

# Konstrukce lisovacího nástroje

Kateřina Neumannová

---

Bakalářská práce  
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Kateřina NEUMANNOVÁ**

Osobní číslo: **T08211**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Konstrukce lisovacího nástroje pro výrobu dílce  
v leteckém průmyslu**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte řešení na dané téma**
- 2. Návrh a konstrukce lisovacího nástroje**
- 3. Ekonomické zhodnocení**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího bakalářské práce**

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Libuše Sýkorová, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

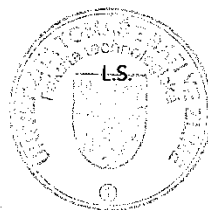
Datum zadání bakalářské práce: **14. února 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2011**

Ve Zlíně dne 5. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 17.5.2011

.....

---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce je nástroj pro lisování plechového dílce za studena. Teoretická část je zaměřena na teorii tváření, strukturu látek, poruchy krystalové mřížky, deformace, deformační zpevnění, pravidla plastické deformace a rozdělení tváření. Dále je popsána technologie tažení, její rozdělení, nástroje pro tažení i speciální způsoby výroby pomocí této technologie. Poslední kapitola teoretické části je věnována simulačnímu softwaru pro tažení.

V praktické části je nejprve popsán postup při zadávání dat simulačnímu programu pro výpočet chování materiálu při tažení a výsledky této simulace. Na základě těchto dat je navržen přípravek pro lisování zadané součásti a kompletně popsán. V příloze je obsažena výkresová dokumentace tohoto přípravku.

## **ABSTRACT**

The purpose of this diploma thesis is tool for sheet metal cold pressing. The first part is focused on forming theories, materials structures, crystalline structure defects, deformations, strain hardenings, plastic deformation rules and forming methods. In addition, there are described forming technologies and its distributions, forming tools as well as special methods used in productions. The next part is focused on forming simulation software.

The practical part describes a process in data entry into the simulation program for calculation of material behavior within forming and results of this simulation. On the basis of these data is proposed the pressing fixture for a required part and it is completely described. The design documentation of the fixture is enclosed in attachment.

Na tomto místě bych ráda poděkovala doc. Ing. Sýkorové Ph.D. za vedení této bakalářské práce a také Ing. Janu Michálkovi a Ing. Tomáši Výmolovi za cenné rady při tvorbě nástroje.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 TEORIE TVÁŘENÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1 STRUKTURA LÁTEK .....	12
1.1.1 Amorfnní látky .....	12
1.1.2 Krystalické látky .....	12
1.2 PORUCHY MŘÍŽKY .....	13
1.2.1 Hranová dislokace .....	13
1.2.2 Šroubová dislokace .....	14
1.3 DEFORMACE.....	14
1.3.1 Mechanismy deformace .....	15
1.3.2 Kritické kluzové napětí .....	15
1.4 DEFORMAČNÍ ZPEVNĚNÍ .....	16
1.5 PRAVIDLA PLASTICKÉ DEFORMACE .....	17
1.5.1 Pravidlo stálosti objemu .....	17
1.5.2 Pravidlo nejmenšího odporu .....	17
1.6 ROZDĚLENÍ TVÁŘENÍ.....	17
1.6.1 Stříhání .....	17
1.6.2 Plošné tváření .....	17
1.6.3 Objemové tváření .....	17
<b>2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ</b> .....	<b>18</b>
2.1 ROZDĚLENÍ TECHNOLOGIÍ TAŽENÍ .....	18
2.1.1 Určení tažné síly.....	19
2.1.2 Určení velikosti a tvaru přístřihu.....	19
2.1.3 Mazání.....	20
2.2 NÁSTROJE PRO TAŽENÍ .....	20
2.3 JINÉ ZPŮSOBY TAŽENÍ.....	20
2.3.1 Tváření pryží – metoda Guerin .....	20
2.3.2 Tváření pryží – metoda Marform .....	21
2.3.3 Tváření kapalinou – metoda Wheelon .....	21
2.3.4 Tváření kapalinou – metoda Hydroform.....	21
2.3.5 Hydromechanické tažení .....	22
<b>3 SIMULACE TVÁŘENÍ PLECHŮ</b> .....	<b>23</b>
3.1 PAM-STAMP.....	23
<b>4 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI</b> .....	<b>25</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>26</b>
<b>5 PŘEDSTAVENÍ FIRMY</b> .....	<b>27</b>
<b>6 SIMULACE TVÁŘENÍ</b> .....	<b>28</b>
6.1 PŘÍPRAVA DAT PRO SIMULACI .....	28
6.2 PRVNÍ SIMULACE .....	29
6.3 DRUHÁ SIMULACE .....	29
<b>7 KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU</b> .....	<b>31</b>



7.1	ZÁKLADOVÁ DESKA .....	32
7.2	UPÍNACÍ DESKA .....	33
7.3	TAŽNÍK.....	34
7.4	TAŽNICE.....	34
7.5	VODÍCÍ SLOUPKY .....	35
7.6	VODÍCÍ POUZDRA .....	35
7.7	UPÍNACÍ STOPKA .....	36
7.8	VYHAZOVAČE .....	37
<b>ZÁVĚR .....</b>		<b>38</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>		<b>39</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>		<b>40</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>		<b>41</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>		<b>42</b>

## ÚVOD

V dnešní době, kdy je potřeba snižovat náklady na výrobu a šetřit výrobní čas co nejvíce, je snaha všech, co se podílejí na výrobě jakéhokoliv výrobku, optimalizovat výrobní procesy tak, aby při zachování požadované kvality byla výroba co nejefektivnější. Náplní této bakalářské práce je tedy návrh a konstrukce lisovacího nástroje, který by umožnil vyrábět stávající součást leteckého motoru efektivněji a tím přinést ekonomické zhodnocení.

Aby se předešlo vysokým nákladům při výrobě nástroje, před samotnou konstrukcí se průběh tažení ověřuje v simulačním programu, který poukáže na možné chyby procesu, ukáže ztenčení materiálu, případně jeho roztržení, a je tak možno celý proces odladit ještě před tím, než se zahájí nákladná výroba celého nástroje.

Teoretická část se zabývá obecnou problematikou, související s touto terminologií a v praktické části je popsána tvorba modelu, dále je provedena simulace tažení. Na základě vyhodnocení výsledků byla zpracována výrobní dokumentace lisovacího přípravku pro výrobu daného dílce.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 TEORIE TVÁŘENÍ

Tváření je technologický proces, při kterém se mění tvar výchozího materiálu působením síly bez odebírání třísek.

Podle převládajícího průběhu deformace se technologie tváření dělí na plošné, objemové tváření a stříhání, bez ohledu na to, zda tvářecí proces probíhá bez předcházejícího ohřevu nebo s ním.

