

Návrh a konstrukce tažného nástroje

Lukáš Bodlák

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš Bodlák**
Osobní číslo: **T11628**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh a konstrukce tažného nástroje**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování teoretické studie technologie tváření
2. Výpočtový návrh nástroje pro tažení
3. Konstrukce sestavy nástroje ve zvoleném 3D programu
4. Zpracování výkresové dokumentace



Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Luboš Rokyta

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

10. února 2014


Termín odevzdání bakalářské práce:

23. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: ...BOHLÁK LUKÁŠ.....

Obor:TZ.....

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 ¹⁾;
- 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit 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 27.4.2014


.....

¹⁾ 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 nevydávalečně 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.

²⁾ 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).

³⁾ 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 jim 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 přihlídnou k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je návrh a konstrukce tažného nástroje. Teoretická část je zaměřena na problematiku teorie tváření, základní rozdělení tváření, metody plošného tváření a v samostatné kapitole teorii tažení jako stěžejní problematice této práce.

Praktická část se věnuje popisu zadané součásti, výpočtům potřebným ke konstrukci nástroje, popisu možných variant a tvorbě výkresové dokumentace tažného nástroje.

Klíčová slova:

Plošné tváření, tažný nástroj, konstrukce, technologie, tváření, tažení

ABSTRACT

The purpose of this Bachelor thesis is construction and design of towing tool. The theoretical part focused on theory of forming, the basic division of forming, methods of sheet metal forming. Theory of towing is contained in an individual chapter because it is the key issue of this thesis.

The practical part describes the component, calculation for design tool, description of possible variants and the last is documentation of towing tool.

Keywords:

Sheet Metal Forming, Towing Tool, Construction, Technology, Forming, Towing

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Lubošovi Rokytovi, Ph.D. za poskytnuté rady a doporučení.

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

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 TEORIE TVÁŘENÍ.....	12
1.1 PODSTATA A HLAVNÍ ZNAKY TVÁŘECÍCH PROCESŮ	12
1.2 PLASTICKÉ DEFORMACE KOVŮ	12
1.3 PORUCHY MŘÍŽKY	13
1.3.1 Hranová dislokace	14
1.3.2 Šroubová dislokace	14
1.4 ZOTAVENÍ A REKRYSALIZACE.....	15
1.4.1 Rekrytalizace	15
1.4.2 Zotavení.....	15
1.5 ZÁKLADNÍ ZÁKONY TVÁRNÉ DEFORMACE.....	16
1.5.1 Zákon stálosti objemu	16
1.5.2 Zákon podobnosti.....	16
1.5.3 Zákon nejmenšího odporu.....	16
2 ROZDĚLENÍ TVÁŘENÍ.....	17
2.1 PODLE TVÁŘECÍ TEPLoty	17
2.1.1 Tváření za studena.....	17
2.1.2 Tváření za tepla	17
2.2 PODLE STAVU NAPJATOSTI	17
2.3 ROZDĚLENÍ NA PLOŠNÉ A OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ	18
2.3.1 Plošné tváření	18
2.3.2 Objemové tváření	18
3 METODY PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ	23
3.1 STŘÍHÁNÍ.....	23
3.1.1 Princip stříhání	23
3.1.2 Rozdělení stříhání.....	23
3.2 OHÝBÁNÍ.....	26
3.2.1 Technologický postup ohýbání	26
3.3 ROVNÁNÍ.....	28
4 TAŽENÍ.....	29
4.1 PRINCIP TAŽENÍ	29
4.2 NAPJATOST A DEFORMACE PŘI TAŽENÍ	30
4.3 ROZDĚLENÍ TECHNOLOGIE TAŽENÍ	30
4.3.1 Tažení s přídržovačem	31
4.4 TAŽNÉ NÁSTROJE	32
4.5 TAŽNÉ LISY	33
5 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI PRÁCE	34
II PRAKTICKÁ ČÁST	35
6 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	36
7 POPIS SOUČÁSTI PRO TAŽENÍ.....	37

7.1	ÚDAJE O VÝTAŽKU	37
8	VÝPOČTOVÁ ČÁST PRÁCE	38
8.1	VÝPOČET PRŮMĚRU PŘÍSTŘIHU	38
8.2	ROZHODNUTÍ O NUTNOSTI POUŽITÍ PŘIDRŽOVAČE PŘI TAŽENÍ	39
8.3	URČENÍ POČTU TAŽNÝCH OPERACÍ A URČENÍ PRŮMĚRŮ TAŽNÍKŮ	39
8.4	STANOVENÍ ZAOBLENÍ TAŽNÝCH HRAN	39
8.5	STANOVENÍ TAŽNÉ MEZERY	40
8.6	VÝPOČET ROZMĚRŮ ČINNÝCH ČÁSTÍ TAŽIDLA	40
8.7	VÝPOČET SÍLY A PRÁCE PŘI JEDNOTLIVÝCH TAŽÍCH	41
8.8	VOLBA VHODNÉHO TVÁŘECÍHO STROJE	43
8.9	MATERIÁL NÁSTROJE	44
9	VARIANTY NÁSTROJE	45
9.1	VARIANTA I	45
9.2	VARIANTA II	47
9.3	VOLBA VÝSLEDNÉ VARIANTY	49
10	TVORBA VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE	50
10.1	PŘILOŽENÁ VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE	51
	ZÁVĚR	52
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	53
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	54
	SEZNAM OBRÁZKŮ	56
	SEZNAM PŘÍLOH	58

ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá konstrukcí a návrhem tažného nástroje pro zadanou součást. Touto součástí je rotační výtažek s přírubou. V teoretické části je přiblížena problematika tváření, jeho základní principy a rozdělení. Dále je zde popsáno několik metod spadajících pod plošné tváření, což jsou technologie, které jsou velmi často použity před nebo po technologii tažení. Samostatná kapitola je věnována technologii tažení, která je stěžejní a důležitá pro pochopení problematiky.

Praktická část se věnuje popisu zadané součásti a následně výpočtové části práce. Jsou zde získány prvotní podklady pro následnou konstrukci a jsou nezbytnou součástí každého návrhu strojní součásti. Po této kapitole následuje volba vhodného tvářecího stroje, který bude vyhovovat požadavkům na konstrukci výrobku. Pro objektivnost rozhodnutí jsou uvažovány dvě rozdílné varianty tažného nástroje. Každá navrhovaná varianta má své klady a zápory, které jsou rozhodující při volbě finálního návrhu. Přílohou k této bakalářské práci je výkresová dokumentace, která je výsledkem praktické části.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEORIE TVÁŘENÍ

Technologie tváření je proces, který mění výchozí tvar za působení síly bez odebrání třísek.

Tváření je technologický proces s vysokou produktivitou i hospodárností, a tedy i s velkou perspektivou. Výrobky vyrobené metodou tváření jsou pevné, lehké a díky použitým technologiím velmi hospodárné, s nejmenším podílem odpadu. V porovnání s technologií obrábění kdy je poměr odpadu 20 až 40 % je při tváření mnohonásobně menší asi 5 až 10 % materiálu. [1]

1.1 Podstata a hlavní znaky tvářecích procesů

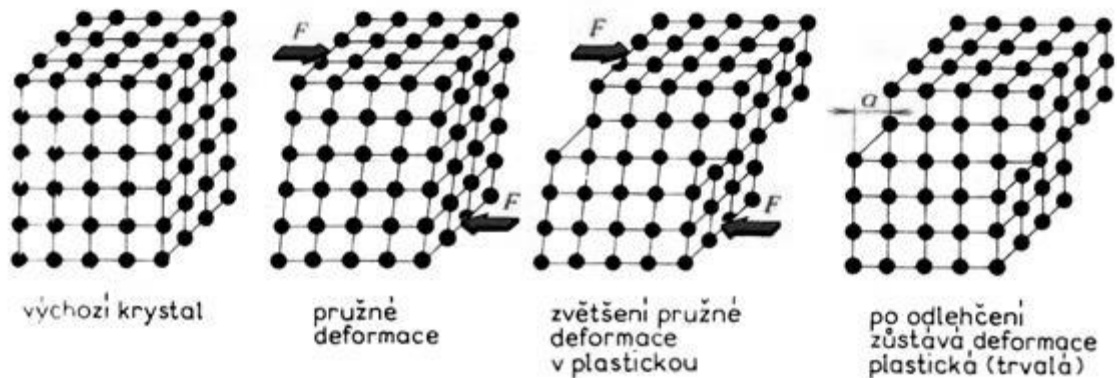
Základem tvářecích procesů jsou velké plastické deformace, které probíhají díky plastickým vlastnostem daného materiálu, ať už se bavíme o kovech, nebo jejich slitinách. Jedná se o trvalou změnu tvaru a rozměrů tvářeného polotovaru, vyvolanou účinkem vnějších sil vyvozených tvářecím nástrojem a strojem. Vnější síla musí vyvolat takový stav napjatosti, při kterém je překročena mez kluzu, vzniká tak trvalá a nevratná deformace v požadovaném směru a požadované velikosti bez jakéhokoliv porušení soudržnosti.

Technologický děj tváření je provázen fyzikálními a strukturálními změnami materiálu, které se projevují ve fyzikálních a mechanických změnách vlastností daného polotovaru. Výsledného tvaru a rozměrů je docilováno postupným přemísťováním částic materiálu v jeho tuhém stavu a má některé podobné znaky jakými je charakterizováno tečení viskózních látek. Proto je občas pro označení použit termín plastické tečení kovů. Při tváření se předpokládá stálost objemu polotovaru, a proto u tváření uvažujeme pouze malé ztráty. [2]

1.2 Plastické deformace kovů

Při tváření předchází vždy plastické deformaci deformace elastická. Plastická deformace je v podstatě pohyb jednotlivých částí kovů vůči sobě, aniž by mezi nimi přestala působit koheze. Podle fyzikální povahy je možné deformaci rozdělit na pružnou (elastickou) deformaci, při které se materiál bude vracet do původního stavu, pokud na něj přestane působit síla, která tuto deformaci způsobila a na plastickou deformaci, kdy je změna tvaru

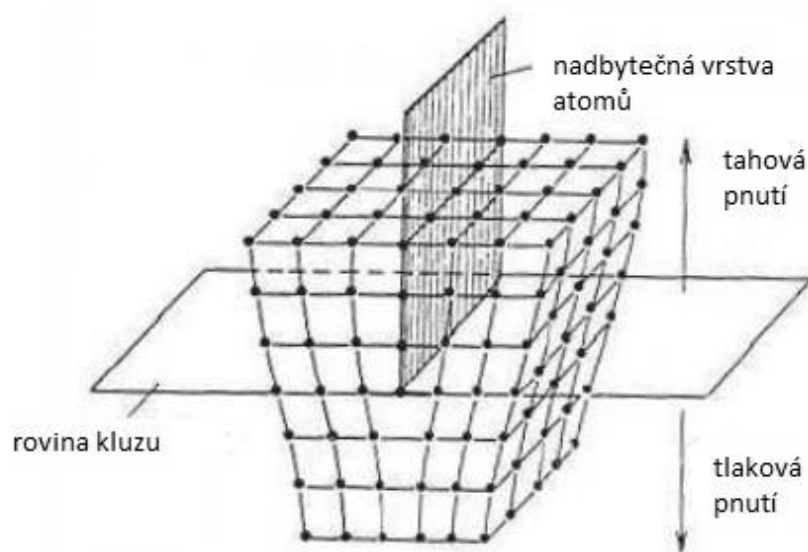
nezvratná a je zachována i po odstranění příčin deformace. Díky těmto vlastnostem kovů je možné zpracovávat kov pomocí technologie tváření. Mechanismus vzniku plastických deformací nám popisuje dislokační teorie, která hovoří o pohybech a vzniku mřížkových poruch. [2]



Obr. 1. Schéma pružné a plastické deformace

1.3 Poruchy mřížky

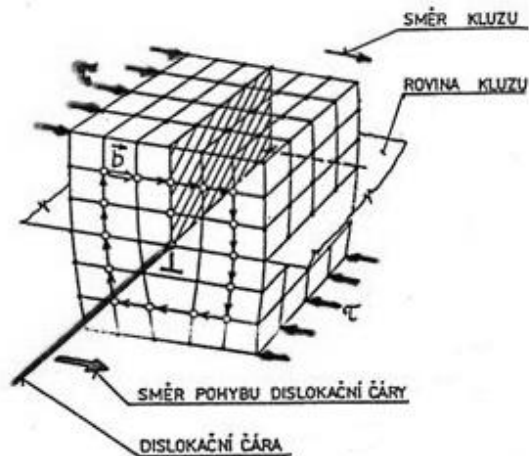
Pod pojmem poruchy mřížky rozumíme nepravidelnosti v uspořádání krystalů při krystalizaci. Pro teorii tváření je nejvýznamnější porucha neboli dislokace čárová, kterou je možno dále rozdělit na dislokaci hranovou a šroubovou. Podstatou čárové dislokace je vložení nadbytečné vrstvy atomů do dokonalé krystalické mřížky. Vložení této vrstvy atomů vzniká nad rovinou skluzu tahové pnutí a pod rovinou skluzu vzniká tlakové pnutí.



