavba čísel ocelí [26]	13
Obr. 5: Výroba oceli elektrickou obloukovou pecí [34]	15
Obr. 6: Elektrostruskové tavení [20]	16
Obr. 7: Kontinuální lití [21]	16
Obr. 8: Hydraulický lis s otevřenou zápustkou [18]	17
Obr. 9: Válcování [2]	18
Obr. 10: Tažení [29]	18
Obr. 11: Tvar částic při atomizaci vodní (vlevo) a plynové (vpravo) [3]	19
Obr. 12: Schéma vodní atomizace [32]	20
Obr. 13: Schéma plynové atomizace [27]	21
Obr. 14: Schéma Osprey procesu [30]	21
Obr. 15: Proces obousměrného lisování [33]	23
Obr. 16: Protlačování šnekem [33]	23
Obr. 17: Způsoby protlačování pístem: a) nepřímé; b) přímé [33]	23
Obr. 18: Izostatické lisování za tepla [33]	24
Obr. 19: Schéma slinovací pece [23]	26
Obr. 20: Kalicí diagram 19 435 [13]	32
Obr. 21: Popouštěcí diagram 19 435 [13]	32
Obr. 22: Kalicí diagram ČSN 19 437 [15]	33
Obr. 23: Popouštěcí diagram ČSN 19 437 [15]	33
Obr. 24: Popouštěcí diagram CPM REX M4 [9]	35
Obr. 25: Diagram tepelného zpracování ASP 2053 [5]	36
Obr. 26: ARA diagram ASP 2053 [5]	36
Obr. 27: Diagram vrubové houževnatosti ASP 2053 [5]	36
Obr. 28: Diagram zkoušky ohybem ASP 2053 [5]	36
Obr. 29: Mez pevnosti v tlaku ASP 2053 [5]	37
Obr. 30: Kalicí diagram ASP 2005 [4]	38
Obr. 31: Mez pevnosti v tlaku ASP 2005 [4]	38
Obr. 32: Diagram vrubové houževnatosti ASP 2005 [4]	38
Obr. 33: Diagram zkoušky ohybem ASP 2005 [4]	38
Obr. 34: Průběh vytvrzovacích křivek [36]	39
Obr. 35: Mechanické hodnoty pro vytvrzený stav [36]	39
Obr. 36: Tepelné zpracování nástrojů s kalicí teplotou do 900 °C [40]	42
Obr. 37: Tepelné zpracování nástrojů s kalicí teplotou nad 900 °C [40]	42
Obr. 38: Rozdíl tvrdosti oceli 316L před (vlevo) a po (vpravo) kryogenickém zpracování [11]	43
Obr. 39: Mikrostruktura před (vlevo) a po (vpravo) kryogenickém zpracování [11]	43
Obr. 40: Konstrukční řešení střižníku	45
Obr. 41: Pohled na prolis ze strany střižníku	46
Obr. 42: Pohled na prolis ze strany střižnice	46
Obr. 43: Boční pohled na sestavu nástroje	47
Obr. 44: Zadní pohled na sestavu nástroje	47
Obr. 45: Celkový pohled na upnutý nástroj	47