## 1.1 Struktura látek

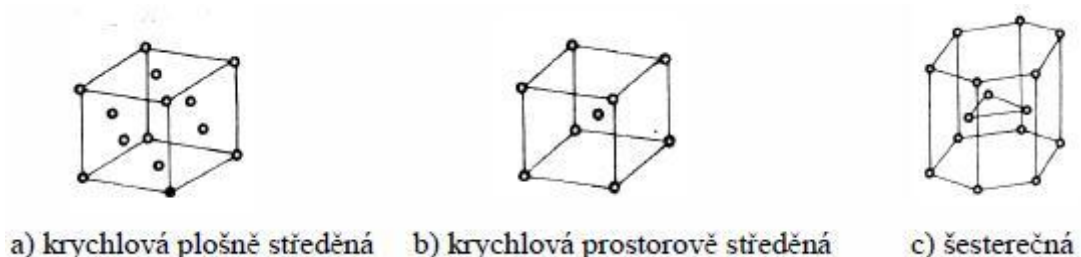
Atom je schopný samostatně existovat jen za určitých okolností. Slučováním atomů se vytvářejí molekuly. Atomy, resp. molekuly vytvářejí celou stavbu hmoty. Atomy nebo molekuly jsou vázány ve hmotě soudržnými silami, a tak vytvářejí amorfni (nekystalické) látky, ale kromě těchto sil existují také síly, které uspořádají atomy nebo molekuly do přesně prostorově uspořádaných seskupení a vytvářejí krystaly. Tyto síly nazýváme krystalickými silami a takto vytvořené látky nazýváme krystalickými látkami. [3]

### 1.1.1 Amorfni látky

Tyto látky se vyznačují v tuhém stavu méně pravidelným, až náhodným uspořádáním. Krystalová mřížka je silně deformovaná a to tak silně, že je nemožné najít při porovnávání aspoň podobné uspořádání. [3]

### 1.1.2 Krystalické látky

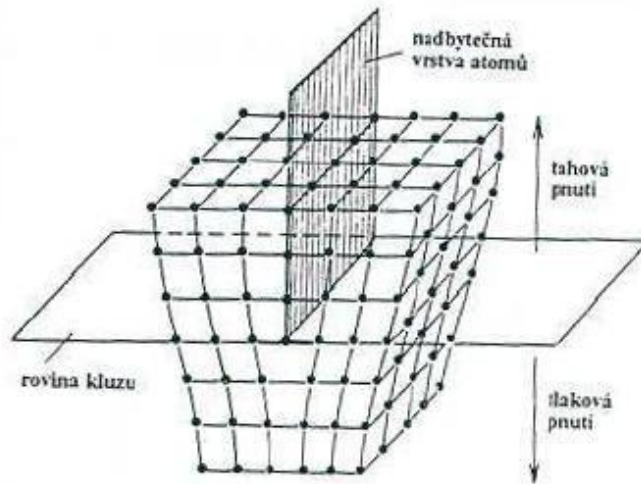
Krystalické látky reprezentují především tuhé látky. Jejich struktura je přesně a pravidelně uspořádána do určitých tvarů, tzn. atomy jsou v kovech pravidelně uspořádány a tvoří prostorovou krystalovou mřížku. Tato mřížka se skládá ze základních buněk, jejichž uspořádání je pro každý kov typické. Kovy nejčastěji krystalizují v soustavě krychlové a šesteréčné (Obr.1). [3]



Obr. 1 Krystalové mřížky

## 1.2 Poruchy mřížky

Při krystalizaci nevznikají krystaly dokonalého tvaru, ale dochází ke vzniku různých nepravidelností mřížky, které souhrnně nazýváme poruchy. Z hlediska teorie plastického přetvoření mají největší význam čárové poruchy – dislokace. Jejich vznik lze vysvětlit jakoby do dokonalé mřížky byla vložena další (nadbytečná) vrstva atomů. [3]

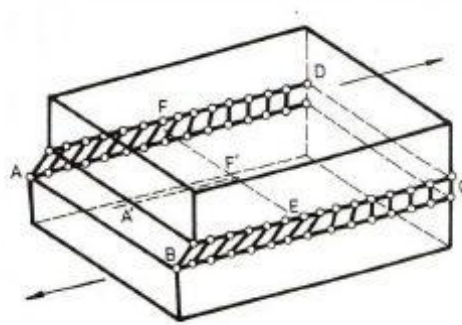


Obr. 2 Čárová porucha

Vložení vrstvy atomů vzniká nad rovinou skluzu tahové pnutí a pod rovinou skluzu vzniká tlakové pnutí. Dislokaci dělíme na hranovou a šroubovou. V reálných materiálech se nevyskytují pouze šroubové nebo hranové dislokace, ale kombinují se, takže dislokační čára má pouze obecný tvar. Pro posouzení vlivu dislokací na materiál je důležitá jejich hustota.

### 1.2.1 Hranová dislokace

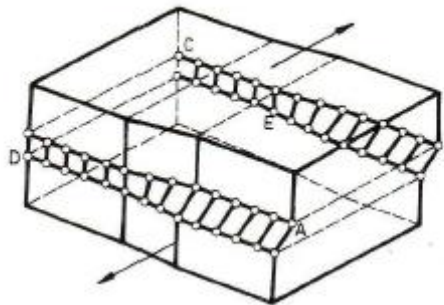
Na Obr. 3 je postup vzniku hranové dislokace v krystalu. Rovina ABEF je posunuta ve směru šipky oproti spodní rovině o jednu meziatomovou vzdálenost. [3]



Obr. 3 Hranová dislokace

### 1.2.2 Šroubová dislokace

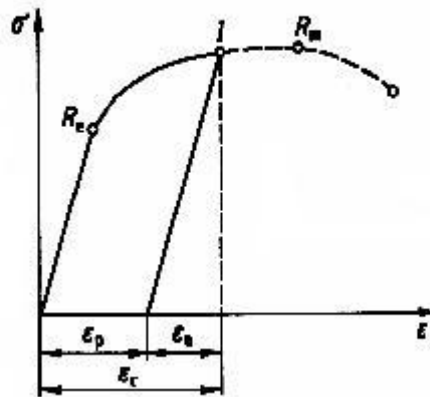
Na Obr. 4 je vidět, že při šroubové dislokaci je horní část krystalu oproti jeho dolní části posunuta ve směru působící síly. [3]



Obr. 4 Šroubová dislokace

## 1.3 Deformace

Každé těleso vystavené účinku vnějších sil mění svůj tvar. Když si zachová materiál svou spojitost a nevzniknou trhliny, mluvíme o deformaci. Každému porušení předchází deformace. U kovových materiálů probíhá nejdřív deformace pružná (elastická) a při určité velikosti se mění na trvalou (plastickou). Při překročení určité hodnoty napětí, kterou je pro jednoosou napjatost mez kluzu, probíhá deformace nadále jako homogenní, ale její růst je rychlejší než růst napětí a deformace zůstává z části zachována i po zrušení napětí (Obr. 5). Celková deformace je tvořena vratnou (elastickou) a nevratnou (plastickou) složkou. [1]  
Platí:



Obr. 5 Závislost deformačního napětí na deformaci

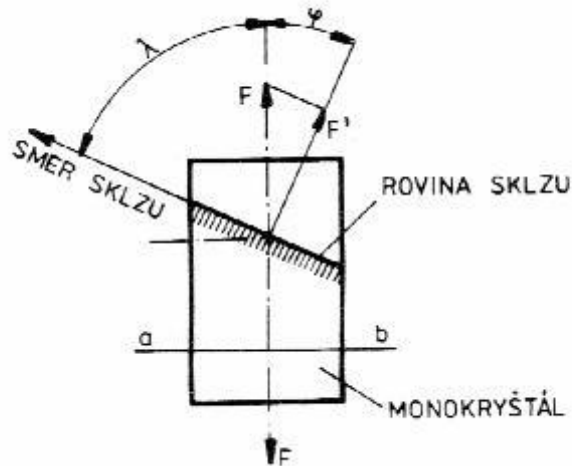
### 1.3.1 Mechanismy deformace

Podle způsobu vzniku plastické deformace a jejího uplatnění v deformačním procesu rozoznáváme tyto druhy:

- Translační skluz – jedná se o základní prvopočáteční posuv atomů při plastických deformacích
- Složitý skluz – původní translační skluz se mění ve skluz složitý
- Dvojčatění – kromě skluzu je pro plastickou deformaci také důležitá i tvorba krystalových dvojčat. Dvojčatění rozumíme nevratnou změnu tvaru krystalu. [1]

