



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA VÍKA KOTLOVÉHO GRILU

PRODUCTION OF GRILL LID

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Míka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Tomáš Míka**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

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

Výroba víka kotlového grilu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby víka na kotlový gril. Součástka je kruhového tvaru s malou přírubou (lemem), prolisem a otvory pro odvod kouřových zplodin. Bude vyráběna technologií tažení bez ztenčení stěny s využitím konvenčního nástroje. Na tuto problematiku bude také zaměřena aktuální literární studie.

Cíle diplomové práce:

- zhodnotit technologičnost víka kotlového grilu,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj včetně základní výkresové dokumentace,
- provést technicko–ekonomické hodnocení.

Seznam doporučené literatury:

HELLWIG, Waldemar a Erwin SEMLINGER. Spanlose Fertigung: Stanzen. 5th ed. Braunschweig Wiesbaden: Friedr Vieweg Verlagsgesellschaft mbH, 1994. 289 p. ISBN 3-528-44042-2.

FOREJT, Milan. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Nakladatelství VUT v Brně. Brno: Rekrorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.

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

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

MARCINIAK, Zdislaw, John L. DUNCAN a Jack S. HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

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

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

MÍKA Tomáš: Výroba víka kotlového grilu.

Práce je zaměřena na návrh technologie výroby víka kotlového grilu z oceli 11 305 (1.0338) s konstantní tloušťkou stěny 1 mm a sériovostí 10 000 ks/rok. Pro vybraný způsob výroby konvenčním tažením byly provedeny technologické výpočty. Dle zjištěného průměru polotovaru, maximální síly a dalších parametrů byl navržen nástroj, jednooperační tažidlo s přidržovačem a žebrem po obvodu. Tyto funkční části spolu s tažníkem a tažnicí jsou vyrobeny z povrchově zušlechtěné cementační oceli 14 220 (1.7131). Tažný nástroj je upnut do hydraulického lisu CBA 250 se jmenovitou silou 2 500 kN, kde přidržovač je ovládán přidavným zařízením ve spodní části.

Klíčová slova: Ocel 11 305, tváření, hluboké tažení, tažidlo

ABSTRACT

MÍKA Tomáš: Production of grill lid.

The thesis is focused on the design of the production of kettle grill lid from steel 11 305 (1.0338) with a constant wall thickness of 1 mm and a series of 10 000 pcs/year. For the selected method of manufacture by conventional drawing, technological calculations were performed. Depending on the diameter of the blank, maximum force and other parameters, the tool and the machine were designed. The tool is a single-operation drawing tool with a blank holder and a rib around the perimeter. These functional parts, together with the drawing punch and drawing die, are made of surface-treated cementitious steel 14 220 (1.7131). The drawing tool is clamped into a CBA 250 hydraulic press with a nominal force of 2 500 kN, where the blank holder is controlled by an additional device at the bottom of the press.

Keywords: 11 305 steel, forming, deep drawing, drawing tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MÍKA, Tomáš. *Výroba víka kotlového grilu*. Brno, 2017. 57s, 4 výkresy, 7 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 25.5.2017

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce, dále také panu Ing. Janu Řiháčkovi za vstřícnost a ochotu při pomoci s numerickou simulací. Děkuji také mé rodině za psychickou i finanční podporu v průběhu celého studia.

OBSAH

Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	

ÚVOD	9
1 ROZBOR SOUČÁSTI	10
1.1 Variantní řešení výroby	11
2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ	15
2.1 Velikost polotovaru	18
2.2 Počet tažných operací a tažná mezera	20
2.3 Volba přídržovače	22
2.4 Síla a práce	23
2.5 Nástroje	24
2.5.1 Tažník	26
2.5.2 Tažnice	26
2.5.3 Žebra	28
2.5.4 Přídržovač	28
2.5.5 Materiály pro tažné nástroje	29
2.6 Stroje	30
2.7 Tribologie	31
2.8 Technologičnost	33
3 NÁVRH VÝROBY	35
3.1 Velikost přístřihu	35
3.2 Možnosti výroby	39
3.3 Počet tažných operací a tažná mezera	40
3.4 Nástřihový plán	41
3.5 Výpočet síly a práce	43
3.6 Volba stroje	44
3.7 Návrh sestavy	45
3.8 Numerická simulace	50
4 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	53
5 ZÁVĚRY	57

Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam příloh	
Seznam výkresů	

ÚVOD [5], [6]

Při výrobě kovových součástí lze dosáhnout požadovaného tvaru dílce různými technologiemi, např. svařováním, odléváním, třískovým obráběním či tvářením. Nejrozšířenějšími způsoby výroby strojních součástí jsou však poslední dvě zmíněné. Většinou se technologie mezi sebou kombinují pro dosažení přijatelných nákladů a požadované kvality. Při volení způsobu výroby je zapotřebí zvážit zejména budoucí využití, kvalitu zpracování a velikost vyráběné série.

Jedna z používaných metod pro výrobu tvarových dílců je technologie tváření. Tváření lze rozdělit na plošné a objemové. Při plošném způsobu dochází za působení vnějších sil ke změně rovinného polotovaru (pásu plechu) na výsledný tvar. Do plošného tváření patří technologie stříhání, ohýbání, lemování, rovnání a tažení.

Příklady součástek zhotovených metodou hlubokého tažení jsou na obrázku 1, kde se z rovinného přístřihu vytvoří pomocí tažného nástroje poměrně snadno výsledný prostorový tvar součásti.



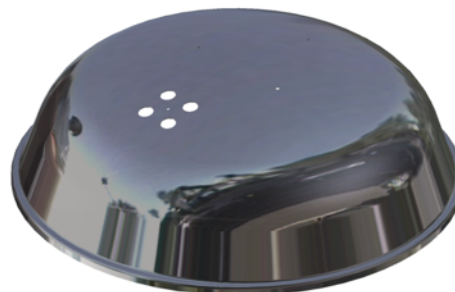
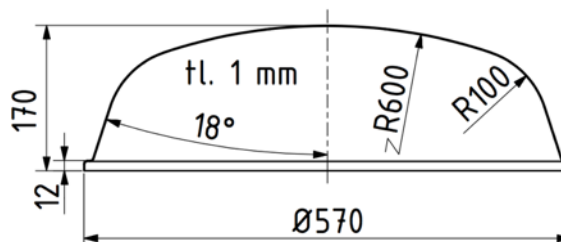
Obr. 1 Příklady tažených součástí [7], [16], [22], [23]

1 ROZBOR SOUČÁSTI [10], [24]

Vyráběným dílem je víko kotlového grilu (obr. 3), jehož protilehlým kusem je kotel obsahující rošt pro dřevěné uhlí a druhý větší rošt nad ním. Sestavený gril je zobrazen na obr. 2. Poklop je opatřen celkem osmi otvory, z nichž čtyři mají průměr 20 mm, dva 5 mm a poslední dva 4 mm. Čtyři větší, rozmístěné v kruhovém poli po 90° o rozteči 60 mm jsou určeny k cirkulaci vzduchu, odvodu spalin a páry, viz obr. 3. K regulaci odvodu plynů z prostoru grilu je využito kruhové, otočné klapky z plechu s plastovým úchytem. Tato klapka je přinýtována k poklopu skrz malý otvor ve středu roztečné kružnice čtyř průduchů. Další dva otvory se nachází v horní části poklopu k uchycení plastového madla pro snadnější manipulaci s víkem a poslední otvor na protější straně průduchů pro montáž analogového, ciferníkového teploměru zobrazující teplotu uvnitř prostoru grilu. Po celém obvodu víka je vytvořen lem k vystředění a stabilizaci, jehož vnější průměr je 570 mm s tolerancí kruhovitosti 0,4 a dosedací průměr na lem kotle 558,9 mm. Tato dosedací plocha má toleranci rovinnosti 0,2 mm. Výška tělesa bez madla je 170 mm a tloušťka plechu 1 mm, která je v celém řezu konstantní. Základní rozměry jsou uvedeny na obrázku 3.



Obr. 2 Kotlový gril [10]



Obr. 3 Model víka s rozměry

Pro splnění požadavků na korozní odolnost ve venkovním prostředí, sérii 10 000 ks/rok a přijatelné ceně výsledného výrobku nepřipadá v úvahu požití materiálu z korozivzdorné oceli vyšší třídy. Zvolený materiál by měl také odolávat pracovním teplotám do 300 °C. Pro zajištění těchto podmínek je proto v případě zadaného dílu zvolena povrchová úprava smaltem, který vzdoruje vysokým teplotám okolo 600 °C, zesiluje stěnu, má vysokou chemickou odolnost proti kyselinám, vysokou tvrdost a umožňuje použití finančně méně náročných ocelí. Při zvolené povrchové úpravě musí ocelový plech vyhovovat požadavkům nanášení, z nichž je nejzásadnější teplotní stálost během vytvrzování smaltu za vysoké teploty. Těmto požadavkům vyhovuje nejlépe ocel 11 305 (EN 1.0338, nebo DC04), která je přímo vhodná pro zvolenou povrchovou úpravu. Chemické složení a mechanické vlastnosti tohoto materiálu jsou uvedeny v tab. 1 a tab. 2.

Tab. 1 Chemické složení [24]

C [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
max 0,08	max 0,40	max 0,030	max 0,030

Tab. 2 Mechanické vlastnosti [24]

Mez pevnosti-Rm [MPa]	Mez kluzu-Re [MPa]	Tažnost-A [%]	Tvrdość [HV]
270 - 350	210 - 220	37 - 38	95

1.1 Variantní řešení výroby [4], [6], [11], [14], [17]

Výrobu víka grilu lze rozčlenit do šesti následujících kroků:

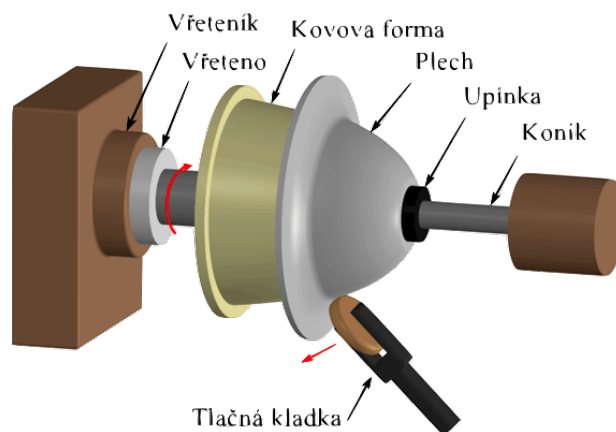
- Získání rondelu z tabule plechu, či svitku.
- Tažení prostorového tvaru z přístřihu.
- Ostřížení součásti.
- Olemování kraje výtažku.
- Vytvoření otvorů pro madlo a průduchy.
- Povrchová úprava smaltováním.

Získání kruhového přístřihu je možné realizovat metodami dělení stříháním, vysekáváním, vodním či plasmovým paprskem, nebo laserem. Zmíněné metody mají vysoké pořizovací náklady na stroje, případně nástroje a jsou výhodné pro velkosériové výroby. Pro účely ventilace, upnutí madla a vytvoření přístřihu vystačí stříhání, či vysekávání.

Jako nejjednodušší postup se zdá nejprve vyhotovit otvory do plátu plechu a poté táhnout prostorový parabolický tvar víka. Při tomto typu tažení však může docházet ke ztrátě stability, a proto se musí přístřih více vypínat například pomocí brzdných žeber a poté by nejspíše došlo k deformaci (oválnosti) otvorů. Nebyla by také zaručena požadovaná poloha. Logičtější postup s přihlédnutím na výslednou kvalitu výrobku tedy bude po získání polotovaru táhnout tvar, dále ostřížení a olemování, vyhotovení otvorů a jako poslední krok úprava povrchu.

Vzhledem ke konstantní tloušťce součásti v celém průřezu nepřipadají v úvahu způsoby výroby se ztenčením stěny. Ve výrobních variantách jsou zahrnuty možné metody a způsoby docílení požadovaného tvaru, a to bez zeslabení stěn:

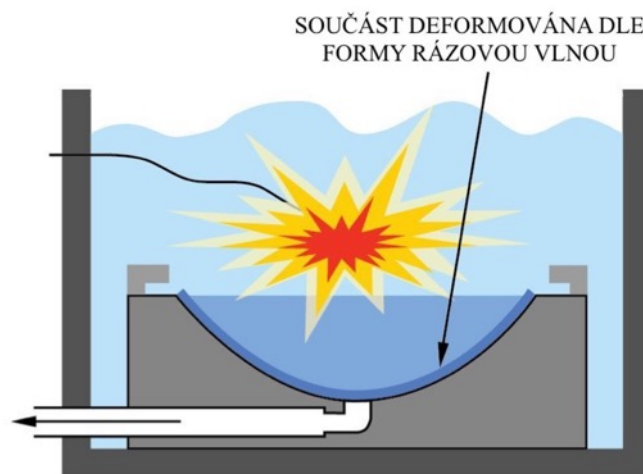
- Kovotlačení - je rotační způsob výroby vydutých tvarů dílců, kde je stejná tloušťka stěny. Na obr. 4 je znázorněn plech, který je aretován upínkou na čele a následně natlačován buď ručním vedením (paličky či kladky) nebo pomocí stroje (kladkami) ke kovové rotující formě. Jako stroj může být použit například běžný soustruh. Forma je totožná s výsledným tvarem součásti. Lze tvářet plech do tloušťky 1,5 mm. Tato metoda je vhodná pro malosériovou výrobu, zejména kvůli nízké produktivitě. Může být také použita jako dokončovací operace v kombinaci s jinou metodou výroby. Pro větší série by bylo zapotřebí drahého automatizovaného kovotlačického stroje, jehož nástroj je veden CNC řídicím systémem.



Obr. 4 Schéma kovotlačení [21]

- Tváření vysokou rychlostí deformace - je vhodné pro vícerozměrné kuželové nebo sférické tvary, dále také rotační symetrické součásti s prolisy, zúžením atd. Vysoká rychlost přetvoření je realizována buďto metodou tváření výbuchem (obr. 5), elektrohydraulické impulsní tváření, nebo magneticko-impulsním tváření. U explozivního tváření se do kapalného média umístí výbušnina do dané výšky nad polotovár a tlaková vlna vyvolaná detonací přitlačí dílec na formu. Musí být zajištěn odvod objemu plynu pod dílcem.

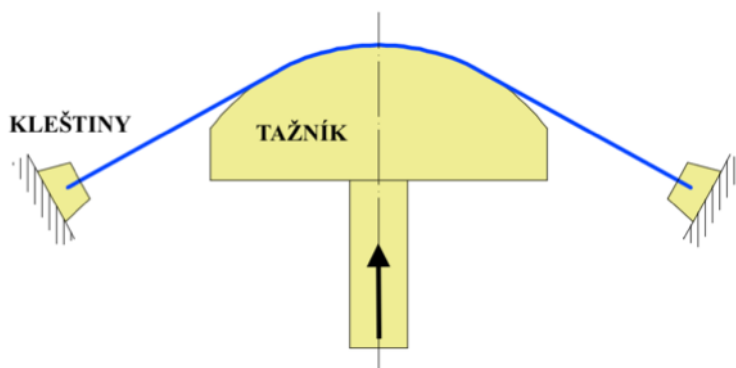
Princip metody elektrohydraulického impulsního tváření je založen na vzniku elektrického výboje o vysokém napětí pod hladinou kapalného média. Výboj vyvolá rázovou vlnu podobně jako výbuch. Hlavním zařízením magnetickoimpulsního tváření je induktor (cívka), kterým protéká proud vyvolávající v kovovém materiálu vířivé proudy. Indukce takových proudů způsobí generování magnetického pole, díky němuž je díl přimáknut na formu. U takto tvořených dílců vzniká přebytek energie, zařízení jsou drahá a jsou určena spíše pro kusovou až malosériovou výrobu.



Obr. 5 Schéma explozivního tváření [8]

- Vypínání dílců z plechu - je další z metod, jak docílit požadovaného tvaru. Metoda je hojně využívána v automobilovém, leteckém i kosmickém průmyslu. Plech je tvářen přes tažník s přídatným tahovým napětím k docílení lepší trvale plastické deformace, po které nebude již docházet k odpružení, nebo jiné změně konečného tvaru, viz obr. 6. Přístřih je během procesu upnut pevně do podélných lišt nebo u složitějších dílů do segmentových kleštín, které vyvolají v materiálu tahové napětí.

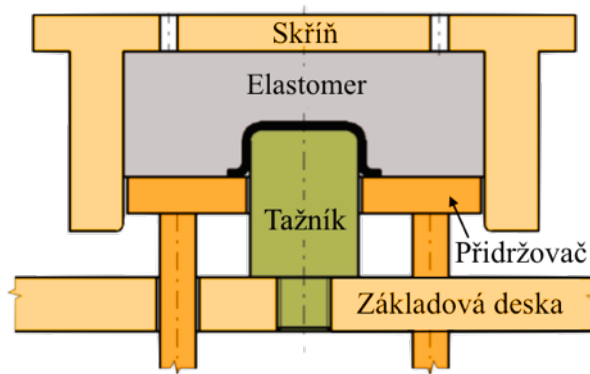
Používány jsou tři procesní postupy. Polotovár je nejprve volně ohnut přes nástroj a po upnutí do kleštín se zahájí



Obr. 6 Schéma vypínání plechu [20]

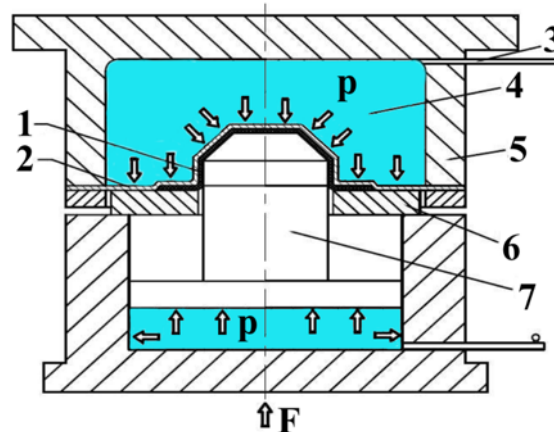
vertikální zdvih tažníku. Dalším způsobem je upnutí mezi čelisti, které tahovou silou zatíží plech s cílem jistého prodloužení a pak teprve dojde ke zdvihu tažníku na který je nabalován materiál. Posledním postupem je podobný předešlému, pouze se změnou, že nástroj je nepohyblivý a nabalování je realizováno pohybem kleštín. Většinou je právě metoda vypínání využívána pro obtížněji tvařitelné oceli, např. žárupevných materiálů, Ti slitin a speciálních nerezových ocelí.

- Marform - spočívá ve formování plechu nepevným nástrojem (obr. 7) uloženým v kontejneru. Polotovár je umístěn mezi přidržovač a elastomer, přičemž po dosednutí přidržovače dojde k aretaci a může započít samotná operace. Silovým působením tažníku do prostoru kontejneru vzniká výsledný prostorový tvar součásti pomocí nabalování přístřihu na nástroj. Vrchní pohyblivý díl (tažnice) je tvořen ocelovou skříní, v níž je uloženo pružné medium. Elastomer je tvořen jedním monoblokem. Tlak v pružném médiu dosahuje hodnot 40 až 50 MPa. Spodní nepohyblivou část nástroje tvoří tažník upnutý k základové desce. Po dokončení se zvedne skříň s elastomerem, tím se uvolní tlak působící na přidržovač a součást. Výtažek je následně setřen hydraulicky ovládaným přidržovačem. Tažený dílec lze zarovnat na požadovanou délku vytvořením zářezu na tažníku. Materiál je přes hranu zářezu následně ostřížen, což je značná výhoda z hlediska cenové úspory za ostřihovací nástroj. Metoda Marform má z důvodu překonávání sil na přetvoření nejen samotné součásti, ale i elastického média větší požadavky na sílu lisu. Je vhodnější pro menší série.



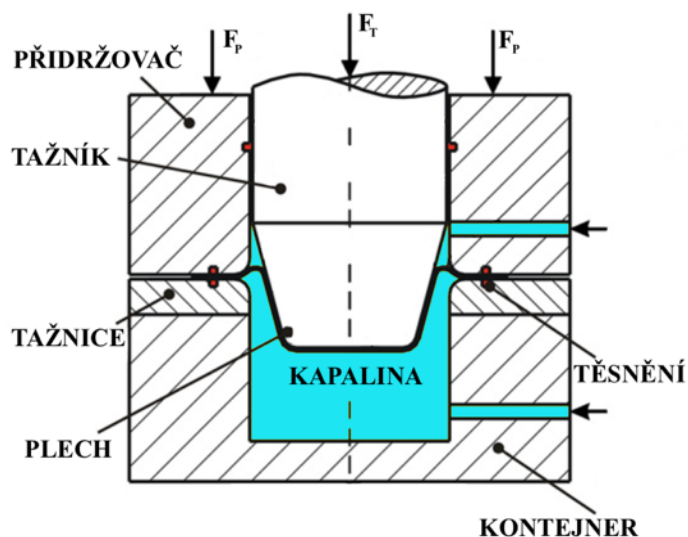
Obr. 7 Schéma Marform [25]

- Hydroform - je metoda založená na rovnoměrném šíření tlaku v kapalinách. Nejprve je polotovár (1) přitlačen pomocí přidržovače (6) k membráně (2). Tažník (7) finálního tvaru vtlačuje přes pryžovou membránu (2) plechový přístřih (1) do prostoru tažnice (5), která je tvořena kapalným médiem (4). Zpočátku se vytváří zaoblený tvar okolo tažníku, dále se při zvyšujícím se tlaku rovnoměrně přitlačuje přes elastomerovou membránu materiál na nástroj. Tím je zabráněno tvorbě vln. U této varianty formování je nutné přesně regulovat tlak kapaliny v tažnici odpouštěcím ventilem (3), který je i ve spodní části, kde reguluje sílu tažníku. Nástroj je schematicky znázorněn na obr. 8. Trhliny se při přetížení objevují na místech, která nejsou přidržována, většinou v zaoblení mezi pláštěm a přírubou. Výhodou je tažení hlubokých a složitých tvarů, možnost regulace tlaku, dále působení stejného tlaku po celé ploše tažníku, možnost konstrukce tažníku z méně kvalitních materiálů, nepatrné tření a ztenčení. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena, složitost těsnění speciálními objímkami a řízení celého procesu.