# Seznam tabulek

Tabulka 1: Typ legování třídy 17 [3] .....	10
Tabulka 2: Typ legování třídy 19 [6] .....	10
Tabulka 3: Značky vytvořené na základě použití a mechanických, nebo fyzikálních vlastností [26] ....	11
Tabulka 4: Značky vytvořené na základě chemického složení oceli [26] .....	12
Tabulka 5: Čísla skupin vybraných ocelí [26] .....	13
Tabulka 6: Vhodné nástrojové oceli .....	30
Tabulka 7: Chemické složení 19 312 [12] .....	30
Tabulka 8: Mechanické vlastnosti 19 312 [12] .....	31
Tabulka 9: Tepelné zpracování 19 312 [12] .....	31
Tabulka 10: Závislost tvrdosti na popouštěcí teplotě 19 312 [12] .....	31
Tabulka 11: Chemické složení 19 435 [13] .....	31
Tabulka 12: Mechanické vlastnosti 19 435 [13] .....	31
Tabulka 13: Tepelné zpracování 19 435 [13] .....	31
Tabulka 14: Závislost tvrdosti na popouštěcí teplotě 19 435 [13] .....	32
Tabulka 15: Chemické složení 19 437 [15] .....	32
Tabulka 16: Mechanické vlastnosti 19 437 [15] .....	32
Tabulka 17: Tepelné zpracování ČSN 19 437 [15] .....	33
Tabulka 18: Závislost tvrdosti na popouštěcí teplotě ČSN 19 437 [15] .....	33
Tabulka 19: Vhodné práškové nástrojové oceli .....	34
Tabulka 20: Chemické složení CPM REX M4 [9] .....	34
Tabulka 21: Tepelné zpracování CPM REX M4 [9] .....	34
Tabulka 22: Kalicí teploty CPM REX M4 [9] .....	34
Tabulka 23: Chemické složení ASP 2053 [5] .....	35
Tabulka 24: Tepelné zpracování ASP 2053 [5] .....	35
Tabulka 25: Kalicí teploty ASP 2053 [5] .....	36
Tabulka 26: Chemické složení ASP 2005 [4] .....	37
Tabulka 27: Tepelné zpracování ASP 2005 [4] .....	37
Tabulka 28: Kalicí teploty ASP 2005 [4] .....	37
Tabulka 29: Požadavky na chemické složení [4], [5], [9] .....	40
Tabulka 30: Požadavky na tepelné zpracování [4], [5], [9] .....	41

## Použitá literatura

- [1] [online]. [cit. 2016-07-04]. Dostupné z: <http://www.pvdcoatings.co.uk/theory/how-are-pvdcoatings-deposited/unbalancedmagnetron/>.
- [2] An introduction to steel construction products. *NSC* [online]. 2018, July 12, 2018 [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <http://www.newsteelconstruction.com/wp/an-introduction-to-steel-construction-products/>
- [3] *ASM Handbook, Volume 7, Powder Metal Technologies and Applications*. ASM International, 1998. ISBN 978-0871703873.
- [4] ASP 2005. *Bohdan Bolzano* [online]. [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://bolzano.cz/wp-content/uploads/2020/01/ASP2005-1.pdf>
- [5] ASP 2053. *Bohdan Bolzano* [online]. [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://bolzano.cz/wp-content/uploads/2020/01/ASP2053-1.pdf>
- [6] České značení ocelí. *Ferona online* [online]. Ferona [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/znaceni-oceli/>
- [7] Characteristic of alloying elements. *Total Materia* [online]. 2000 [cit. 2020-01-13]. Dostupné z: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=10>
- [8] Chemical elements a virtual museum. *Images of elements* [online]. 2019 [cit. 2020-01-14]. Dostupné z: <https://images-of-elements.com/>
- [9] CPM REX M4. *Bohdan Bolzano* [online]. [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://bolzano.cz/wp-content/uploads/2020/01/CPMrexM4.pdf>
- [10] CPM-15V Data Sheet. In: *ZAPP* [online]. Gurnee (Illinois, USA): Zapp Tooling Alloys, 2019 [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.zapp.com/us/products/plate-sheet/tooling-alloys/data-sheets.html>
- [11] Cryogenic Treatment of Steel: Part Two. *Total Materia* [online]. 2020, Jan-2015 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=435>
- [12] ČSN 41 9312. ČAS, 1969.
- [13] ČSN 41 9313. ČAS, 1969.
- [14] ČSN 41 93435. ČAS, 1969.
- [15] ČSN 41 93437. ČAS, 1969.
- [16] CVD povlaky [online]. [cit. 2016-07-04]. Dostupné z: [http://www.sandvik.coromant.com/cscz/knowledge/materials/cutting\\_tool\\_materials/coated\\_cemented\\_carbide/pa ges/coating-%E2%80%93cvd.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/cscz/knowledge/materials/cutting_tool_materials/coated_cemented_carbide/pa ges/coating-%E2%80%93cvd.aspx)
- [17] DORAZIL, Eduard. *Strojírenské materiály a povrchové úpravy*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojírenská, 1988. ISBN 55-607-88.
- [18] Effect of heat load to the forming machines. *MM Science Journal* [online]. 2013, **3**, 419 [cit. 2019-12-28]. DOI: 10.17973/MMSJ.2013\_10\_201311. Dostupné z:

- [https://www.researchgate.net/publication/277888425\\_Effect\\_of\\_heat\\_load\\_to\\_the\\_forming\\_machines](https://www.researchgate.net/publication/277888425_Effect_of_heat_load_to_the_forming_machines)
- [19] Effects of Totally 48 Alloying Elements in Steel. *MachineMfg* [online]. [cit. 2020-01-13]. Dostupné z: [https://www.machinemfg.com/alloying-elements-effects-on-steel/#Element\\_1\\_HHydrogen](https://www.machinemfg.com/alloying-elements-effects-on-steel/#Element_1_HHydrogen)
- [20] From crude to steel. *Tec-science* [online]. 2018, 6/21/2018 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.tec-science.com/material-science/steel-making/from-crude-steel-to-steel/>
- [21] From steel to semi-finished products. *Tec-science* [online]. 2018, 2018, 06/21/2018 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.tec-science.com/material-science/steel-making/steel-semi-finished-products-continuous-ingot-casting/>
- [22] How is tool steel made. *Metal supermarkets* [online]. 2015 [cit. 2019-12-14]. Dostupné z: <https://www.metalsupermarkets.com/how-is-tool-steel-made/>
- [23] HUMÁR, Anton. [Http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat\\_pro\\_rez\\_nastroje/materialy\\_pro\\_rezne\\_nastroje\\_v2.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf) [online]. 2006 [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat\\_pro\\_rez\\_nastroje/materialy\\_pro\\_rezne\\_nastroje\\_v2.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf)
- [24] HUMÁR, Anton. Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění. Brno: CCB, 1995. ISBN 80-858-2510-4.
- [25] Jak se vyrábí a zpracovává ocel. *Ocelářská unie* [online]. 2018, 2018, 12.10.2018 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.ocelarskaunie.cz/jak-se-vyrabi-a-zpracovava-ocel/>
- [26] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření*. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.
- [27] MATSAGOPANE, Gaamangwe, Eytayo Olatunde OLAKANMI, Annelize BOTES a Said KUTUA. Conceptual Design Framework for Setting Up Aluminum Alloy Powder Production System for Selective Laser Melting (SLM) Process. *JOM* [online]. 2019, **71**(5), 1840-1857 [cit. 2020-01-03]. DOI: 10.1007/s11837-019-03431-w. ISSN 1047-4838. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11837-019-03431-w>
- [28] NÁSTROJOVÉ OCELI ASP® a CPM® VYRÁBĚNÉ PRAŠKOVOU METALURGIÍ. *Bolzano* [online]. [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: [https://bolzano.cz/wp-content/uploads/2020/01/bolzano\\_web\\_listy\\_nastrojove\\_oceli\\_asp\\_zasady\\_a\\_informace\\_pro\\_zpracovani.pdf](https://bolzano.cz/wp-content/uploads/2020/01/bolzano_web_listy_nastrojove_oceli_asp_zasady_a_informace_pro_zpracovani.pdf)
- [29] Objemové tváření-tažení drátů a profilů. *SlidePlayer* [online]. [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/3150253/>
- [30] Osprey process. *OpenLearn* [online]. [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/engineering-technology/manupedia/osprey-process>
- [31] Povlakování [online]. [cit. 2016-07-04]. Dostupné z: [http://www.pemit.cz/assets/files/pdf/brooks\\_gp012\\_cz.pdf](http://www.pemit.cz/assets/files/pdf/brooks_gp012_cz.pdf)
- [32] Schematic of water atomization process. In: *ResearchGate* [online]. [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-water-atomization-process-modified-from-3\\_fig1\\_331346212](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-water-atomization-process-modified-from-3_fig1_331346212)