Obr. 2. Čárová dislokace

1.3.1 Hranová dislokace

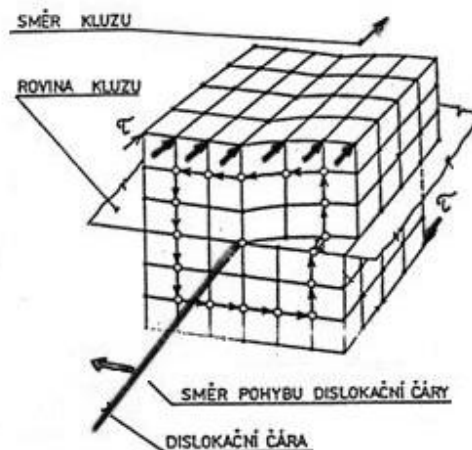
Její vznik si lze představit tak, že je krystal rozříznut v rovině procházející shora dolů a do vzniklého řezu je vložena polorovina podobně lze docílit dané dislokace i odstraněním dolní poloroviny v tomtéž řezu. Hranová dislokace se v reálných materiálech vyskytuje v kombinaci s šroubovou dislokací. Samostatnou hranovou dislokaci uvažujeme pouze v teoretických úvahách. [3]



Obr. 3. Hranová dislokace

1.3.2 Šroubová dislokace

Její vznik si lze představit tak, že krystal byl rozříznut ve vodorovné rovině až po bod, kterým prochází přímka kolmá na rovinu řezu a kolmo na čelní stěnu. Horní část krystalu se posune o jednu meziatomovou vzdálenost a následně je v této rovině řezu opět spojen. Šroubová dislokace se v reálných materiálech stejně jako hranová vyskytuje pouze v kombinaci. [3]



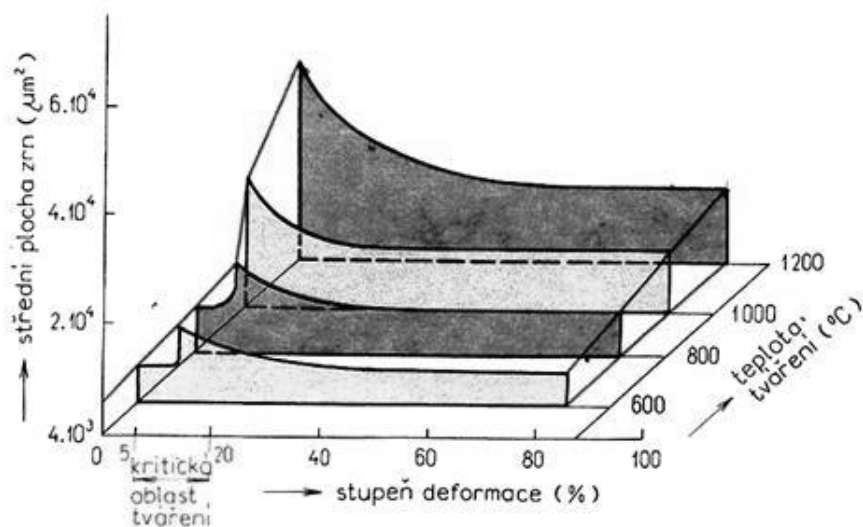
Obr. 4. Šroubová dislokace

1.4 Zotavení a rekrytalizace

Tváříme-li kov za studena je nestálý a stav zrn je nestabilní. Při působení vyšší teploty bude docházet ke zvyšování pohyblivosti atomů a ke snižování energie deformovaného kovu. Díky tomu mohou nastat dva děje, zotavení což je zánik mřížkových deformací a napětí, a rekrytalizace, což je vznik zárodků a růst nových zrn. Zotavení a rekrytalizace je závislá na teplotě a na předchozím stupni tváření.[3]

1.4.1 Rekrytalizace

Rekrytalizace může nastat jen při dosažení rekrytalizační teploty, která je empiricky stanovena na 35 až 40 % teploty tání daného kovu. Během procesu rekrytalizace nevytváří struktura nové fáze, nýbrž struktura stejné fáze za tvářením deformovanou původní strukturu. Během rekrytalizace vznikají zárodky nových krystalů, což je nazváno jako primární rekrytalizace, které rostou na úkor původních deformovaných zrn a také zaniká zpevnění, což je známo jako sekundární rekrytalizace. Při rekrytalizačním procesu dochází také ke změně velikosti zrna, která závisí na předchozím stupni deformace. Z hlediska tváření je důležitý rekrytalizační diagram, ve kterém je uveden vztah mezi tvářecí teplotou, stupněm deformace a velikost zrna.



Obr. 5. Rekrytalizační diagram

1.4.2 Zotavení

Při zotavování dochází k uspořádání dislokací a k snižování deformační energie, přičemž klesá pevnost a mez kluzu a zároveň stoupá tažnost, to vše zapříčiní klesání vnitřního pnutí. Rychlost zotavení je závislá na teplotě a čase.

1.5 Základní zákony tvárné deformace

Pro analýzu tvářecích procesů je nutno znát základní zákony plastické deformace. Mezi nejdůležitější patří:

- zákon stálosti objemu;
- zákon podobnosti;
- zákon nejmenšího odporu.

1.5.1 Zákon stálosti objemu

Objem tělesa před deformací se rovná objemu tělesa po deformaci. Nepatrné objemové změny se zanedbávají, ale mohou mít vliv na fyzikální a mechanické vlastnosti.

1.5.2 Zákon podobnosti

Při experimentálním zkoumání v modelové technice musí být splněna kromě geometrické podobnosti, také podobnost mechanická fyzikální. Dodržení těchto podobností je bezpodmínečně nutné v modelové technice. Zkoušky se často dají dělat pouze na modelech.

- **geometrická podobnost** – poměry odpovídajících stran před a po deformaci si musí být rovny;
- **mechanická podobnost** – příslušné měrné tlaky na odpovídající strany musí být stejné;
- **fyzikální podobnost** – uvažovaná tělesa mají stejné chemické složení a strukturu, stejnou tvářecí teplotu, podobné rozložení napětí, stejné poměrné rychlosti deformace a stejné tření.

1.5.3 Zákon nejmenšího odporu

Mohou-li se body deformovaného tělesa přemísťovat v rozličných směrech, přemísťuje se každý bod ve směru nejmenšího odporu. Praktický význam tohoto zákona je patrný na příkladu tváření v otevřené zápustce, kde teče kov nejprve do dutiny v zápustce a současně zaplňuje mezeru mezi horní a dolní polovinou zápustky. Aby výkovek správně zaplnil dutinu, musí být odpor pro vytékání materiálu do výronku větší než do ní.

2 ROZDĚLENÍ TVÁŘENÍ

V technické literatuře je technologie tváření popsána nejednotně, proto lze pojmut toto rozdělení více způsoby. Nejčastěji se setkáváme s rozdělením dle tvářecí teploty, stavu napjatosti a rozdělení na plošné a objemové tváření. [2]

2.1 Podle tvářecí teploty

Podle tvářecí teploty rozdělujeme technologii tváření na tváření za studena a zatepla. Teploty se rozdělují podle výše rekrystalizační teploty.

2.1.1 Tváření za studena

Tvářením za studena probíhá trvalá a nevratná změna tvaru materiálu bez odběru třísek působením vnějších sil. Celý proces probíhá pod rekrystalizační teplotou materiálu, přičemž dochází i ke zpevnění materiálu. Tuto metodu tváření je možno zařadit mezi nejpokrokovější metody zpracování kovů díky své hospodárnosti, velkému výkonu, nízkým výrobním nákladům, malým ztrátám materiálu a příznivým podmínkám pro automatizaci. Základní technologie prováděné za studena jsou stříhání, prostřihování, ohýbání a tažení. [4]

2.1.2 Tváření za tepla

Tváření za tepla probíhá nad rekrystalizační teplotou při této teplotě je rychlost rekrystalizace tak vysoká, že zpevnění způsobené tvářením mizí buď v průběhu tváření, anebo bezprostředně po něm. Teplota materiálu při tváření je nad hodnotou 70 % teploty tání daného materiálu. Materiál se tedy nezpevňuje, a proto jsou potřeba mnohem menší síly a to až desetkrát menší než u tváření zastudena. Technologický proces tváření za tepla je navzdory všem svým kladům poměrně zdlouhavý, nákladný ať už ekologicky nebo ekonomicky. Základní technologie prováděné zatepla jsou volné kování, zápustkové kování, tažení profilů, protlačování a tažení. [4]

2.2 Podle stavu napjatosti

Stav napjatosti poskytuje názornou představu o přítomnosti, velikosti a smyslu hlavních napětí v tvářeném tělese. Obecně rozeznáváme devět stavu napjatosti, ale v zóně tváření zaznamenáváme pouze pět možných stavů napjatosti. Rozeznáváme napjatost – tlaková, tah-tlak, tah, ohyb a smyk.[2]

2.3 Rozdělení na plošné a objemové tváření

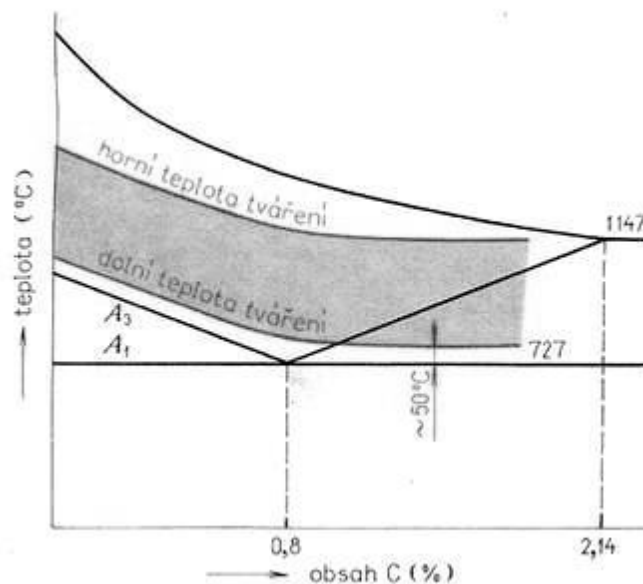
Rozdělení na plošné a objemové tváření patří k nejzákladnějším rozdělením technologie tváření, které se liší v počtu dimenzí deformace, která působí na materiál.

2.3.1 Plošné tváření

Při plošném tváření je třetí hlavní deformace malá, až zanedbatelná. Tato technologie se především používá u zpracování materiálu ve tvaru plechu, který je ve formě přístřihu tj. materiál charakteristický převažováním dvou rozměrů nad třetím, který bývá označován jako tloušťka materiálu. Mezi nejčastější technologie zařazené do plošného tváření jsou stříhání, ohýbání, tažení a tlačení. [2]

2.3.2 Objemové tváření

Při objemovém tváření nastává deformace ve všech třech osách souřadného systému. Tato technologie je prováděna v kombinaci s tvářením za tepla, kdy nastává před samotným zpracováním ohřev na tvářecí teplotu a následně zpracovávána technologiemi pro plošné tváření, mezi něž patří volné kování, zápuskové kování, válcování, kalibrování a protlačování.

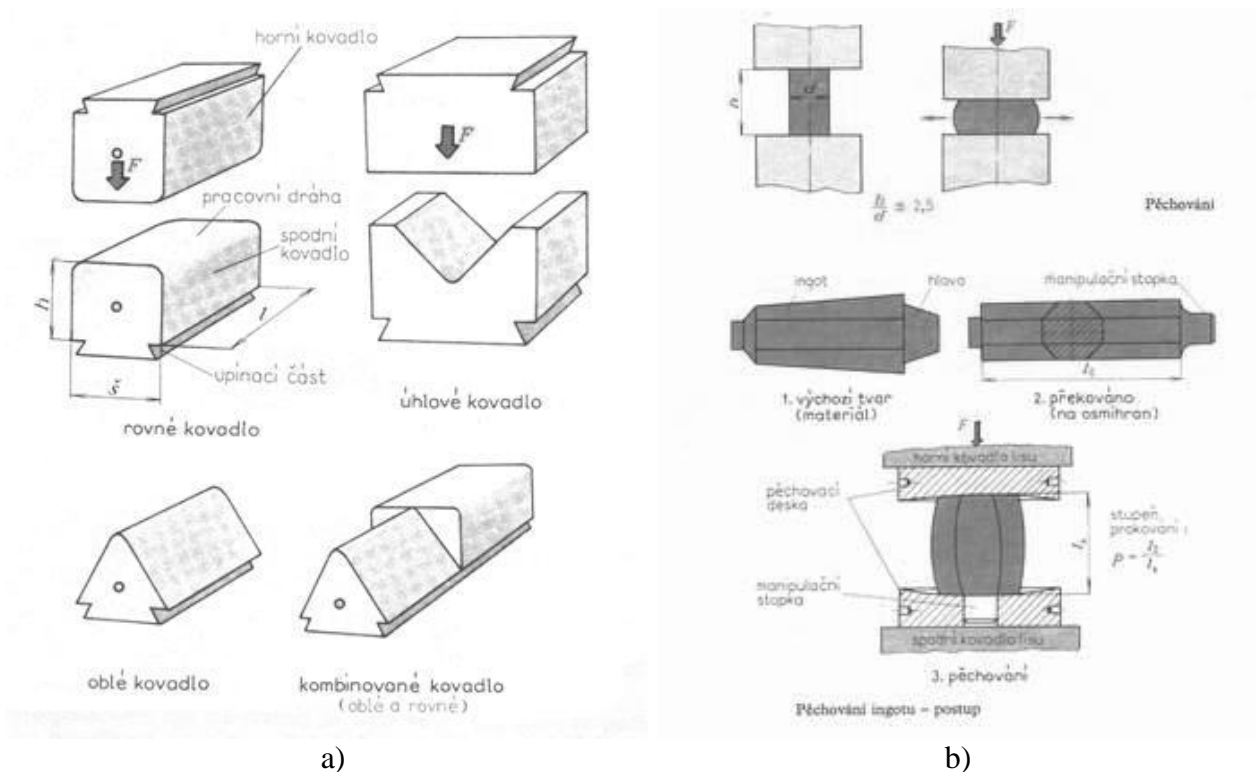


Obr. 6. Oblast tvářecí teploty

- **Volné kování**

Je technologický proces, při němž se materiál zpracovává převážně postupně za použití víceúčelových nástrojů a nářadí. Kováním rozumíme objemové tváření za tepla prováděné klidně působící silou. Tuto technologii lze rozdělit do dalších podskupin: [5]

- pēchování - příčný průřez se zvětšuje na úkor jeho výšky;
- prodlužování - zvětšování délky a současné zmenšení příčného průřezu;
- napēchování - zvětšování příčného průřezu po části jeho délky;
- rozkování na trnu - kování kroužků na trnu;
- osazování - prodlužování osazovaných částí;
- děrování – zhotovení díry v kovaném polotovaru.



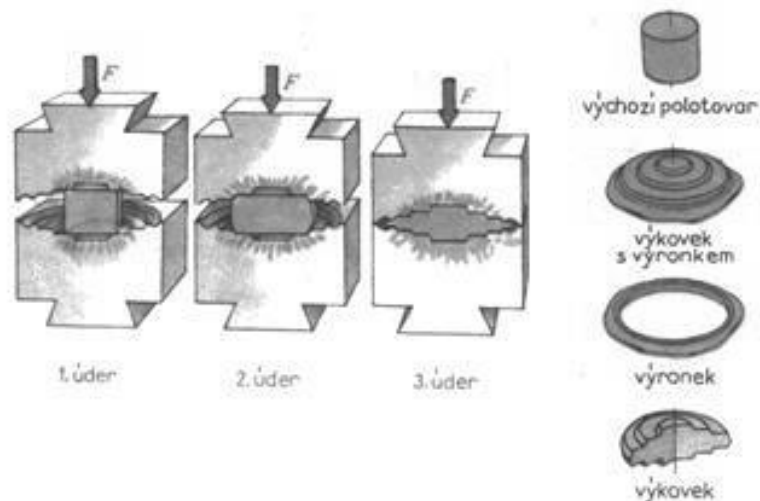
Obr. 7. a) tvary kovadel, b) pēchování

- **Zápustkové kování**

Zápustkové kování je technologie, při níž se materiál tvaruje podobně jako u volného kování s výjimkou použití ke zpracování materiálu jednoúčelových nástrojů neboli zápustek. Tato technologie slouží k výrobě velkých počtů kusů se stejnými rozměry a

vlastnostmi. Hlavní předností je vysoká výkonnost a snadná obsluha, je však omezena rozměry a hmotností výkovku. Zápustka, což bývá nejčastěji dvoudílná forma, která tvaruje výsledný tvar svou dutinou, a můžeme je dále dělit: [5]

- s výronkem – přemísťování v zápustce se záměrem vytvoření výronku;
- bez výronku - přemísťování v zápustce bez záměrného vytvoření výronku.