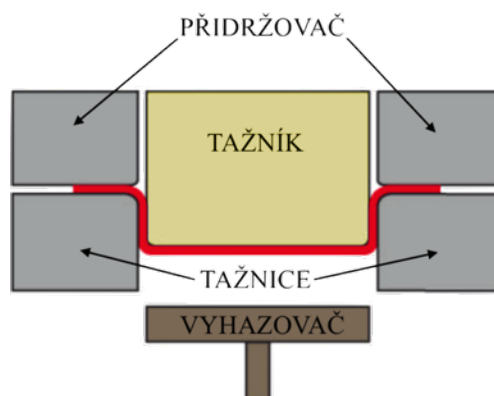
Obr. 8 Schéma Hydroform [12]

- Hydromechanické tažení - označuje výrobní proces, při kterém je plech pevně, avšak pohyblivě upnut mezi přidržovač a tažnici. Materiál se nejprve napne pomocí tlakového kapalného média a následně je nepružným tažníkem vtlačován do oblasti tažnice. Tím zapříčiní nárůst tlaku v celé komoře, který přitlačuje v každém místě plech na tažník. To má velmi příznivý vliv na stabilitu při procesu tažení. Tlak je řízen pomocí ventilu. Tlaková kapalina může být za účelem regulace procesu u složitějších tvarů přiváděna i nad materiál, viz obr. 9. Tento způsob má mnoho výhod, jako je lepší tvářitelnost, schopnost tvořit složité součásti, vyšší rozměrová přesnost a kvalita povrchu, snížení nákladů na nástroje, snížení opotřebení matrice ve srovnání s konvenční procesy tváření plechů. Zařízení a regulace jsou však velmi cenově náročné. Tato metoda bývá často využívána pro tažení sférických, kuželových a obecně složitějších součástí.



Obr. 9 Hydromechanické tažení [12]

- Hluboké tažení - tažník nabaluje a vtahuje rovinný polotovar do otvoru tažnice. Přetvořením přístřihu vzniká většinou ve více operacích duté, prostorové těleso, ohýbané do nerozvinutelného tvaru. Jde o velmi rozšířenou metodu, s výhodou umožňující pokrýt odlišné požadavky široké škály tvarů a velikostí série. Tažník i tažnice jsou z pevného kovového materiálu. Pořizovací cena nástroje je přitom přijatelná a trvanlivost dostačující. Metoda je stručně vyobrazena na schématickém obr. 10.



Obr. 10 Schéma hlubokého tažení [15]

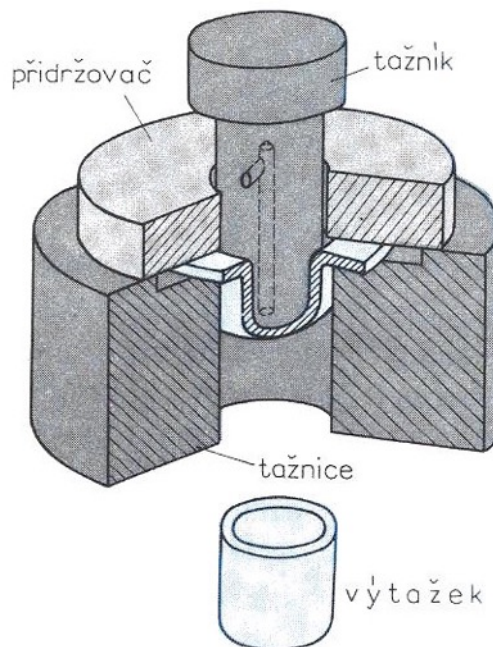
Z výše uvedených způsobů při uvážení vyráběné série 10 000 ks/rok a finanční náročnosti strojních zařízení bude pro zadanou součástku nejvhodnější konvenční hluboké tažení, na které bude zaměřeno řešení výroby, které bude vysvětleno v teoretické a praktické části.

Vzhledem ke sférickému tvaru víka lze vytvořit součást přímo tažením pomocí kulového tvaru tažníku, kde vzniká ale problém s tažnou mezerou, která se mění z největších hodnot až do úplného vytěsnění. Tím vzniká problém nazývaný pojmem ztráta stability. Dalším možným způsobem, kterým může být tento případ řešen je tažení s odstupňováním průměru a následnou kalibrací na výsledný tvar. Pak je princip podobný jako při tažení válcového výtažku na více tahů, avšak pokaždé s přírubou.

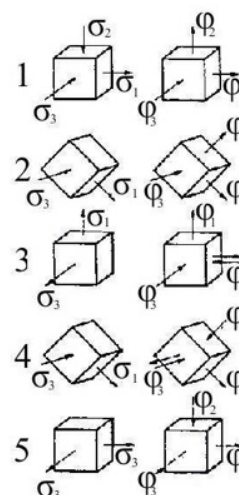
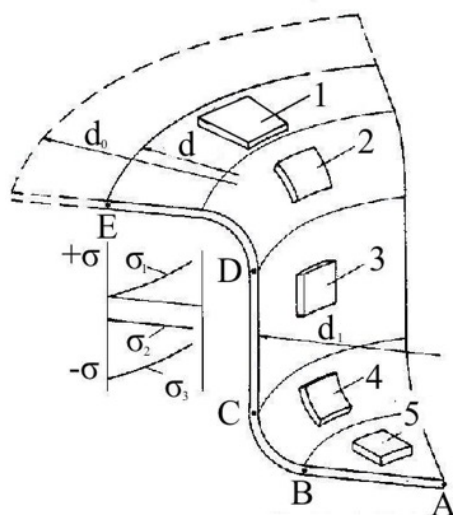
2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ [4], [9], [14], [19], [25]

Tažením se v oboru strojírenské technologie rozumí trvalé přetvoření rovinného polotovaru na duté nerozvinutelné těleso za pomoci nástroje – tažidla, které je složeno z hlavních částí tažníku, tažnice a přidržovače (popřípadě vyhazovače), viz obr. 11. Výchozím polotovarem pro tuto operaci je přístřih, jehož tvar a rozměry se liší dle výsledného výtažku. Tažení se používá od nejmenších součástí v řádů centimetrů až po velké díly jako jsou karosářské plechy pro automobilový průmysl, a tedy od jednoduchých kalíšků až po složitě tvarované kusy. Zejména složitost výtažku pak rozhoduje na kolik operací se zvládne díl bez defektu vyrobit.

Během tažení vzniká v každém místě materiálu dílce tah, tlak nebo kombinace obou předchozích současně. Schéma je zobrazeno na obrázku 12. V bodě A se projevuje jen malé natahování, přičemž blíže k části B se zvětšuje dvojosá napjatost. V prostoru mezi B a C působí dvojosá, nebo trojosá napjatost. Válcová stěna výtažku od C až D je natahována pouze v jednom směru. Na vrchu válcové části v bodě tažné hrany D dochází k ohybu tangenciálním a radiálním tlakem až po přírubu. Na materiál příruby pod přidržovačem pak působí prostorová napjatost, a to v radiálním směru tahová, v tangenciálním a axiálním směru tlaková. Nejvíce riziková oblast na utržení dna je mezi B a C, kde je silné tahové napětí a dochází zde k zeslabování stěny vlivem odlišných mechanických vlastností materiálu v různých směrech, což může mít za následek vznik trhlin v tomto prostoru až do úplného utržení dna.

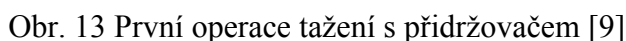


Obr. 11 Schéma konvenčního tažení [14]



Obr. 12 Průběh napětí při tažení [14]

V oblasti příruby se vlivem postupného zmenšování průměru hromadí materiál sbíhající se k tažné hraně tažnice, viz obr. 13. Takové hromadění má za následek přechování materiálu v tečném směru a stojí za iniciací vln v přírubě (ztráta stability). Vznik vln se redukuje pomocí přidržovače, který přitlačuje polotovar k tažnici.


$$\varphi_1 = \ln \frac{D}{2\rho} = \ln \frac{R}{\rho}; \quad \varphi_2 = \ln \frac{s_0}{s}; \quad \varphi_3 = -\ln \frac{D_0}{D} \quad (2.1)$$

$$\varphi_{1max} = \ln \frac{D_0}{d_1}; \quad \varphi_{3max} = -\ln \frac{D_0}{d_1} \quad (2.2)$$

Z podmínek rovnováhy a plasticity je možné zkoumat průběh napětí při procesu tažení, pomocí něhož je možné určit výslednou tažnou sílu, která musí být vždy menší než síla na utržení dna počítána z pevnosti materiálu. Do silové rovnováhy se dosazují tečná a radiální napětí i s jejich přírůstky zobrazené na obrázku 13. Výsledná diferenciální rovnice po zanedbání infinitezimálních hodnot vzniklých součiny diferenciálů a zjednodušujících předpokladech vypadá takto:

$$\frac{d\sigma_1}{d\rho} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\rho} = 0 \quad (2.3)$$

16

Rovnice (2.3) nezahrnuje přítomnost přidržovače a je určena pro první tah z plochého přístřihu. Po zavedení okrajových podmínek $\rho = \frac{D}{2}$, kde $\sigma_1 = 0$ a vyřešení rovnice se získá vyjádření hlavních napětí - tečné a radiální složky.

$$\sigma_1 = \beta \cdot \sigma_{ps} \cdot \ln\left(\frac{R}{\rho}\right) [MPa] \quad (2.4)$$

kde: β ... Lodeho součinitel (pro tažení $\beta=1,1$)
 σ_{ps} ... střední hodnota přirozeného přetvárného odporu

$$\sigma_3 = \beta \cdot \sigma_{ps} \cdot \left(\ln \frac{R}{\rho} - 1\right) [MPa] \quad (2.5)$$

Pomocí radiálního napětí (σ_1), třecího napětí od přidržovače (σ_f) a vlivu ohybového momentu (σ_o) kolem tažných hran navýšených o součinitel tření opásáním lze určit deformační odpor takto:

$$\sigma_d = (\sigma_1 + \sigma_f + 2\sigma_o) \cdot e^{f\alpha} [MPa] \quad (2.6)$$

kde: σ_d ... deformační odpor
 σ_f ... třecí napětí od přidržovače
 σ_o ... ohybové napětí přes tažnou hranu
 f ... součinitel tření
 α ... úhel opásání

Deformační odpor také někteří autoři např. Šofman uvádějí s vyjmutým ohybovým napětím ze závorky:

$$\sigma_d = (\sigma_1 + \sigma_f) \cdot e^{f\alpha} + 2\sigma_o [MPa] \quad (2.7)$$

Následující třetí složka rovnice (2.6) vychází z předpokladu rovnoměrného tlaku přidržovače na přírubu, kde třecí síla:

$$F_f = f \cdot F_p [N] \quad (2.8)$$

kde: F_p ... síla přidržovače

$$\sigma_f = \frac{F_f}{\pi \cdot R \cdot s_0} [MPa] \quad (2.9)$$

Ohybové napětí je vyvozeno z rovnosti práce vnější síly a práce momentu při pootočení o úhel $d\alpha$.

$$\sigma_o = \frac{M_o}{s_0 \cdot R_\rho} = \frac{\frac{\sigma_p \cdot s_0^2}{4}}{s_0 \cdot R_\rho} = \frac{\sigma_p \cdot s_0}{4 \cdot R_\rho} = \frac{\sigma_p \cdot s_0}{4 \cdot \left(r_{tc} + \frac{s_0}{2}\right)} = \frac{\sigma_p \cdot s_0}{2 \cdot (2r_{tc} + s_0)} [MPa] \quad (2.10)$$

kde: M_o ... ohybový moment
 R_ρ ... střední poloměr
 r_{tc} ... poloměr zaoblení tažné hrany tažnice
 σ_p ... přirozený přetvárný odpor

Pro ověření realizovatelnosti tažení je zapotřebí kontrolovat, zda bude maximální tažná síla v každém kroku menší než síla k utržení dna. Ve výpočtu síly je zahrnut geometrický model každého tahu, geometrie tažnice, síla přidržovače v prvním tahu a materiálový model polotovaru.

2.1 Velikost polotovaru [2], [4], [5], [6], [25]

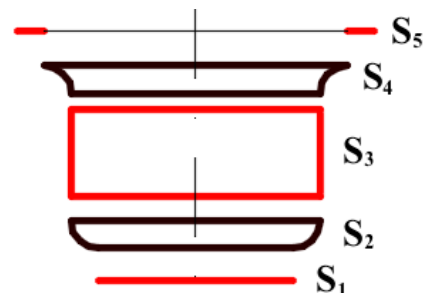
Na správné volbě závisí kvalita a ekonomika procesu tažení. Jestliže je přístřih příliš malý, vzniká riziko vytvoření vadných dílů, které, zpravidla u nepravidelných tvarů, kde v určitých místech dochází k většímu vtahování materiálu, způsobuje nižší výšku stěny. Zda-li je pak polotovar naopak příliš velký, pak vzniká při ostřížení větší množství odpadu, než je nutné. Při optimální velikosti se vychází ze zachování objemu, rovnosti ploch a hmotnosti mezi výtažkem a polotovarem. Vhodnou velikost lze zjistit pomocí výpočtů, graficky, nebo diagramů. Vychází se ze stálosti objemu výtažku a konstantní tloušťky. Metody jsou následující:

- Metoda rovnosti ploch – u méně tvarově složitých dílců se dá tento způsob snadno aplikovat k rychlému zjištění výchozího polotovaru. U tenkých plechů je možné zanedbat tloušťku stěny a počítat pouze s plochami, jak uvádí obr. 14.

$$S_P = S_V \quad (2.11)$$

$$S_V = \sum_{i=1}^n S_i \text{ [mm}^2\text{]} \quad (2.12)$$

kde: S_P ... plocha přístřihu
 S_V ... plocha výtažku
 S_i ... elementární plochy výtažku



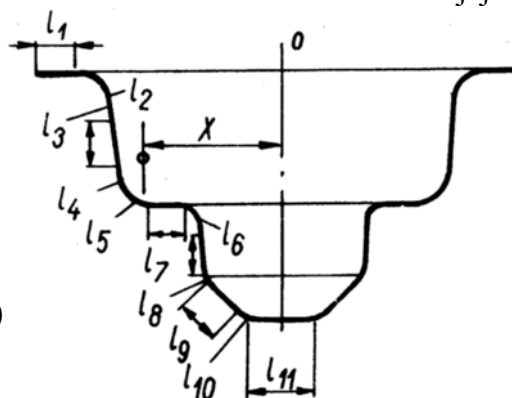
Obr. 14 Schéma rozložení ploch [1]

- Guldinovo pravidlo - při určení přístřihu složitějších rotačních součástí se doporučuje použít pravidla, které uvádí, že povrch rotačního tělesa libovolného tvaru (obr. 15) tvořený rotací kolem osy je roven součinu délek tvořících křivek a vzdálenosti jejich těžiště od osy.

$$S = 2 \cdot \pi \cdot x \cdot L \text{ [mm}^2\text{]} \quad (2.13)$$

kde: S ... povrch řešené součásti
 x ... vzdálenost těžiště tvořící křivky od osy
 L ... délka tvořící křivku

$$D_0 = \sqrt{8 \cdot Lx} \text{ [mm]} \quad (2.14)$$



Obr. 15 Rozdělení na úseky [2]

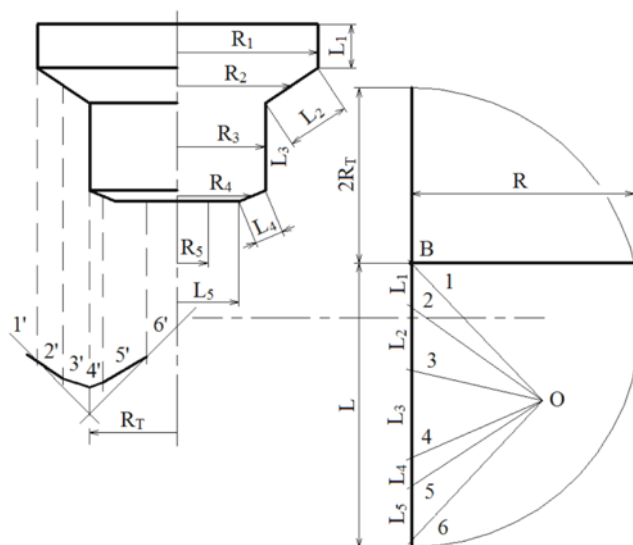
$$Lx = l_1 \cdot x_1 + l_2 \cdot x_2 + l_3 \cdot x_3 + \dots + l_n \cdot x_n \text{ [mm}^2\text{]} \quad (2.15)$$

kde: l_{1-n} ... dílčí délky
 x_{1-n} ... dílčí vzdálenosti těžišť

Osový řez výtažkem se překreslí, rozdělí na malé úseky tvořené přímkami či oblouky a určí se jejich délky a těžiště. Z takto určených hodnot a vzorců (2.14) (2.15) je pak vypočten průměr polotovaru.

- Grafická metoda – řešení pomocí geometrie je zobrazeno na obr. 16, jehož postup je následující:

- překreslit průřez dílcem
- rozdělit obrazec na úseky
- určit těžiště úseků
- vyznačit svislice z těžišť
- vynést délky úseků pod sebe (obrazec vpravo)
- zvolit libovolně pól 'O'
- zakreslit paprsky z pólu
- přenést rovnoběžně paprsky do svislic
- určit z krajních přímek 'R_T'
- vynést 2R_T nad L
- ze středu přímky L+2R_T vynést kružnici
- poloměr polotovaru R je určen poloměrem této kružnice



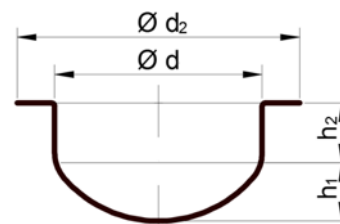
Obr. 16 Grafické určení výchozího přístřihu [4]

- Zjednodušený vzorec – odborné zdroje uvádí vzorec pro rychlý a přibližný výpočet polotovaru:

- Pro kulové tvary s přírubou (obr. 17):

$$D_0 = \sqrt{d_2^2 + 4 \cdot (h_1^2 + d \cdot h_2)} \text{ [mm]} \quad (2.16)$$

- kde: d_2 ... průměr příruby finálního výtažku
 d ... vnitřní průměr výtažku
 h_1 ... výška kulového vrchlíku
 h_2 ... výška válcové části



Obr. 17 Kulový polotovar [25]

- Válcové nádoby bez příruby:

$$D_0 = \sqrt{d^2 + 4 \cdot d \cdot h} \text{ [mm]} \quad (2.17)$$

- kde: h ... minimální výška výtažku

- Válcové nádoby s přírubou:

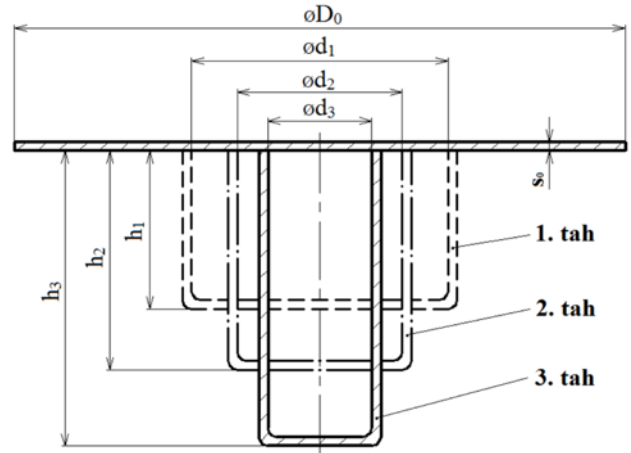
$$D_0 = \sqrt{d_2^2 + 4 \cdot d \cdot h - 3,44 \cdot d \cdot r} \text{ [mm]} \quad (2.18)$$

- kde: r ... poloměr zaoblení u příruby a u dna

- Nomogram – používá se k volbě kruhového polotovaru pro válcová tělesa s rovným dnem. Metoda je jednoduchá z pohledu množství potřebných parametrů, kde stačí znát výšku a průměr součástí. Ze stupnice je pak možné rovnou odečíst výchozí průměr.
- Software - k určení optimální velikosti přístřihu lze také využít programy, kterými je možné výslednou součást vymodelovat, z fyzikálních vlastností pak zjistit přesný objem a spočítat tak jednoduše průměr rondelu.

2.2 Počet tažných operací a tažná mezera [2], [4], [5], [6], [9], [25]

Z vypočteného přístřihu lze jedním tahem vytvářet výtažek jen o určitém průměru a výšce. Pro trvalou deformaci materiálu je nutné překročit mez kluzu, ale nesmí se přesáhnout mez pevnosti v tahu, kdy je porušena soudržnost a dojde nejčastěji k utržení dna. Pokud není dosaženo výsledného průměru po první operaci, redukuje se průměr ve druhém, popřípadě dalším tahu, viz obr. 18. Materiál při tváření za studena má snahu zpevňovat. Mez kluzu se posouvá k mezi pevnosti, ale ta už dále vzrůstá jen nepatrně. Pro obnovení tvařitelnosti náročnějších výtažků se zařazuje po 3. operaci rekrytalizační žíhání, které odstraní vzniklé zpevnění. Velikost redukce průměru udává součinitel tažení, jehož vhodnou volbou se postupně přibližuje tvaru výsledného dílce.



Obr. 18 Víceoperační tažení [6]

$$\varepsilon_i = \frac{d_{i-1} - d_i}{d_{i-1}} = 1 - m_i \quad (2.19)$$

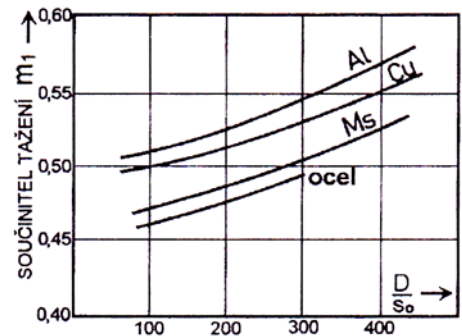
kde: ε_i ... poměrné přetvoření pro i-tou operaci
 d_i ... průměr taženého dílce v i-té operaci
 m_i ... součinitel tažení v i-té operaci

$$m_c = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot \dots \cdot m_i \quad (2.20)$$

kde: m_c ... celkový součinitel tažení
 $m_{1,2,3,i}$... součinitel tažení v 1., 2., 3. až i-té operaci

$$m_i = \frac{d_i}{d_{i-1}} \quad (2.21)$$

Součinitel tažení (2.21) je definován poměrným zmenšením průměrů. Hodnota koeficientu nabývá hodnot $0 < m < 1$. Většímu stupni deformace odpovídá menší součinitel tažení a naopak. Velikosti koeficientů závisí na tvářeném materiálu, poměrné tloušťce $\frac{s}{D}$ a zaoblení tažných hran. Praktická volba hodnoty je možná z diagramu mezních součinitelů pro daný materiál (obr. 19), nebo postupnou optimalizací pomocí ověřování tažných a kritických sil.