### 1.3.2 Kritické kluzové napětí

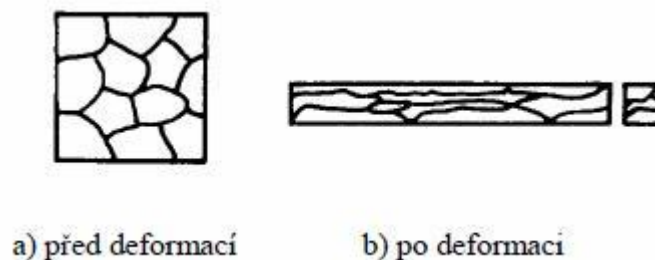
Napětí potřebné ke kluzu v určité skluzové rovině se nazývá kritickým kluzovým napětím (smykovým) a označujeme ho  $\tau_{kr}$ . Různá orientace zrn způsobuje, že smykové napětí nedosáhne naráz ve všech smykových rovinách stejné velikosti. To způsobí, že někde vznikne pružná deformace a v jiných, které jsou výhodně orientované na směr působení síly, plastická deformace. Nejvýhodnější je, když rovina skluzu je orientována pod úhlem  $\lambda = 45^\circ$ , kdy smykové napětí dosahuje maximum. [1]



Obr. 6 Schéma kritického kluzového napětí

#### 1.4 Deformační zpevnění

Plastická deformace způsobuje změny mechanických, fyzikálních a jiných vlastností kovu. Čím větší je deformace v kovu, tím víc rostou všechny ukazatele odporu proti přetvoření jako jsou: mez pružnosti, mez pevnosti, tvrdost. Zároveň však klesá poměrné prodloužení, poměrné zúžení a vrubová houževnatost. Tyto jevy, které vznikají při deformaci si lze vysvětlit tzv. deformačním zpevněním. Průběh deformačního zpevnění si lze představit tak, že dochází ke vnitřnímu pnutí, které způsobí nárůst odporu proti pohybu dislokací. Vlivem deformace se různé bloky jednotlivých krystalů natáčejí do vhodných směrů, dochází k jejich prodloužení, a tak vzniká textura kovů tvářeného za studena. Tuto změnu tvaru a orientace krystalových zrn je možné dobře pozorovat už při deformaci 20-30%. Textura za studena tvářeného kovu je důvodem anizotropie mechanických vlastností. Textura je v praxi nežádoucí, protože způsobuje hlavně při technologických procesech těžkosti. [2]



Obr. 7 Textura kovu tvářeného za studena



## 1.5 Pravidla plastické deformace

Při praktických výpočtech tvářecích procesů se zjednodušuje problematika řešení tím, že se zavádí řada vhodných předpokladů. [2]

### 1.5.1 Pravidlo stálosti objemu

Při plastické deformaci je změna objemu zanedbatelná. Nepatrná změna objemu, která se při plastické deformaci objeví, je dána zhuštěním materiálu, tj. odstraněním nepatrných mezikrystalických dutin. [2]

### 1.5.2 Pravidlo nejmenšího odporu

Toto pravidlo slouží k nalezení praktického vztahu mezi přemístěním částic materiálu při plastické deformaci a odporem proti přemístění částic. [2]

## 1.6 Rozdělení tváření

### 1.6.1 Stříhání

Jedná se o oddělování materiálu v celém průřezu, bez ohledu na to, jestli je oddělný kus hotový výrobek nebo polotovár určený k dalšímu zpracování.

### 1.6.2 Plošné tváření

Je to proces, při kterém se dosahuje požadovaná změna tvaru bez podstatné změny průřezu nebo tloušťky výchozího materiálu (většinou plechu).

### 1.6.3 Objemové tváření

Je proces, při kterém se dosahuje požadovaná změna změnou tvaru průřezu výchozího materiálu.

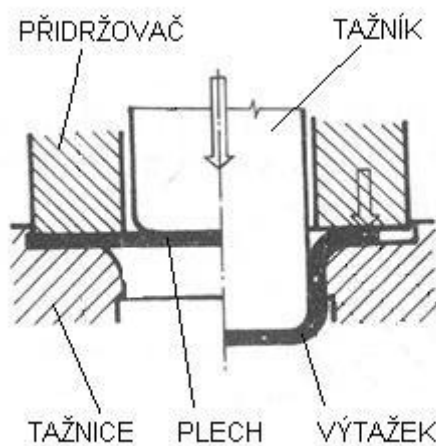
- Výkovek - je to výrobek zhotovený kováním, většinou na bucharech objemovým tvářením.
- Výlisek - jedná se o výrobek zhotovený lisováním, a to buď plošným nebo objemovým tvářením.

## 2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ

Tažení je technologický proces, při kterém se z rovinného plechu v jednom nebo několika tazích vyrobí duté těleso. Nástroj používaný při tažení se nazývá tažník a výrobek vyrobený tažením se nazývá výtažek. [2]

Při tažení se materiál za prvé táhne, za druhé přidrzuje. Proto musí mít nástroje na tažení dvě na sobě nezávislé části nástroje, které při tažení umožňují tyto úkony vykonávat. [2]

Hlavní části celého nástroje jsou tažnice, tažník a přidržovač.



Obr. 8 Schéma tažení

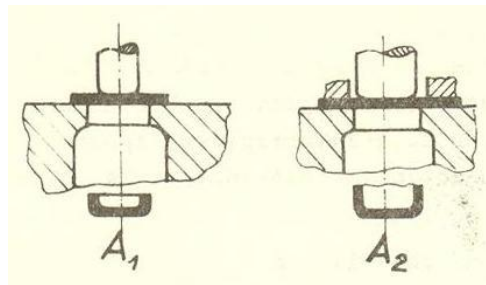
Jedná se o velmi rozšířený způsob zpracování plechu, protože je jím možné poměrně jednoduše vytvořit součástky velmi tuhé při nejmenší hmotnosti součásti.

### 2.1 Rozdělení technologií tažení

- Obyčejné tažení
- Tažení se ztenčením stěny
- Zpětné tažení
- Žlábkování

- Protahování
- Rozšiřování
- Zužování
- Objemové tažení

Podle způsobu práce se tažení dělí na tažení bez přídržovače a tažení s přídržovačem.[2]



Obr. 9 Tažení bez přídržovače a s přídržovačem

### 2.1.1 Určení tažné síly

Praktické vzorce na výpočet tažné síly vycházejí z toho, že dovolené napětí v nebezpečném průřezu musí být menší jako napětí na mezi pevnosti. Takže největší tažná síla musí být o něco menší než síla potřebná na odtrhnutí bočních stěn výtažku při přechodu do dna. Proto se při výpočtu používá vzorec [2]

$$F_t \leq L \cdot s \cdot \sigma_p \quad [3]$$

Skutečná velikost napětí v nebezpečném průřezu, tj. velikost síly potřebné k tažení závisí od tvárné pevnosti materiálu, od stupně deformace nebo od velikosti součinitele tažení, od tloušťky materiálu, poloměru zaoblení tažnice a tažníku a od druhu použitého mazání.[2]

Tažnou sílu lze určit pro kteroukoliv fázi tahu a z průběhu diagramu posoudit správnost průběhu tažné síly na hloubce tahu. Z pracovního diagramu je zřejmé, že celková tažná síla se mění od nuly a dostává se do maxima asi v polovině tahu, odkud pak klesá zpět k nule.