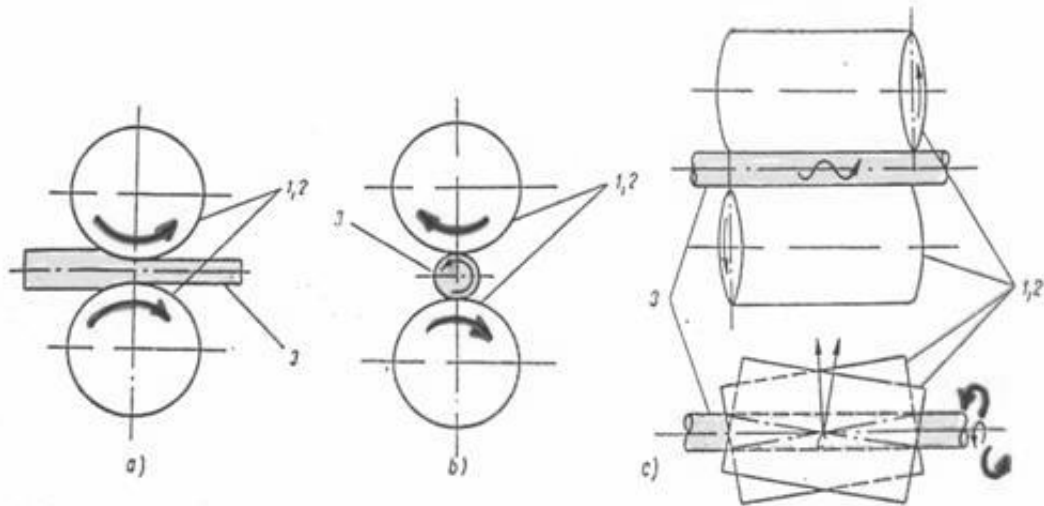


Obr. 8. Zápustkové kování

- **Válcování**

Technologie válcování je objemové tváření pomocí tlaku válců (kladek) které vytváří trojosou napjatost v materiálu. Jedná se především o kontinuální proces, při kterém se materiál deformuje mezi otáčejícími se válci nebo kladkami podle dané technologie. Válcování se provádí především za tepla, ale je možné válcovat za normálních teplot nebo s poloohřevem materiálu. Válcování dále dělíme: [6]

- podélné – polotovar je vtahován mezi válce a stlačován na požadovaný průřez;
- podélné tvarové – plynulé, periodické a přerušované;
- příčné tvarové – vyvození pomocí šroubových ploch axiálních sil;
- kosé – osy válců a polotovarů jsou mimoběžné;
- rozválcování – vyděrovaný polotovar se rozválcován na požadovaný průřez;
- válcování závitů – tvarové válce vyvozují radiální a axiální sílu, kterou je materiál přemísťován žadaným způsobem a směrem.



Obr. 9. a) podélné válcování, b) příčné, c) kosé (1,2-válce, 3-materiál)

- **Kalibrování**

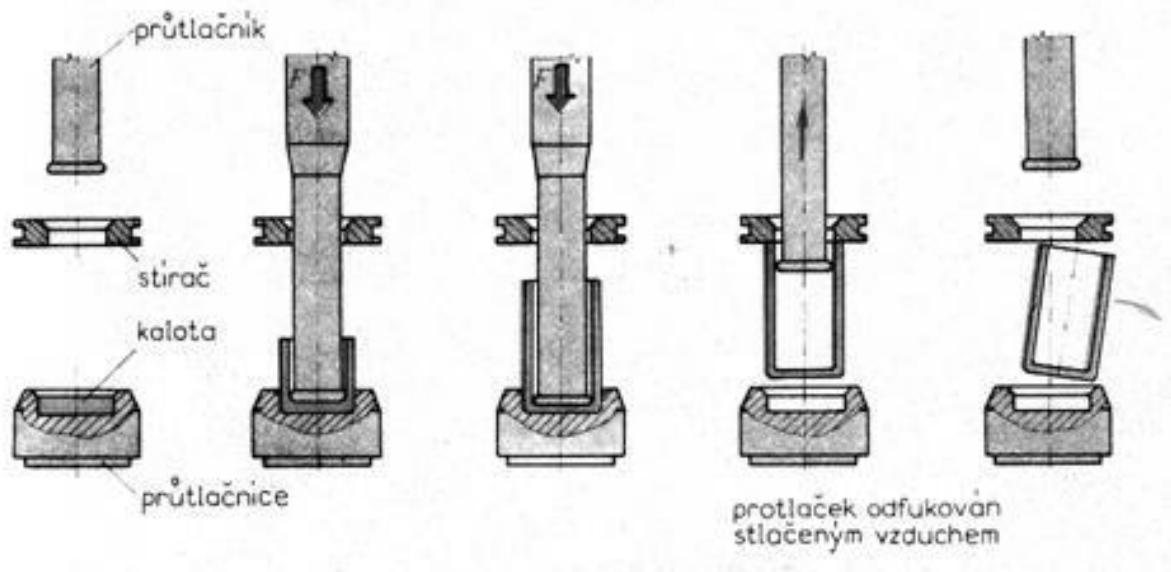
Kalibrování je technologie, kterou používáme k dosažení přesných rozměrů, tvarů a jakosti povrchu za pomoci působení vnějších sil na polotovary. Technologii kalibrování dále dělíme podle použitého postupu nebo nástroje: [2]

- kalibrování hlazením – odstranění nerovností na plochách rotačních tvářenců;
- kalibrování rovinné – probíhá mezi dvěma nebo více rovinami;
- kalibrování tvarové – kalibrace v dutině;
- kalibrace po tažení – probíhá po vytvoření výtažku;
- kalibrace otvorů – zpřesnění otvorů v daném výrobku.

- **Protlačování**

Protlačování je tváření materiálu vysokým krátkodobým tlakem, který způsobí jeho tečení. Napjatost v přetvářeném elementu materiálu je trojosá. Tvářený materiál je přemísťován a jeho směr pohybu určuje nástroj. Technologii protlačování lze vyrábět většina dutých profilů, trubek a tyčí. Protlačování lze rozdělit podle technologie daného procesu: [2]

- zpětné protlačování – materiál teče proti směru pohybu průtlačníku;
- dopředné protlačování - materiál teče ve směru pohybu průtlačníku;
- sdružené protlačování – materiál se pohybuje ve směru i proti směru pohybu průtlačníku;
- stranové protlačování – materiál se přemísťuje kolmo na směr pohybu průtlačníku;
- vtlačování – tváření funkčních dutin nástrojů.



Obr. 10. Princip technologie protlačování

3 METODY PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ

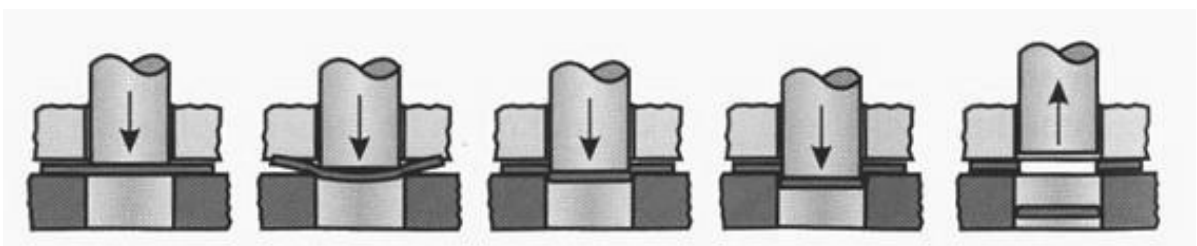
Jak už bylo řečeno v předchozí kapitole plošné tváření, je technologický proces, při kterém je deformace v třetí hlavní ose malá, až zanedbatelná. V této kapitole rozvedeme nejčastější technologie a zařízení pro plošné tváření, ať už za studena nebo za zvýšené teploty.

3.1 Stříhání

Stříhání je označováno jako nejčastější operací tváření, jeho využití je široké od přípravy polotovarů z tabulí plechu, stříhání profilů až po stříhání různorodých otvorů do materiálu a tím vytvoření finálního výrobku. Stříhání můžeme v základu rozdělit na stříhání za studena, které se využívá u měkčích ocelí nebo na plechy a na stříhání zatepla, které je určeno pro silnější plechy a tvrdší materiály, u tohoto procesu se využívá teplota někde kolem 700°C.

3.1.1 Princip stříhání

Stříhání je proces, při kterém se oddělují části materiálu působením protilehlých střižných hran, které působí v řezné rovině smykové napětí. Samotný proces stříhání probíhá ve třech fázích. V první fázi se pohybuje v oblasti pružných deformací, kdy se materiál vtlačuje a ohýbá do dutiny střižnice. Druhá oblast se nachází v oblasti plastických deformací. Střižník, který je působením síly vtlačován do plechu vyvolá napětí, které překročí mez kluzu a na hranách se blíží mezi pevnosti. V třetí fázi dojde ke vzniku trhlin, které se rozšíří po celém obvodě, a dojde k usmýknutí materiálu. Stříhání je tedy jedinou tvářecí technologií, u níž je žádoucí porušení materiálu za účelem vytvoření konkrétního



výrobku.

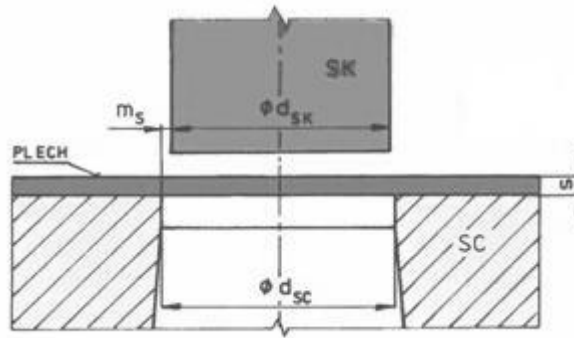
Obr. 11. Princip stříhání

3.1.2 Rozdělení stříhání

Stříhání jako technologickou operaci můžeme dělit z hlediska konstrukce nožů (střižníků).

- ***Stříhání rovnoběžnými noži***

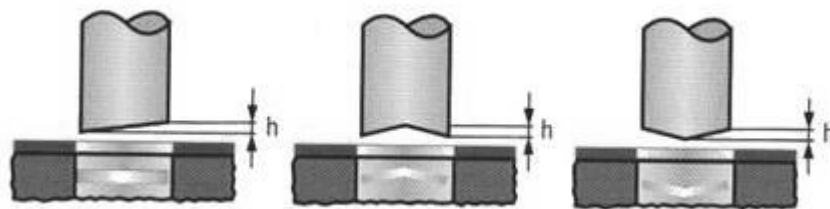
Nástroj dané technologie se skládá ze střížníku a střížnice, mezi kterými je střížná vůle. Tato vůle je konstruována v nástroji z důvodu zabránění kolize mezi střížníkem a střížnicí a dále také z důvodu kvality výstřížku na kterou má tato vůle velký vliv.



Obr. 12. Schéma stříhání rovnoběžnými noži

- ***Stříhání šikmými noži***

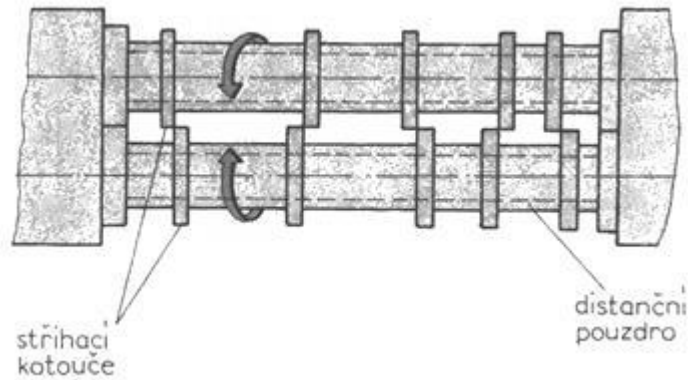
Podobně jako u rovnoběžných nožů se skládá nástroj ze střížníku a střížnice s tou změnou, že střížník není rovnoběžný se střížnicí, ale je vyroben s úhlem, který ušetří celkovou práci vynaloženou na střížení materiálu. Materiál je v tomto případě stříhán postupně.



Obr. 13. Schéma stříhání šikmými noži

- ***Stříhání kruhovými noži***

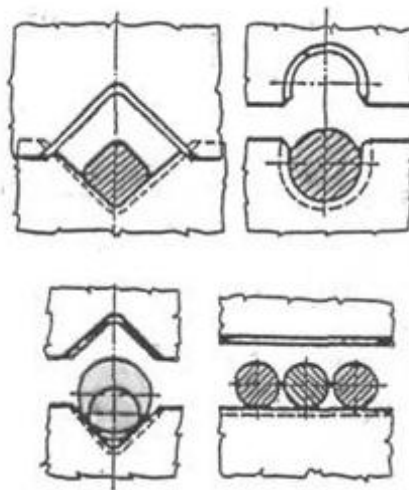
Tato technologie se využívá pro stříhání dlouhých pásů, které jsou vkládány do speciálně konstruovaných kotoučových nůžek a účinkem tlaku na střížník a střížnici, které jsou ovinuté kolem hřídele, probíhá dělení materiálu. Tato technologie se používá pro menší tloušťky materiálu kolem 10 mm.