Obr. 19 Mezní hodnoty souč. tažení [9]

Přibližný počet operací se určí vztahem:

$$n = 1 + \frac{\ln(d_n) - \ln(m_1 \cdot D_0)}{\ln(m_s)} \quad (2.22)$$

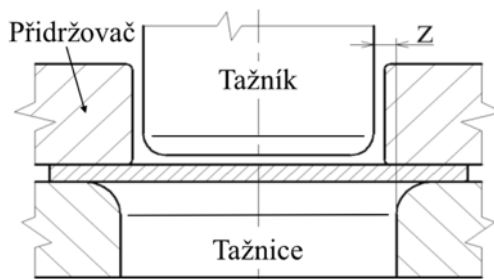
kde: n ... počet tažných operací
 d_n ... výsledný průměr
 m_1 ... souč. tažení v první operaci
 m_s ... střední souč. tažení pro 2. a další tahy $m_s \approx (0,75 \div 0,85)$

Při optimalizaci součinitelů je možné dosáhnout méně operací než při výpočtu pomocí středních hodnot, a to znamená velkou úsporu financí při výrobě součásti.

Další méně používanou veličinou posuzující redukci průměru je koeficient tažení 'k' definován jako převrácená hodnota součinitele tažení 'm':

$$k = \frac{1}{m} \quad (2.23)$$

Kromě součinitele tažení je velmi důležitá volba tažné mezery, která může při špatné volbě způsobit utržení dna. To může nastat při zvolení příliš malé hodnoty. Větší mezera naopak způsobuje zvlnění plechu a tím zhoršenou jakost výtažku. Volba závisí zejména na tloušťce plechu, dále je cílem zmenšit tření při opásání tažné hrany tažnice. Optimální tažnou mezerou se zmenší tažná síla a zvýší trvanlivost nástroje. Na obrázku 20 je zakótována tažná mezera 'z', která je poloviční hodnotou tažné vůle. Při tažení bez zeslabení stěny se volí v prvních tazích vždy mezera větší, než je tloušťka plechu. V dalších operacích se hodnota postupně zmenšuje až ke kalibraci, kde může být velikost shodná s tloušťkou plechu. Způsoby určení jsou popsány dále:



Obr. 20 Tažná mezera [1]

- Dle experimentálních zkoušek – Bareš^[2]

Pro první a další tahy

$$z = K_1 \cdot s_0 + s_{max} [mm] \quad (2.24)$$

kde: K_1 ... koeficienty dle tab. 3

s_0 ... výchozí tloušťka plechu

s_{max} ... maximální tloušťka plechu

Pro poslední tah bez kalibrace

$$z = K_2 \cdot s_0 + s_0 [mm] \quad (2.25)$$

kde: K_2 ... koeficient dle tab. 3

Pro kalibrační tah

$$z = K_3 \cdot s_0 + s_{min} [mm] \quad (2.26)$$

kde: K_3 ... koeficient dle tab.3

Tab. 3 Koeficienty K [2]

Tažná operace			Tloušťka materiálu s [mm]			
			do 0,8	0,8 - 2,0	2,0 - 4,0	nad 4
Tažení	1. tah	K_1	0,40 - 0,30	0,30 - 0,20	0,20 - 0,15	0,15 - 0,10
	další tahy	K_1	0,30 - 0,20	0,20 - 0,15	0,15 - 0,10	0,10 - 0,05
	dokončovací tah	K_2	0,30 - 0,20	0,20 - 0,15	0,15 - 0,10	0,10 - 0,05
Kalib.	bez ztenčení	K_3	0,30 - 0,20	0,20 - 0,10	0,10 - 0,05	0,05 - 0,00

- ČSN doporučuje v první operaci

$$z = (1,2 - 1,3) \cdot s_0 [mm] \quad (2.27)$$

Pro víceoperační tažení v poslední operaci

$$z_1 = (1,1 - 1,2) \cdot s_0 [mm] \quad (2.28)$$

Pro kalibraci

$$z_2 = (1,0 - 1,1) \cdot s_0 [mm] \quad (2.29)$$

- Dle Oehlerova vztahu:

$$z = s_0 + k \cdot \sqrt{10 \cdot s_0} \text{ [mm]} \quad (2.30)$$

kde: $k=0,07$ pro ocel

$k=0,02$ pro hliník

$k=0,04$ pro ostatní neželezné kovy

- Dle literatury - lze také nalézt hodnoty (tab. 4) doporučených hodnot tažné mezery v závislosti na tloušťce plechu

Tab. 4 Doporučené hodnoty 'z' [25]

s_0 [mm]	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,50	2,00	3,00
z [mm]	0,45	0,65	0,90	1,20	1,40	1,75	2,40	3,50

2.3 Volba přidržovače [5], [6]

Zda-li použít přidržovač vyplývá z empirických vztahů ověřených experimenty. Jestliže bude přidržovač použit, musí se jeho síla zohlednit ve výpočtu sil tažení, proto je důležité předem určit jeho potřebu. Zpravidla se nepoužívá u mělkých výtažků o malé výšce a větší tloušťce, ovšem je nutný u tenkých plechů, kde hrozí zvlnění příruby během vtahování do tažnice. Metody správného zvolení vhodnosti uvádí následující normy, nebo autoři:

- ČSN 22 7301

$$\alpha = 50 \cdot \left(k_m - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) [-] \quad (2.31)$$

kde: k_m ... materiálová konstanta dle tab. 5

Tab. 5 Materiálové konstanty [6]

Materiál	Konstanta – k_m
Ocelový hlubokotažný plech	1,9
Mosazný plech	1,95
Hliníkový plech	2,0

$$\alpha \geq 100 \cdot \frac{d}{D_0} \quad \dots \text{ přidržovač je nutný, v dalších tazích pokud } \frac{d_n}{d_{n-1}} < 0,9$$

$$\alpha < 100 \cdot \frac{d}{D_0} \quad \dots \text{ možné táhnout bez přidržovače (tzv. mělké tažení)}$$

Hlubokotažné plechy do tloušťky 0,5 mm se táhnout vždy s přidržovačem.

- Dle Freidlinga z poměrné tloušťky

$$\Delta s = \frac{s_0}{D_0} \cdot 100 [-] \quad (2.32)$$

kde: Δs ... poměrná tloušťka

$\Delta s < 1,5$... přidržovač je nutný

$\Delta s < 2$... přidržovač není nutný

$\Delta s = 1,5$ až 2 ... ověřit způsob tažení

- Dle Šofmana

$$D_0 - d \leq 18 \cdot s_0 \quad (2.33)$$

Při dodržení této podmínky lze táhnout bez přidržovače.

2.4 Síla a práce [2], [4], [5], [6], [9]

Pro zjištění síly (obr. 21) jsou využívány vzorce teoretické a praktické. Praktické vycházejí z meze pevnosti výtažku a teoretické z rozboru napjatostí a deformací. Při získávání maximální síly pro účely volby stroje (lisu) může posloužit nejjednodušší vzorec vycházející z pevnosti materiálu, kdy dojde k utržení dna.

$$F_C = F_{krit} + F_p + F_v [N] \quad (2.34)$$

kde: F_C ... celková síla
 F_{krit} ... kritická síla při utržení dna
 F_p ... síla od přidržovače
 F_v ... síla od vyhazovače
 (pokud není součástí stroje)

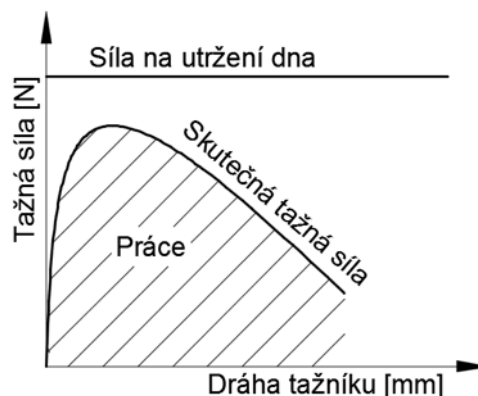
V prvním tahu je zahrnut opravný součinitel 'c', který zohledňuje vliv součinitele tažení. Při určování kritické síly víceoperačního tažení se pak tato opravující konstanta neuvažuje.

$$F_{krit} = \pi \cdot d_s \cdot s_0 \cdot R_m \cdot c [N] \quad (2.35)$$

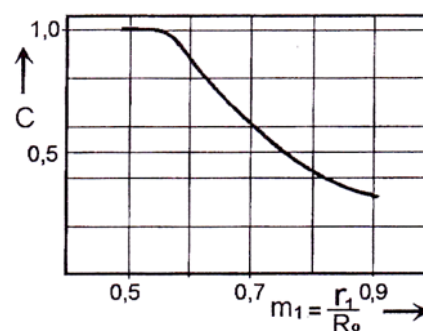
kde: d_s ... střední průměr výtažku
 R_m ... mez pevnosti materiálu
 c ... opravný součinitel dle tabulky 6, či diagramu na obr. 22

Tab. 6 Opravné součinitele 'c' [2]

$m=d/D_0$	0,55	0,575	0,6	0,625	0,65	0,675	0,7	0,75	0,8
c	1	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,6	0,5	0,4



Obr. 21 Graf síly a práce [6]



Obr. 22 Opravný souč. 'c' [9]

Po vyhodnocení podmínek nutnosti přidržovače v případě potřeby bude jeho síla

$$F_p = S_c \cdot p [N] \quad (2.36)$$

kde: S_c ... plocha plechu pod přidržovačem
 p ... měrný tlak přidržovače dle tab. 7

Tab. 7 Měrné tlaky přidržovače [6]

Materiál	p [MPa]
Ocelový hlubokotažný plech	2,0 až 3,0
Nerezový plech	2,0 až 5,0
Měděný plech	1,2 až 1,8
Mosazný plech	1,5 až 2,0
Hliníkový plech	0,8 až 1,2

Skutečný tlak se prakticky volí tak, aby se netvořily vlny a trhliny. U dvojčinných lisů s přidržovačem se musí nastavit minimální mezera pro tloušťku, aby nedošlo k zadírání příruby.

Pokud bude vyhazovač součástí nástroje, musí se zahrnout do celkové síly jako součin tuhosti pružiny a stlačení, protože působí proti nástroji a lis tedy musí překonávat jeho sílu.

$$F_v = k_p \cdot x_p \text{ [N]} \quad (2.37)$$

kde: k_p ... tuhost pružiny vyhazovače
 x_p ... stlačení pružiny

Pro správnou volbu stroje je zapotřebí znalost nejen maximální síly, ale i práce. K jejímu určení je třeba vědět změnu síly během zdvihu lisu. V diagramu na obrázku 21 je to plocha pod křivkou síly.

$$A = \frac{C_1 \cdot F_c \cdot H_c}{1000} \text{ [J]} \quad (2.38)$$

kde: A ... práce potřebná k vytažení
 C_1 ... koeficient zaplnění diagramu
 $C_1=0,66$ pro tažení bez kalibrace
 $C_1=0,8$ pro tažení s kalibrací
 H_c ... výška tažené součásti

Teoretické vztahy k určení síly jsou více vypovídající o samotném procesu tažení a popisují každý okamžik posunutí tažníku. Narozdíl od kritické síly je tažná síla vždy menší $F_{taž} < F_{krit}$, viz obr. 21, je označena F_{krit} jako síla na utržení dna.

$$F_{taž} = \pi \cdot d_s \cdot s_0 \cdot \sigma_{zmax} \text{ [N]} \quad (2.39)$$

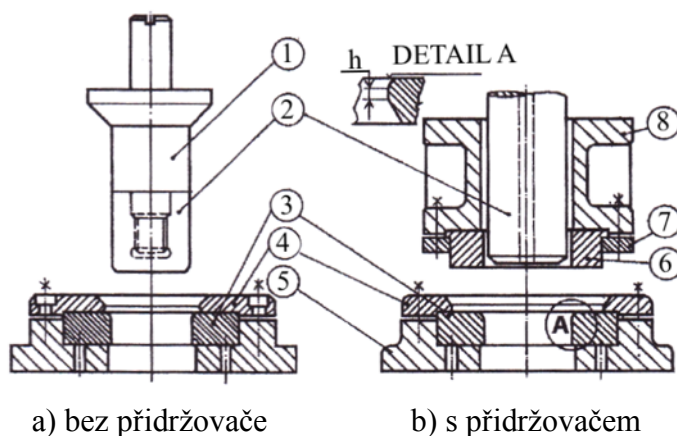
Používá se k optimalizaci procesu a ověření stability, zda zvolený součinitel tažení nezpůsobí utržení dna. Vztah vychází z rozboru napětí σ_d uvedeného ve vzorci (2.6). Při ověřování je třeba najít maximální napětí σ_{zmax} a porovnat ho s kritickou silou.

2.5 Nástroje [6], [9], [17], [25]

Nástroje se dělí dle konstrukce na tažidla pro první tah a pro další tahy, pak dále na nástroje s přídržovačem a bez, což souvisí s použitím jednočinných nebo vícečinných lisů. Podle složitosti:

- jednoduché – určené pro jednu tažnou operaci
- sloučené – umožní provést více tažných operací při jednom zdvihu beranu
- postupové – v jednom nástroji postupně ve více tazích vytvořen výsledný tvar
- sdružené – spojuje více technologií do jednoho nástroje (např. tažení a stříhání)

Funkční části jednoduchého tažidla jsou zobrazeny na obrázku 23 a tvoří je tažník (1 a 2) s tažnicí (3). Celý tažník je složen z držáku (1), vložky (2) a bývá upnut přímo do beranu lisu pomocí stopky. Stopka bývá normalizována. Tažnice je souose s tažníkem přišroubována přes základací kroužek (4) k základové desce (5). Další podstatnou částí je v daných případech přídržovač (6), který je vystředěn v horní upínací desce (8) vůči tažníku a tažnici. Při procesu tažení nejprve dosedne



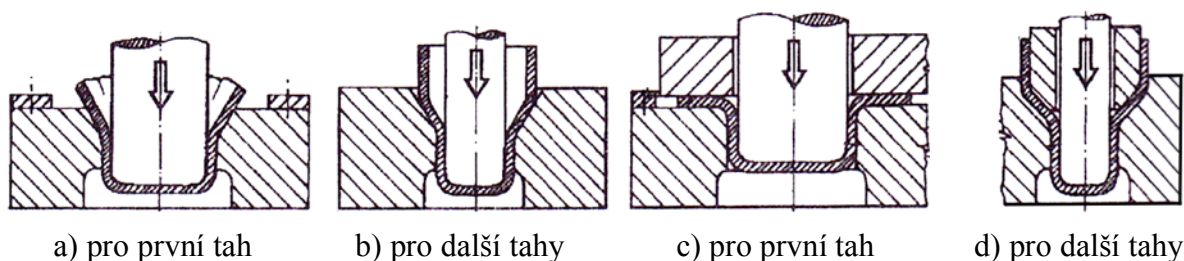
Obr. 23 Tažidla [9]

přidržovač na přístřih a teprve následně pak dojde ke kontaktu tažníku s materiálem. Upínací kroužek (7) aretuje přidržovač k horní upínací desce. Základová deska a horní upínací deska jsou zpravidla vyrobeny buď z oceli, či litiny, jak uvádí tabulka 8. Další použití materiálů je uvedeno v kapitole 2.5.5. Přesný axiální posuv tažníku do tažnice je realizován pomocí pouzder nalisovaných v horní upínací desce, která jsou kluzně uložena na vodících sloupcích, většinou z konstrukční oceli. Pokud jsou výtažky bez příruby, po protažení jsou nabaleny na tažníku a jejich stírání probíhá buď pomocí spodní hrany tažnice s možností propadávání, nebo o přidržovač, protože se nejprve zvedá s beranem tažník a až poté přidržovač. U výtažků s přírubou je nutný vyhazovač, který bývá součástí nástroje. Je umístěn v otvoru tažnice a součást je vytlačována pružinou. Vícečinné lisy obstarávají pohyb vyhazování samostatně.

Tab. 8 Materiály částí tažidel [17]

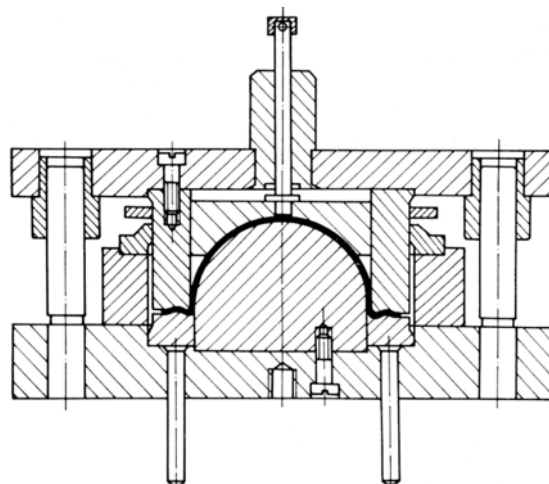
Část tažidla	Materiál	HRC
Tažník, tažnice	19 191, 19 436, 14 220, 12 061, 42 2456	58 až 63
Základové a upínací desky	42 2456, 42 2661	
Zakládací a upínací kroužky	11 600	
Přidržovače	19 191, 19 436, 42 2456	61 až 63
Stopky	11 600	

Aktivní části nástroje musejí splňovat požadavky na tvrdost, houževnatost, otěruvzdornost, pevnost a trvanlivost. Tažník a tažnice se chemicko-tepelně upravují, aby tyto požadavky byly splněny. Na kvalitu výtažků má zásadní vliv tažná hrana, konkrétně zaoblení tažníku a tažnice. Kvalita povrchů jako drsnost, dále pak také tažná mezera, mazivo a nastavení sil a přidržovacích tlaků. Provedení nástrojů pro první a další tahy jsou zobrazena na obr. 24, kde a) a b) jsou pro výtažky vyrobitelné bez přidržovače a schémata c) a d) jsou provedení s přidržovačem.



Obr. 24 Varianty řešení s přidržovačem a bez něj [9]

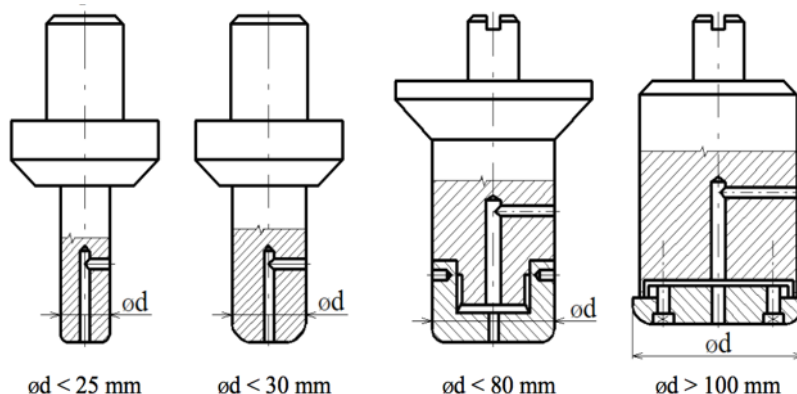
V případě, že by nebyla součást víka řešena způsobem odstupňování průměrů s kalibrací, mohl by vypadat tažný nástroj pro sférické dílce dle obrázku 25. Opatření proti problému ztráty stability je v tomto případě brzdicí lišta po obvodu. Je doporučeno táhnout až do konečného tvaru s touto lištou, což má za následek více odpadu ve formě ostříženého materiálu. Jiná funkční provedení mohou mít například dělený, dvoudílný tažník. Rozdělen je na dvě soustředné části, vnitřní tažník a prstencovitou vnější část tažníku kulový díl s rovným dnem a následně zbytek sféry.



Obr. 25 Tažidlo pro sférické tvary [25]

2.5.1 Tažník [2], [6], [9], [17], [25]

Funkčními povrchy na tažníku jsou čelo, válcová část, a především přechod mezi těmito částmi. Vnější průměr na sebe nabaluje materiál, a proto je pak tento rozměr i vnitřním průměrem výtažku. Všechny tažníky musejí být opatřeny odvzdušňovacími kanálky, aby bylo možné sejmutí výtažku, ve kterém vzniká při stírání podtlak. Na obrázku 26 jsou znázorněny tažníky v provedení pro různé velikosti. Protože se klade důraz na kvalitu provedení, musí být použit i kvalitní materiál (nástrojové oceli), ale celý tažník by byl nákladný a jeho velká část by nebyla využita. Z toho důvodu se tažníky vyrábí jako dělené, kde vložka je z kvalitní oceli a zbylý držák je z běžné konstrukční oceli.



Obr. 26 Provedení tažníků a způsoby upnutí [9]

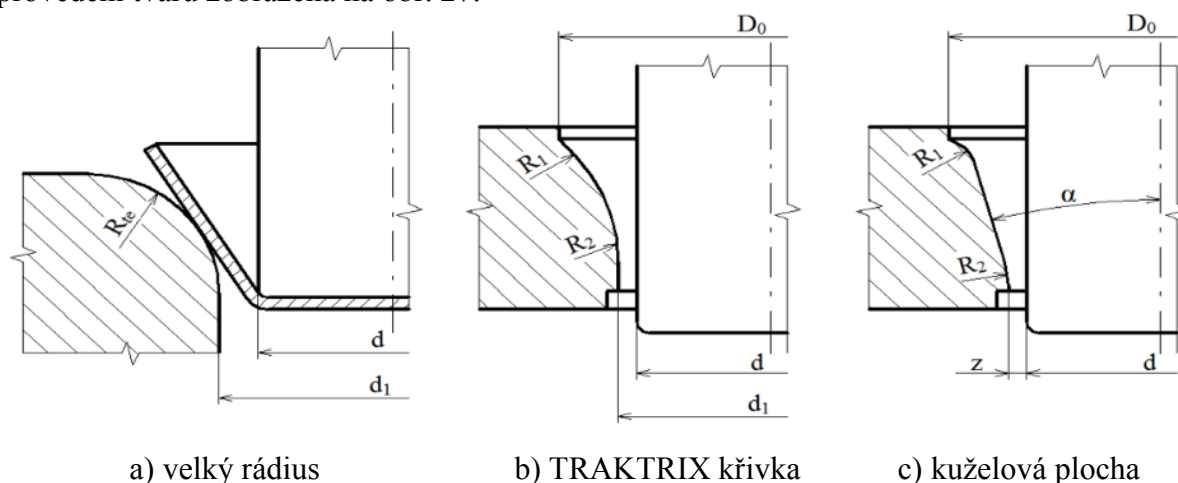
Zaoblení tažníku R_{tu} se volí v prvním a předposledním tahu stejný jako zaoblení tažnice R_{te} . Hodnoty minimálního rádiusu R_{tu} jsou uvedeny v tabulce 9. Jestliže je předepsaný rádius menší než doporučuje uvedená tabulka, je nutné zařadit kalibrační operaci, při které se bude postupně zmenšovat poloměr až na chtěnou velikost bez změny průměru, či výšky dílce.