### 2.1.2 Určení velikosti a tvaru přístřihu

Určení velikosti a tvaru přístřihu před tažením je důležité především proto, že na správném přístřihu závisí kvalita výtažku. Při stanovení tvaru přístřihu je třeba zohlednit, zda se jedná o rotační, čtyřhranné nebo nepravidelné výtažky.[2]

### 2.1.3 Mazání

Pro zmenšení tření a tím i tažné síly, stejně jako na zlepšení kvality povrchu výtažku má vliv mazání. Rondel by neměl být mazaný po celém povrchu. Na tažnici je třeba použít co nejlepší mazadlo, které zaručí co nejmenší koeficient tření při určitých podmínkách tažení. Mezi tažníkem a výtažkem by mělo být tření co nejvyšší, protože tření pomáhá přenášet tažnou sílu. Mezi přidržovačem a materiálem je potřebné co největší mazání.[2]

Dobré mazadlo má mít tyto vlastnosti:

- Vytvářet pevnou, nevysychající vrstvu schopnou vydržet velké tlaky
- Dobře přilnout a vytvořit rovnoměrnou vrstvu
- Lehce se odstranit z povrchu hotové součástky
- Mechanicky ani chemicky nepoškozovat povrch nástroje
- Být chemicky odolné a neškodné [2]

## 2.2 Nástroje pro tažení

Hlavní funkční části nástroje jsou tažník a tažnice, resp. přidržovač, který zabraňuje zvlnění plechu při tažení. Podle charakteru vykonávané operace můžeme tažné nástroje rozdělit na tažné nástroje pro první tah a na tažné nástroje pro další tahy a v obou dvou skupinách mohou být tažné nástroje jednoduché, sloučené, speciální. Podle druhu lisu mohou být tažné nástroje určené pro jednočinné lisy, dvojčinné a trojčinné lisy a pro postupové lisy. Podle druhu a typu přidržovače se tažné nástroje dělí na nástroje bez přidržovače a nástroje s přidržovačem, a to pružinovým, pryžovým, pneumatickým, hydraulickým.

## 2.3 Jiné způsoby tažení

Speciální způsoby tažení se používají buď pro výrobu specifických tvarů výtažků a nebo se používají způsoby, využívající místo kovového nástroje jiné prostředí.

### 2.3.1 Tváření pryží – metoda Guerin

Tato technologie je vhodná pro různé druhy stříhání, ohýbání a jednoduché tažení. Princip metody je založen na elasticitě pryže, která je v ocelové skříně. Výhodou je, že pryž neza nechává na povrchu žádné stopy. Nevýhodou je potřeba velkých sil, i když velké tlaky

působí kladně na zvýšení plasticity. Je možné používat všechny typy lisů. Pryž se používá o různé tvrdosti, pro stříhání je tvrdost vyšší, než pro tažení. [2]

### 2.3.2 Tváření pryží – metoda Marform

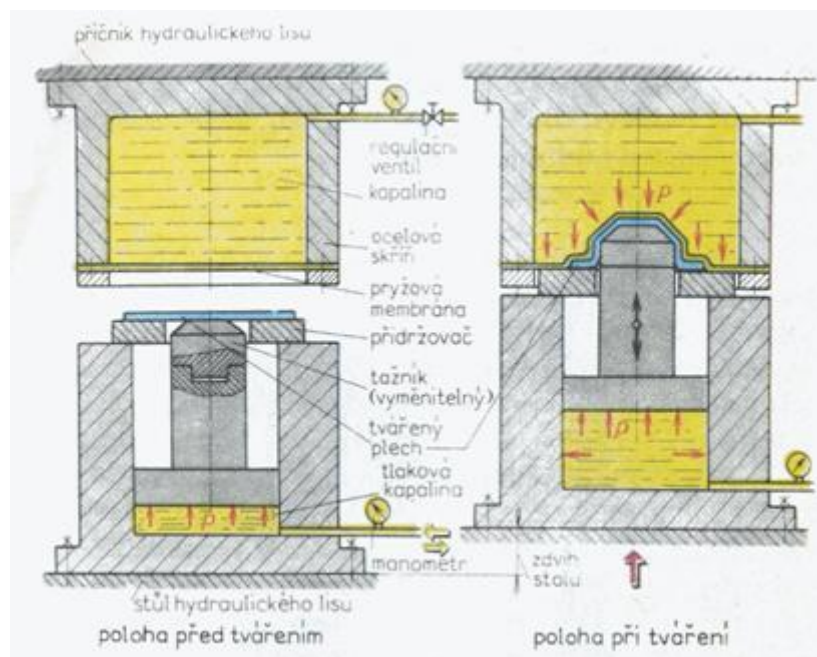
Tato metoda je vhodná i pro hluboké tažení ocelových i nezelezných plechů. Rozdíl je ve vrstvě pryže, která je zde větší. Výška pryže musí být alespoň trojnásobná, než je výška výlisku, aby nedocházelo k rychlému opotřebování a ztrátě elasticity pryže. [2]

### 2.3.3 Tváření kapalinou – metoda Wheelon

Obdoba metody Guerin, kdy se však místo pryže používá kapalina, která je umístěna v pryžovém vaku. Tlak kapaliny je velký. Tato technologie je vhodná pro mělké tažení. [2]

### 2.3.4 Tváření kapalinou – metoda Hydroform

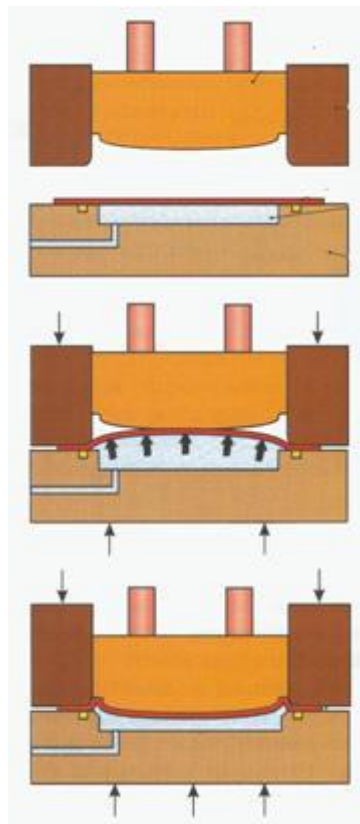
Tato technologie je podobná metodě Marform, také se používá pro hluboké tažení, ale místo pryže se používá nádoba s kapalinou, která je uzavřená poměrně tenkou deskou z gumy. Nejdříve se přitlačí přidržovač, aby se nezvlhly okraje a potom se tažník vtlačuje do nádrže a materiál se tváří. Nadbytek vody se vypouští ventilem. Hydrostatický tlak lze regulovat. [2]



Obr. 10 Tažení metodou Hydroform

### 2.3.5 Hydromechanické tažení

Pro tváření s požadavkem většího zdvihu (např. hlubší tah) je jako pružné prostředí výhodnější tlaková kapalina. Proces bývá často uváděn pod názvem hydromechanické tažení - a lze při něm s úspěchem používat i přidržovače. Princip je založen na tom, že rovinný přístřih plechu je sevřený mezi přidržovačem a tažnicí, může se však pohybovat. Tažník tváří plech do tažné komory, kde je však kapalina. Kapalina působí hydrostatickým tlakem na plech, který se tlačí na celou plochu tažníku. Tlak se řídí speciálním ventilem. Proti úniku kapaliny se používají kvalitní těsnění. Tření a ztenčení je nepatrné. [2]



Obr. 11 Princip hydromechanického tažení

### 3 SIMULACE TVÁŘENÍ PLECHŮ

Pro simulaci tváření se používají různé druhy programů, ve své práci jsem se opřela o program PAM-Stamp 2G Professional.