Obr. 14. Schéma kotoučových nůžek na stříhání pásů

- ***Stříhání noži na profily, tyče a trubky***

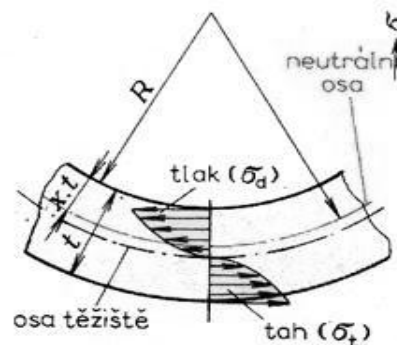
Tato technologie často nahrazuje podstatu řezání hlavně tam, kde není požadována taková přesnost, například u přípravy polotovarů pro další zpracování. U některých profilů dokáže tato technologie řezání zcela nahradit a především zrychlit. Profily, které lze stříhat je nepřeborné množství, jen pouze u dutých profilů, dochází k deformaci profilu a z toho důvodu je stříhání složitější a není tak obvyklé. Pro stříhání profilů se používají speciálně upravené střížníky i střížnice, které odpovídají profilu a dosahují co největší styčné plochy s profilem.



Obr. 15. Nože na stříhání profilového materiálu

3.2 Ohýbání

Ohýbání je technologický proces, při němž se materiál trvale deformuje do požadovaného úhlu za pomoci nástroje zvaného ohýbadlo, které se skládá z ohybníku a ohybnice. Tvary, které vzniknou, touto technologií jsou nevratné, jelikož při jejich vytvoření je překročena mez kluzu a dosaženo oblasti plastické deformace, která je doprovázena elastickou deformací. Po průřezu je to pružná plastická deformace, která má různý průběh od povrchu materiálu až k neutrální ose.



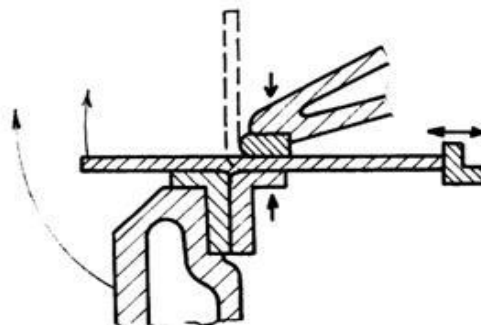
Obr. 16. Rozložení a velikost napětí v materiálu

3.2.1 Technologický postup ohýbání

Ohýbání lze provádět volně nebo pomocí pevného nástroje, obě technologie jde následně dělit podle několika aspektů.

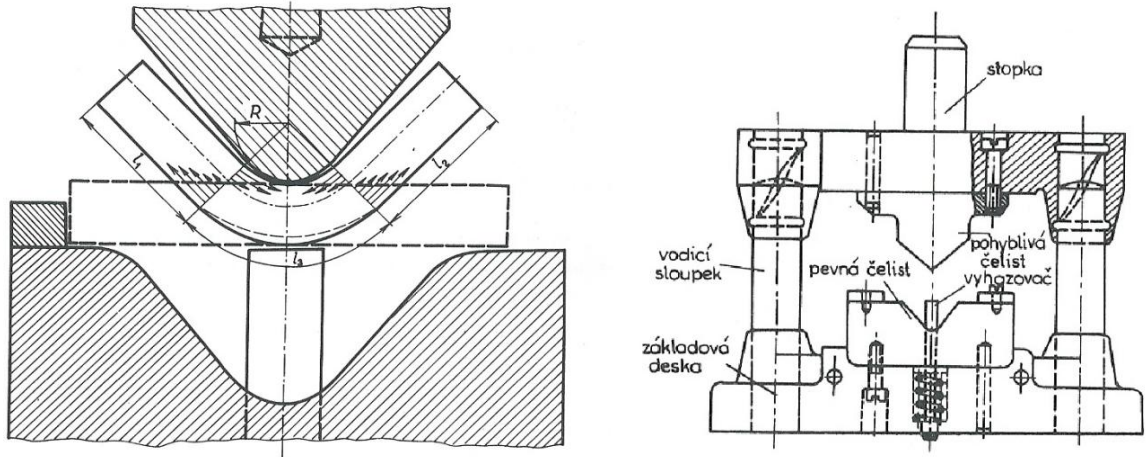
- **Rozdělení technologických postupů podle stroje**

Základní rozdělení procesu ohýbání je na ruční ohýbání, které provádíme na ručních strojích tzv. ohýbačkách. Dnes se ruční ohýbání používá především v kusové nebo malosériové výrobě a v případech, kdy není možné ohyby vytvořit pomocí lisu.



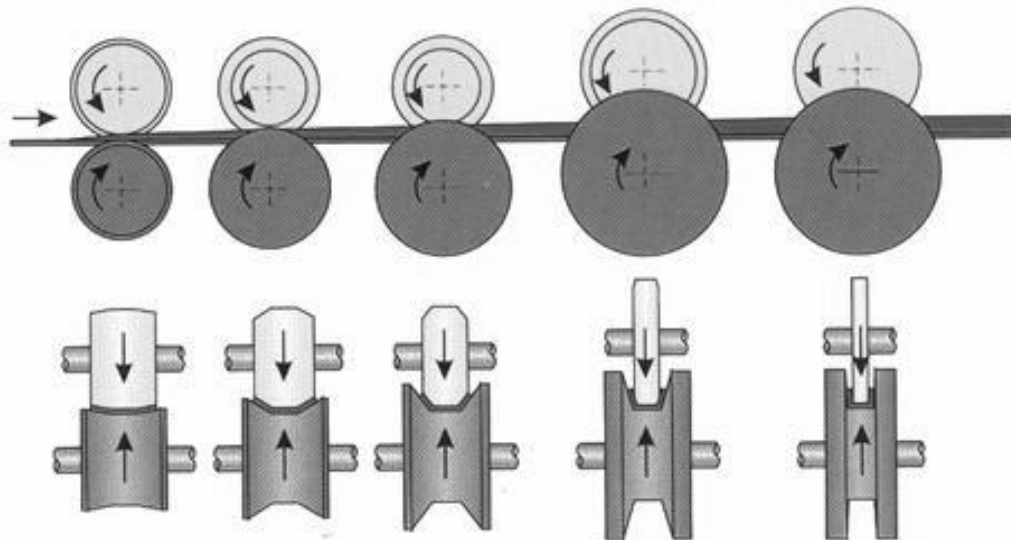
Obr. 17. Schéma ohýbacího stroje s otočnou deskou

Druhým způsobem jak lze provádět proces ohýbání je za pomoci lisů, které jsou opatřeny ohýbacími nástroji, jehož pohyblivá část vykonává přímočarý vratný pohyb. Lisy na ohýbání lze rozdělit na mechanické, hydraulické a speciální.



Obr. 18. Schéma strojního ohýbání

Třetím způsobem je ohýbání za pomoci válců, kdy nástrojem jsou samotné válce, které vykonávají rotační pohyb a jsou konstruovány tak, že materiál prochází dutinou, která je vytvořena po obvodě válce. Nejčastěji je takto ohýbán profilový materiál.



Obr. 19. Schéma ohýbání pomocí válců

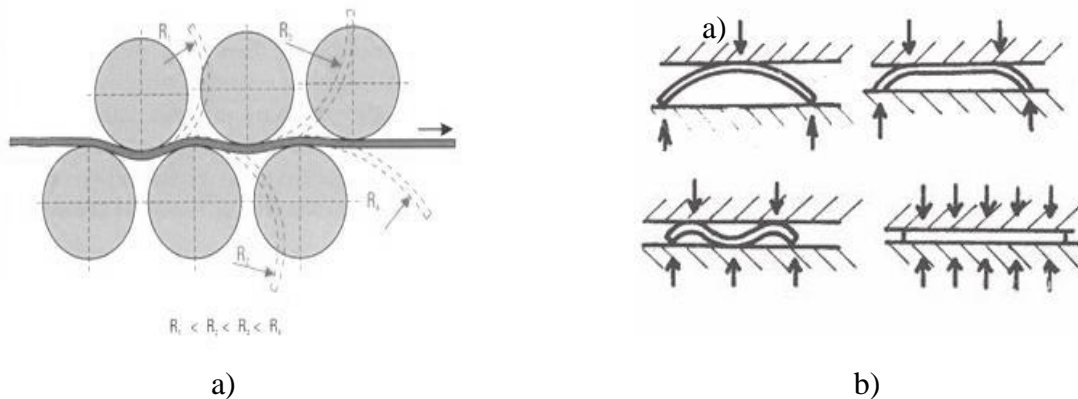
- *Rozdělení podle technologického způsobu výroby*

Podle tohoto rozdělení uvažujeme několik způsobů výroby, přičemž každý postup je použitelný na jinou operaci nebo jiný druh materiálu. Mezi nejzákladnější rozdělení řadíme:

- standardní ohýbání – zde by bylo zařazeno ohýbání profilů, trubek a pásů na požadovaný úhel, ale i poloměr ohybu;
- ohraňování – provádí se na speciálních lisech a slouží k výrobě různých tenkostěnných profilů, dovoluje malý poloměr zaoblení ohybu, výhodou je vytvoření celého profilu na několik kroků díky plně automatizovaným ohraňovacím strojům;
- lemování – operace pro vyztužení okrajů výlisku nebo pro vytvoření polotovaru pro následné vytvoření spoje;
- navíjení – materiál je navíjen postupně na válec a dostává požadovaný tvar;
- zakružování – slouží k výrobě válcových nebo kuželových plášťů nádob nebo trubek.

3.3 Rovnání

Rovnáání je technologie, která je využívána za účelem odstranění nežádoucích deformací, které vznikly manipulací, nebo při výrobě. Rovnáání je nejčastěji prováděno pomocí tlaku vyvozeného lisem. I v této technologii platí pravidlo současného působení elastických deformací s plastickými, takže po zrušení vnějších sil rovnané těleso odpruží, což se projeví zbytkovým zakřivením. K rovnání lze využít nástroje v podobě válců, přes které je materiál protahován anebo čelistového nástroje který na materiál působí silou, tím ho zatěžuje a rovná.



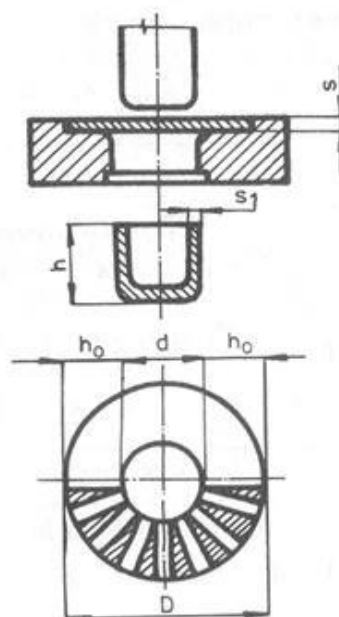
Obr. 20 a) rovnání plechů na válcích, b) rovnání mezi rovnými deskami

4 TAŽENÍ

Proces tažení se řadí mezi technologie plošného tváření, kterým se z plechových polotovarů (přístřihů) vyrábějí otevřená dutá tělesa neboli výtažky. Za pomoci jednoho nebo několika tahů se vyrábějí výtažky, které se většinou už dále neobrábějí.

4.1 Princip tažení

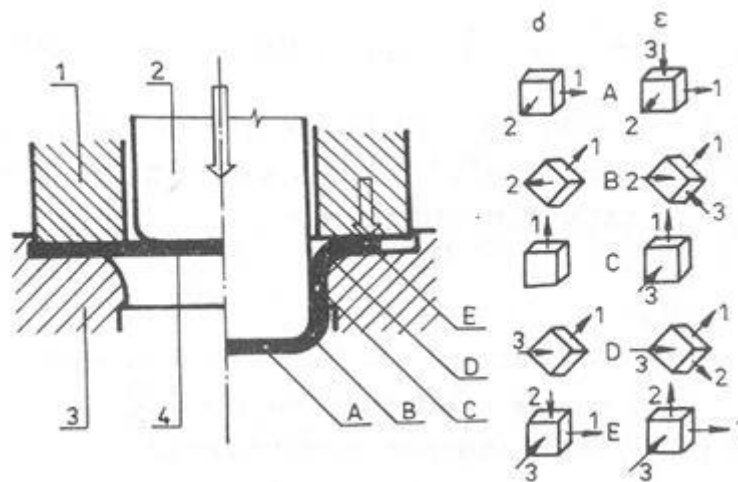
Princip tažení lze nejjednodušeji vysvětlit na technologii tažení dutého válcového tvaru se dnem. Následně jdou tyto poznatky aplikovat na veškeré operace, které lze touto danou technologií vyrábět, ať už se jedná o výtažky hranatého průřezu nebo nepravidelné tvary, které mají nejčastější využití v automobilovém průmyslu. Základním nástrojem pro tvorbu výtažku je dvoudílná sada, která obsahuje tažník a tažnici. Zatlačujeme-li tažník do tažnice, posunujeme plech přes tažnou hranu tažnice, která je v této technologii nejvíce namáhána a tedy i nejrychleji opotřebována. Síla, která je potřebná k zatlačení tvárníku do materiálu se navrhuje z podmínky pevnosti válcové části nádoby, která se nesmí při tažení porušit. Při technologii tažení je nutné uvažovat vliv tření materiálu o nástroj a následné zpevňování materiálu. Samotný proces tažení při výrobě duté válcové nádoby vychází z přístřihu kruhového tvaru, který se změní na válec s menším průměrem, než byl původní průměr. V důsledku platnosti zákona o stálosti objemu se objem materiálu během procesu nemění, a proto výška výtažku bude větší než šířka mezikruží, které tvoří průměr přístřihu a průměr výsledné duté nádoby.[2]



Obr. 21. Princip tažení válcového tvaru

4.2 Napjatost a deformace při tažení

Napjatost vznikající v jednotlivých místech výtažku je různá a dochází zde k anizotropii mechanických vlastností plechu. Nejméně namáhané je dno (A) výtažku a vytahuje se pouze nepatrně a stejnosměrně ve dvou směrech. Naproti tomu válcová část (C) výtažku je natahována pouze v jednom směru a to v ose působení síly vyvozené na tažník. V místě přechodu ze stěny na dno (B) se objevuje, dvoj nebo trojosá napjatost. Materiál, který přechází přes tažnou hranu (D) tažnice je namáhán ohybem radiálním a tangenciálním tlakem. Materiál pod přidržovačem (E) je namáhán tahem v radiálním směru, tlakem v tangenciálním směru a tlakem kolmo na povrch příruby. Největší napětí se nachází v místě ohybu dna kde je největší nebezpečí porušení výtažku. [2]



Obr. 22 Schéma napětí a deformací při tažení s přidržovačem

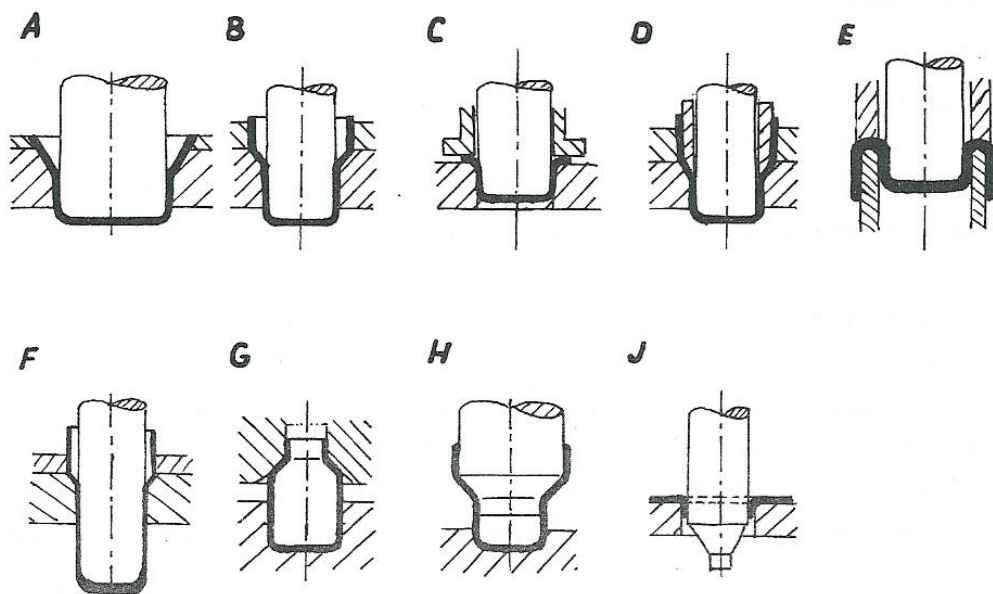
4.3 Rozdělení technologie tažení

Technologie tažení je možno rozdělit podle několika aspektů, především podle použitého nástroje nebo podle tvaru kterého chceme docílit.