Tab. 9 Minimální hodnoty R_{tu} [6]

Průměr výtažku [mm]	10 až 100	100 až 200	200 a více
R_{tu} [mm]	(3 až 4) · s_0	(4 až 5) · s_0	(5 až 7) · s_0

2.5.2 Tažnice [2], [6], [9], [17]

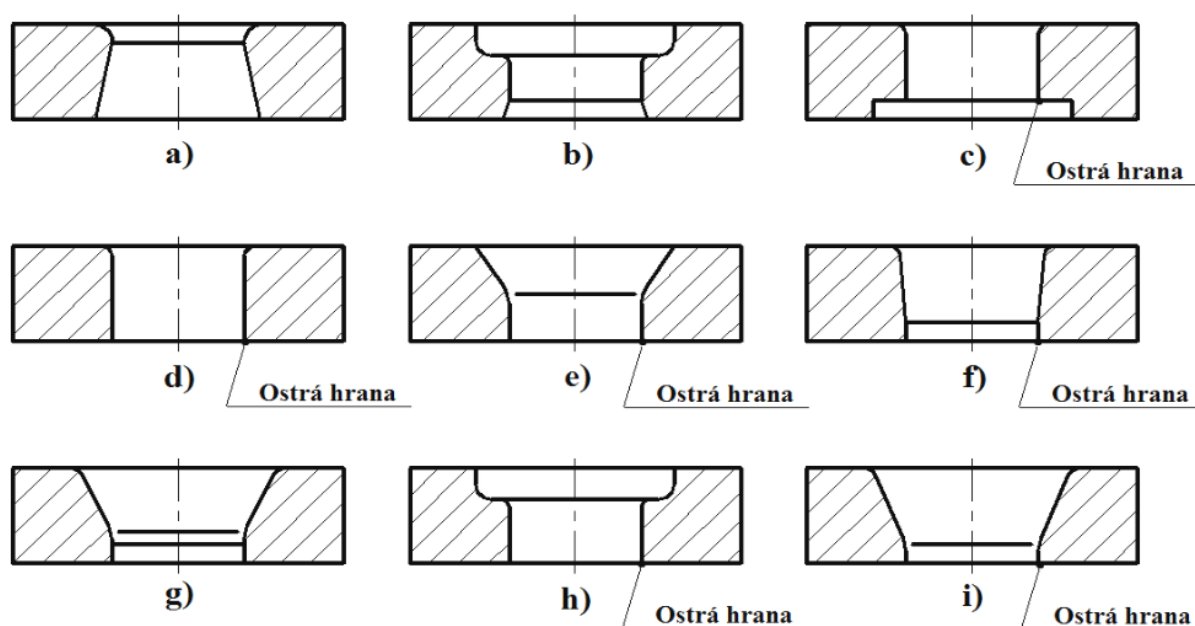
Mohou být také celistvé, nebo vložkované, kde se vkládá do tažnice pouze tažná hrana, přes kterou je prostorově ohýbán a vtahován plech součásti. Používaným materiálem bývá nástrojová ocel, slinutý karbid, či keramický materiál. Vložky se aretují lisováním do tělesa tažnice s přesahem. Zárukou kvalitní výroby je precizně opracovaný povrch tažnice a jejího otvoru. Tyto aktivní části bývají leštěné. Snahou při úpravě tvaru tažné hrany je co nejvíce ulehčit materiálu vnikat do otvoru, nejlépe s co nejmenším odporem. Proto vznikla různá provedení tvaru zobrazena na obr. 27.



Obr. 27 Úpravy tažné hrany tažnic [9]

Pro kruhové součásti jsou použity tažnice prstencového tvaru, viz obr. 28, kde jsou tyto provedení:

- vytažená součást se vrací nad tažnici, kde je setřena z tažníku,
- pro druhý a další tahy do průměru 60 mm, výtažek se vrací také nad tažnici,
- tažný otvor naspodu odlehčený,
- výtažek propadá tažnicí, je setřen ostrou hranou na jejím dně, nebo speciálním stíračem
- pro druhý a další tahy, kdy výtažek propadá tažnicí pod nástroj,
- otvor tažnice mírně kuželový, výtažek propadá skrz, vhodné pro užití bez přidržovače
- pro druhý a další tahy, kdy se výtažek vrací nad tažnici,
- pro druhý a další tahy do průměru 60 mm, kdy výtažek propadá skrz tažnici,
- tažný otvor pro větší tloušťky plechu, výtažek propadá.



Obr. 28 Konstrukční řešení tažnic [17]

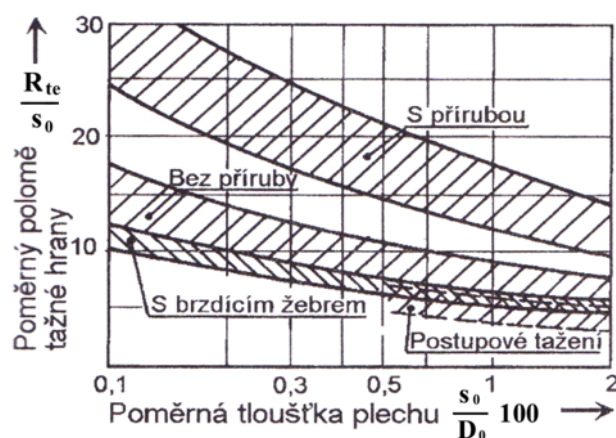
Pro první tah se vypočte zaoblení tažnice R_{te} podle vzorce:

$$R_{te} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d) \cdot s_0} \text{ [mm]} \quad (2.40)$$

Norma ČSN 22 7301 uvádí pro jednooperační tažení

$$R_{te} = (6 \div 10) \cdot s_0 \text{ [mm]} \quad (2.41)$$

nebo dle diagramu na obr. 29. Jelikož je hodnota tažné hrany prstence zahrnuta i ve vzorci deformačního napětí, a tedy i v tažné síle, její velikostí lze značně ovlivňovat hloubku (průměr) tažení a tím i počet operací. Je proto výhodné, pokud je to možné, volit větší zaoblení tažnice. Nevýhodou pak může být menší plocha pod přidržovačem a vzniká riziko ztráty stability a následné defekty zvlněním na výtažku.



Obr. 29 Doporučené hodnoty R_{te} [9]

2.5.3 Žebra [2], [6], [9], [17]

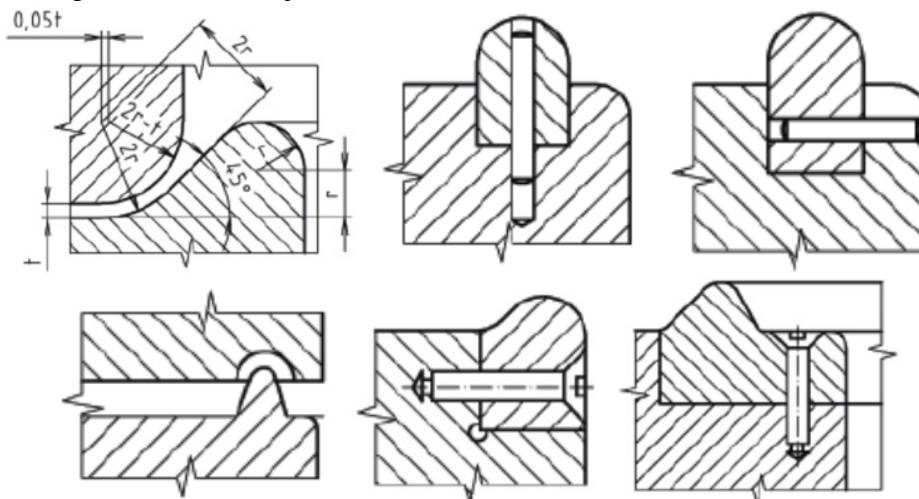
Při tažení složitějších a rozměrnějších dílců dochází vlivem volného napínání a sbíhání materiálu (nerovnoměrná deformace) ke ztrátě stability. Tento negativní dopad je možné minimalizovat metodami urychlení, či přibrzdění toku materiálu. Mezi ně patří:

- úplné nebo částečné lokální zvětšení tlaku přidržovače
- zvětšení kontaktní plochy přidržovače s materiálem
- přidáním žebër, která přidávají do materiálu ohybový účinek pozitivně působící na tok materiálu

Žebra se dělí dle způsobu použití na:

- vtahovací – materiál je vtahován přes zaoblený výstupek okolo tažnice, kde je doporučený rádius $r = (3 \text{ až } 10) s_0$. Použití je zejména pro kruhové výtažky.
- brzdicí – žebro není po celém obvodu jako je tomu u předchozího případu, ale převážně jen v rovinných částech, kde zbrzdí materiál vtahovaný tažníkem. Může být umístěno i více takovýchto žebër za sebou, dle potřeb výroby. Použití je pro velké a nepravidelné výtažky.

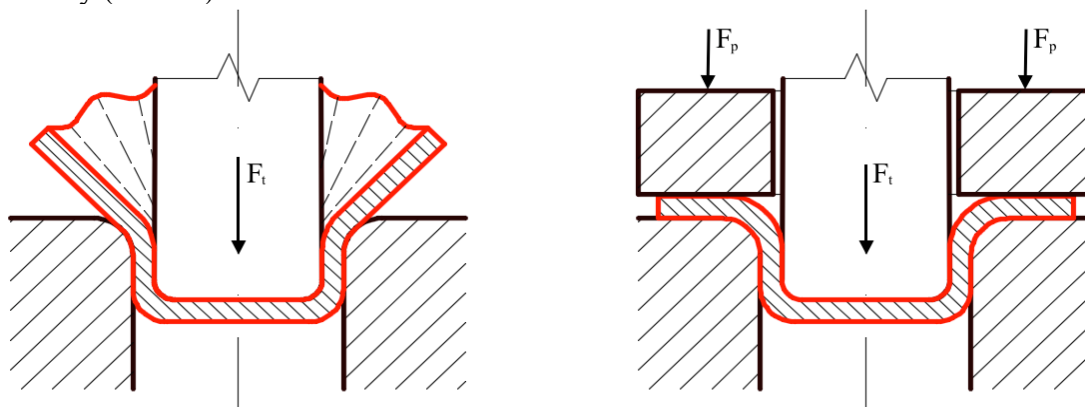
Konstrukční provedení žebër je zobrazeno na obrázku 30.



Obr. 30 Brzdná žebra [17]

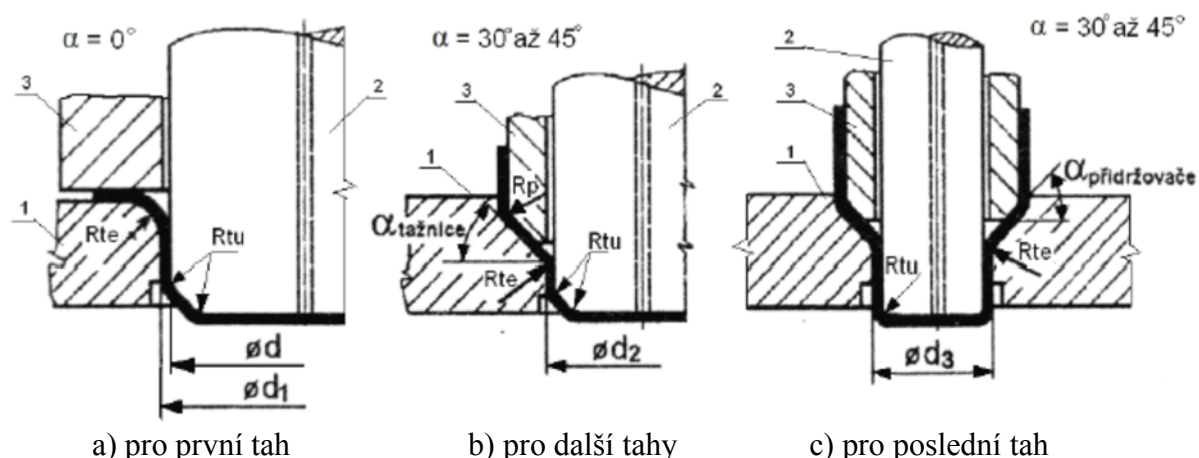
2.5.4 Přidrřovač [9], [17]

Plní ve výrobě funkci přitlačování materiálu k tažnici a tím zabrňuje tvorbu vln a přeložek plechu, který má snahu se zvedat (obr. 31). Další funkcí je středění tažníku a zabrňuje vybočení tažníku, pokud by hrozila ztráta vzpěrné stability. Značně se liší přidřovače pro první a další tahy (obr. 32).



Obr. 31 Eliminace vln pomocí přidřovače [1]

V prvním tahu je úhel $\alpha = 0^\circ$, u dalších tahů se pro vhodnější vtahování plechu dělá u kruhových výtažku kuželová plocha s úhlem $\alpha = (30 \text{ až } 45)^\circ$. S použitím jednočinných lisů se používají mechanické přidržovače pevné a pružinové. U dvojčinných lisů pohání přidržovač vnější beran pomocí vačkového, vačko-pákového, nebo kliko-pákového mechanismu. Může být také poháněn zcela nezávisle pomocí přídavné hydrauliky. Materiály pro přidržovače jsou k nalezení v tabulce 8.



Obr. 32 Použití přidržovače [9]

2.5.5 Materiály pro tažné nástroje [17], [25]

Nejpoužívanější materiály pro nástroje při tváření za studena jsou:

- Konstrukční oceli – používány jsou oceli běžných jakostí třídy 10 a 11, většinou s větším obsahem fosforu a síry. Tyto oceli se u spotřebitele tepelně nezpracovávají, pokud nejsou svařovány, pak je vhodné je vyžíhat. Nejčastěji používané jsou oceli 11 370, 11 375, 11 500 a 11 600.
Ušlechtilé oceli (uhlíkové nebo slitinové) tříd 12 až 17 se oproti ocelím obvyklých jakostí vyznačují větší čistotou a lepšími vlastnostmi. U spotřebitele se obvykle tepelně zpracovávají. Nejvíce se používají oceli 12 010, 12 020, 12 060, 14 220, 14 260 atd.
- Litiny s lupínkovým grafitem – používány pouze pro základové části nástrojů. Používány jsou litiny 42 2421 a 42 2424. Litina 42 2421 se používá pro základové příruby a velké nástroje, podkladové desky atd. Litina 42 2424 se používá pro základové desky, upínací členy vodicích stojánků, přidržovače větších průměrů atd.
- Oceli na odlitky – jsou používány dva druhy, a to uhlíková ocel 42 2650.2 obvyklé jakosti a uhlíková ocel 42 2653.1 se zaručenou vrubovou houževnatostí. Ocel 42 2650.2 se používá tam, kde litiny pevnostně nevyhovují, například základové desky. Druhá ocel se používá spíše pro stříhadla.
- Nástrojové oceli – jsou to ušlechtilé oceli třídy 19 vyráběné zpravidla jen v elektrických pecích, čímž se zaručuje čistota a homogenní vlastnosti. Oceli pro tažení musí být dostatečně tvrdé a pevné v tlaku ale zároveň houževnaté. Používány jsou:
 - Nástrojové oceli uhlíkové – dobře kalitelné na vysokou povrchovou tvrdost, ale zároveň je jejich prokalitelnost malá z čehož vyplývá, že větší součásti se zakalí pouze do určité hloubky. Použití převážně pro malé nástroje. Nevýhodou je, že se popouštějí při poměrně malých teplotách ($200 \text{ až } 250^\circ$) a tím ztrácejí potřebnou tvrdost.

- Nástrojové oceli slitinové – obsahující přísadové prvky zvyšující prokalitelnost a ořezavost. Prokalují se až do jádra a velmi špatně proto snášejí ohybová namáhání.

Nástrojové oceli jsou velmi drahé kvůli svým přísadám a způsobu zpracování, a proto je potřeba jejich použití dobře zvážit z hlediska funkčnosti nástroje.

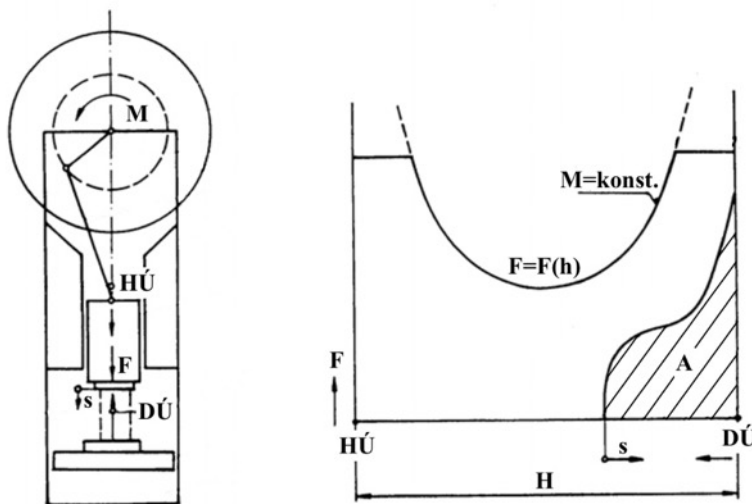
Speciální materiály pro výrobu tažidel:

- Plasty – nejpoužívanější jsou pryskyřice, konkrétně fenolické, polyesterové, epoxydové a methylnmethakrylátové. Nejvýhodnější je použití epoxydové pryskyřice, která má oproti ostatním materiálům několik výhod, a to finanční nenáročnost výroby, její jednoduchost a přesnost. Laminováním nebo odléváním tak dostává nástroj hladký povrch, který je chemicky odolný, snadno opravitelný a celý nástroj má pak nízkou hmotnost. Nejrozšířenější je v oblastech leteckého a karosářského průmyslu, kde dochází kvůli častým změnám v konstrukci k úpravám tvaru a pak je možné rychle a ekonomicky vyrobit tažný nástroj na míru. Pryskyřici je možné mísit s plnidly, která zvyšují tepelnou vodivost a snižují opotřebení. Při požadavku na vyšší pevnost nástroje je možné využít pryskyřici skleněnými vlákny.
- Keramické hmoty – používány jsou materiály s vysokým podílem oxidu hlinitého Al_2O_3 , který se vyznačuje vysokou pevností v tlaku, vysokou tvrdostí a odolností vůči otěru. Špatně snášejí ohyb, což je možné eliminovat zalisováním vložky do kovového držáku. Hlavní výhodou keramiky oproti ocelovým nástrojům je vysoká životnost, snižuje se riziko zadírání a lepší výsledná kvalita povrchu výtazku.

2.6 Stroje [17]

Tvářecí stroje pro plošné tváření s přímočarým pohybem se rozlišují podle průběhu a způsobu vyvíjení tvářecí síly na zdvihové a silové. Konstrukční uspořádání dle typu rámu mohou být buď otevřené, či uzavřené. Zdvihové stroje jsou výstředníkové a klikové.

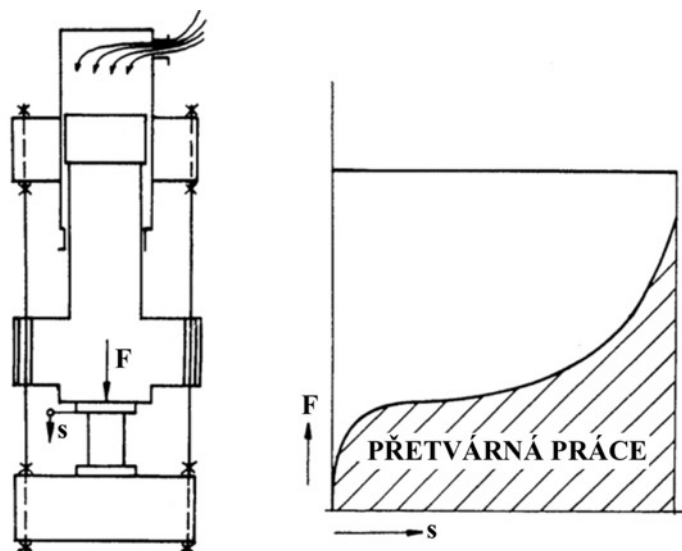
Pro plošné tváření jsou vhodnější stroje zdvihového typu. Příkladem je výstředníkový, či klikový lis schematicky zobrazen na obr. 33. K přenosu energie je použito mechanických převodů. Beran koná přímočarý vratný pohyb mezi horní úvratí (HÚ) a dolní úvratí (DÚ). Zdvih je potom dán těmito krajními body. Podle množství použitých mechanismů se dají rozdělit na jednočinné, dvojčinné a trojčinné. Pracovní cyklus udává jedno otočení vstupního hřídele. Beran vystupuje z HÚ od nulové rychlosti, největší rychlosti dosahuje v polovině procesu a do DÚ se opět vrací k nulové rychlosti. Jak je vidět na průběhu síly z obr. 33, k největšímu nárůstu síly dochází až těsně před dolní úvratí.



Obr. 33 Schéma zdvihového lisu [17]

Užitečná část zdvihu je tedy dost omezená, konkrétně jedna čtvrtina otáčky. Lepšího využití se dosahuje s použitím setrvačníku. Protože u tohoto typu lisu může docházet k přetížení, chrání se před poškozením pojistkami (střížné, trhačí, či třecí).

Hydraulické lisy pracují na principu rovnoměrného šíření tlaku v kapalině, vyvolaného pístem. Píst pak působí prostřednictvím hydraulického systému na válec beranu. Výhodou je konstantní vyvíjená síla na beran, jak ukazuje obr. 34 spolu se schématem lisu. Takový způsob pohonu má další výhody v možnosti regulace tvářecí síly a rychlosti pohybu. Tyto parametry lze upravovat i během procesu. Není zde potřeba pojistných členů pro ochranu stroje, protože nevzniká riziko přetížení. Chod je klidný a nehluký. Provedení jsou stejná jako u zdvihových, tedy jednočinné, dvojčinné atd. Nevýhody oproti zdvihovým mechanickým strojům jsou ve větší složitosti provedení, většími nároky na údržbu a vyšší pořizovací náklady. Pro technologii hlubokého tažení jsou tyto typy strojů z důvodu možnosti řízení výhodnější, avšak méně produktivní, což se týče rychlosti pohybu beranu.