- [33] SKOTNICOVÁ, Kateřina a Miroslav KURSA. *Prášková metalurgie: studijní opory : učební text, scénáře, testy*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN ISBN978-80-248-3378-1.
- [34] SPORCHIA, Matteo. ELECTRIC ARC FURNACE AC (PART 3) The Charging Phase. *Linkedin* [online]. 2019, 9.10.2019 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/electric-arc-furnace-ac-part-3-charging-phase-matteo-sporchia>
- [35] Tenké vrstvy [online]. Západočeská univerzita v Plzni, ATeam - materiálový výzkum.: KŘÍŽ, Antonín., 2006 [cit. 2016-07-04]. Dostupné z: [http://www.ateam.zcu.cz/tenke\\_vrstvy\\_sma.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/tenke_vrstvy_sma.pdf).
- [36] Vacumar. R O B E R T Z A P P Werkstofftechnik GmbH Zapp Platz 1 D Ratingen Tel.: Fax: - PDF Stažení zdarma. *Představujeme Vám pohodlné a bezplatné nástroje pro publikování a sdílení informací*. [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 04.03.2020]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/11497683-Vacumar-r-o-b-e-r-t-z-a-p-p-werkstofftechnik-gmbh-zapp-platz-1-d-40880-ratingen-tel-0049-2102-710-0-fax-0049-2102-710-575.html>
- [37] VELLING, Andreas. Tool Steel Grades, Applications and Production Methods. *Fractory* [online]. 2019, 20.11.2019 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://fractory.com/tool-steel-grades-applications/>
- [38] Vliv jednotlivých prvků na vlastnosti ocelí. *Tumlikovo* [online]. 2011 [cit. 2020-01-13]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/vliv-jednotlivych-prvku-na-vlastnosti-oceli/>
- [39] ZÁKLADNÍ NABÍDKA POVLAKŮ SHM. *SHM* [online]. 2020 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: [https://shm-cz.cz/wp-content/uploads/2018/09/nabidka\\_povlaku\\_2018.pdf](https://shm-cz.cz/wp-content/uploads/2018/09/nabidka_povlaku_2018.pdf)
- [40] Zpracování nástrojových ocelí: Tváření a tepelné zpracování. *Bolzano* [online]. Kladno, 2020 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <https://bbolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/nastrojove-oceli/zpracovani-nastrojovych-oceli>
- [41] Zpracování nástrojových ocelí: Tváření a tepelné zpracování. *Bolzano* [online]. Kladno, 2020 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <https://bbolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/nastrojove-oceli/zpracovani-nastrojovych-oceli>

# Přílohy

## Příloha 1: Význam doplňkových číslic pro třídu 17 a 19

Tabulka: Význam první doplňkové číslice [6]

První doplňková číslice	Stav oceli (druh tepelného zpracování)
1x xxx.0	tepelně nezpracovaný
1x xxx.1	normalizačně žíhaný
1x xxx.2	žíhaný (s uvedením způsobu žíhání)
1x xxx.3	žíhaný na měkko
1x xxx.4	kalený nebo kalený a popouštěný při nízkých teplotách, po rozpouštěcím žíhání (jen u austenitických ocelí)
1x xxx.5	normalizačně žíhaný a popouštěný
1x xxx.6	zušlechťený na dolní pevnost obvyklou u příslušné oceli
1x xxx.7	zušlechťený na střední pevnost obvyklou u příslušné oceli
1x xxx.8	zušlechťený na horní pevnost obvyklou u příslušné oceli
1x xxx.9	stavy, které nelze označit číslicemi 0 až 8

## Příloha 2: Schéma značky dle ČSN EN 10027-1

Tabulka: Schéma značky [26]

Základní symboly		Přídavné symboly pro ocel		Přídavné symboly pro ocelové výrobky
Písmeno	Mechanická vlastnost	Skupina 1	Skupina 2	Viz. <a href="#">Příloha 4</a>

## Příloha 3: Značky ocelí podle jejich chemického složení

Tabulka: Koeficienty legujících prvků [26]

Prvek	Koeficient
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr	10
Ce, N, P, S	100
B	1000

## Příloha 4: Příklady symbolů pro ocelové výrobky

Tabulka: Druhy povlaků [26]

Symbol	Význam
+A	žárově pohliníkováno ponorem
+AS	povlak ze slitiny Al-Si

+AZ	povlak ze slitiny Al-Zn (Al > 50 %)
+CE	elektrolyticky pochromováno (ECCS)
+CU	povlak Cu
+IC	povlak anorganický
+OC	povlak organický
+S	žárově pocínováno ponorem
+SE	elektrolyticky pocínováno
+T	žárově pokoveno slitinou Pb-Sn (Terne)
+TE	elektrolyticky pokoveno slitinou Pb-Sn (Terne)
+Z	žárově pozinkováno ponorem
+ZA	žárově pokoveno slitinou Zn-Al (Zn > 50 %)
+ZE	elektrolyticky pozinkováno
+ZF	povlak Zn a Fe (difúzně žíhaný)
+ZN	elektrolyticky pokoveno slitinou Zn-Ni