- Tažení bez přidržovače - tváření rovinného polotovaru na duté těleso bez podstatné změny tloušťky materiálu (A, B);
- tažení s přidržovačem - tváření rovinného polotovaru na duté těleso bez podstatné změny tloušťky materiálu za pomoci přidržovače (C, D);
- zpětné tažení - druhá nebo další tažná operace vykonávaná v obráceném směru k původnímu tažení (E);

- tažení se ztenčením stěny - změna rozměrů dutého polotovaru zmenšením příčného průřezu, dochází k podstatné změně tloušťky stěny výtažku (F);
- zužování – zmenšování průměru zužováním dutého polotovaru v jeho části (G);
- rozšiřování – zvětšování průměru rozšiřováním dutého polotovaru v jeho části (H);
- lemování – vytváření lemů na okrajích plochy za účelem vyztužení materiálu nebo příprava pro následné spojování (J);
- žlábkování - vytlačování mělkých drážek ke zvýšení tuhosti polotovaru;
- protahování - protahování okraje materiálu po vnějším nebo vnitřním obvodu tak, aby se vytvořila kolmá válcová plocha;
- přetahování – tváření rovinné plochy v prostorovou plochu, napínáním přes šablonu.

[2]

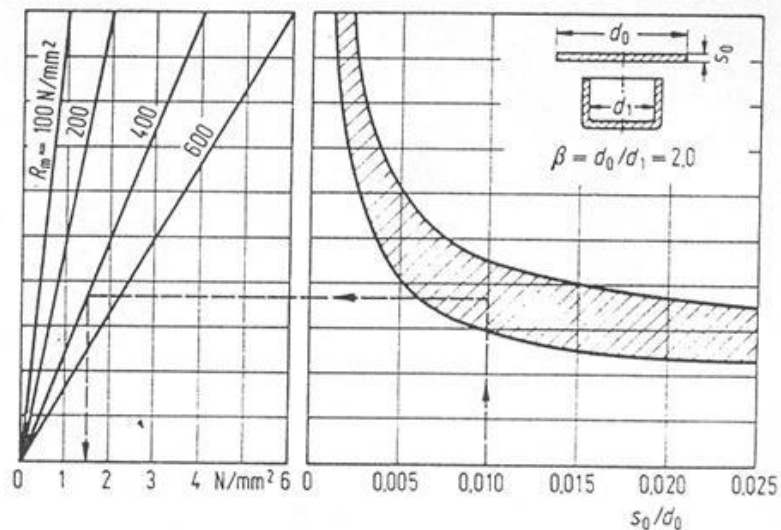


Obr. 23. Schéma tažných operací

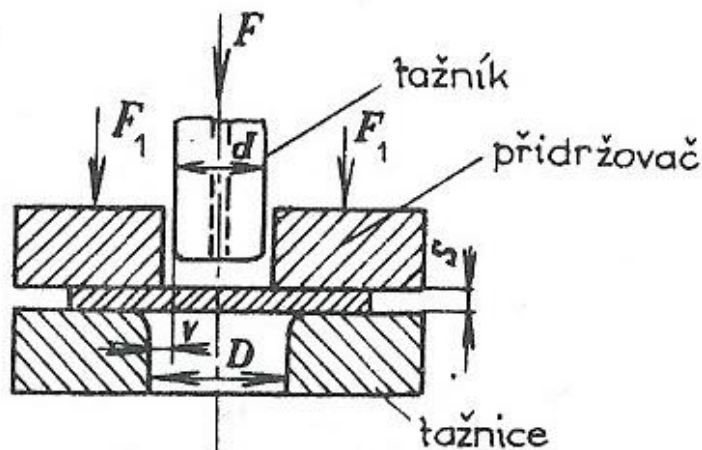
4.3.1 Tažení s přidržovačem

Významný technologický problém při tažení je vznik tzv. vln v oblasti příruby. Proto se ve většině případů používá přidržovač, což je technologické zařízení, které je součástí tažného nástroje. V případě jeho použití je důležité znát velikost jeho měrného tlaku, který u jednodušších zařízení nelze měnit. Měrný tlak vychází z poznatků o tloušťce materiálu,

jeho jakosti a součiniteli tažení. Pro určení měrného tlaku existuje celá řada praktických možností například z grafu na obr. 24.



Obr. 24. Diagram pro zjišťování měrného tlaku přidržovače



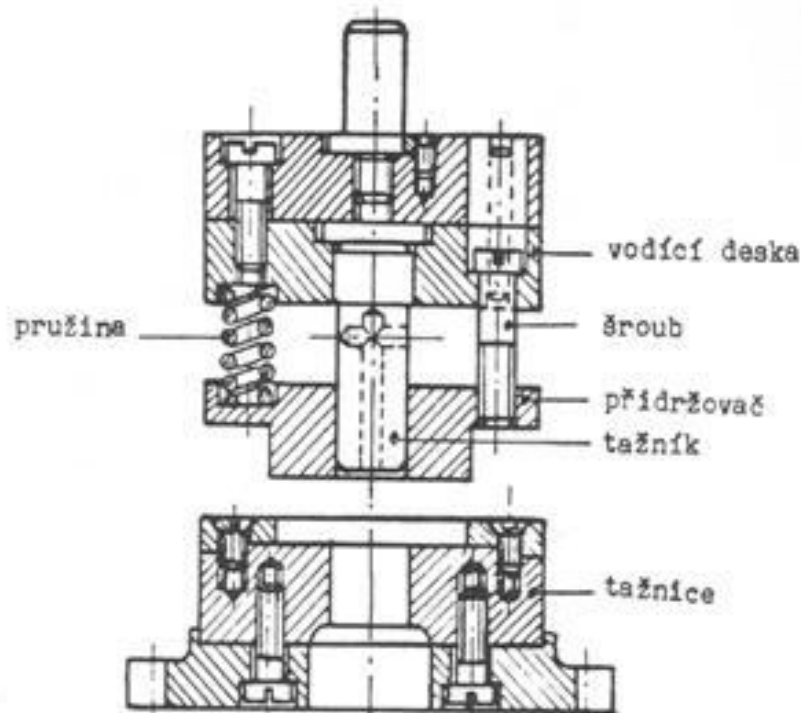
Obr. 25. Schéma tažného nástroje s přidržovačem

4.4 Tažné nástroje

Tažné nástroje lze dělit podle druhu konané technologické operace na nástroje pro první a další tahy, podle funkce:

- jednoduché, dvojité, trojitě, které konají při jednom zdvihu smykadla tento počet tahů současně;
- jednočinné – pracují s přidržovačem pevným nebo bez něj;
- dvojčinné – s přidržovačem ve stolu lisu (pro dvojčinné lisu);

- trojčinné – mají vedle přidržovače další tažník, který táhne po ukončení základního tahu;
- sdružené – tažení je spojeno např. s vystřižením polotovaru, ostřížením výtažků, kalibrací atd.;
- postupné – táhne se postupně z pásu plechu na postupném lisu.



Obr. 26. Schéma tažného nástroje s horním přidržovačem

4.5 Tažné lisy

Pro účely jednočinného tažení lze použít běžný výstředníkový, klikový, hydraulický nebo třecí lis pouze omezeně. Pro dvojčinné, tříčinné tažení již nikoli. V těchto případech se používají speciální tažné lisy, které mají ve srovnání s běžnými výstředníkovými a klikovými lisy větší zdvih, větší setrvačnick a silnější motor. Větší zdvih jedině umožňuje použití kliky. Konstrukce takového lisu je velice podobná těm klikovým. Charakteristickým znakem jmenovitá síla, kterou musí vyvinout již 90° před dolní úvratí. Tento lis má dvě smykadla, jedno je vnitřní na vlastní tažení a druhé je vnější a to slouží jako přidržovač, jejich pohyb může být odvozen od vačky nebo kliky. [2]

5 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI PRÁCE

Teoretická část bakalářské práce se zabývala problematikou tváření, jejím rozdělením a následným popisem jednotlivých metod tváření. Samostatná kapitola této práce byla věnována technologii tváření, která je stěžejní pro praktickou část bakalářské práce.

Jednotlivé kapitoly se věnovaly:

- teorii tváření a jejímu základnímu principu;
- rozdělení tváření podle několika hledisek;
- metodám plošného tváření a jednotlivým technologiím;
- technologii tažení a tažným lisům.

Tyto kapitoly byly zvoleny, protože vhodně popisují problematiku tváření, která bude řešena v praktické části bakalářské práce.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Na základě poznatků z teoretické části bakalářské práce bude praktická část zaměřena na tyto okruhy:

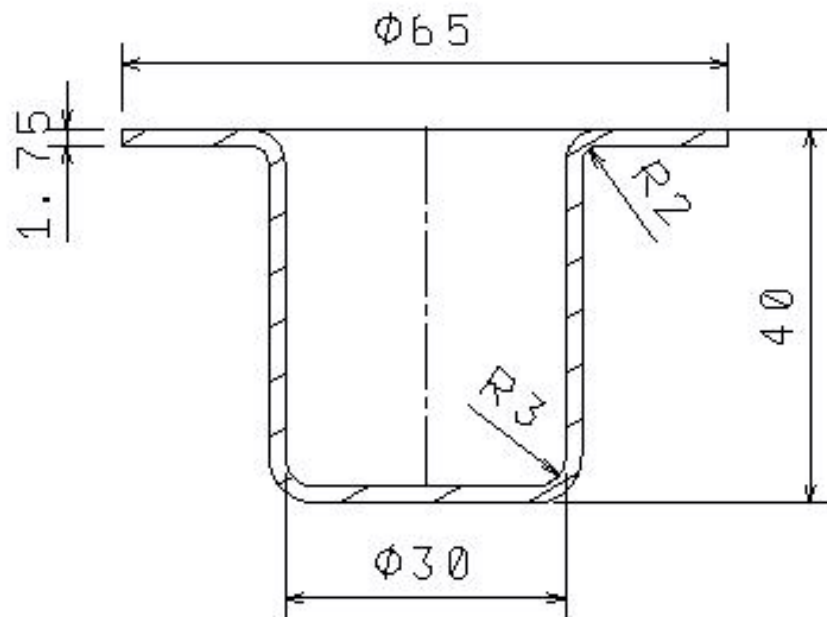
1. Popis součásti pro tažení, seznámení s tvarem, rozměry a materiálem.
2. Výpočtová část práce.
3. Popis navržených variant a volba výsledné varianty sestavy.
4. Tvorba 3D sestavy a výrobních výkresů pomocí 3D CAD software CATIA V5.

7 POPIS SOUČÁSTI PRO TAŽENÍ

7.1 Údaje o výtažku

- **rozměry výtažku**

Válcová součást dle schématu.



Obr. 27. Schéma výtažku

- **materiál**

Pro daný výtažek je zvolen materiál ocel 11 300, která je vhodná pro hlubokotažné plechy na části karoserii, nádrží na benzín a vysoké duté nýty. Maximální napětí materiálu 11 300 je $R_m = 265$ až 375 MPa pro daný výrobek volím $R_m = 300$ MPa.

[11]

8 VÝPOČTOVÁ ČÁST PRÁCE

Tato část se bude zabývat výpočty potřebnými k určení základních parametrů tvářecího procesu, rozměrů, vlastností nástroje pro tažení a výběru vhodného stroje pro provedení operace.

8.1 Výpočet průměru přístřihu

Základní podmínkou pro řešení je zákon zachování objemu před a po tváření. Pro tento výpočet byl objem odečten z 3D modelu.

Objem výtažku je $V_V = 11950 \text{ mm}^3$

Tento objem je nutno zvýšit o přídavek na ostřížení válcového výtažku s přírubou.

Přídavek na ostřížení $P_o = 1,8 \text{ mm}$

Celkový objem výtažku navýšený o přídavek na ostřížení $V_V = 12280 \text{ mm}^3$

- Výpočet průměru polotovaru:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_V}{\pi \cdot s}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 12280}{\pi \cdot 1,75}} = \mathbf{94,5 \text{ mm}}$$

s – tloušťka výtažku

Z důvodu anizotropie plechu se vypočtený průměr D zvětšuje o 2 až 4 %.

Pro tento konkrétní výtažek volím zvětšení o 4 %, potom výsledný skutečný průměr přístřihu je:

$$D_p = D + 0,04 \cdot D$$

$$D_p = 94,5 + 0,04 \cdot 94,5 = \mathbf{98,3 \text{ mm}}$$

Výpočet průměru polotovaru lze určit i dalšími způsoby např.: graficky pomocí Guldinovy věty nebo z diagramu pro stanovení průměru přístřihu.