Ve výpočtových simulacích procesů plošného tváření se využívá numerická metoda konečných prvků, v níž je lisovaná součást v prostoru popsána trojúhelníkovými nebo skořepinovými prvky. K ověření lisovatelnosti se používají rychlé jednokrokové, vícekrokové a inverzní řešiče, které řeší výpočty energetických pohybových rovnic implicitní numerickou metodou. U explicitní metody platí vztah, že čím menší je nejmenší element sítě, tím probíhá výpočet s menším časovým krokem, což je podmínkou stability řešení, a tím se prodlužuje doba výpočtu.[4]

#### 3.1 PAM-Stamp

Programový modul PAM-Stamp je specializovaný CAE software pro simulaci plošného tváření technologií hlubokého tažení, ohýbání, lisování do pryže (flexformingu), hydroformingu plechů i trubek, atd. Navazuje na CAD model nástrojů, který je automatickým generátorem převeden ve výpočtovou síť CAE modelu. Výpočtová síť přístřihu plechu je generována v prostředí grafického pre-procesoru spolu s potřebnými okrajovými, kontaktními a zetěžujícími podmínkami řešení. Časově integrační schéma řešení pohybové rovnice rovnováhy vnitřních a vnějších sil využívá explicitní formulace metody konečných prvků. Při řešení je plně uvažováno s nelineární deformační historií přístřihu plechu. Popis materiálového chování je založen na Hillově formulaci podmínky plasticity (Hill 1948) se směrově závislou anizotropií plechu. Pro tváření hliníku je možné alternativně zvolit nekvadratickou podmínku plasticity (Hill 1990). Deformační zpevnování materiálu plechu může být doplněno o citlivost na deformační rychlost.[4]

V důsledku znalosti deformační historie umožňuje PAM-Stamp zahrnout do výpočtu kritéria porušování soudržnosti materiálu plechu v průběhu tažení (lokální překročení hraniční plasticke deformace, ztenčení, překročení křivky mezních deformací) s přímou vizualizací zvlnění přístřihu plechu v průběhu zavírání přidržovače a tažení. Výpočtová simulace tažení v pevných nástrojích velkých přístřihů zpravidla začíná výpočtem deformace vlastní tíhou přístřihu. Po výpočtu jsou výsledky přeneseny do simulace prvního tahu. Výsledky prvního tahu se přenášejí do následující operace, kde se tak zohlední ztenčení plechu i deformačně napěťový stav výlisku na počátku druhého tahu. Po tažení zpravidla následuje

ostřížení a po něm simulace odpružení. Pro svou obecnou formulaci lze program PAM-Stamp použít pro výpočty simulací libovolné výrobní technologie plošného tváření.[4]



## 4 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Na základě poznatků z literární studie bude praktická část zaměřena na tyto okruhy:

1. Simulace průběhu tažení a volba neoptimálnějšího postupu při výrobě zadané součásti
2. Návrh a konstrukce lisovacího přípravku a rozkreslení všech komponent a sestavy ve 3D
3. Tvorba výkresové dokumentace

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 PŘEDSTAVENÍ FIRMY

Nástroj, který je cílem této bakalářské práce, je navrhnout pro dílec, který je součástí leteckého motoru. Tyto motory vyrábí firma Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o. se sídlem v Hlubočkách - Mariánském údolí.

Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o. je součástí americké společnosti, která po celém světě zaměstnává více než 40 000 lidí a zabývá se výrobou nerotačních součástí motorů a systémů do letadel, elektronického vybavení a dalších produktů a služeb pro dopravní, obchodní, vojenské a vesmírné letouny.

V této pobočce je zaměstnáno 1200 pracovníků, kteří se zabývají kromě klasických obráběcích postupů také speciálními chemickými procesy, tepelným zpracováním, zkouškami materiálu, nedestruktivními zkouškami, tepelnými nástřiky, svařováním, laserováním a v neposlední řadě také tvářením. Veškeré tyto operace vyžadují speciální nástroje potřebné pro výrobu dílců, pro které je zde oddělení konstrukce nástrojů zabývající se touto problematikou.

Pro zadaný dílec bylo potřeba navrhnout lisovací nástroj, který zaručí, že výrobek bude mít požadované rozměry, a na kterém se budou moci opakovaně vyrábět dílce ve stejné kvalitě. Pro tuto práci jsem využila simulační program PAM-STAMP 2G pro zjištění průběhu procesu a změn v materiálu. Pro samotnou konstrukci nástroje jsem využila CAD systém SolidWorks.



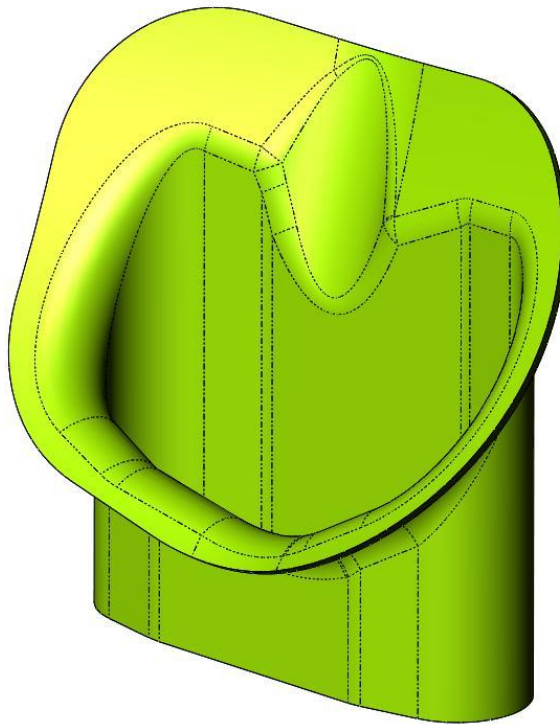
Obr. 12 Firma Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o.

## 6 SIMULACE TVÁŘENÍ

### 6.1 Příprava dat pro simulaci

Pro zjištění správného tvaru tvárnice a tvárníku, ale především pro zjištění chování materiálu při celém procesu, je potřeba nejdříve provést simulaci tažení.

Při zadávání hodnot, potřebných pro správný průběh simulace, jsem si nejdříve v Solidworksu vymodelovala přesný tvar finálního dílce. Za pomoci vnější a vnitřní plochy si vymodeluji tažník a tažnici. Odpružení budu, vzhledem k toleranci dílce, zanedbávat. Střednici dílce použiji jako výchozí plochu pro simulaci a vnější plochy tažníku s tažnicí taktéž, protože PAM-Stamp pracuje s plochami a ne s objemovými prvky.



Obr. 13 Model výrobku

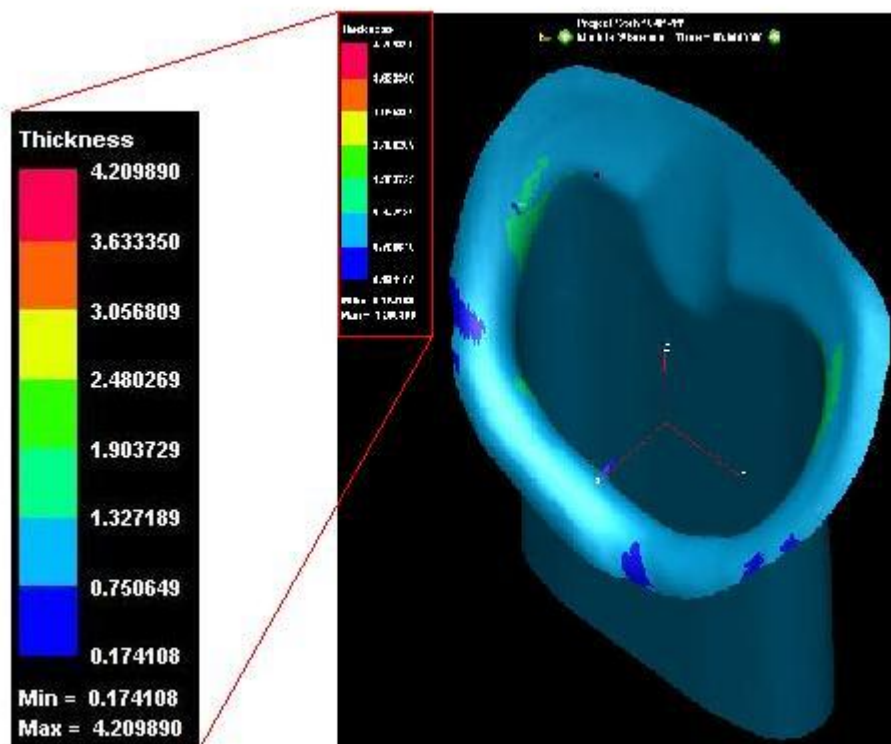
Ve chvíli, kdy mám všechny prvky vymodelované, uložím si je ve formátu IGES, abych je mohla načíst i v jiných programech, než je Solidworks.