Tabulka: Tepelné zpracování [26]

Symbol	Význam
+A	žíhaný naměkko
+AC	žíhaný na globulární karbidy
+AR	válcovaný (bez zvláštních podmínek na válcování nebo tepelné zpracování)
+AT	rozpuštěcí žíhání
+C	zpevněný zpracováním za studena
+Cnnn	zpevněný zpracováním za studena na minimální pevnost v tahu od nnn [MPa]
+Cpnnn	zpevněný zpracováním za studena na minimální tažnost 0,2 % od nnn [MPa]
+CR	válcovaný za studena
+DC	dodávaný stav podle výrobce
+FP	zpracovaný žíháním na ferit-perlit a rozsah tvrdosti
+HC	válcovaný za tepla a zpevněný za studena
+I	isotermicky zpracovaný
+LC	lehce přetažený za studena případně lehce převálcovaný
+M	termomechanicky tvářený
+N	normalizačně žíhaný nebo normalizačně válcovaný
+NT	normalizačně žíhaný a popouštěný
+P	precipitačně vytvrzený
+Q	kalený
+QA	kalený na vzduchu
+QO	kalený do oleje
QT	zušlechťený
QW	kalený do vody
+RA	rekrytalizačně žíhaný
+S	zpracovaný na stříhatelnost za studena



+SR	žíhaný na snížení pnutí
+T	popouštěný
+TH	zpracovaný na rozsah tvrdosti
+U	nezpracovaný
+WW	nezpracovaný

Symbody jsou v případě obou tabulek od předcházejících symbolů odděleny znaménkem: „+“. [26]

## Příloha 5: Obecný postup kalení

Nástroje ke kalení se mají ohřívat pozvolna a rovnoměrně. Nerovnoměrný ohřev vede k tvarovým deformacím a v krajním případě i k trhlinám. Je proto vhodné ohřívat v několika teplotních stupních. To se týká především ocelí výše legovaných. Během ohřevu se nástroje chrání před zokujením a oduhličením povrchu. Výhodný je proto ohřev ve vakuu. Kontinuální ohřev v jedné peci lze provádět při ohřevu malých nástrojů jednoduchého tvaru, nebo i u rozměrnějších nástrojů, je-li kalicí teplota do 950 °C. Zakládat tyto nástroje do pece je ekonomické při teplotě 350 až 400 °C pak zvyšovat pozvolna teplotu na 550 až 600 °C a po prohřátí na této teplotě pokračovat v ohřevu větší rychlostí, nejvíce však 200 °C za hodinu. Oceli s kalicí teplotou nad 950 °C se ohřívají s předeřevem ve dvou stupních např. 650 a 850 °C a s prodlevou na vyrovnání teplot v každém stupni. Po druhém stupni pak následuje ohřev na kalicí teplotu. [40]

Kalicí teploty se pohybují 30 až 80 °C nad teplotou přeměny  $A_{c3}$  u ocelí podeutektoidních, popř.  $A_{c1}$  u ocelí nadeutektoidních. Po dosažení kalicí teploty v celém průřezu musí ještě následovat prodleva na této teplotě, nezávislá na velikosti průřezu. Mimo rychlořezné oceli je tato prodleva asi 10 až 15 minut, popř. 20 až 25 minut u ocelí výše legovaných. U rychlořezných ocelí jsou prodlevy s ohledem na vysoké kalicí teploty výrazně kratší. [40]

Doba ohřevu potřebná k dosažení kalicí teploty v celém průřezu nástroje závisí na průřezu, na výši předeřívací a kalicí teplotě a použitém zařízení pro ohřev. K jejímu stanovení slouží různé diagramy nebo tabulky závislosti doby ohřevu na průřezu, platné pro zvolené podmínky ohřevu. Určení optimálních dob ohřevu pro konkrétní nástroj, druh oceli a typ zařízení, je však dáno hlavně zkušeností. [40]