8.2 Rozhodnutí o nutnosti použití přidržovače při tažení

Při tažení hlubších výtažků z tenkého plechu je nutné použít přidržovače, který zabraňuje zvlnění plechu. Pro určení nutnosti použití přidržovače slouží materiálová konstanta.

$$k_p = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D_p}} \right) = 50 \cdot \left(1,90 - \frac{\sqrt{1,75}}{\sqrt[3]{98,3}} \right) = \mathbf{80,7}$$

Z – materiálová konstanta pro ocelový hlubokotažný plech $Z=1,90$

$$k_p \geq \frac{100 \cdot d}{D_p}, \quad 100 \cdot \frac{d}{D_p} = 100 \cdot \frac{30}{98,3} = \mathbf{30,5}$$

$k_p \geq 30,5 \Rightarrow$ tažení musí být provedeno s přidržovačem

8.3 Určení počtu tažných operací a určení průměrů tažníků

Počet tažných operací vyplývá ze součinitele tažení.

$$\text{pro 1. tah} \quad m_1 = \frac{d_1}{D_p}, \quad d_1 = D_p \cdot m_1 = 98,3 \cdot 0,49 = 48,2\text{mm} \Rightarrow \mathbf{\varnothing d_1 = 48\text{mm}}$$

$$\text{pro 2. tah} \quad m_2 = \frac{d_2}{d_1}, \quad d_2 = d_1 \cdot m_2 = 48,2 \cdot 0,74 = 35,7\text{mm} \Rightarrow \mathbf{\varnothing d_2 = 35\text{mm}}$$

$$\text{pro 3. tah} \quad m_3 = \frac{d_3}{d_2}, \quad d_3 = d_2 \cdot m_3 = 35,7 \cdot 0,77 = 27,5\text{mm} \Rightarrow \mathbf{\varnothing d_3 = 30\text{mm}}$$

Při třetím tahu bylo dosaženo $d_3 \leq d$ tzn., že požadovaného průměru $d=30\text{mm}$ bylo dosaženo třemi tahy.

8.4 Stanovení zaoblení tažných hran

Zaoblení hran je závislé na tloušťce plechu a koeficientu c.

- Tažnice:

$$\text{Pro první tah: } r_{tc1} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_p - d_1) \cdot s} = 0,8 \cdot \sqrt{(98,3 - 48) \cdot 1,75} \approx \mathbf{7,5\text{mm}}$$

$$\text{Pro druhý tah: } r_{tc2} = r_{tc1} \cdot c = 7,5 \cdot 0,4 = \mathbf{3\text{mm}}$$

$$\text{Pro poslední tah: } r_{tc3} \text{ volím s ohledem na poloměr zaoblení na výrobku } r_{tc3} = \mathbf{2\text{mm}}$$

c – koeficient

- Tažník:

$$\text{Pro první tah: } r_{tv1} = (1 \div 2) \cdot r_{tc1} = 1 \cdot 7 = \mathbf{7mm}$$

$$\text{Pro druhý tah: } r_{tv2} = (1 \div 2) \cdot r_{tc2} = 1,5 \cdot 3 = \mathbf{4,5mm}$$

$$\text{Pro poslední tah: } r_{tv3} \text{ volím s ohledem na poloměr zaoblení na výrobku } r_{tv3} = \mathbf{3mm}$$

8.5 Stanovení tažné mezery

Tažná mezera t_m mezi tažnicí a tažníkem musí být větší než je tloušťka zpracovávaného plechu, aby se přebytečný materiál mohl přemísťovat. Tažnou mezeru volíme s ohledem na velikost tolerance plechu a druh materiálu.

$$\text{Pro první tah: } t_{m1} = (1,2 \div 1,3) \cdot s = 1,2 \cdot 1,75 = \mathbf{2,1mm}$$

$$\text{Pro další tahy dle vzorce: } t_{mn} = (1,1 \div 1,2) \cdot s = 1,1 \cdot 1,75 = \mathbf{1,9mm}$$

8.6 Výpočet rozměrů činných částí tažidla

Průměr tažníku pro první tah:

$$d_{tc1} = d_1 \Rightarrow d_{tc1} = \mathbf{48mm}$$

Průměr tažnice pro první tah:

$$d_{tv1} = d_1 + 2 \cdot t_{m1} \Rightarrow d_{tv1} = 48 + 2 \cdot 2,1 = \mathbf{52,2mm}$$

Průměr pro určení skutečné plochy přidržovače pro první tah:

$$d_{p1} = d_{tv1} + 2 \cdot r_{tc1} \Rightarrow d_{p1} = 52,2 + 2 \cdot 7,5 = \mathbf{67,2mm}$$

Průměr tažníku pro druhý tah:

$$d_{tc2} = d_2 \Rightarrow d_{tc2} = \mathbf{35mm}$$

Průměr tažnice pro druhý tah:

$$d_{tv2} = d_2 + 2 \cdot t_{m2} \Rightarrow d_{tv2} = 35 + 2 \cdot 1,9 = \mathbf{38,8mm}$$

Průměr pro určení skutečné plochy přidržovače pro druhý tah:

$$d_{p2} = d_{tv2} + 2 \cdot r_{tc2} \Rightarrow d_{p2} = 38,8 + 2 \cdot 3 = \mathbf{44,8mm}$$

Průměr tažníku pro poslední tah:

$$d_{tc3} = d \Rightarrow d_{tc3} = \mathbf{30mm}$$

Průměr tažnice pro poslední tah:

$$d_{tv3} = d + 2 \cdot t_{m3} \Rightarrow d_{tv3} = 30 + 2 \cdot 1,9 = \mathbf{33,8mm}$$

Průměr pro určení skutečné plochy přidržovače pro poslední tah:

$$d_{p3} = d_{tv3} + 2 \cdot r_{tc3} \Rightarrow d_{p3} = 33,8 + 2 \cdot 2 = \mathbf{37,8mm}$$

8.7 Výpočet síly a práce při jednotlivých tazích

Střížná síla potřebná k vystřížení rondelu:

$$F_s = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot \tau_s \cdot \pi \cdot D_p \cdot s = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 300 \cdot \pi \cdot 98,3 \cdot 1,75 = \mathbf{168,6kN}$$

n – koeficient zahrnující opotřebení nástroje (1,2 až 1,55)

S – plocha stříhu

s – tloušťka materiálu

τ_s – mez pevnosti $0,8 \cdot R_m$

D – průměr přístříhu

Síla přidržovače pro první tah:

$$F_{p1} = S_{p1} \cdot p = 4042,5 \cdot 2 = 8085N = \mathbf{8kN}$$

S_{p1} - plocha pod přidržovačem

p - doporučená hodnota tlaku přidržovače pro hlubokotažné oceli $p=(2\text{až}3)$ MPa

$$S_{p1} = \frac{\pi \cdot (D_p^2 - d_{p1}^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (98,3^2 - 67,2^2)}{4} = \mathbf{4042,5 mm^2}$$

Přibližný výpočet tažné síly pro první tah:

$$F_{t1} = \pi \cdot d_1 \cdot s \cdot R_m \cdot k = \pi \cdot 48 \cdot 1,75 \cdot 300 \cdot 1 = 79168,1N = \mathbf{79,2kN}$$

s - tloušťka plechu

d_1 - průměr výtažku v prvním tahu

k - koeficient pro určení tažné síly vyplívá ze součinitele tažení m_1 , kdy $k=1$

Celková maximální tažná síla pro první tah:

$$F_{tc1} = F_{t1} + F_{p1} = 79168,1 + 8085 = 87253,1N = \mathbf{87,3kN}$$

Tažná práce pro první tah:

$$A_{t1} = \frac{c \cdot F_{tc1} \cdot h}{1000} = \frac{0,6 \cdot 87253,1 \cdot 20}{1000} = \mathbf{1047J}$$

c - koeficient (0,6 až 0,8)

h - hloubka výtažku

Síla přidržovače pro druhý tah:

$$F_{p2} = S_{p2} \cdot p = 1318 \cdot 2 = 2636N = \mathbf{2,6kN}$$

S_{p2} - plocha pod přidržovačem odečtena z 3D modelu

p - doporučená hodnota tlaku přidržovače pro hlubokotažné oceli $p=(2\text{až}3)$ MPa

Přibližný výpočet tažné síly pro druhý tah:

$$F_{t2} = \pi \cdot d_2 \cdot s \cdot R_m \cdot k = \pi \cdot 35 \cdot 1,75 \cdot 300 \cdot 0,9 = 51954,1N = \mathbf{52kN}$$

s - tloušťka plechu

d_2 - průměr výtažku v druhém tahu

k - koeficient pro určení tažné síly vyplívá ze součinitele tažení m_2 , kdy $k=0,9$

Celková maximální tažná síla pro druhý tah:

$$F_{tc2} = F_{t2} + F_{p2} = 51954,1 + 2636 = 54590,1N = \mathbf{54,6kN}$$

Tažná práce pro druhý tah:

$$A_{t2} = \frac{c \cdot F_{tc2} \cdot h}{1000} = \frac{0,6 \cdot 54590,1 \cdot 30}{1000} = \mathbf{982,6J}$$

c - koeficient (0,6 až 0,8)

h - hloubka výtažku

Síla přidržovače pro třetí tah:

$$F_{p3} = S_{p3} \cdot p = 397,1 \cdot 2 = 794,2N = \mathbf{0,8kN}$$

S_{p3} - plocha pod přidržovačem odečtena z 3D modelu

p - doporučená hodnota tlaku přidržovače pro hlubokotažné oceli $p=(2\text{ až }3)$ MPa

Přibližný výpočet tažné síly pro třetí tah:

$$F_{t3} = \pi \cdot d_3 \cdot s \cdot R_m \cdot k = \pi \cdot 30 \cdot 1,75 \cdot 300 \cdot 0,8 = 39584,1N = \mathbf{39,6kN}$$

s - tloušťka plechu

d_3 - průměr výtažku v třetím tahu

k - koeficient pro určení tažné síly vyplívá ze součinitele tažení m_3 , kdy $k=0,8$

Celková maximální tažná síla pro třetí tah:

$$F_{tc3} = F_{t3} + F_{p3} = 39584,1 + 794,2 = 40378,3N = \mathbf{40kN}$$

Tažná práce pro třetí tah:

$$A_{t3} = \frac{c \cdot F_{tc3} \cdot h}{1000} = \frac{0,6 \cdot 40378,3 \cdot 40}{1000} = \mathbf{968,1J}$$

c - koeficient (0,6 až 0,8)

h - hloubka výtažku

Návrh pružin pro přidržovač:

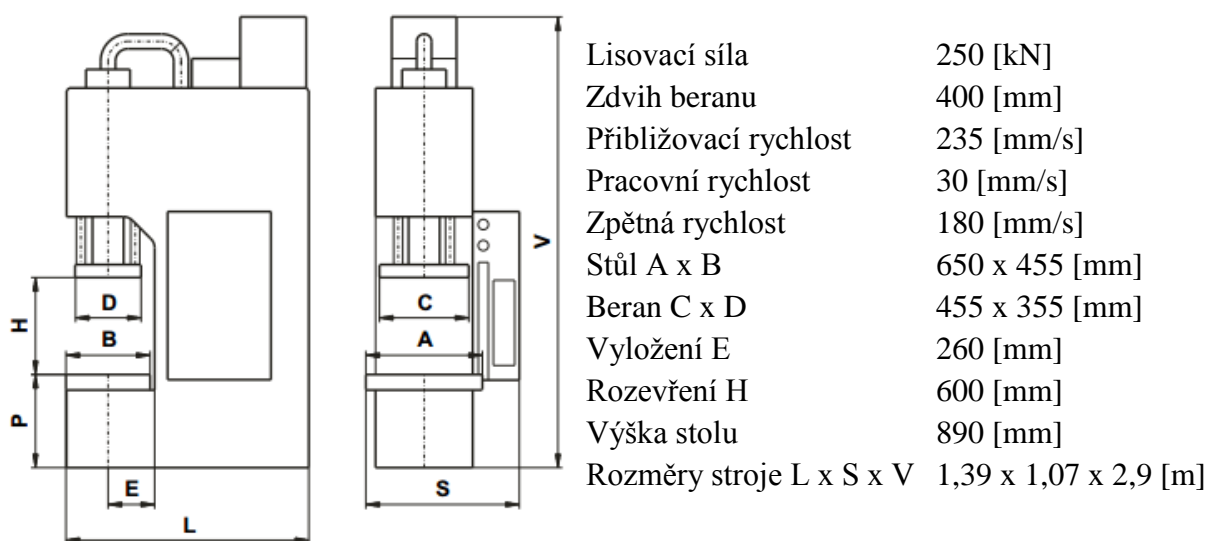
Volba pružin a jejich rozměry byly voleny pomocí softwaru Gutekunst Spring Computation WINFSB 7.0b, který po vložení vstupních údajů navrhnul pružinu 4x28x70x7.

8.8 Volba vhodného tvářecího stroje

K tažení se nejčastěji používá hydraulických a mechanických lisů. S ohledem na výpočet a tvar výrobku, který je zhotoven na tři tahy a tloušťkou materiálu je vhodný hydraulický lis. Tato varianta je vhodnější pro menší zdvih, ale rychlost a síla beranu je regulovatelná a je

tedy možné ji nastavit podle potřeb dané operace. Tato varianta je vhodnější pro malosériovou výrobu, při větším objemu výroby by bylo dobré zvážit použití více mechanických lisů, na kterých by byly prováděny jednotlivé operace.

Pro tuto variantu volím hydraulický lis ZH 25, který svou konstrukcí která zahrnuje plynulou regulaci lisovací síly, která ve svém maximu dosahuje 250 kN, horní a spodní přidržovač a vyhazovač, regulovatelnou dobu lisování a zdvih beranu 400 mm. Tyto parametry plně vyhovují požadavkům na výrobu daného výrobku.



Obr. 28. Schéma hydraulického lisu ZH 25

8.9 Materiál nástroje

Volby materiálu se odvíjí od požadavků, které vyplývají z dané technologie tváření. Pro technologii tažení je vhodné volit vysoce odolné nástrojové oceli, které zaručí dobrou rozměrovou stálost, vysokou pevnost a odolnost vůči otěru.