V PAM-Stampu si tyto prvky načtu. Do programu simulace je potřeba zadat mimo materiálu, který je v tomto případě INCO 625, tloušťka 1,27mm i pozicování jednotlivých částí na sebe, směr pohybu, členění jednotlivých prvků a další, pro výpočet důležité informace.

Výpočet se provádí implicitní metodou, která sice výrazně zpomaluje samotný výpočet, je však přesnější a více odpovídá chování materiálu ve skutečnosti.

## 6.2 První simulace

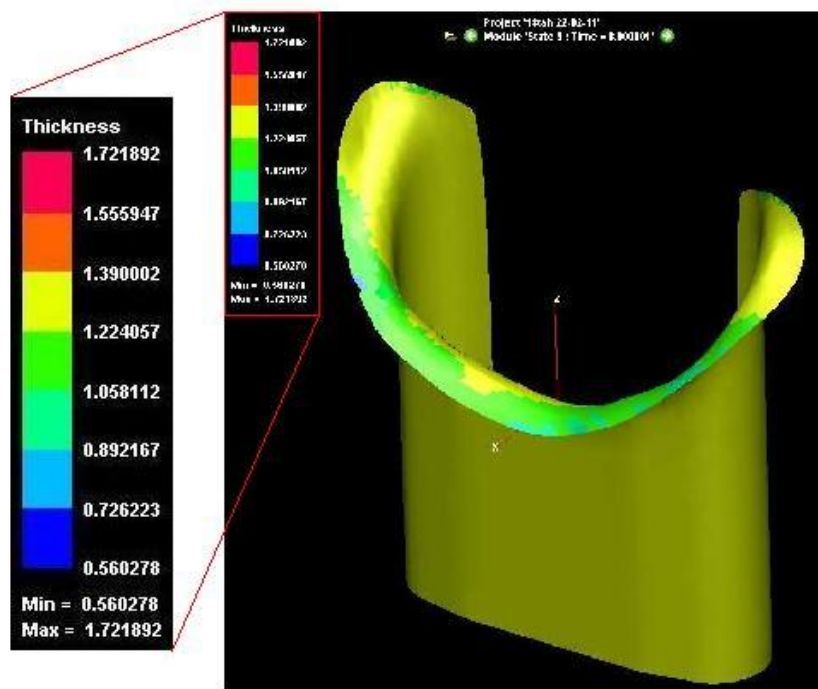
Při zadávání tohoto úkolu se očekávalo výrazné zjednodušení výrobního postupu především tím, že by se mohl výrobek táhnout z jednoho kusu. Výsledky simulace ovšem naznačují, že tímhle způsobem se požadovaného tvaru nedosáhne, protože plech se na svých koncích ztenčuje až na hodnotu 0,1mm, což je nepřijatelné.



Obr. 14 Výsledek první simulace

## 6.3 Druhá simulace

Na základě těchto výsledků jsem zvolila postup, který bude sice náročnější, mohl by nám však zajistit bezpečnou výrobu bez rizika roztržení plechu, a to, provádět tažení dílce ze dvou kusů, které se následně oříznou a svaří.



Obr. 15 Výsledek druhé simulace

Simulace zadní části výrobku se již neprováděla, protože z výsledků 1. pokusu, kde zadní strana nevykazovala žádné problémy při tažení, je zřejmé, že tato část není kritickým místem, které je třeba výpočtem ověřovat.

Okraj plechu, kde jsem naměřila 0,7mm, se bude v další operaci odřezávat, proto jeho výrazné ztenčení neberu v potaz pro konstrukci přípravku.

## 7 KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU

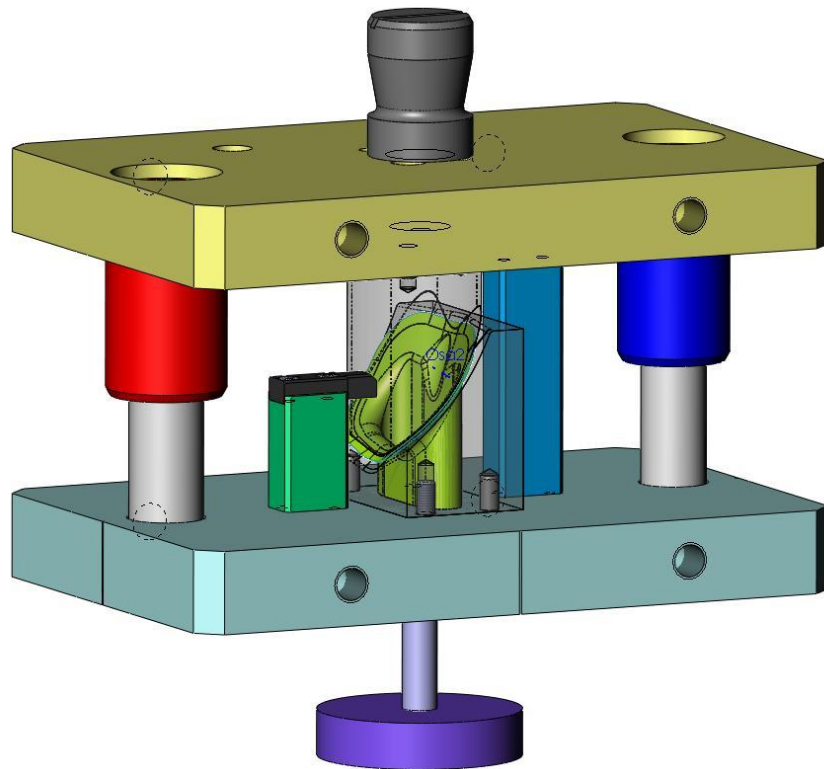
Pro samotnou konstrukci přípravku pro operaci tažení jsem vycházela ze zvyklostí a zkušeností zažitých ve firmě.

Přípravek bude požíván na hydraulickém lisu ZH 100, kde spodní deska bude upnuta upínkami a horní deska je středěna pomocí normalizované stopky s  $\varnothing 45$  mm a zajištěna šroubem.



Obr. 16 Hydraulický lis ZH 100

Koncepce celého nástroje se skládá především z dolní základové a horní upínací desky, vodících sloupků, vyhazovačů, upínací stopky a samozřejmě tažníku a tažnice.