Obr. 34 Schéma silového lisu [17]

Pro volbu vhodného stroje pro výrobu jsou rozhodující především tyto faktory:

- potřebné tvářecí síly a práce
- rozměry součástí
- velikost série
- ekonomické hledisko

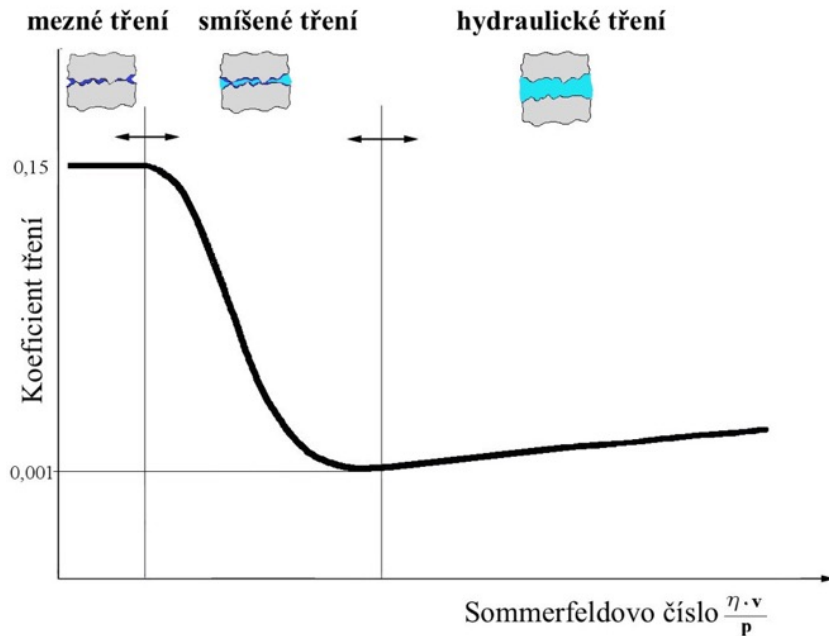
2.7 Tribologie [2], [14]

Při procesu tváření vzniká mezi nástroji a polotovarem tření, které je v určitých případech žádoucí, třeba jen v lokálním místě nástroje, avšak většinou je zapotřebí jeho minimalizace. Síly tření (vnějšího) jsou přijatelné, jestliže umožňují deformaci v požadovaném směru, která vede k tvoření požadovaného tvaru dílce. Naopak pokud tyto třecí síly působí proti změně tvaru, bývá cílem je snížit na minimum pomocí maziv. Největším podílem tření přispívají síly vznikající na tažné hraně tažnice. U tažení válcového tělesa až 75 % z celkového součtu všech třecích sil. Dále s menším podílem asi 20 % je síla od přidržovače a nejmenší podíl má síla v tažné mezeře, asi 5 %. Součinitel tření je v různých místech nástroje odlišný a je závislý především na rychlosti tažení, teplotě, tlaku přidržovače atd. Pro výpočty se bere střední součinitel tření. Pomocí vhodného maziva lze dosahovat lepší jakosti povrchu výtažku, snížení vadných kusů, zvýšení trvanlivosti nástrojů a v konečném důsledku i snížení tvářecích sil.

Tření se rozlišuje na následující typy, viz obr. 35:

- Suché tření nastává při styku dvou kontaktních ploch bez přítomnosti jakéhokoli maziva.
- Mezní tření vzniká, je-li mezi dosedacími plochami velmi tenká vrstva maziva do 0,1 μm . Hraniční vrstva je pod vlivem mezimolekulárních sil a nepodléhá zákonům hydrauliky.
- Smíšené tření je spojení dvou předchozích, tedy suchého a mezního.

- Hydraulické tření spočívá v tom, že protilehlé plochy jsou od sebe odděleny dostatečně silnou vrstvou maziva. Tření pak probíhá na úrovni vnitřního tření kapaliny. Pak je tedy tření dáno třením v mazivu. Za takového stavu nehraje roli drsnost povrchu a použitý materiál třecích ploch. Nedochází tedy ani k opotřebení nástrojů a vnější tlaky se řídí dle zákonů hydromechaniky.



Obr. 35 Striebeckův diagram [14]

Při operacích hlubokého tažení se dle zvoleného typu maziva a jakosti ploch dosahuje součinitele tření $f = 0,04$ až $0,2$, což spadá do podmínek mezního až smíšeného tření. K hydraulickému tření dochází jen ojediněle.

Požadavky pro maziva jsou:

- schopnost tvořit na povrchu pevnou souvislou vrstvu
- mazací schopnost
- schopnost udržení maziva na třecích plochách
- chemická trvanlivost
- tepelná trvanlivost
- chemická netečnost
- snadné nanesení a odstranění z třecích ploch
- hygienická nezávadnost
- finanční výhodnost

Maziva se dělí na:

- Kapalná – patří do nich oleje, mýdlové emulze a tukové emulze.
 - Oleje se používají při méně náročných tazích. Nevýhodou je nutnost předem odmastit povrch. Rozdělené olejů je následující:
 - Minerální - nejsou vhodné pro aplikaci tažení.
 - Organické - jsou finančně nákladnější, ale mazací schopnost mají dobrou.
 - Syntetické oleje – je zde požadavek na možnou ředitelnost vodou pro tvoření emulzí. Emulze pak mají i dobrý chladicí účinek.

Existují i typy s přidavkem chloru z dříve používaných, ale nyní již zaniklých chlorparafinů.

- Mýdlové emulze se používají jako roztoky sodných a draselných mýdel. Tyto emulze mají výhodu v kvalitním odvodu tepla a snadném odstranění. Použití je pro menší i větší tahy.
- Tukové emulze jsou tvořeny tuky rozpuštěnými ve vodě. Malou část složení tvoří minerální oleje, větší část emulgátorů, tuků a volných mastných kyselin. Použití pro méně náročné tahy.
- Konzistenční maziva – mazací tuky na rostlinné a živočišné bázi vyráběná z olejů a mýdel. Mohou být použita jako pasty, nebo rozpustné ve vodě k tvorbě emulzí. Mazání realizují minerální oleje a zároveň mastná přísada. Tím je zajištěna přilnavost, která je žádoucí právě v technologii tažení. Použití pro barevné kovy a méně náročné tahy.
- Tuhá maziva – mají velkou afinitu ke kovům a nepatrnou tvrdost. Používají se v kombinaci s běžnými mazivy pro složité dílce vyráběné hlubokým tažením. Používají se grafit, sirník molybdeničitý (MoS_2), mastek atd. Grafit zvládá teploty do 800°C a sirník do 400°C , kdy po překročení těchto teplot dochází ke změnám chemického složení.

2.8 Technologičnost [2], [25]

Pro konstrukci výtažků je závislá zejména na volbě materiálu a zvláště pro výtažky zhotovené větším počtem tahů a vysokým stupněm deformace. Při technologii tažení dochází během procesu k určitým nedokonalostem:

- Tloušťka stěny není konstantní, ačkoli se jedná o tažení bez ztenčení stěny. Nejmenší je v přechodu dna do pláště, největší pak na vnějším obvodu příruby.
- Plášť součásti může být mírně kuželovitý (1 až 3°), což je zapříčiněno tažnou mezerou a odpružením. Nejzřetelnější je to především u nízkých dílců z tlustého plechu.
- Rádusy v přechodech mezi přírubou a pláštěm, nebo pláštěm a dnem nevolit zbytečně malé. Při zmenšení nabývají operace.
- Okraj výtažku většinou není v rovině vlivem nerovnoměrného přidržovacího tlaku, anizotropií, nebo nestejnoměrné tloušťky materiálu. Je potřeba počítat s ostřížením.
- Zdrsnění povrchu v oblastech s velkým přetvořením.

Omezit tyto problémy lze např. jemnějším odstupňováním tahů, kalibrací apod. Vždy to ale znamená prodražení výroby kvůli dalším operacím, nutnosti dalšího nástroje, či další úpravy procesu.

Doporučení pro ekonomičtější výrobu jsou následující:

- Pokud možno nepředepisovat žádnou toleranci tloušťky stěn, popř. zvětšit tloušťku plechu.
- Nenavyšovat součást. Každé zvětšení výšky výtažku třeba jen o pár milimetrů má za následek přidání dalšího nástroje, operace, či tepelné úpravy.
- Nerozšiřovat přírubu.
- Rozměrová přesnost závisí na kvalitě práce lisovny, nástrojů, dodržování technologických podmínek, jakosti materiálu, jeho vlastnostech a poměrné tloušťce.
- Nejvýhodnější tvar je vždy válec s kolmým dnem k ose součásti.
- U odstupňovaných výtažků by měly být přechody mezi válcovými stěnami kuželové pod úhlem 45° .
- Rozměrné plochy z tenkého plechu je třeba vyztužit tvarováním.
- Tvarovaná dna, výstupky, reliéfy, vruby, vlny nebo vyztužná žebra vytvářet co nejméně vystouplé a přechody pozvolné.

Technologičnost materiálu – volí se nejlevnější materiál, který již vyhoví požadavkům součásti a umožní optimální výrobu. Pro technologii hlubokého tažení je třeba materiálu s co nejvyšší hlubokotažností, která souvisí s jeho chemickým složením a strukturou. Například přítomnost další fáze ve struktuře se sníženou tažností silně zhorší výslednou tažnost materiálu jako celku. Zejména je-li tvar zrn tvořen jehlicemi nebo lamelami, které působí jako vruby. Dále jsou pro materiál důležitým požadavkem stejnoměrná a jemná zrna, rozložení strukturních složek, stejné mechanické vlastnosti v celé rovině plechu bez vnitřních pnutí a následků stárnutí. Proto jsou nejvhodnější materiály velice čistého složení bez nečistot a plynů s precizním tepelným zpracováním. Povrch by měl být co nejčistší, lesklý, bez vrubů a jiných mechanických poškození.

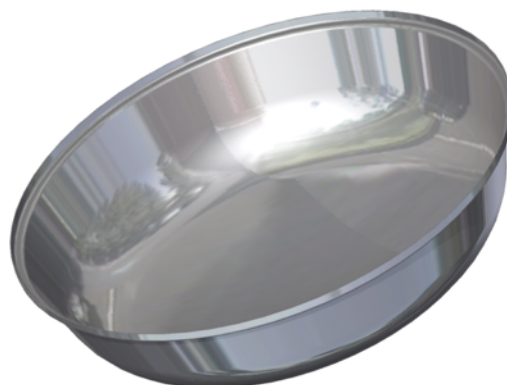
Rozměry výchozího materiálu – výhodnější je pořizování svitků plechů, než-li tabule. Technologičnost je tím menší, čím menší je šířka tabule polotovaru. Je s tím menší odpad, lepší manipulace a potřeba menších nástrojů. Pro maximální využití materiálu je nejvýhodnější co největší délka tabulí, protože se tím zmenší ztráta při načínání a dokončování tabule plechu. Je to také výhodnější pro celkové časy výroby, kdy tím odpadá tak časté zakládání a odsun a vzniká tak lepší možnost automatizace procesu. Co se týče tloušťky plechu, je možnost volit i menší hodnoty právě z důvodu tváření, které umožňuje zlepšit pevnost a tuhost i jinak, než pouhým navýšením tloušťky. Pomocí prostorového tvarování např. klenutím, lemováním, vrubováním, žebrováním atd. lze dosáhnout velmi dobrých konstrukčních vlastností. Technologie tažení je z plošného tváření nejvíce citlivá na kolísání tloušťky polotovaru. Může se projevit v náhlých změnách síly, v krajních případech až havárií, a výsledkem jsou špatné rozměry a tvary výrobku. Je tedy doporučeno volit toleranci nejmenší z nabízených, nebo alespoň aby se tloušťka neměnila během jedné výrobní dávky.

3 NÁVRH VÝROBY

Řešenou součástí je víko kotlového grilu (obr. 36). Součást je kruhového vydutého tvaru s tloušťkou stěny 1 mm. Základní rozměry součásti jsou: průměr 570 mm, výška 170 mm. Použitým materiálem je ocel 11 305 (DC04 či EN 1.0338). Správné usazení na protikus je zaručeno obvodovým lemem. Zpracovávaná série je 10 000 ks/rok.

Pro výrobu celé součásti je zapotřebí po vytvoření tělesa přidat dále operace ostřížení (zarovnání) obvodu, olemování a vytvoření všech otvorů. Dále bude aplikována povrchová úprava smalem na celý povrch poklopu. V praktické části bude řešena pouze výroba tvaru víka, jehož výkresová dokumentace je označena 2017_A3_01.

Z hlediska technologičnosti a zvolené metody výroby je vhodně zvolen materiál, který má dobrou tažnost a je možnost ho použít i při víceoperačním tažení. Vhodná je volba materiálu i z důvodu cenové nenáročnosti. Kuželovitost pláště v případě víka je žádaná. Rádus zaoblení tažnice může být $(6 \div 10) \cdot s_0$, což odpovídá zaoblení mezi přírubou a pláštěm, které je 6 mm. Tloušťka materiálu není příliš velká, avšak dostatečná pro stálost tvaru při manipulaci, kde je tuhost podpořena nejen tvarováním dílce, ale i následnou povrchovou úpravou. Tvar součásti není příliš složitý a neměl by být problém s vytvořením. Při tažení se dosahuje stupně přesnosti IT11 – IT12, což by neměl být problém žádného z rozměrů. Tedy dostačující přesnost pro veškeré rozměry.

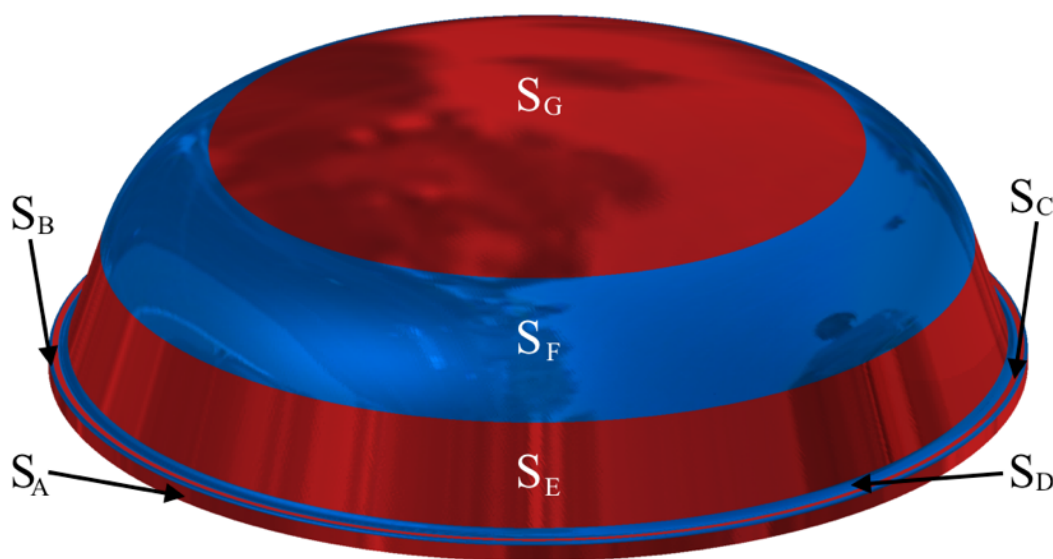


Obr. 36 Výtažek víka

3.1 Velikost přístřihu

Pro zhotovení výrobku je třeba určit nejprve velikost vstupního polotovaru. Pro určení je možné využít některé z metod, zmíněné v teorii.

- Metoda rovnosti ploch – celé víko bylo rozděleno na elementární plošky s označením dle obrázku 37.



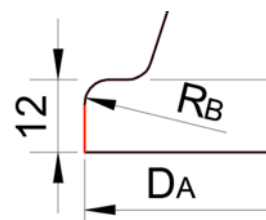
Obr. 37 Rozdělení na základní plochy

Ze vzorců (2.11) a (2.12) se určí výchozí polotovár následovně.

- Pro rovinnou (válcovou) část lemu (obr. 38):

$$S_A = \pi \cdot D_A \cdot v_A = \pi \cdot D_A \cdot (12 - R_B) = \pi \cdot 570 \cdot (12 - 4) = 14\,325,7 \text{ mm}^2$$

kde: D_A ... průměr části plochy
 v_A ... výška válcové části
 R_B ... poloměr zaoblení plochy



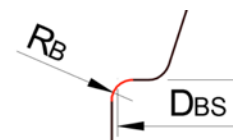
Obr. 38 Plocha "A"

- Pro vnější zaoblení lemu (obr. 39):

$$S_B = \frac{1}{4} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_B \cdot \pi \cdot D_{BS} = \frac{1}{4} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_B \cdot \pi \cdot (D_A - 2 \cdot (R_B - \cos(45) \cdot R_B)) =$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 4 \cdot \pi \cdot (570 - 2 \cdot (4 - \cos(45) \cdot 4)) = 11\,205,1 \text{ mm}^2$$

kde: D_{BS} ... střední průměr zaoblení



Obr. 39 Plocha "B"

- Pro rovinný dosedací prstenec lemu (obr. 40 - červená):

$$S_C = \frac{\pi \cdot (D_C^2 - d_C^2)}{4} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \left((D_A - 2 \cdot R_B)^2 - \left(D_A - 2 \cdot \left(10 - \tan\left(\frac{\alpha_D}{2}\right) \cdot R_D \right) \right)^2 \right)$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \left((570 - 2 \cdot 4)^2 - \left(570 - 2 \cdot \left(10 - \tan\left(\frac{72}{2}\right) \cdot 6 \right) \right)^2 \right)$$

$$= 2888,4 \text{ mm}^2$$

kde: D_C, d_C ... vnější a vnitřní průměr
 R_D ... poloměr zaoblení plochy "D"
 α_D ... úhel výseče oblouku plochy "D"

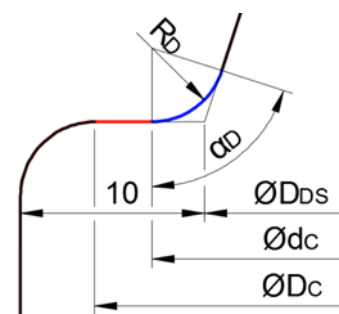
- Pro přechod mezi prstencem a kuželovou plochou (obr. 40 – modrá):

$$S_D = \pi \cdot D_{DS} \cdot \tilde{l}_D = \pi \cdot 547,3 \cdot 7,54 = 12964,5 \text{ mm}^2$$

kde: D_{DS} ... střední průměr oblouku
 $\tilde{l}_D$... délka oblouku

$$\tilde{l}_D = \frac{R_D \cdot \pi \cdot \alpha_D}{180} = \frac{6 \cdot \pi \cdot 72}{180} = 7,54 \text{ mm}$$

$$D_{DS} = d_C - 2 \cdot \sin(\alpha_D) \cdot R_D = 558,72 - 2 \cdot \sin(72) \cdot 6 = 547,31 \text{ mm}$$



Obr. 40 Plochy "C" a "D"

- Pro kuželový plášť (obr. 41 – červená):

$$S_E = \pi \cdot (r_{E1} + r_{E2}) \cdot h_{ES} = \pi \cdot (274,12 + 254,61) \cdot 61,82 = 102686,4 \text{ mm}^2$$

kde: r_{E1}, r_{E2} ... poloměry kužele
 h_{ES} ... délka řezu kuželové plochy

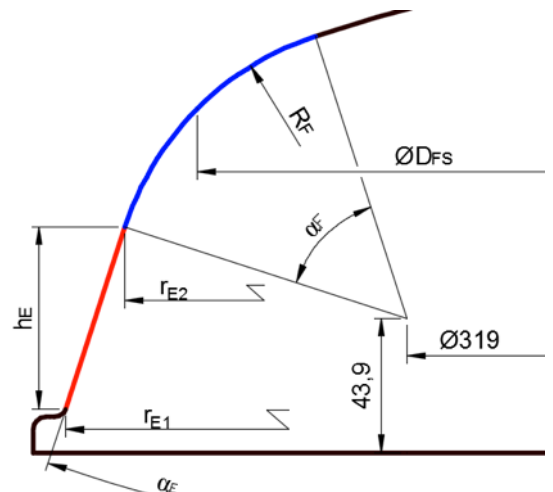
$$h_{ES} = \sqrt{h_E^2 + (r_{E1} - r_{E2})^2} = \sqrt{58,66^2 + (274,12 - 254,61)^2} = 61,82 \text{ mm}$$

kde: h_E ... výška kuželové plochy

$$\begin{aligned} h_E &= 43,9 + \sin(\alpha_E) \cdot R_F - \left(12 + \cos(\alpha_E) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha_D}{2}\right) \cdot R_D\right) = \\ &= 43,9 + \sin(18) \cdot 100 - \left(12 + \cos(18) \operatorname{tg}\left(\frac{72}{2}\right) 6\right) = 58,66 \text{ mm} \end{aligned}$$

kde: R_F ... poloměr zaoblení
 α_E ... poloviční vrcholový úhel kuželové plochy

$$\begin{aligned} r_{E1} &= r_{E2} + \operatorname{tg}(\alpha_E) \cdot h_E = \\ &= 254,16 + \operatorname{tg}(18) \cdot 60 = \\ &= 274,12 \text{ mm} \\ r_{E2} &= \frac{319}{2} + \cos(\alpha_E) \cdot R_F = \\ &= \frac{319}{2} + \cos(18) \cdot 100 = \\ &= 254,61 \text{ mm} \end{aligned}$$



- Pro přechod mezi kuželovou a kulovou částí (obr. 41 – modrá):

$$\begin{aligned} S_F &= \pi \cdot D_{FS} \cdot \tilde{l}_F = \pi \cdot 461,2 \cdot 93,2 = \\ &= 135\,037,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

kde: D_{FS} ... střední průměr oblouku
 $\tilde{l}_F$... délka oblouku

$$\begin{aligned} \tilde{l}_F &= \frac{R_F \cdot \pi \cdot \alpha_F}{180} = \frac{R_F \cdot \pi \cdot (90 - \alpha_E - \alpha_G)}{180} = \frac{100 \cdot \pi \cdot (90 - 18 - 18,6)}{180} \\ &= 93,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

kde: α_F ... úhel kruhové výseče zaoblení
 α_G ... poloviční úhel kulového vrchlíku

$$\begin{aligned} D_{FS} &= 2 \cdot \sin\left(\frac{\alpha_F}{2} + \alpha_G\right) \cdot R_F + 319 = 2 \cdot \sin\left(\frac{53,4}{2} + 18,6\right) \cdot 100 + 319 \\ &= 461,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

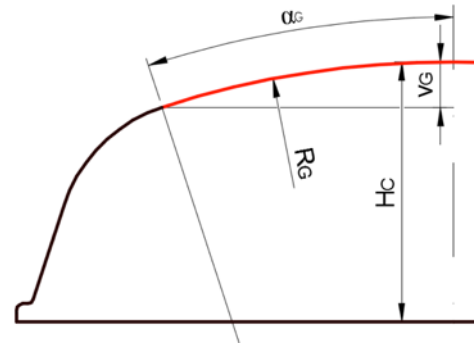
- Pro kulový vrchlík (obr. 42):

$$S_G = 2 \cdot \pi \cdot R_G \cdot v_G = 2 \cdot \pi \cdot 600 \cdot 31,34 = 118\,149 \text{ mm}^2$$

kde: R_G ... poloměr vrchlíku
 v_G ... výška vrchlíku

$$\begin{aligned} v_G &= R_G - \cos(\alpha_G) \cdot R_G = \\ &= 600 - \cos(18,6) \cdot 600 = \\ &= 31,34 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\alpha_G = \text{tg}^{-1} \left(\frac{0,5 \cdot 319}{R_G - (H_C - 43,9)} \right) = \text{tg}^{-1} \left(\frac{0,5 \cdot 319}{600 - (170 - 43,9)} \right) = 18,6^\circ$$



Obr. 42 Plocha "G"

Celková plocha je pak dle vzorce (2.12):

$$\begin{aligned} S_V &= \sum_{i=1}^n S_i = 14\,325,7 + 11\,205,1 + 2\,888,4 + 12\,964,5 + 102\,686,4 \\ &\quad + 135\,037,7 + 118\,149 = 397\,256,8 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Protože se nemění tloušťka součásti během tváření, je možno dát do rovnosti povrch polotovaru a povrch součásti. Průměr kruhového přístřihu pro polotovar je:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_V}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 397\,256,8}{\pi}} = 711,2 \text{ mm}$$

Po zaokrouhlení je zvolena pro metodu rovnosti ploch hodnota rondele $D_{01} = 711 \text{ mm}$.