Pro tažník, tažnici a přidržovač volím materiál nástrojovou ocel X155CrVMo12-1 EN ISO 4957 (ČSN 19 573.84), který bude následně kalen na 56 HRC. Tento materiál vykazuje dobrou rozměrovou stálost při tepelném zpracování a je vhodný na nástroje menších rozměrů [11]

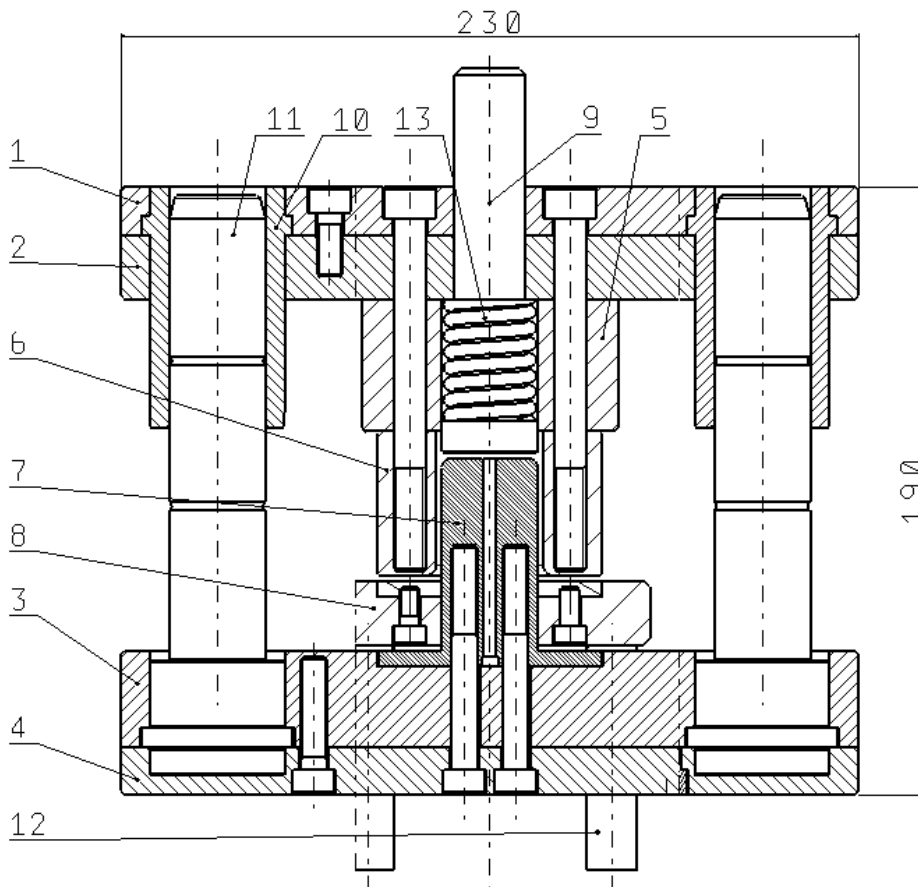
Pro méně namáhané součásti jako jsou například vyhazovače, vodící čepy, základní a upínací desky. Volím konstrukční oceli určené pro danou aplikaci a jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci.

9 VARIANTY NÁSTROJE

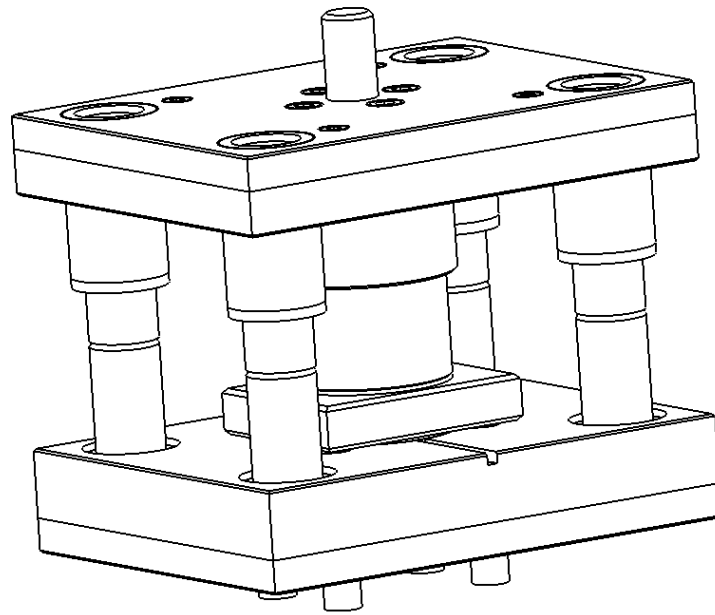
Pro konstrukci tažného nástroje je možno uvažovat několik variant, které musí být použitelné ve zvoleném hydraulickém lisu ZH 25 (viz. kap. 8.8). Tyto varianty musí vycházet z poznatku o daném zařízení a především z velikosti upínací plochy, výšky zdvihu beranu a celkové konstrukci zařízení.

9.1 Varianta I

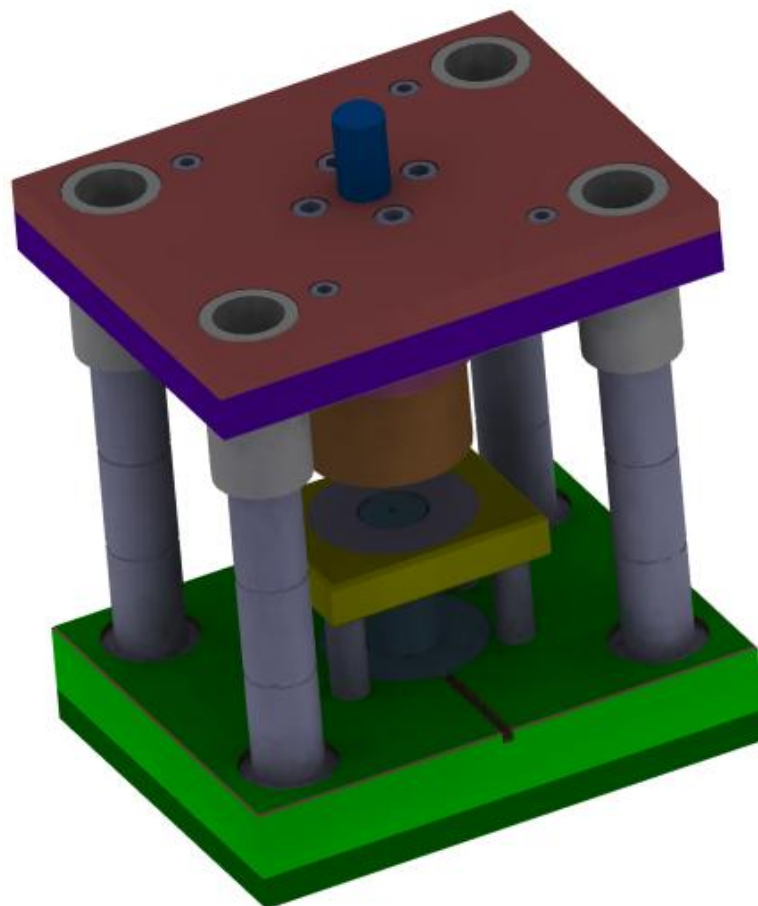
Při této variantě je využito obrácené konstrukce, která vychází z podstaty pevného upnutí tažníku (7) ke spodní základní desce (3), která je upnuta na upínací ploše. Tažník je upnut pomocí šroubů, které procházejí spodní upínací deskou (4), o kterou jsou opřeny vodící čepy (11) a ty jsou vsazeny ve vodících pouzdrech (10). Přidržovač (8) se pohybuje a vytváří potřebný tlak pomocí táhel (12), která jsou upnuta do stroje a jím i ovládána. Tažnice (6) je pomocí šroubů upnuta přes vodící pouzdro vyhazovače (5) a horní základní desku (2) do horní upínací desky (1), jejímž středem prochází vyhazovač (9), jehož vyhazovací síla je vyvozena pružinou (13).



Obr. 29. Schéma I. varianty nástroje



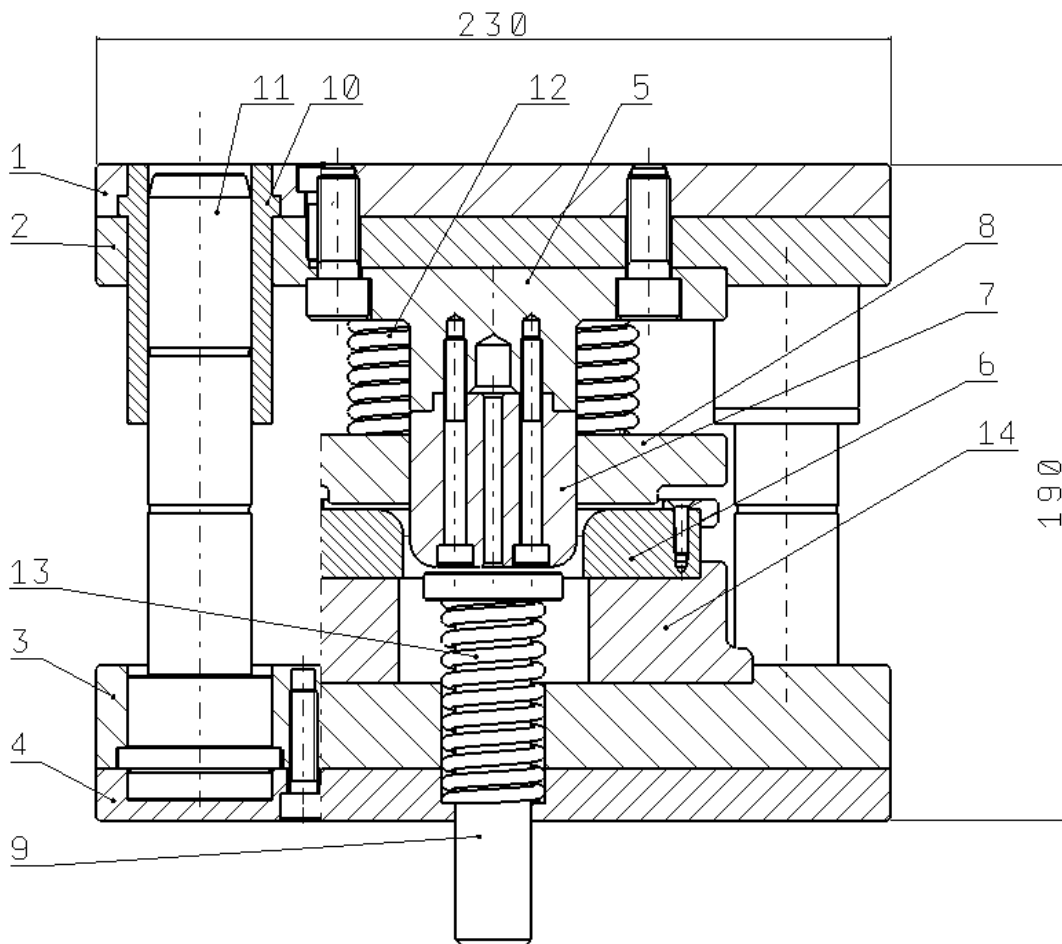
Obr. 30. Izometrický pohled varianta I



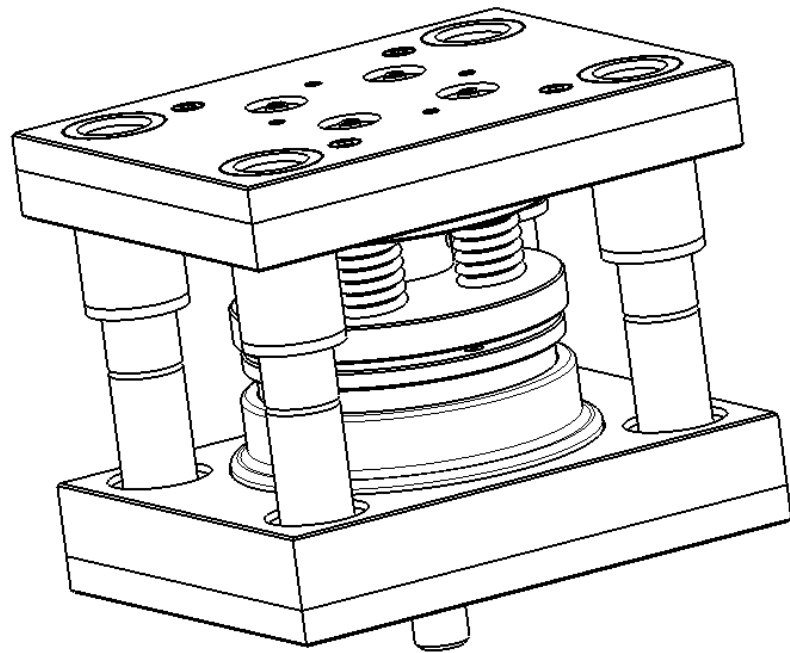
Obr. 31. Pohled do otevřeného nástroje varianta I

9.2 Varianta II

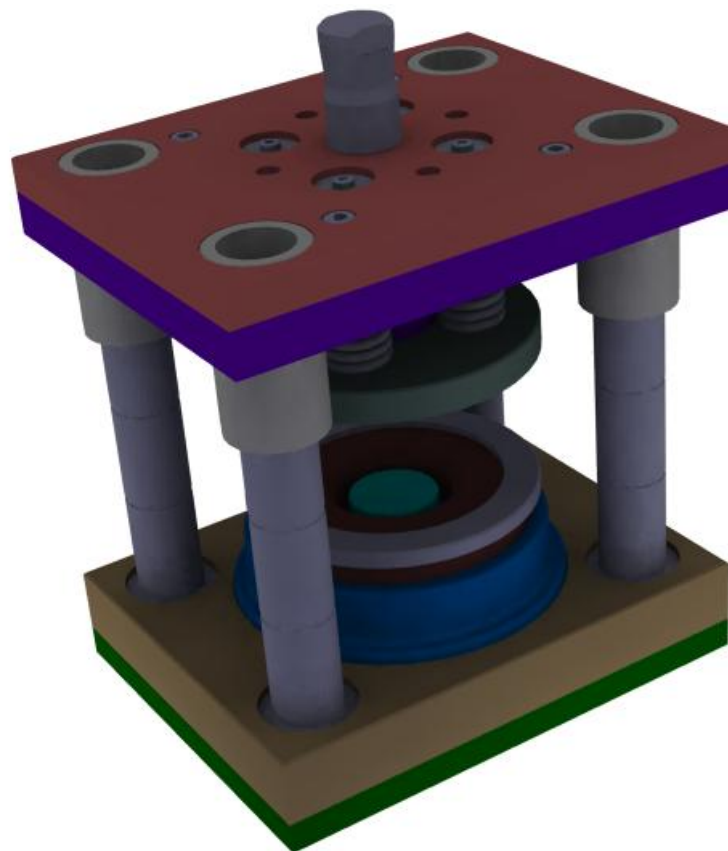
Při této variantě je použito klasické koncepce nástroje, kdy je tažník (8) upnut k horní upínací desce (1) přes opěrnou desku (2) a upínací trn (5). Přidržovač (8) je zde použit odpružený a je závislý na pohybu horní části nástroje. Tažnice (6) je uchycena do dolní upínací desky (4) přes opěrnou desku (3) a upínací podložku (14). Vyhození výrobku je zajištěno vyhazovačem (9), který je ovládán spodním vyhazovacím systémem lisu.