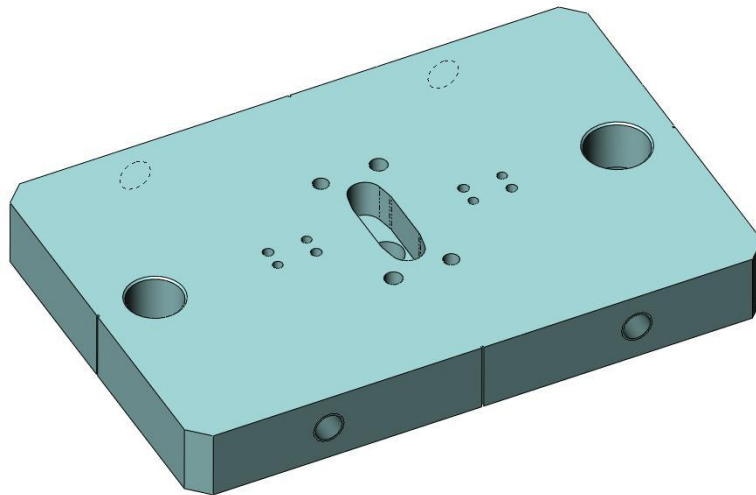


Obr. 17 Model přípravku

## 7.1 Základová deska

Při volbě rozměrů základové desky jsem počítala především s velikostí taženého výrobku a rozmístěním vyhazovačů a vodících sloupků. Tloušťku desky jsem volila s ohledem na zvyklosti používané u toho stroje. Vnější rozměry jsou tedy 200 x 300 mm a tloušťka je 36 mm. Dále jsou součástí desky otvory pro zalisování vodících sloupků v toleranci H7, ve středové části vybrání pro vyhazovač a otvory pro šrouby a kolíky zajišťující ve správné poloze tažnici a sloupky horních vyhazovačů. Závity M16 v bočních stranách desky jsou určeny pro našroubování závěsných ok při manipulaci s přípravkem. Také je ve střední části každé boční stěny desky udělána rýska pro lepší orientaci při seřizování přípravku na stroji.

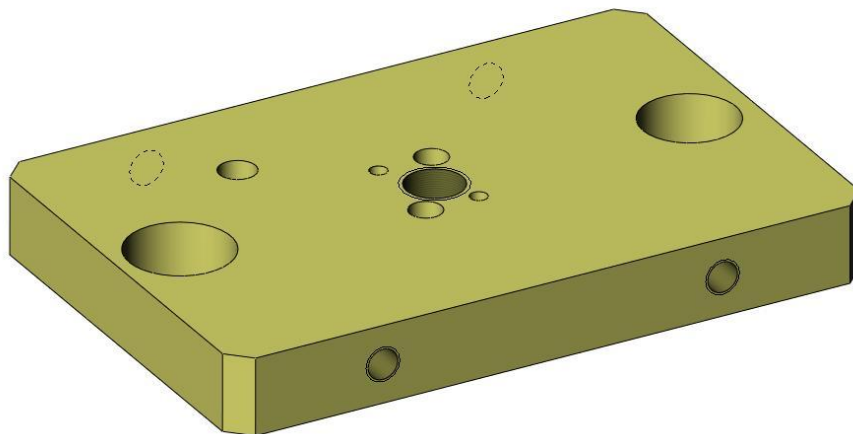




Obr. 18 Základová deska

## 7.2 Upínací deska

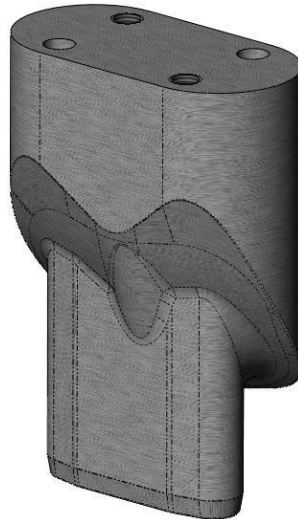
Upínací deska má stejné vnější rozměry jako základová. Její otvory jsou určeny pro zalisování vodících pouzder také s tolerancí H7. Další otvory jsou pro skolíkování a upnutí tažníku a pro zašroubování středící stopky. Boční závity M16 jsou, stejně jako u základové desky, pro závěsné oka. Je zde také otvor s  $\text{Ø}17$  mm pro uložení spodního vyhazovače v případech, kdy je přípravek uložen ve skladu.



Obr. 19 Upínací deska

### 7.3 Tažník

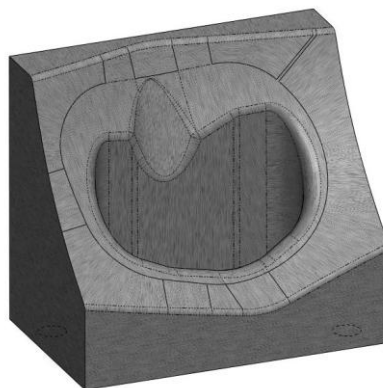
Tvar tažníku ve své funkční části kopíruje horní plochu výrobku s tažnou vřlí 0,1 mm. Ve spodní části nástroje, který vstupuje do polotovaru tažené součásti, je zkosení  $5 \times 10^\circ$  jako náběh do součásti. Nástroj má tvarovou toleranci 0,02 mm a je leštěný na drsnost Ra 0,4. Je vyroben z nástrojové oceli 19573 a cementován a kalen na 60+2HRC.



Obr. 20 Tažník

### 7.4 Tažnice

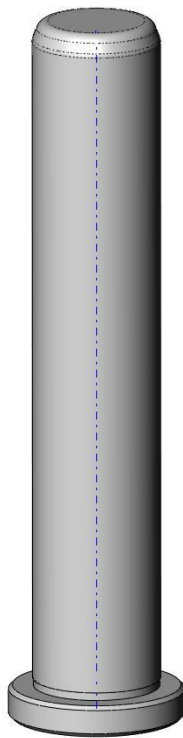
Tažnice je protikusem tažníku. Její funkční tvar odpovídá spodnímu tvaru výrobku v nejvyšší možné toleranci určené zákazníkem. Je vyrobena z nástrojové oceli 19573, následně cementované a kalené na 60+2HRC. Její funkční tvar je obroben s drsností Ra 0,8 a přesností tvaru 0,02 mm.



Obr. 21 Tažnice

## 7.5 Vodící sloupky

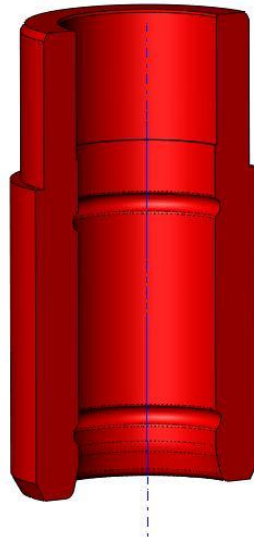
Vodící sloupky slouží k přesnému polohování a vedení mezi tažníkem a tažnicí. Jsou vyrobeny z nástrojové oceli 19312 a cementovány a kaleny na 56HRC. Jejich funkční válcová část je leštěna na drsnost Ra 0,4 a jejich přesný průměr je v toleranci h6. Levý sloupek má Ø28 mm a pravý má Ø32 mm z důvodu zabránění otočení upínací desky vůči základové při montáži.



Obr. 22 Vodící sloupek

## 7.6 Vodící pouzdra

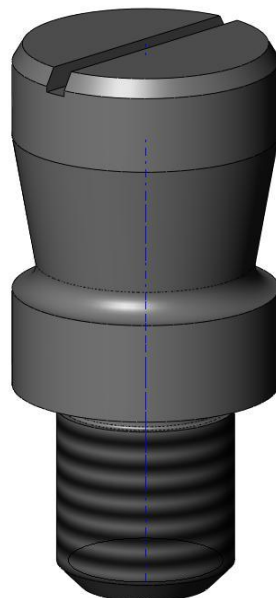
Vodící pouzdra slouží k vedení sloupků. Jsou normalizovány podle firemních standardů, vyráběny se stejnými rozměry a přesnostmi, aby se urychlila a zlevnila výroba jiných lisovacích přípravků. Jsou běžně vyráběny z nástrojové oceli 19312, cementovány a kaleny na tvrdost 62+2 HRC a při montáži vlisovány do upínací desky. Jejich vodící průměr je vyráběn v toleranci H6, drsnosti Ra 0,4 a jsou v nich zakomponovány mazací drážky.