- Dle zjednodušeného vzorce (2.16) - výpočet průměru polotovaru je pouze pro základní tvary, které nezahrnují složitost tvarování víka. Výsledný hodnota je tedy spíše orientační:

$$D_0 = \sqrt{d_2^2 + 4 \cdot (h_1^2 + d_1 \cdot h_2)} = \sqrt{570^2 + 4 \cdot (95,2^2 + 528,8 \cdot 74,8)} = 720,7 \text{ mm}$$

Po zaokrouhlení hodnoty dle zjednodušeného vzorce je hodnota rondele $D_{02} = 721 \text{ mm}$.

- Softwarem – objem byl zjištěn pomocí softwaru Autodesk Inventor 2015, jehož hodnota je $395\,432,4 \text{ mm}^3$. Průměr polotovaru pak je:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_P}{\pi \cdot S_0}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 395\,432,4}{\pi \cdot 1}} = 709,6 \text{ mm}$$

Stanovená hodnota softwarem je zaokrouhlena na hodnotu $D_{03} = 710 \text{ mm}$.

Jak je zřejmé z výsledků, hodnoty se od sebe zásadně neliší. Nejméně přesný je druhý způsob pomocí zjednodušeného vzorce, kde jsou také největší rezervy. Lépe pak vychází ruční výpočet metodou rozložení na elementární plochy s následnou sumací. Výsledek polotovaru je větší oproti softwarovému výpočtu vlivem zaokrouhlování a počítání s rozměry vnějšího pláště. Nejpřesnější hodnota průměru kruhového přístřihu je tedy výsledek získaný softwarem 710 mm.

Tento rozměr je dále třeba zvětšit z důvodu ostřížení, kde zvětšení je závislé na počtu operací. Pro první tah se navýší vypočtená hodnota polotovaru o 3 %. S každým dalším tahem se přidává 1 %. Počet operací bude určen v následujících kapitolách.

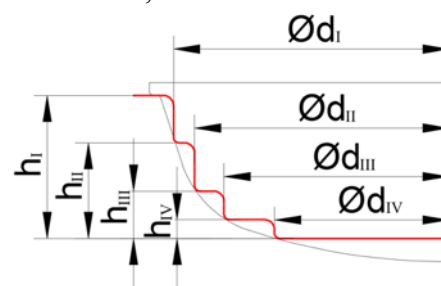
3.2 Možnosti výroby

Před samotným řešením procesních parametrů je nejprve zapotřebí určit jakým způsobem bude výroba probíhat. V úvahu připadá způsob odstupňováním průměrů (obr. 43), nebo vytažení víka přímo sférickým tažníkem.

Pro případ výrobou odstupňování průměrů byl sestaven nejvhodnější tvar s ohledem na zachování stejného přístřihu, velikosti tažné hrany tažníku a tažnice, viz obr. 43. Pro tento případ bylo navrženo rozložení do čtyř tahů. Výchozí polotovár pak tedy bude navýšen celkem o 6 %.

$$D_0 = D_{03} + D_{03} \cdot (0,03 + 0,01 + 0,01 + 0,01) \\ = 710 + 710 \cdot (0,06) = 752,6 \text{ mm}$$

Zvoleno po zaokrouhlení 753 mm.



Obr. 43 Návrh odstupňování

V tabulce 10 je vypočten pomocí MS Excel výchozí průměr metodou rovnosti ploch včetně ploch a navržených rozměrů odstupňování.

Tab. 10 Rozměry a plochy po odstupňování

	I.	II.	III.	IV.	Příruba
Průměry [mm]	524	484	428	332	600
Výšky [mm]	136	91	45	18	
S_{rtu} [mm ²]	12856,91	11869,95	10488,21	8119,50	
S_{rte} [mm ²]	26147,44	24173,52	21410,03	16672,62	
$S_{vertikální}$ [mm ²]	7995,35	18827,56	39913,93	81433,22	50315,75
$S_{horizontální}$ [mm ²]	49385,84	47136,46	16135,22	3129,03	
					SUMA celková
SUMA [mm ²]	96385,54	102007,49	87947,39	109354,37	446010,54
D_0 [mm]	753,6				

Pro odstupňování průměrů vhodného tvaru vycházejí některé součinitele tažení nevhodně a pro vytvoření by bylo zapotřebí celkem pěti nástrojů (4 tažné a jeden kalibrační), což by bylo velmi neekonomické. Další nevýhoda takového přístupu je vzhled součástí, kde jsou znatelné stopy po předchozích tazích. Tento způsob je vhodnější pro velmi hluboké, kuželové výtažky, které nelze vyrobit jiným způsobem.

Protože poměr výšky ku průměru je poměrně malý, bude vhodnější výrobu provést způsobem sférického tažení, které nejspíše bude provedeno jednou operací s použitím brzděného žebra. Ačkoli bude nástroj s žebry složitější na konstrukci a výpočty, ekonomické výhody v potřebě jednoho nástroje jsou rozhodující. Velikost rondle při tažení na jednu operaci pak bude zvětšena o 3 % a tato hodnota bude:

$$D_0 = D_{03} + D_{03} \cdot (0,03) = 710 + 710 \cdot (0,03) = 731,3 \text{ mm}$$

Jako výchozí polotovár tedy bude zvolena hodnota po zaokrouhlení 732 mm.

3.3 Počet tažných operací a tažná mezera

Podle nomogramu uvedeného v příloze 1 je možné vyrobit součást jedním tahem. Pro jednooperační tažení nelze rozhodnout dle součinitele tažení, protože není možné určit průměr na který se redukuje. Rozhodující parametr je potom poměrná tloušťka.

- je-li $\frac{s_0}{D_0} \cdot 100 > 3$; je možné táhnout na jednu operaci bez přidržovače s kalibrací v dokončovací operaci
- je-li $\frac{s_0}{D_0} \cdot 100 > 0,5$; je nutný přidržovač, nebo využít zpětné tažení
- je-li $\frac{s_0}{D_0} \cdot 100 < 0,5$; je zapotřebí užití brzdících žebor nebo zpětného tažení

$$\frac{s_0}{D_0} \cdot 100 = \frac{1}{753} \cdot 100 = 0,13$$

Z podmínek pro tažení na jednu operaci vyplývá, že bude zapotřebí v nástroji uvažovat brzdící žebra. Z nutnosti brzdících žebor tedy vyplývá i nutnost přidržovače, který musí být vhodně tvarován dle profilu žebra na tažnici.

Tažná mezera závisí na tloušťce plechu a pořadí tažení. U tažení tohoto tvaru je však specifická, protože je proměnlivá a mění se se změnou výšky beranu, jak je zobrazeno na obr. 44. V kombinaci s výše zmíněným tažením pomocí brzdného žebra se eliminuje nepříznivý vznik vln. Během poslední fáze operace (na konci zdvihu) by již měla být mezera mezi tažníkem a tažnicí odpovídající běžným hodnotám mezer válcových výtažků. Dle různých způsobů řešení jsou výsledky následující:

- ČSN norma ze vzorců (2.27) a (2.29)

Pro první a další operace

$$z = (1,2 - 1,3) \cdot s_0 = 1,2 \cdot 1 = 1,2 \text{ mm}$$

Pro kalibraci

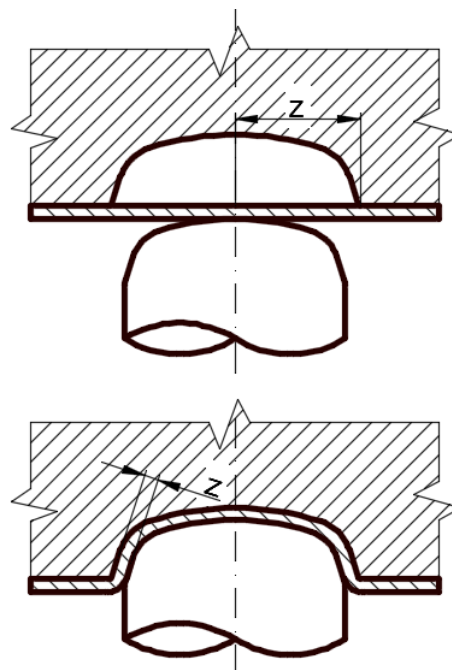
$$z = (1,0 - 1,1) \cdot s_0 = 1,1 \cdot 1 = 1,1 \text{ mm}$$

- Dle Oehlerova vztahu (2.30)

$$z = s_0 + k \cdot \sqrt{10 \cdot s_0} = 1 + 0,07 \cdot \sqrt{10 \cdot 1} = 1,22 \text{ mm}$$

- Dle literatury (tab. 4): pro $s_0=1$ mm je doporučeno $z=1,2$ mm.

Výsledky se pohybují okolo hodnoty 1,2 mm, při kalibraci 1,0 – 1,1 mm a bude tedy zvolena hodnota tažné mezery 1,1 mm, při které by nemělo docházet k zadírání, protože tvar pláště je kuželovitý a zároveň je mezera dostatečná pro vytvoření požadovaného tvaru s minimálním odpružením.



Obr. 44 Proměnlivá tažná mezera

3.4 Nástřihový plán

Nástřihový plán je dobré znát hlavně z ekonomických důvodů. Správné využití materiálu může při velkých sériích výrazně ovlivnit výrobní cenu dílce. Pro kruhový tvar přístřihu nevzniká mnoho variant uspořádání. Pro dělení lze použít technologie vodního paprsku, laseru, plazmy apod., ale protože je polotovar kruhový a příliš velký pro použití v běžném stříhadle, bude rondel vytvořen na kotoučových nůžkách (obr. 45). Tento nástroj je nejméně finančně náročný, ale přitom jednoduchý a rychlý. Čtvercový plech se upne na otočnou podstavu, poté se sevrou kotouče a celý plech je obkroužen. Polotovar je možné získat celkem třemi způsoby. Dvě varianty uspořádání (podélné a příčné) vycházejí z použití tabule plechu, které se mohou objednat ve více rozměrech a jedna varianta při použití svitku. Vystřihávání ze svitku vychází obecně výhodněji. Je možnost si přímo v hutích objednat šířku a délku pásu. Svitky se vyplatí zejména při velkých sériích, kde by byl odpad z tabulí příliš velký. Pro plech o tloušťce 1 mm lze objednat tabule plechu o rozměrech 1x1000x2000, 1x1250x2500 a 1x1500x3000 mm.



Obr. 45 Kotoučové nůžky [13]

Dle normativů z přílohy 2 byla určena velikost můstku 'e' a přepážky 'f_p' (obr. 46)

$$e = 3 \text{ mm}$$

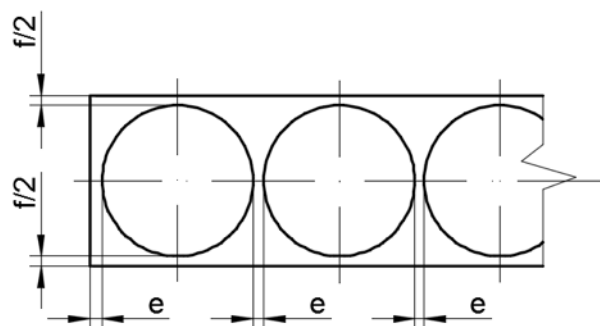
$$f_p = 8 \text{ mm}$$

Velikosti šířky pásu a kroku

$$b = D_0 + f_p = 732 + 8 = 740 \text{ mm}$$

$$k_k = D_0 + e = 732 + 3 = 735 \text{ mm}$$

kde: b ... šířka pásu
k_k ... délka kroku
f_p ... přepážka
e ... můstek



Obr. 46 Velikost můstku a přepážky

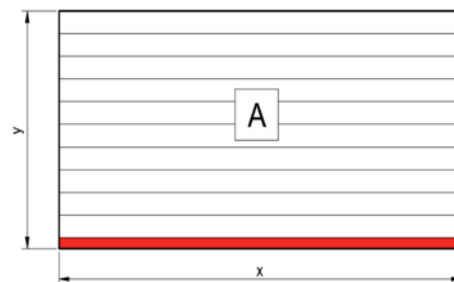
- Tabule plechu – vzorový výpočet bude proveden pro rozměr tabule 1x1500x3000 mm, další rozměry budou vypsány v tabulce.

- Varianta uspořádání A - podélné dělení pásů (obr. 47)

$$u = \frac{x_d}{k_k} = \frac{3000}{735} = 4,08$$

$$v = \frac{y}{b} = \frac{1500}{740} = 2,03$$

kde: u ... počet kusů v pásu
v ... počet pásů plechu
x_d ... délka pásu z tabule
y ... výška tabule



Obr. 47 Uspořádání "A"

Výsledky musejí být pouze celá čísla případně zaokrouhlená dolů, proto jsou zvoleny 4 ks v pásu a 2 pásy z tabule.

Celkový počet kusů na jedné tabuli ve variantě A je tedy:

$$w = u \cdot v = 4 \cdot 2 = 8 \text{ ks}$$

Nejlépe bude využití plochy tabule zřetelné z procentuálního výsledku.

$$i = \frac{w \cdot S_0}{x_d \cdot y} \cdot 100 = \frac{8 \cdot 420\,835}{1500 \cdot 3000} \cdot 100 = 74,8 \%$$

kde: S_0 ... plocha kruhového přístřihu

$$S_0 = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} = \frac{\pi \cdot 732^2}{4} = 420\,835,2 \text{ mm}^2$$

- Varianta uspořádání B - příčné dělení pásů (obr. 48)

$$u = \frac{x_d}{k_k} = \frac{1500}{735} = 2,07$$

$$v = \frac{y}{b} = \frac{3000}{740} = 4,05$$

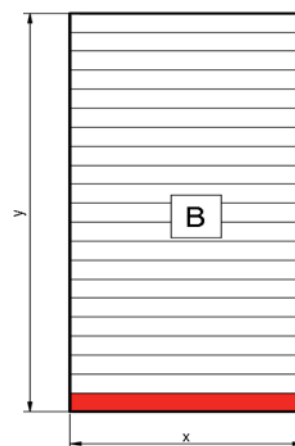
Zvoleny celé kusy $u = 2$ ks a $v = 4$ ks.

Celkový počet kusů na jedné tabuli ve variantě B je tedy:

$$w = u \cdot v = 4 \cdot 2 = 8 \text{ ks}$$

Procentuální využití tabule:

$$i = \frac{w \cdot S_0}{x_d \cdot y} \cdot 100 = \frac{8 \cdot 420\,835}{3000 \cdot 1500} \cdot 100 = 74,8 \%$$



Obr. 48 Uspořádání "B"

Další způsoby uspořádání jsou řešeny stejnými postupy jako u výše uvedené výpočty, a proto jsou uvedeny jen jejich výsledky v následující tabulce 11.

Tab. 11 Varianty rozložení

	u [ks]	v [ks]	w [ks]	i [%]
IA - 1x1000x2000	2	1	2	42,1
IB - 1x1000x2000	1	2	2	42,1
IIA - 1x1250x2500	3	1	3	40,4
IIB - 1x1250x2500	1	3	3	40,4
IIIA - 1x1500x3000	4	2	8	74,8
IIIB - 1x1500x3000	2	4	8	74,8

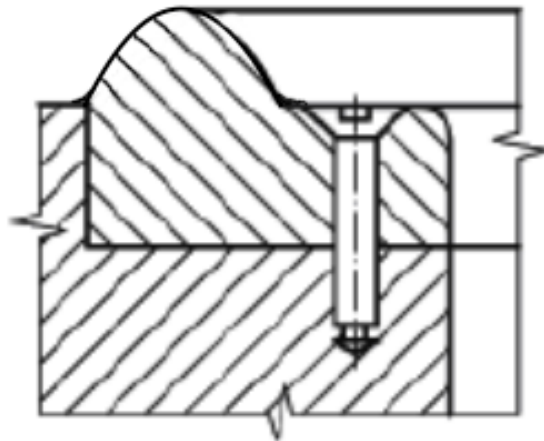
- Svitek – procentuální využití svitku se vzhledem k možnosti objednávky požadovaného rozměru a délky pásu plechu počítá z velikosti kroku a šířky pásu. Odpadem jsou pak prakticky jen volná místa mezi rondely a přídavky okolo polotovaru ve formě můstku a přepážky.

$$i = \frac{S_0}{b \cdot k_k} \cdot 100 = \frac{420\,835}{740 \cdot 735} \cdot 100 = 77,4 \%$$

Ze všech variant vychází nejlépe již z dříve zmíněného předpokladu svitek s využitím materiálu 77,4 %. Velmi dobře také vychází podélné rozložení pásů z tabule plechu s rozměry 1x1500x3000 mm, kde je však potřeba nástroje pro dělení tabule na pásy plechu a následně na jednotlivé čtverce. U svitku je možné rovnou dělit pás na čtverce a následně vykružovat rondel.

3.5 Výpočet síly a práce

Tažnou i kritickou sílu ovlivňuje mnoho faktorů mezi které patří zejména druh materiálu, ohybové a třecí napětí, která budou mít vliv na výslednou sílu. V předchozích podmínkách bylo zjištěno, že tažení může probíhat na jednu operaci pouze s přítomností brzdných žebër, která navyšují právě ohybové a třecí napětí. Před výpočtem sil bude nejprve proveden výběr vhodného žebër. U rotačních součástí se zhotovují brzdná žebër po obvodu celého přidržovače, jejich šířka je 5 až 10 mm a výška 1,2 až 5 mm. Menší jsou ve tvaru půlkružnice a větší mají profil pouze kruhové výseče. Doporučený radius je $r = (3 \text{ až } 10) s_0$.



Obr. 49 Brzdné žebro [17]

Bude tedy zvoleno žebro, které je součástí materiálu přidržovače, jehož šířka bude 5 mm, výška 2,5 mm a radius 2,5 mm. Volba bude ověřena simulací, popřípadě může být ověřena zkušebními provozem a při nevyhovujících výsledcích mohou být následně zvolené rozměry upraveny.

Tažná síla bude vyřešena za pomoci zjednodušení, které spočívá v převedení na jednoduchý válcový výtažek při maximální síle. Ta nastává při plném opásání tažné hrany tažníku a tažnice. Vyjádřeno zdvihem beranu je to výška $h_{Fmax} = r_{te} + r_{tu} + s_0$.

Pro zjednodušený model válcového výtažku je vypočten součinitel tažení:

$$m_1 = \frac{d_1}{D_0} = \frac{570}{732} = 0,78$$

Tažné síly jsou vyřešeny dle vzorce (2.39), který odkazuje na teoretický rozbor napjatostí z rovnice (2.6).

$$\begin{aligned} \sigma_{z1max} &= \left(1,1 \cdot \sigma_{ps} \cdot \ln \frac{\bar{\rho}}{m_1} + \frac{f \cdot F_p}{\pi \cdot \rho \cdot R_o \cdot s_0} \right) \cdot (1 + 1,6 \cdot f) + \frac{R_m \cdot s_0}{2 \cdot r_{te} + s_0} = \\ &= \left(1,1 \cdot 336,57 \cdot \ln \frac{0,9}{0,78} + \frac{0,12 \cdot 414148,3}{\pi \cdot 570 \cdot 366 \cdot 1} \right) \cdot (1 + 1,6 \cdot 0,12) + \frac{320 \cdot 1}{2 \cdot 6 + 1} \\ &= 87,86 \text{ MPa} \\ \sigma_{ps} &= \frac{R_m}{1 - Z} \cdot \left\{ \frac{1}{Z} \left[1 - 0,5 \left(\bar{\rho} + \frac{m_1}{\sqrt{1 - \bar{\rho}^2 + m_1^2}} \right) \right] \right\}^{\frac{Z}{1-Z}} = \\ &= \frac{320}{1 - 0,23} \cdot \left[\frac{1 - 0,5 \left(0,9 + \frac{0,78}{\sqrt{1 - 0,9^2 + 0,78^2}} \right)}{0,23} \right]^{\frac{0,23}{1-0,23}} = 336,57 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Pro složku třecího napětí od přidržovače je třeba vypočítat sílu přidržovače dle (2.36)

$$F_p = \frac{\pi \cdot (D_0^2 - d_1^2)}{4} \cdot p = \frac{\pi \cdot (732^2 - 570^2)}{4} \cdot 2,5 = 414\,148,3 \text{ N}$$

Po dosazení deformačního odporu do tažné síly (2.39)

$$F_{taž1} = \pi \cdot d_1 \cdot s_0 \cdot \sigma_{zmax} = \pi \cdot 570 \cdot 1 \cdot 87,86 = 157\,331,6 \text{ N}$$

Protože přidání žeber způsobí nárůst síly, bude $F_{taž1}$ zvětšena o 50 %, což zabezpečí dostatečnou rezervu pro úspěšné vytažení součásti.

$$F_{taž1,5} = 1,5 \cdot F_{taž1} = 1,5 \cdot 157\,331,6 = 235\,997,4 \text{ N} = 236 \text{ kN}$$

Kritická síla, která zapříčiní utržení dna pak bude dle vzorce (2.35)

$$F_{krit} = \pi \cdot d_1 \cdot s_0 \cdot R_m = \pi \cdot 570 \cdot 1 \cdot 320 = 573\,026,5 \text{ N}$$

Po porovnání výsledků tažné a kritické síly je splněna podmínka $F_{tažná} < F_{kritická}$. Kritická síla je téměř 2,5krát větší, z toho vyplývá, že by nemělo během operace dojít k žádným problémům. Celková síla, zahrnující i přidržovač bude:

$$F_C = F_{krit} + F_p = 573\,026,5 + 414\,148,4 = 987\,174,9 \text{ N}$$

Dalším rozhodujícím parametrem pro volbu stroje je znalost tažné práce (2.38):

$$A = \frac{C_1 \cdot F_C \cdot H_C}{1000} = \frac{0,66 \cdot 987\,174,9 \cdot 158}{1000} = 102\,942,6 \text{ J} = 102,9 \text{ kJ}$$

3.6 Volba stroje [26]

Správná volba lisu je závislá na rozměrech vyráběné součásti (musí se počítat s největší velikostí, tedy s průměrem přístřihu). Aby bylo zabezpečeno bezproblémové vyjmutí součásti, musí být zdvih alespoň dvojnásobný oproti celkové výšce výtažku. Dále je volen stroj podle požadavků série, kde při větších sériích je žádaná větší rychlost a tím pádem více zdvihů za časovou jednotku. To umožňují mechanické lisy. Hydraulické lisy mají nižší rychlost, ale je možné ji regulovat, včetně potřebné síly. Dalším rozhodujícím parametrem pro volbu je tažná síla. Pro návrh nástroje je důležitou vlastností, zda je lis jednočinný, dvojčinný, či vícečinný.