Obr. 32. Schéma II. varianty nástroje



Obr. 33. Izometrický pohled II varianta



Obr. 34. Pohled do otevřeného nástroje varianta II

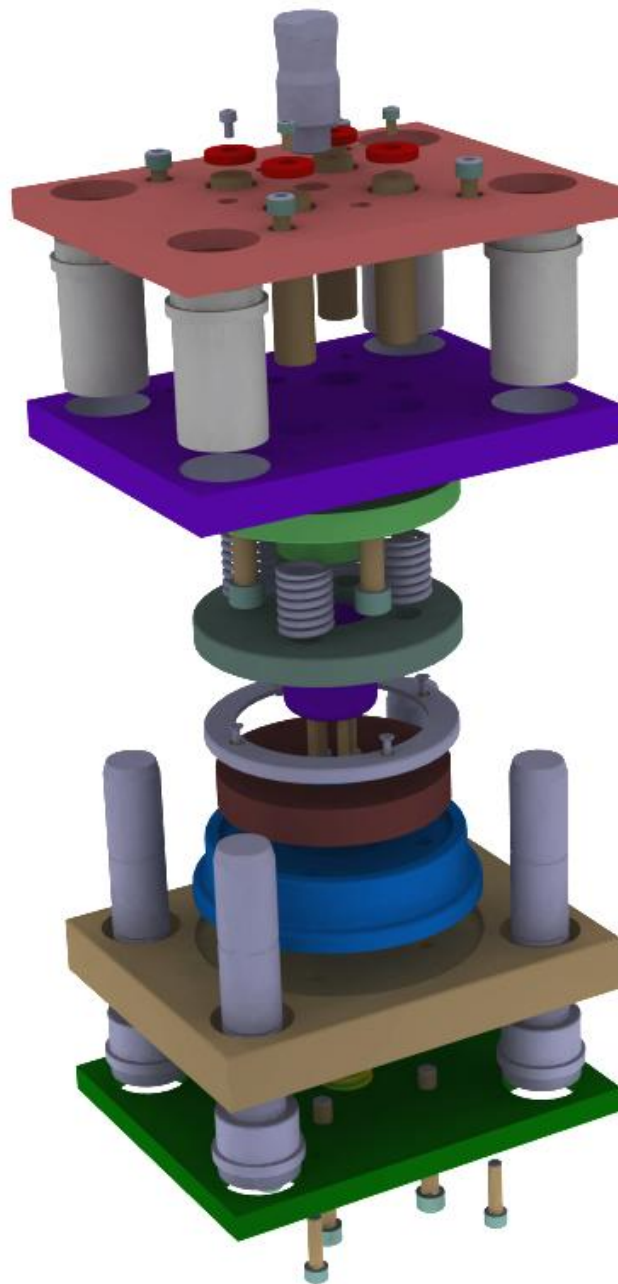
9.3 Volba výsledné varianty

Obě varianty byly zpracovány pro konkrétní zadanou součást. Varianta I vychází z obrácené koncepce nástroje, která je vhodná spíše pro tvrdší materiály a větší tloušťku materiálu z důvodu použití hydraulického ovládání přidržovače.

Pro řešení volím variantu II z důvodu standardního uspořádání nástroje, jednodušší možnosti výměny jednotlivých komponentů a větší tuhosti celého nástroje. Další nespornou výhodou je využití pružinového systému přidržovače, který může být použit i v jiných zařízeních, které nedisponují samostatným přidržovacím pohybem beranu.

10 TVORBA VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

Pro tvorbu výkresové dokumentace bylo použito 3D CAD softwaru CATIA V5 R18. Konstrukce probíhala systémem tvorby modelů jednotlivých dílů podle výpočtové dokumentace v prostředí Part Design. V prostředí Assembly Design byly tyto modely sestaveny a zavazbeny do celkové sestavy nástroje. Následně byl vytvořen výkres řezu sestavy nástroje v prostředí Drafting a posléze i jednotlivé výrobní výkresy konkrétních dílů sestavy.



Obr. 35. Rozstředovací nástroj

10.1 Příložená výkresová dokumentace

Pohledy do pevné a pohyblivé části nástroje	UTB – 01 - 2014
Výkres sestavy	UTB - 02 – 2014
Tažník pro první tah	UTB – 03 – 2014
Tažnice pro první tah	UTB – 04 – 2014
Středící kroužek pro první tah	UTB – 05 – 2014
Podložka tažnice	UTB – 06 – 2014
Podložka tažníku	UTB – 07 – 2014
Přidržovač pro první tah	UTB – 08 – 2014
Vodící čep přidržovače	UTB – 09 – 2014
Vyhazovač	UTB – 10 – 2014
Opěrná deska horní	UTB – 11 – 2014
Kotevní deska horní	UTB – 12 – 2014
Opěrná deska spodní	UTB – 13 – 2014
Kotevní deska spodní	UTB – 14 – 2014
Výkres výtažku	UTB – 15 - 2014
Rozstřel sestavy	UTB – 16 - 2014

ZÁVĚR

V teoretické části byla práce zaměřena na teorii a princip tváření. Základní rozdělení metod tváření podle různých hledisek, ať už z hlediska prostorového, tepelného nebo napjatosti. Větší pozornost byla věnována plošnému a objemovému tváření, kde byly postupně představeny konkrétní metody. Objemové tváření představuje technologie kování, válcování, kalibrování a protlačování. V plošném tváření byla detailněji popsána problematika stříhání, ohýbání, rovnání. Samostatná kapitola byla věnována technologii tažení, jako stěžejní problematice pro další úkony v praktické části.

Praktická část se zabývala konkrétní strojní součástí, pro kterou bylo potřeba navrhnout tažný nástroj. Tento úkol byl řešen postupně výpočtovou částí, kde byly položeny základy pro následný návrh tažného nástroje, která je nedílnou součástí každé konstrukce.

Ve výpočtové části bylo řešeno počet potřebných tahů pro daný výrobek, tvar a rozměry činných částí nástroje. Mimo jiné zde byla řešena problematika střižné síly, která je potřebná k přípravě přístříhu a síly potřebné pro zhotovení daného dílu.

Pro objektivnost návrhu konstrukce byly uvažovány dvě konstrukční varianty, které obě vyhovují výrobě zadané strojní součásti a mohli by být uvažovány jako vhodné řešení. Následně byla zvolena vhodnější varianta nástroje, jehož volba vycházel z kompaktnosti a univerzálnosti celé sestavy a byl vytvořen model tažného nástroje a z něj zhotovena výrobní dokumentace pomocí CAD softwaru CATIA V5 R18.

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

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. *Strojírenská technologie*. 1. vyd. Praha: Scientia, 1983, 216 s. ISBN 80-718-3017-8.
- [2] NOVOTNÝ, Jiljí. *Technologie I: (slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy)*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001, 227 s. ISBN 80-010-2351-6.
- [3] ŽÍDEK, Milan. *Tváření oceli*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1988, 520 s.
- [4] BOTHE, Otakar. *Strojírenská technologie II pro strojírenské učební obory*. 2., nezm. vyd. Praha: SNTL, 1982, 163 s.
- [5] ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010, 126 s. ISBN 978-80-248-2274-7.
- [6] POČTA, Bohumil. *Základy teorie tváření kovů*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1966, 510 s.
- [7] MARCINIAK, Zdzislaw. *Teorie tváření plechů*. Praha: SNTL, 1964, 259 s.
- [8] HÝSEK, Rudolf. *Tvářecí stroje*. 3. vyd. Praha: SNTL, 1980, 551 s.
- [9] VOLEK, František. *Základy konstruování a části strojů I*. 1. vyd, Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009, 167 s. ISBN 978-80-7318-654-8.
- [10] [online].[cit. 2013-12-20]. Dostupné z:
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta.html>
- [11] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4. dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008, xiv, 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A_{t1}	Tažná práce pro 1. tah	[J]
A_{t2}	Tažná práce pro 2. tah	[J]
A_{t3}	Tažná práce pro 3. tah	[J]
c	Koeficient pro stanovení zaoblení	[-]
D	Průměr polotovaru	[mm]
d_1	Průměr výtažku po 1. tahu	[mm]
d_2	Průměr výtažku po 2. tahu	[mm]
d_3	Průměr výtažku po 3. tahu	[mm]
D_p	Skutečný průměr polotovaru	[mm]
d_{p1}	Průměr přidržovače pro 1. tah	[mm]
d_{p2}	Průměr přidržovače pro 2. tah	[mm]
d_{p3}	Průměr přidržovače pro 3. tah	[mm]
d_{tc1}	Průměr tažníku pro 1. tah	[mm]
d_{tc2}	Průměr tažníku pro 2. tah	[mm]
d_{tc3}	Průměr tažníku pro 3. tah	[mm]
d_{tv1}	Průměr tažnice pro 1. tah	[mm]
d_{tv2}	Průměr tažnice pro 2. tah	[mm]
d_{tv3}	Průměr tažnice pro 3. tah	[mm]
F_{p1}	Síla přidržovače pro 1. tah	[N]
F_{p2}	Síla přidržovače pro 2. tah	[N]
F_{p3}	Síla přidržovače pro 3. tah	[N]
F_s	Střižná síla	[N]
F_{t1}	Síla pro tažení 1. tah	[N]
F_{t2}	Síla pro tažení 2. tah	[N]
F_{t3}	Síla pro tažení 3. tah	[N]

F_{tc1}	Celková max. tažná síla pro 1. tah	[N]
F_{tc2}	Celková max. tažná síla pro 2. tah	[N]
F_{tc3}	Celková max. tažná síla pro 3. tah	[N]
h	Hloubka výtažku	[mm]
k	Koeficient pro určení tažné síly	[-]
k_p	Materiálová konstanta	[-]
m	Součinitel tažení	[-]
N	Koeficient opotřebení nástroje	[-]
P_o	Přídavek na ostřížení	[mm]
R_m	Maximální napětí	[MPa]
r_{tc1}	Zaoblení tažnice pro 1. tah	[mm]
r_{tc2}	Zaoblení tažnice pro 2. tah	[mm]
r_{tc3}	Zaoblení tažnice pro 3. tah	[mm]
r_{tv1}	Zaoblení tažníku pro 1. tah	[mm]
r_{tv2}	Zaoblení tažníku pro 2. tah	[mm]
r_{tv3}	Zaoblení tažníku pro 3. tah	[mm]
s	Tloušťka materiálu	[mm]
S	Plocha stříhu	[mm ²]
S_{p1}	Plocha pod přidržovačem pro 1. tah	[mm ²]
S_{p2}	Plocha pod přidržovačem pro 2. tah	[mm ²]
S_{p3}	Plocha pod přidržovačem pro 3. tah	[mm ²]
t_m	Tažná mezera	[mm]
V_V	Objem výtažku	[mm ³]
τ_s	Mez pevnosti	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Schéma pružné a plastické deformace.....	13
Obr. 2. Čárová dislokace.....	13
Obr. 3. Hranová dislokace	14
Obr. 4. Šroubová dislokace.....	14
Obr. 5. Rekrytalizační diagram	15
Obr. 6. Oblast tvářecí teploty.....	18
Obr. 7. a) tvary kovadel, b) pēchování	19
Obr. 8. Zápustkové kování.....	20
Obr. 9. a) podélné válcování, b) příčné, c) kosé (1,2-válce, 3-materiál)	21
Obr. 10. Princip technologie protlačování	22
Obr. 11. Princip stříhání.....	23
Obr. 12. Schéma stříhání rovnoběžnými noži.....	24
Obr. 13. Schéma stříhání šikmými noži.....	24
Obr. 14. Schéma kotoučových nůžek na stříhání pásů	25
Obr. 15. Nože na stříhání profilového materiálu	25
Obr. 16. Rozložení a velikost napětí v materiálu.....	26
Obr. 17. Schéma ohýbacího stroje s otočnou deskou	26
Obr. 18. Schéma strojního ohýbání	27
Obr. 19. Schéma ohýbání pomocí válců	27
Obr. 20 a) rovnání plechů na válcích, b) rovnání mezi rovnými deskami.....	28
Obr. 21. Princip tažení válcového tvaru	29
Obr. 22 Schéma napětí a deformací při tažení s přidržovačem	30
Obr. 23. Schéma tažných operací	31
Obr. 24. Diagram pro zjišťování měrného tlaku přidržovače.....	32
Obr. 25. Schéma tažného nástroje s přidržovačem.....	32
Obr. 26. Schéma tažného nástroje s horním přidržovačem	33
Obr. 27. Schéma výtažku.....	37
Obr. 28. Schéma hydraulického lisu ZH 25.....	44
Obr. 29. Schéma I. varianty nástroje	45
Obr. 30. Izometrický pohled varianta I.....	46
Obr. 31. Pohled do otevřeného nástroje varianta I	46
Obr. 32. Schéma II. varianty nástroje	47

Obr. 33. Izometrický pohled II varianta	48
Obr. 34. Pohled do otevřeného nástroje varianta II	48
Obr. 35. Rozstřel tažného nástroje.....	50

SEZNAM PŘÍLOH

P I	Pohledy do pevné a pohyblivé části nástroje	UTB – 01 - 2014
P II	Výkres sestavy	UTB - 02 – 2014
P III	Tažník pro první tah	UTB – 03 – 2014
P IV	Tažnice pro první tah	UTB – 04 – 2014
P V	Středící kroužek pro první tah	UTB – 05 – 2014
P VI	Podložka tažnice	UTB – 06 – 2014
P VII	Podložka tažníku	UTB – 07 – 2014
P VIII	Přidržovač pro první tah	UTB – 08 – 2014
P IX	Vodící čep přidržovače	UTB – 09 – 2014
P X	Vyhazovač	UTB – 10 – 2014
P XI	Opěrná deska horní	UTB – 11 – 2014
P XII	Kotevní deska horní	UTB – 12 – 2014
P XIII	Opěrná deska spodní	UTB – 13 – 2014
P XIV	Kotevní deska spodní	UTB – 14 – 2014
P XV	Výkres výtažku	UTB – 15 – 2014
P XVI	Rozstřel sestavy	UTB – 16 - 2014
P XVII	Kusovník k výkresu sestavy	
P XVII	CD – elektronická podoba práce	