Obr. 23 Vodící pouzdro

### 7.7 Upínací stopka

Je navržena podle požadavků daného stroje a také již vyrobena na skladě a běžně používána u všech lisovacích přípravků. Je vyrobena z běžné oceli 11600 a k upínací desce přišroubovaná pomocí závitu M30x2, který se nachází v její spodní části.



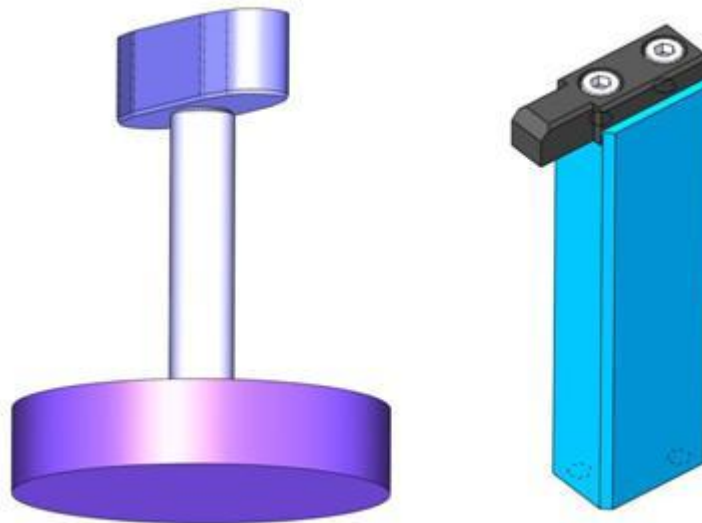
Obr. 24 Upínací stopka

## 7.8 Vyhazovače

Vyhazovače slouží k vyjmutí hotového vylisku z nástroje. V tomto případě je zapotřebí jak vyhazovače spodního, který se užívá, pokud dílec zůstane ležet v tažnici, tak i horních vyhazovačů, které výrobek setrou z tažníku. Hlavní části jsou vyrobeny z nástrojové oceli 19312 a jsou kaleny a cementovány na tvrdost 56 HRC. Pomocné části vyhazovačů jsou vyráběny z běžné oceli 11600.

Spodní vyhazovač tvarem kopíruje půdorys součásti a je volně vložen do základové desky, kde během tažení zároveň slouží jako opěra výrobku v přípravku. Jeho pohyb je zajištěn vyhazovacím trnem, který je nasazen na vyhazovací čep přímo ve stoji.

Horní vyhazovače se skládají také ze dvou částí, na rozdíl od spodního vyhazovače jsou ale pevně spojeny šrouby. Spodní část slouží pouze jako podpěra, zatímco horní část se stará o setření výrobku.



Obr. 25 Spodní a horní vyhazovač

## ZÁVĚR

V teoretické části je popsán proces tváření a změny materiálu, které při tomto ději pobíhají. Je také popsána teorie tváření, její rozdělení a způsob vyhodnocování simulačního programu PAM-Stamp.

Praktická část je zaměřena především na samotnou konstrukci přípravku, které předchází výpočty chování materiálu při tažení simulačním programem PAM-Stamp. Na základě výsledků simulací bylo potřeba změnit technologický postup, kdy se dílec bude vyrábět ze dvou půlek ořezaných a svařených v následující operaci na místo předpokládaného jednoho kusu, protože výpočty první varianty vykazovaly výrazné ztenčení až trhání materiálu, které jsou pro hotový výrobek nepřijatelné.

Přípravek je konstruován tak, že se obě tyto půlky mohou vyrábět na jednom nástroji. Pomocné části přípravku, jako jsou například základny a podpěry, jsou vyráběny z běžné oceli 11600, funkční části, tažník, tažnice, vodící sloupky a pouzdra jsou z nástrojové oceli 19573 nebo 19312. Při návrhu bylo přihlíženo ke kusové výrobě a relativně časté montáži přípravku na stroj, proto mají volné pozice své bezpečné umístění při převozu. Tvarovou nesymetričností celého nástroje, včetně vodících sloupků, je zamezena špatná montáž a následné poškození nástroje i vyráběného dílce.

Při tomto způsobu výroby je zajištěna vyšší ekonomičnost výroby, protože místo současného nákupu od subdodavatele je možné vyrábět dílec na vlastních strojích, a to za cenu řádově o 200\$ nižší při plánované kapacitě objednávek.

Přílohou této práce jsou výkresy sestavy a výrobní výkresy jednotlivých komponent, které jsou nezbytné k výrobě a zprovoznění celého nástroje.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Čabelka, J.aj.: Mechanická technológia. VSAV Bratislava, 1967
- [2] Blaščík, F.aj.: Technológia tvárenia, zlievárenstva a zvarania. ALFA Bratislava, 1988
- [3] Storožev, M.V.aj.: Teória tvárenia kovov. ALFA Bratislava, 1978
- [4] MM Průmyslové spektrum: [www.mmspektrum.com](http://www.mmspektrum.com), 2004/10

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$\varepsilon_C$	celková deformace [mm]
$\varepsilon_E$	elastická (vratná) deformace [mm]
$\varepsilon_P$	plastická (nevratná) deformace [mm]
$\tau$	smykové (tečné) napětí [MPa]
$\lambda$	úhel skluzu
$\varphi$	úhel mezi silami
F	síla [N]
S	plocha [m <sup>2</sup> ]
Ra	drsnost povrchu [ $\mu\text{m}$ ]
HRC	tvrdost dle Rockwella
$F_t$	tažná síla [N]
L	délka obvodu polotovaru [mm]
s	tloušťka materiálu [mm]
$\sigma_p$	napětí na mezi pevnosti [MPa]



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Krystalové mřížky .....	12
Obr. 2 Čárová porucha .....	13
Obr. 3 Hranová dislokace .....	14
Obr. 4 Šroubová dislokace .....	14
Obr. 5 Závislost deformačního napětí na deformaci.....	15
Obr. 6 Schéma kritického kluzového napětí.....	16
Obr. 7 Textura kovu tvářeného za studena .....	16
Obr. 8 Schéma tažení .....	18
Obr. 9 Tažení bez přidržovače a s přidržovačem.....	19
Obr. 10 Tažení metodou Hydroform .....	21
Obr. 11 Princip hydromechanického tažení.....	22
Obr. 12 Firma Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o. ....	27
Obr. 13 Model výrobku .....	28
Obr. 14 Výsledek první simulace .....	29
Obr. 15 Výsledek druhé simulace.....	30
Obr. 16 Hydraulický lis ZH 100 .....	31
Obr. 17 Model přípravku .....	32
Obr. 18 Základová deska .....	33
Obr. 19 Upínací deska .....	33
Obr. 20 Tažník .....	34
Obr. 21 Tažnice.....	34
Obr. 22 Vodící sloupek.....	35
Obr. 23 Vodící pouzdro .....	36
Obr. 24 Upínací stopka .....	36
Obr. 25 Spodní a horní vyhazovač.....	37

**SEZNAM PŘÍLOH**

- P1: Výkres sestavy lisovacího nástroje
- P2: Výkres základové desky
- P3: Výkres upínací desky
- P4: Výkres tažníku
- P5: Výkres tažnice
- P6: Výkres podpěry 1
- P7: Výkres podpěry 2
- P8: Výkres vyhazovače 3
- P9: Výkres vodícího pouzdra 28
- P10: Výkres vodícího pouzdra 32
- P11: Výkres vodícího sloupku 28
- P12: Výkres vodícího sloupku 32
- P13: Výkres upínací stopky 45
- P14: Výkres vyhazovacího trnu
- P15: Výkres vyhazovače 1