Pro výrobu víka kotlového grilu bude potřeba dvojčinného lisu, aby bylo možné ovládat separovaně pohyb tažníku (tažnice) a přidržovače. Vzhledem k sérii 10 000 ks/rok není nutný tak vysoký takt výroby. Potřebná síla pro výrobu dílce je 1 008 kN. Výška součásti je 170 mm, takže zdvih musí být minimálně 340 mm. Výchozí rondel má průměr 732 mm, a proto



Obr. 50 Hydraulický lis CBA 250 [26]

s přihlédnutím k rozměrové rezervě (např. vodící sloupky v nástroji, bezproblémové založení přístřihu apod.) je požadavek na upínací plochu alespoň 1000x1000 mm.

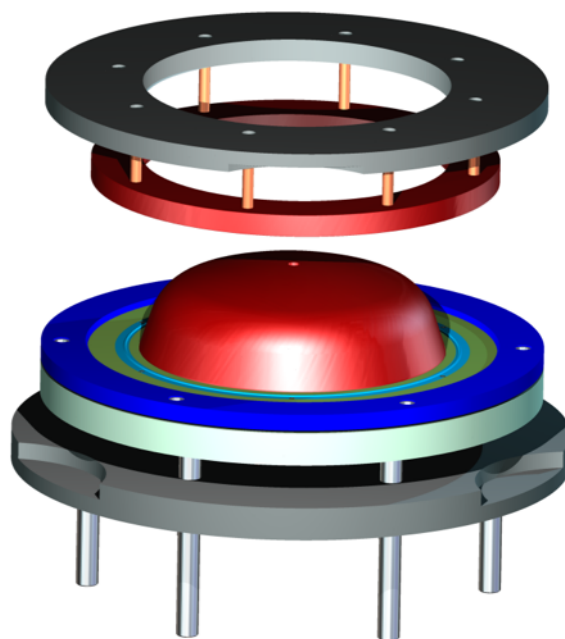
Těmto požadavkům nejlépe vyhovuje hydraulický univerzální lis CBA 250 (obr. 50) od firmy TOS Rakovník. Stroj má čtyřsloupovou konstrukci s poloautomatickým, či automatickým cyklem. Vhodné jsou pro lisování plastických hmot, či tváření plechů za studena. Koncepce zařízení umožňuje modifikace, úpravy a rozšíření. Základní provedení obsahuje jeden lisovací válec, hydromechanické jištění beranu, optickou bránu, PLC a manuální regulaci tlaku. Lis dosahuje rychlosti až 100 mm/s. V základním PLC je možné nastavit pracovní cyklus a umožňuje monitorování systémových veličin. Pro řešení víka bude zapotřebí přídavného zařízení v podobě přidržovacího válce. Otvor ve spodní desce lisu pro ovládání přidržovače bude vytvořen dle potřeb nástroje a bude mít tedy průměr 770 mm.

Tab. 12 Parametry lisu CBA 250 [26]

Základní technické parametry		CBA 250
Jmenovitá síla	kN	2 500
Výška	mm	4 000
Šířka	mm	3 200
Hloubka	mm	1 700
Zdvih	mm	1 000
Upínací desky	mm	1 650 x 1 250
Přibližovací rychlost	mm/s	110
Lisovací rychlost	mm/s	2,5
Zpětná rychlost	mm/s	100
Hmotnost	kg	15 000
Příkon	kW	18,5
Pracovní tlak	MPa	31,5

3.7 Návrh sestavy [18]

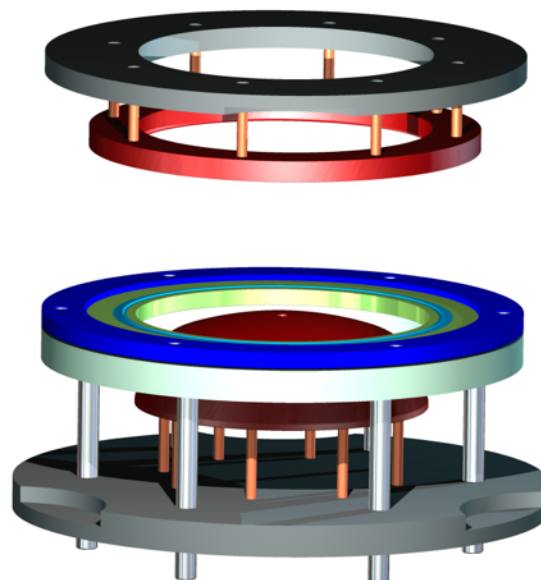
Nástroj je navržen s ohledem na možnosti upnutí do stroje, a především pro spolehlivou výrobu výtažku. Tento nástroj vytvoří tělo víka kotlového grilu na jeden zdvih. Normalizovány jsou pouze běžně používané části, které musejí tvarově odpovídat protikusům (např. beran lisu), tedy stopka, spojovací materiál apod. Většina je však konstruována volně, pouze dle doporučení z literatury. Nástroj na obrázku 51 je tvořen třemi hlavními částmi. Nepohyblivou část tvoří tažník, který je umístěn na spodní desce. Pohyblivé části jsou tažnice a přidržovač. Tyto komponenty se mohou pohybovat nezávisle na sobě. Přidržovač je ovládán přídavným zařízením zespoda a tažnice beranem shora. Vzhledem k tomu, že je vedení hydraulického lisu dostatečně přesné, není zapotřebí ztěžovat konstrukci vodícími sloupky mezi horní a spodní



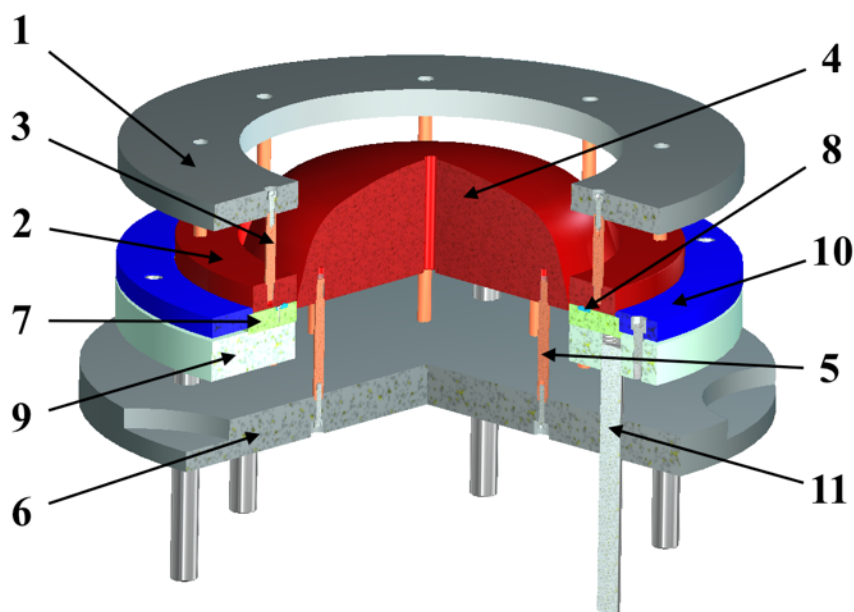
Obr. 51 Nástroj - 3D model

základovou deskou. Protože jsou funkční části rozměrné a počet vyráběných kusů za rok je poměrně nízký, bude použita méně ušlechtilá ocel oproti doporučeným nástrojovým ocelím třídy 19. Ekonomičtější variantou by mohla být ocel 14 220 (1.7131) vhodná k cementování. Tyto činné plochy, které jsou v kontaktu s materiálem, musejí mít kvalitní lesklý povrch. Nástroje mohou být upraveny velmi tvrdou cementační vrstvou, která bývá až do hloubky 0,2 mm a následně se vyleští na předepsané hodnoty.

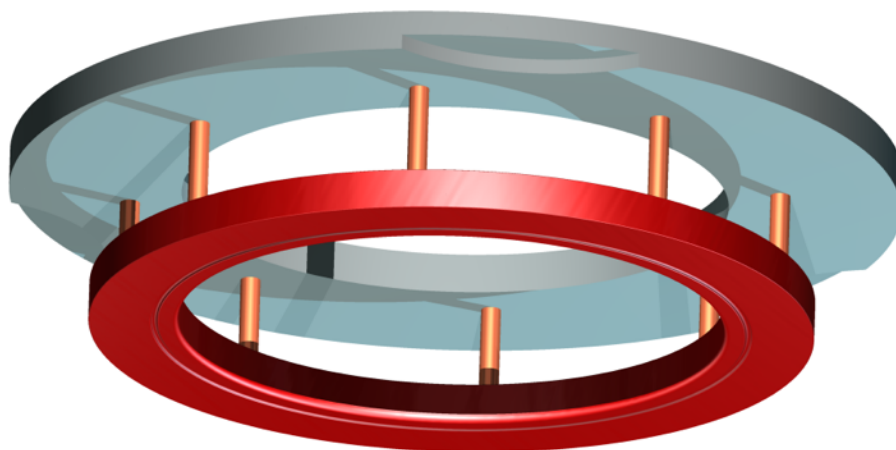
Výchozí poloha je na obrázku 52, kde přidržovač je nad vrchní úrovní tažníku a tažnice v nastavené horní úvrati beranu lisu. Pro obsluhu stroje je zapotřebí jedné osoby, která navržený polotovár natře mazivem na straně tažnice, založí ho do zakládacího kroužku přidržovače a může spustit pohon hydrauliky. Poté se nejprve spustí pohyb horního beranu. Až dosedne tažnice na přidržovač, přitlačí plech předem nastavenou silou. Po dosažení síly je spuštěn i pohyb přidržovače, řízený přídavným zařízením, ve směru pohybu tažnice. Po dosažení nastavené spodní úvrati je výtažek hotový. Následně se nejprve vrátí do výchozí polohy horní beran s tažnicí a poté poslouží přidržovač jako vyhazovač a zpětným pohybem vzhůru do své výchozí polohy stáhne hotovou součást z tažníku. Součástí je obsluhou lisu sejmuta a celý proces se opakuje. Pro názornější pohled a popis je na obrázku 53 vyobrazen řez celým nástrojem tažidla v sevřeném stavu.



Obr. 52 Nástroj - výchozí pozice

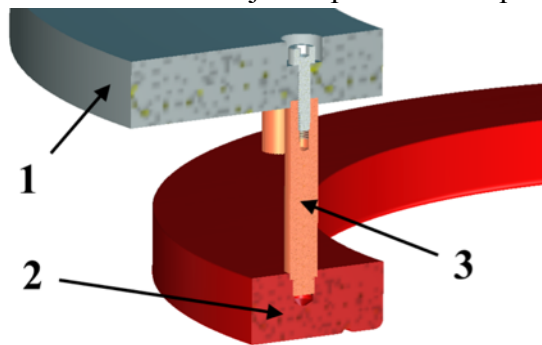


Obr. 53 Tříčtvrteční řez nástrojem



Obr. 54 Horní část tažidla

Horní část, která je zobrazena na obr. 54 a v řezu na obr. 55 je pomocí upínek aretována k horní upínací desce beranu lisu. Pro montáž jsou vytvořeny po 120° tři kruhová vybrání na přírubě (1). Sestava s tažnicí je tedy tvořena přírubou (1), která zároveň slouží jako upínací deska pro samotnou tažnici (2). Tažnice (2) je opatřena drážkou kopírující brzdné žebro. Zaoblením tažné hrany tažnice je 6 mm. Protože je nástroj poměrně velký, nepřipadá v úvahu vyrábět držák tažnice z jednoho kusu z důvodů, že by byla příliš velká hmotnost nástroje a spotřeba materiálu. Horní část je tedy odlehčena osmi sloupky (3), které jsou zajištěné na straně tažnice (2) závitem M16 a na straně příruby (1) zápusťným šroubem M10 s vnitřním šestihranem. Přesná poloha sloupků tažnice (3) je pojištěna vybráním na obou stranách o rozměru 20 mm. Průměr sloupků je také 20 mm. Zvolený rozměr průměru v poměru k délce by měl bezpečně přenést nejen potřebnou sílu na vytažení dílu, ale také naproti působící síle od přidržovače. Ověření kritické síly na vzpěr je následující:



Obr. 55 Řez horní částí

$$F_{vzkrit} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_S}{L_v^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 7\,854}{(0,5 \cdot 99)^2} = 6\,643\,539,8\,N \approx 6\,643,5\,kN$$

kde: E ... Youngův modul pružnosti – pro ocel $2,1 \cdot 10^5$ [MPa]

J_S ... osový moment setrvačnosti

L_v ... vzpěrná délka – pro oboustranné vetknutí $L_v = 0,5l$

$$J_S = S_{sl} \cdot (0,25 \cdot D_{sl})^2 = \frac{\pi \cdot D_{sl}^2}{4} \cdot (0,25 \cdot D_{sl})^2 = \frac{\pi \cdot 20^2}{4} \cdot (0,25 \cdot 20)^2 = 7\,854\,mm^3$$

kde: S_{sl} ... plocha průřezu sloupku

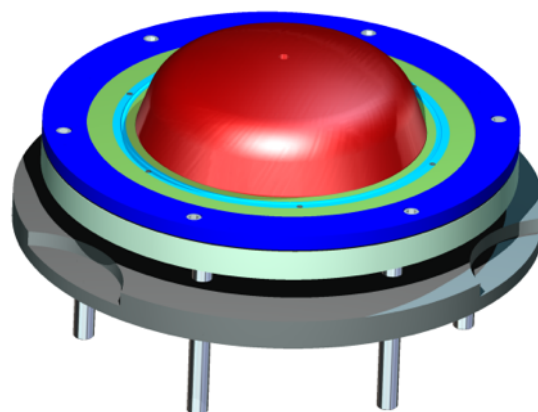
D_{sl} ... průměr sloupku

Pro bezpečnost $k=4$ pak bude vzpěrná síla:

$$F_{vz} = \frac{F_{vzkrit}}{k} = \frac{6\,643,5}{4} = 1\,660,9\,kN$$

Protože se po obvodu nachází 8 sloupků, bude maximální možná přenášená síla 8krát vyšší $8 \cdot F_{vz} = 8 \cdot 1\,660,9 = 13\,287,2\,kN$, avšak maximální možná síla lisu je 2 500 kN, tedy vzpěrná síla by nebyla překonána. Návrh odlehčení pro tažnici je tedy v pořádku.

Ve spodní části, zobrazené na obr. 56 je umístěna další z hlavních částí tažidla - tažník (4), který přesně kopíruje tvar součásti a je zmenšen o rozměr tažné mezery. Sestava s tažníkem je podobně jako horní část odlehčena a tažník (4) je upnut pomocí osmi podpěrných sloupků (5) jak je vidět na obrázku 57. Upnutí je také shodné, tedy závitem M16 v tažníku a zapuštěnými šrouby M10 do základové desky (6). Ověření na vzpěr bude řešeno také shodně s horní sestavou:



Obr. 56 Spodní část tažidla

$$F_{vzkrit} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_S}{L_v^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 7\,854}{(0,5 \cdot 139)^2} = 3\,370\,081\,N \approx 3\,370,1\,kN$$

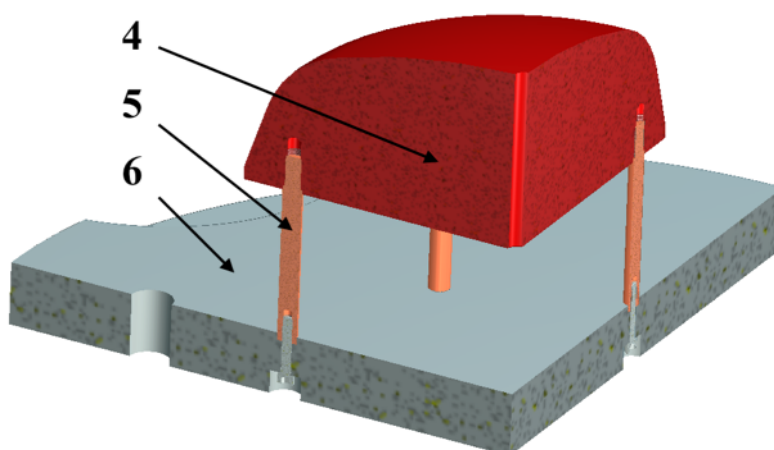
$$J_S = S_{sl} \cdot (0,25 \cdot D_{sl})^2 = \frac{\pi \cdot D_{sl}^2}{4} \cdot (0,25 \cdot D_{sl})^2 = \frac{\pi \cdot 20^2}{4} \cdot (0,25 \cdot 20)^2 = 7\,854\,mm^3$$

Pro bezpečnost $k=4$ pak bude vzpěrná síla:

$$F_{vz} = \frac{F_{vzkrit}}{k} = \frac{3\,370,1}{4} = 842,5\,kN$$

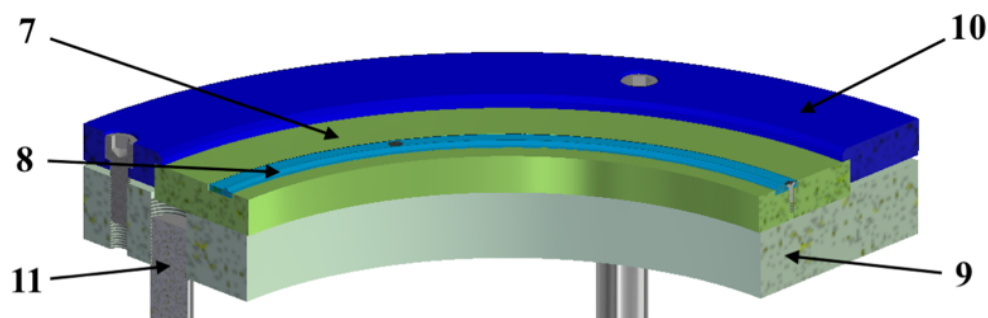
Pro osm sloupků pak bude kritická vzpěrná síla $8 \cdot F_{vz} = 8 \cdot 842,5 = 6\,740\,kN$.

Vzhledem k nejhorší situaci, která může nastat, tedy za působení plné síly stroje, při níž by však samozřejmě došlo k porušení výtažku, bude stroj působit na podpěrné sloupky silou 2 500 kN, což je téměř třetinová hodnota, při níž by mohlo dojít ke ztrátě vzpěrné stability.



Obr. 57 Čtvrtinový řez tažníku

Tažník (4) je opatřen odvodušňovacím kanálkem (obr. 57) důležitým při vyjímání součásti, kdy vzniká podtlak a výtažek by se poškodil. Tento kanálek má průměr 20 mm. Protože je tažník (4) umístěn na sloupcích (5) vzduch může být nasáván z volného prostoru pod ním. Do přídržovače (7) je zalisováno brzdné žebro (8) z důvodu vyměnitelnosti. Sestava přídržovače v řezu je zobrazena na obrázku 58. Přesná poloha přídržovače (7) je zabezpečena kruhovým vybráním v upínací desce přídržovače (9) a upínacím kroužkem (10) přitaženým přes šest zapuštěných šroubů M20 s vnitřním šestihranem. Upínací kroužek (10) slouží také jako základací prostor pro kruhový rondel.



Obr. 58 Čtvrtinový řez sestavou přidržovače

Je o jeden milimetr v průměru zvětšen oproti návrhu polotovaru z důvodu drobných nepřesností výstřižku. V desce přidržovače (9) je šest průchozích otvorů se závitem M40, do kterých jsou zašroubovány vodící sloupky (11) pro vedení a pohyb sestavy přidržovače. Tyto sloupky jsou zapřeny pod lisem do desky přídavného hydraulického zařízení, kterým je regulována přidržovací síla a je tím realizováno i stahování výtažku. Vedení (11) prochází přes základovou desku (6), ve které jsou také tři kruhová vybrání po 120° pro upnutí podobně jako v horní části, jen s rozdílem, že jsou pootočený vůči horní přírubě (1), aby náhodou nedošlo ke kolizi dvou upínek naproti sobě.

Jako mazivo byl vybrán olej OMV draw YU 200, který je vysoce viskózní. Je určen pro obtížné procesy tváření, zejména hluboké tažení. Kombinace vlastností složek pro zatížení extrémními tlaky, ochranou proti opotřebení a vysoké viskozity umožňují dobré výsledky i v obtížných procesech tváření vysoce pevných materiálů. Velkou výhodou je, že neobsahuje chlór, a to především z důvodů silného snížení nákladů na zpracování odpadu a vlivu na životní prostředí. Další podstatné vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 13.