Po ohřevu za výše uvedených podmínek, kdy nástroj dosáhl kalicí teplotu v celém průřezu, následuje ochlazení v prostředí, jehož volba závisí na druhu oceli, velikosti a tvaru nástroje. Nejběžnější ochlazovací prostředí jsou voda, olej, solná lázeň nebo vzduch. Každé z nich umožňuje jinou ochlazovací rychlost, tj. rychlost poklesu teploty ve °K za jednotku času (sec. popř. min.). Na rychlosti ochlazování z kalicí teploty závisí konečná tvrdost daná vznikem martenzitu. Pro každý druh oceli existuje tzv. kritická ochlazovací rychlost, při které ještě probíhá přeměna austenitu na martenzit. Při kalení je proto nezbytné nastavit, použitím vhodného ochlazovacího prostředí, ochlazovací rychlost pro daný druh oceli a rozměr a tvar kaleného předmětu tak, aby byla větší než kritická. Pomůckou k určení kritické ochlazovací rychlosti pro jednotlivé druhy ocelí jsou diagramy Anizotermického Rozpadu Austenitu (ARA-diagramy), které popisují průběh rozpadu austenitu a vznikající struktury při plynulém ochlazování z austenitizační teploty. Rychlost ochlazování by neměla být větší, než je pro

docílení požadované tvrdosti nezbytně nutné. V opačném případě vznikají v kaleném nástroji nadměrná pnutí, která mohou vést až k destrukci nástroje. Legované oceli, které mají vyšší prokalitelnost, postačí většinou ochlazovat v oleji nebo na vzduchu. Teplota oleje se pohybuje v rozmezí 30 až 80 °C. Tvarově složitější nástroje je vhodné kalit do oleje ještě o vyšší teplotě. [40]

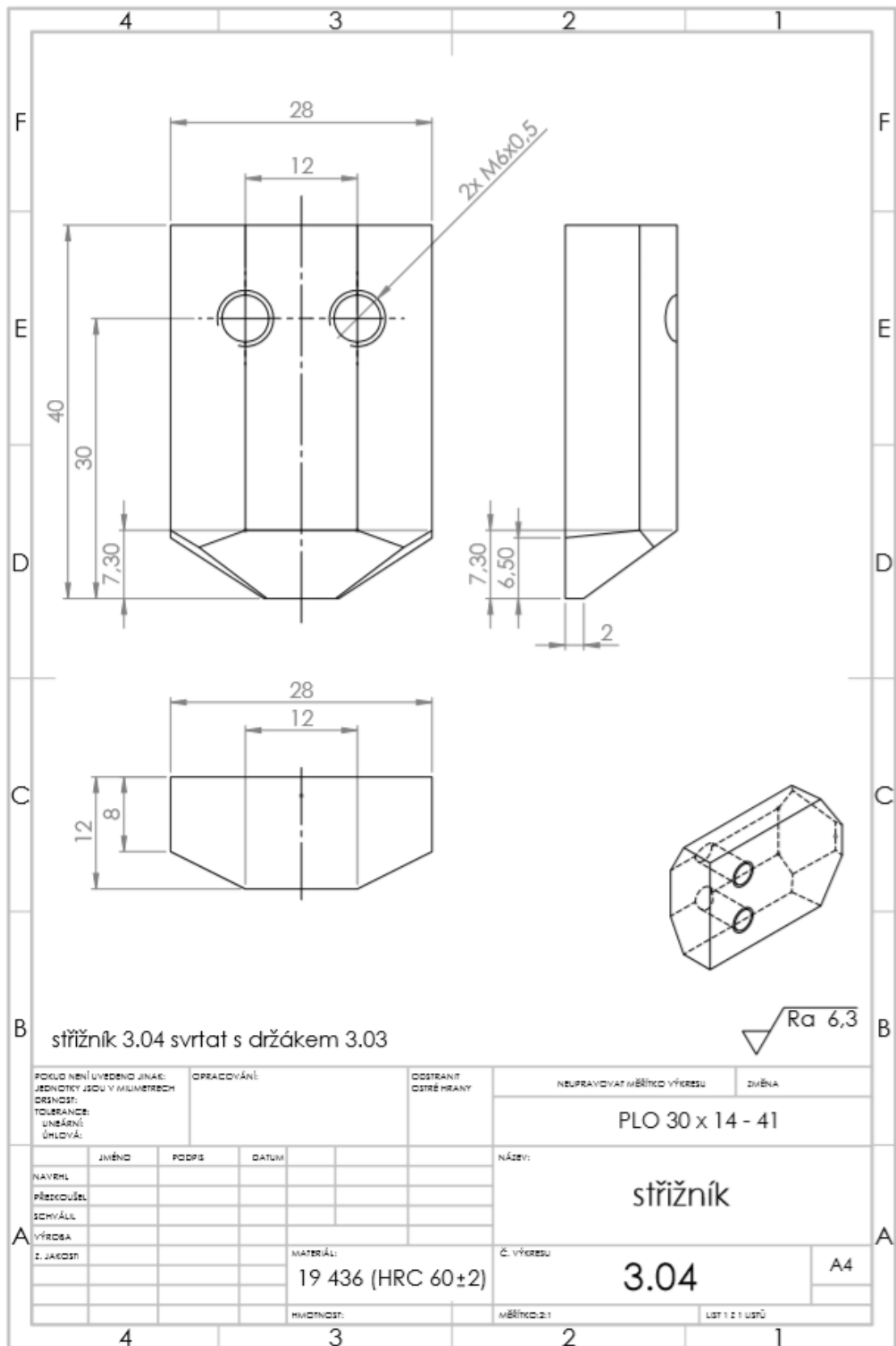
Nástroje s vysoce legovaných ocelí s velkou prokalitelností lze též kalit do roztavených solných lázní. Menší, ale přesto dostatečná ochlazovací rychlost v tomto prostředí, nevyvolává větší pnutí zejména u nástrojů tvarově složitých s rozdílnými průřezy. Solné lázně jsou vhodné pro termální kalení, používané též k zamezení vzniku pnutí. Nástroj se kalí do solné lázně o teplotě mírně nad bodem počátku martenzitické přeměny ( $M_s$ ) a po vyrovnání teplot v celém průřezu se provede dochlazení na vzduchu. Dalším způsobem ochlazování je lomené kalení, používané pro velké nástroje např. bloky pro zápusťkové kování. V těchto případech je nutné se zřetelem k velkým rozměrům zvýšit počáteční ochlazovací rychlost s tím, že vlastní martenzitická přeměna musí proběhnout při pomalém ochlazování opět z důvodů zamezení pnutí a nadměrných deformací. Používá se kombinace voda – olej nebo olej – vzduch. [40]

## **Příloha 6: Obecná doporučení pro popouštění**

Při popouštění při teplotách nad 300 °C je nutné nástroje předehřát asi na 300 až 350 °C. Po vyrovnání teplot pak dále ohřívat rychlostí 20 až 50 °C za hodinu. Popouštěli se v solných lázních, přenese se předehřátý nástroj do solné lázně zahřáté na teplotu popouštění. Při vyšších popouštěcích teplotách asi 1 hodina na každých 20 až 25 mm tloušťky, minimálně ale 2 hodiny. [40]

Nástroje z legovaných ocelí pro práci za studena a z ocelí pro práci za tepla se popouštějí obvykle alespoň 2x. Rychlořezné oceli minimálně 3x. Rychlořezné oceli legované kobaltem i více jak 3x. Při vícenásobném popouštění je prodleva na teplotě asi 2 hodiny. Teplota druhého a dalších popouštění je asi o 10 °C nižší než předchozí. Násobným popouštěním se docílí dokonalejšího rozpadu zbytkového austenitu a zároveň popouštění martenzitu, který se rozpadem zbytkového austenitu tvoří. [40]

## Příloha 7: Výkres střížníku



## **Příloha 8: Materiálové listy**

V odkazu, a CD jsou přiloženy materiálové listy uspořádané do jednotlivých složek dle výrobců a druhů materiálu.

Odkaz:

[Bakalářská práce-Moderní trendy materiálů pro střižné nástroje\Výrobci nástrojových ocelí](#)

## **Příloha 9: Excel vhodných konvenčních a práškových nástrojových ocelí**

V odkazu, a CD je přiložen Excel, který jsem vytvořil pro přehlednost při výběru vhodných nástrojových materiálů.

Odkaz:

[Bakalářská práce-Moderní trendy materiálů pro střižné nástroje\Přehled nástrojových ocelí.xlsx](#)