Tab. 13 Technická data maziva OMV draw YU 200 [18]

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Vzhled	---	opálový
Hustota - 15 °C	kg/m ³	954
Viskozita - 40 °C	mm ² /s	165
Viskozita - 100 °C	mm ² /s	17,5
Bod vzplanutí	°C	182
Bod tuhnutí	°C	< -9

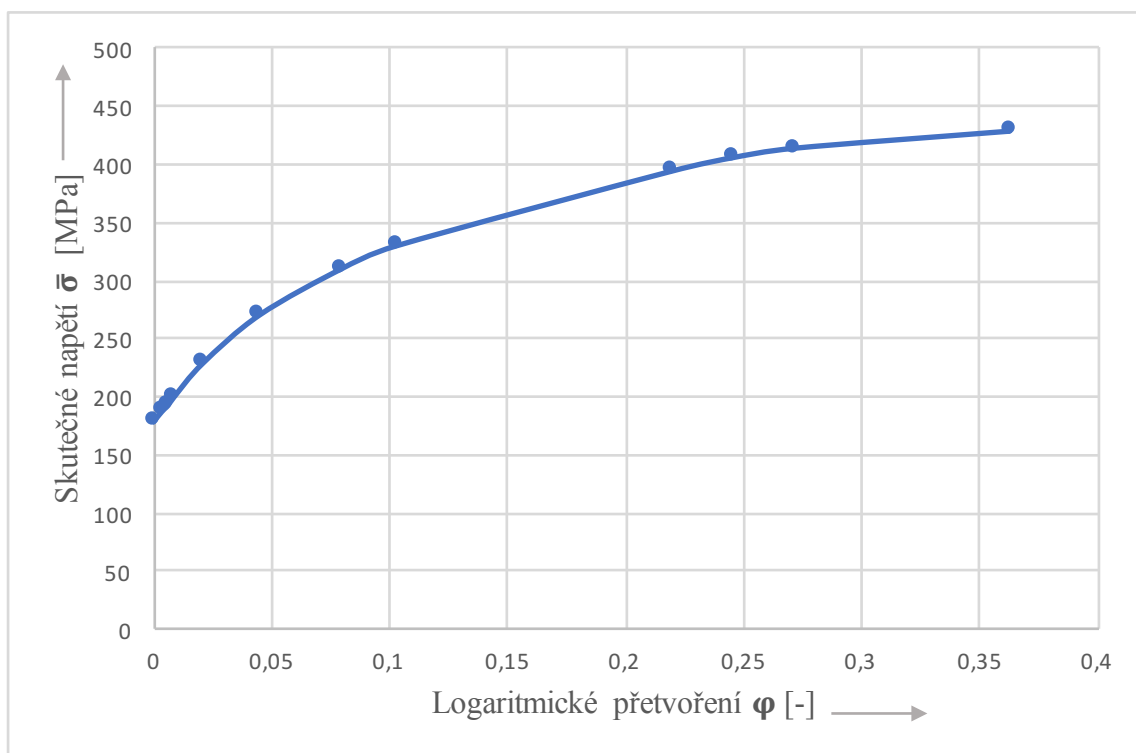
Technologický postup je rozpis jednotlivých operací ve sledu, jak jdou za sebou, kde je udán použitý stroj a činnost, která se má provádět. Protože je zde rozebrána především technologie tažení, je technologický postup vypsán pouze pro výrobu výtažku.

Tab. 14 Technologický postup

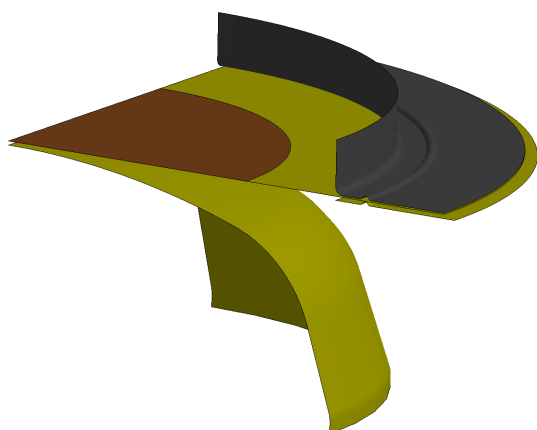
Číslo operace	Stroj	Název operace
001	Tabulové nůžky	Zhotovit čtvercové plechy
005	Kotoučové nůžky	Vytvořit rondel
010	-	Nanést mazivo
015	Hydraulický lis CBA 250	Provést tažení
020	-	Kontrolovat
025	Kotoučové nůžky	Ostříhnout výtažek
030	-	Odmastit
035	-	Kontrolovat

3.8 Numerická simulace

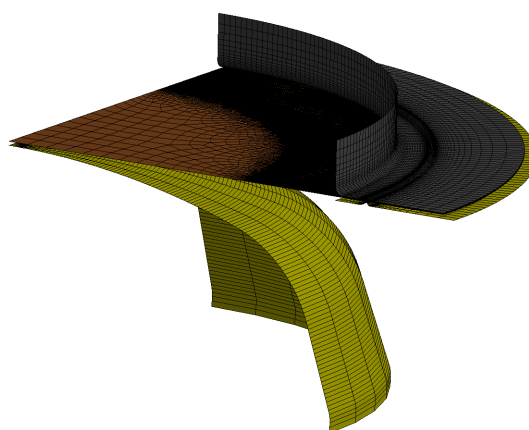
Pomocí zjištěných technologických parametrů, geometrie navrženého nástroje a materiálového modelu byla provedena numerická simulace průběhu tažné operace výroby víka kotlového grilu. Do vstupních dat byly zahrnuty informace o materiálu (ocel 11 305) v podobě tahové zkoušky, která má průběh dle obr. 59 a geometrie nástroje dle obr. 60 a 61. Tření bylo zvoleno $f = 0,1$, $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$, Poissonovo číslo 0,3. Simulace byla řešena v programu ANSYS LS-DYNA ve 3D s jednočtvrtinovou symetrií.



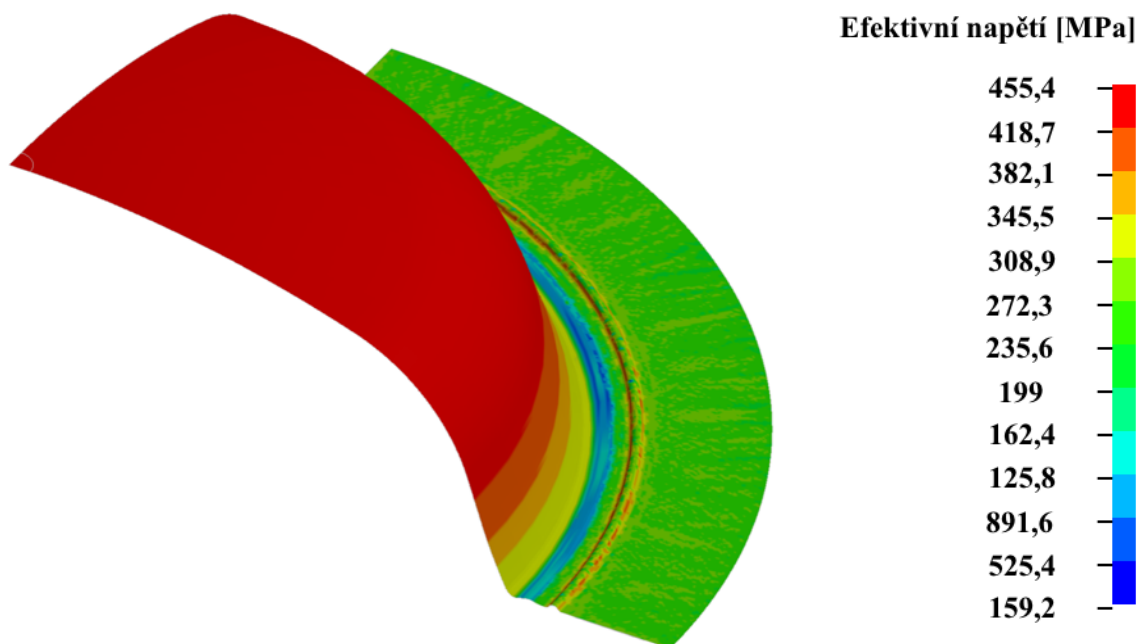
Obr. 59 Tahová zkouška pro ocel 11 305



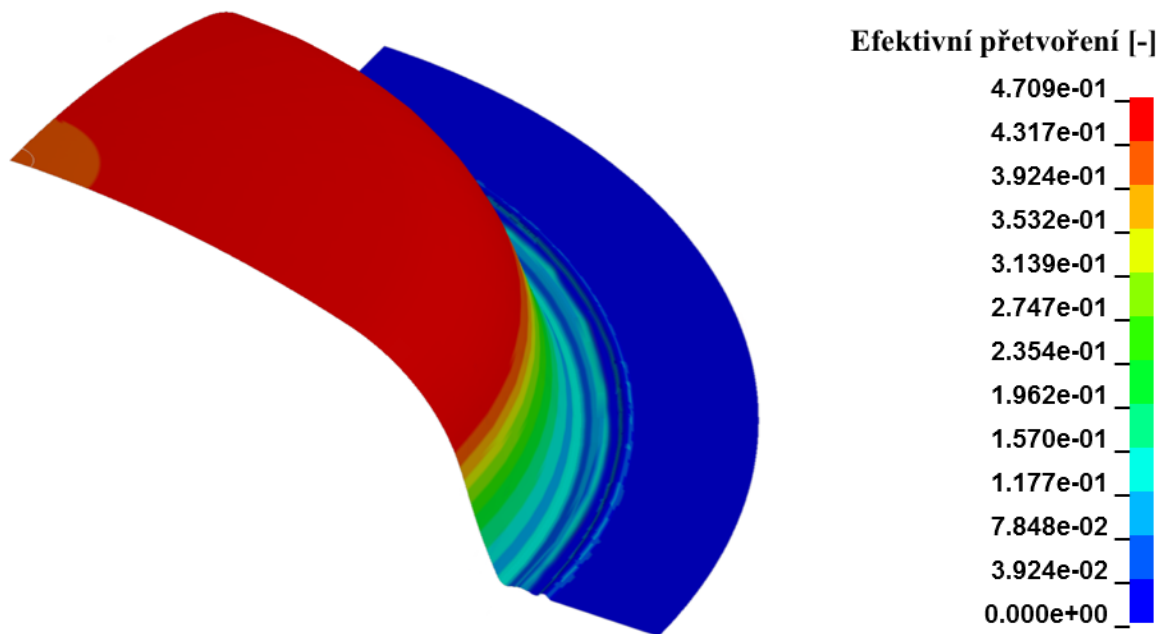
Obr. 60 Vstupní geometrie nástroje



Obr. 61 Diskretizace (uzlové body)

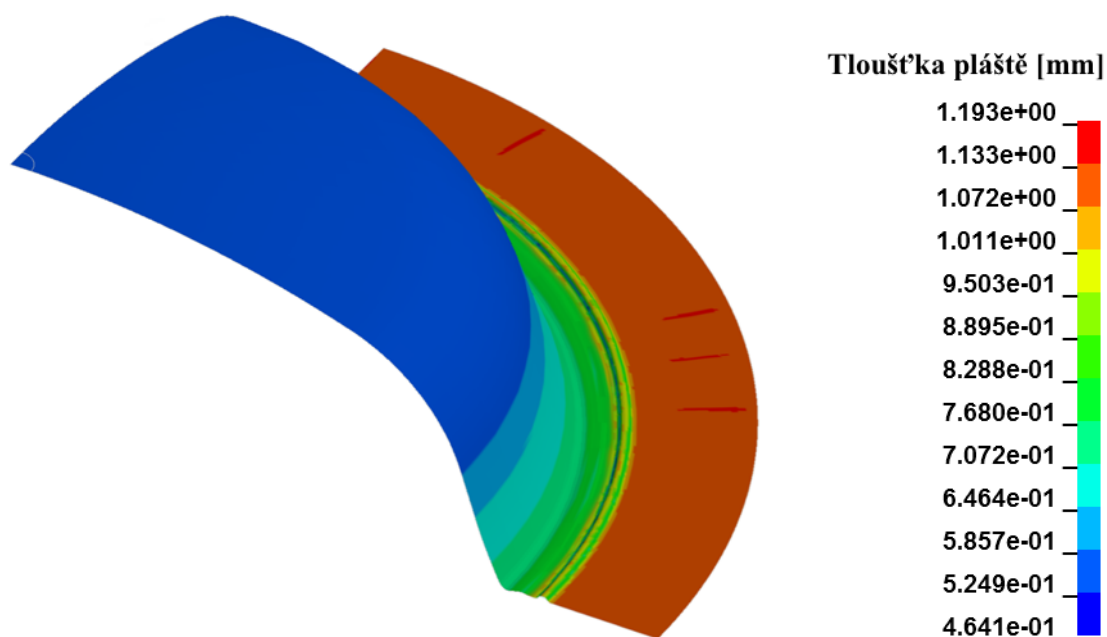


Obr. 62 Efektivní napětí v součásti

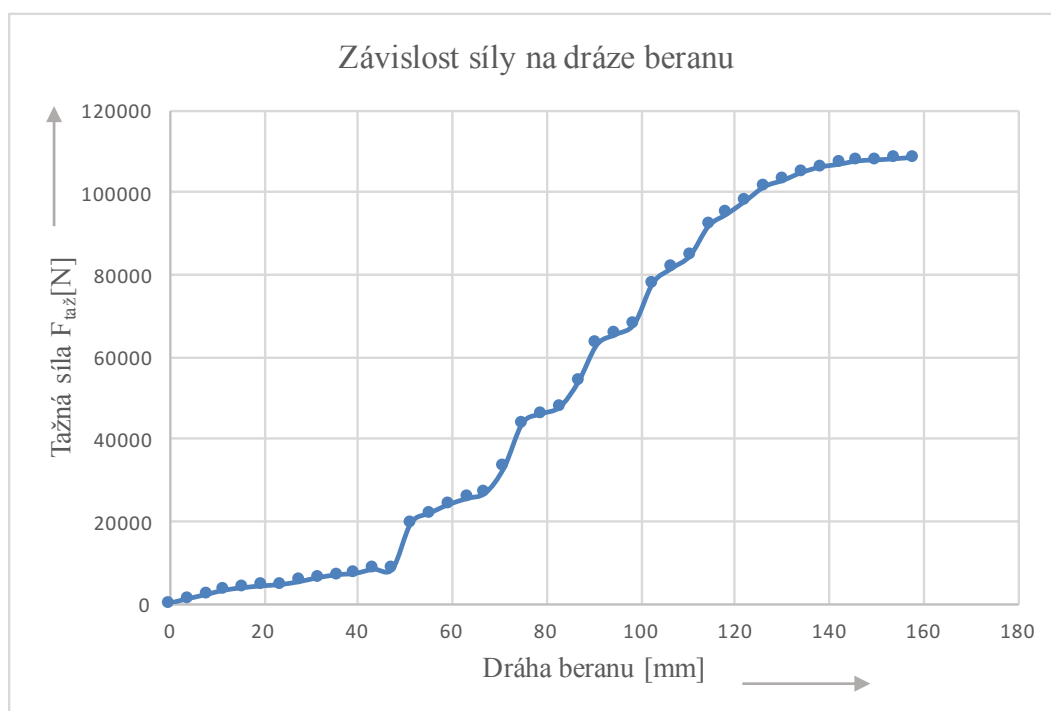


Obr. 63 Plastické přetvoření

Na obrázku 62 je znázorněné isoplochy efektivních napětí. Největšího napětí je dosaženo ve dně výtažku a v okolí žebra. Dosažená hodnota napětí jen lehce přesahuje hodnotu napětí v tahovém diagramu, viz obr. 59. Z obrázku 63 je zřetelně vidět nejintenzivnější přetvoření materiálu v okolí dna víka.



Obr. 64 Zúžení plechu



Obr. 65 Graf závislosti tažné síly na dráze beranu

Obrázek 64 znázorňuje tloušťku plechu v jednotlivých částech dílce. Největšího ztenčení je dosaženo ve dně víka, což odpovídá i maximálnímu napětí a přetvoření. Materiál je nejspíše moc silně brzděn obvodovým žebrem, nebo je tažná hrana příliš ostrá, ačkoli byla navržena dle doporučení. Ztenčování plechu vytahováním je zřetelné i na nevyužité přírubě. Na obr. 65 je grafická závislost tažné síly na dráze beranu, kde síla dosáhne maxima 108,5 kN až v hodnotě 158 mm, což je maximální zdvih nástroje. Vypočtená tažná síla se zjednodušením vyšla 157,3 kN, čili takové síly není dle simulace zapotřebí. Ke zlepšení výsledků by bylo zapotřebí opakovaně upravovat konstrukci funkčních částí nástroje a provádět další simulace.

4 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [1]

Takovéto zhodnocení je prováděno pro předběžný odhad nákladů pro výrobu jednoho kusu součásti. Z propočtů pak lze určit tzv. bod zvratu, kdy začne být výroba zisková, neboli spíše kolik kusů je třeba vyrobit (prodat), aby se vrátily vstupní náklady. Velikost série činí 10 000 ks/rok.

- Materiálové zhodnocení – je řešeno pro případ nejvýhodnějšího využití materiálu. V tomto případě se bude zhodnocení provádět pro svitek plechu, u kterého bylo zaplnění 77,4 %. Cena svitku je vztažena na jeden kilogram hmotnosti. Pro materiál DC04 byla zjištěna cena 20,50 Kč/kg dle firmy Feron a.s.

Potřebná délka pásu pro celou sérii

$$l_p = k_k \cdot n_s = 0,735 \cdot 10\,000 = 7\,350\text{ m}$$

kde: n_s ... počet kusů ve výrobní sérii
 k_k ... délka kroku

Hmotnost svitků pro celkový počet kusů série

$$m_{cs} = \rho_{oc} \cdot V_c = 7\,850 \cdot 5,439 = 42\,696,2\text{ kg}$$

kde: ρ_{oc} ... hustota válcované oceli (7 850 kg/m³)
 V_c ... objem pásu celé série

$$V_c = s_0 \cdot l_p \cdot b = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 7\,350 \cdot 740 \cdot 10^{-3} = 5,439\text{ m}^3$$

kde: b ... šířka pásu

Cena všech svitků celé série

$$c_{cs} = m_{cs} \cdot c_s = 42\,696,2 \cdot 20,50 = 875\,272,1\text{ Kč}$$

kde: c_s ... cena za jeden kilogram svitku

Hmotnost jednoho výtažku

$$m_v = V_v \cdot \rho_{oc} = 4,2084 \cdot 10^{-4} \cdot 7\,850 = 3,3\text{ kg}$$

kde: V_v ... objem jednoho přístřihu

$$V_v = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot s_0 = \frac{\pi \cdot 0,732^2}{4} \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 4,2084 \cdot 10^{-4}\text{ m}^3$$

Celková hmotnost všech přístřihů v sérii

$$m_{cp} = m_v \cdot n_s = 3,3 \cdot 10\,000 = 33\,000\text{ kg}$$

Hmotnost odpadu

$$m_o = m_{cs} - m_{cp} = 42\,696,2 - 33\,000 = 9\,696,2\text{ kg}$$

Nevyužitý materiál lze odprodat, tím se sníží ztráty.

Cena odpadu

$$c_o = c_{kg} \cdot m_o = 2,5 \cdot 9\,696,2 = 24\,241\text{ Kč}$$

kde: c_{kg} ... výkupní cena oceli

Celkové náklady za materiál pak tedy jsou

$$C_c = c_{cs} - c_o = 875\,272,1 - 24\,241 = 851\,031\text{ Kč}$$

Pro výrobu jedné součásti jsou náklady za materiál

$$C_v = \frac{C_c}{n_s} = \frac{851\,031}{10\,000} = 85,1\text{ Kč}$$

- Náklady na výrobu – pomocí hodinových sazeb pracovních strojů a jednotkových časů lze určit náklady na výrobu. Minimální hodinová mzda obsluhy lisu činí dle nařízení vlády č. 567/2006 Sb. spadající do sazební skupiny 3. $c_m=58,6$ Kč/hod.

Tab. 15 Hodinové sazby použitých strojů

Stroj	Označení	Hodinová sazba
Tabulové nůžky	c_{s1}	500 Kč
Kotoučové nůžky	c_{s2}	800 Kč
Hydraulický lis	c_{s3}	2 000 Kč

- Operace 001 – dělení pásu na čtverce

- jednotkový čas operace

$$t_{A1} = \frac{1}{n_{zd} \cdot 60} + \frac{t_{AP1}}{60} = \frac{1}{45 \cdot 60} + \frac{0,15}{60} = 2,87 \cdot 10^{-3} \text{ hod}$$

kde: n_{zd} ... počet zdvihů nástroje za minutu
 t_{AP1} ... jednotkový čas přípravy

- náklady na mzdy

$$N_{m1} = t_{A1} \cdot n_s \cdot c_m = 2,87 \cdot 10^{-3} \cdot 10\,000 \cdot 58,6 = 1\,681,8 \text{ Kč}$$

- náklady na stroj

$$N_{s1} = t_{A1} \cdot n_s \cdot c_{s1} = 2,87 \cdot 10^{-3} \cdot 10\,000 \cdot 500 = 14\,350 \text{ Kč}$$

- Operace 005 – vystřížení polotovaru

- jednotkový čas operace

$$t_{A2} = \frac{1}{n_{pk} \cdot 60} + \frac{t_{AP2}}{60} = \frac{1}{6 \cdot 60} + \frac{0,15}{60} = 5,28 \cdot 10^{-3} \text{ hod}$$

kde: n_{pk} ... počet kusů za minutu

- náklady na mzdy

$$N_{m2} = t_{A2} \cdot n_s \cdot c_m = 5,28 \cdot 10^{-3} \cdot 10\,000 \cdot 58,6 = 3\,094,1 \text{ Kč}$$

- náklady na stroj

$$N_{s2} = t_{A2} \cdot n_s \cdot c_{s2} = 5,28 \cdot 10^{-3} \cdot 10\,000 \cdot 800 = 42\,240 \text{ Kč}$$

- Operace 010 – mazání je zahrnuto v režii

- Operace 015 – tažení

- jednotkový čas výroby

$$t_{AV3} = t_{AV3př} + t_{AV3pr} + t_{AV3z} = \frac{s_n}{v_p} + \frac{s_p}{v_{pr}} + \frac{s_n + s_p}{v_z}$$

$$= \frac{476}{110} + \frac{159}{2,5} + \frac{476 + 159}{100} = 74,3 \text{ s} = 1,24 \text{ min}$$

kde: $t_{AV3př}$... jednotkový čas přibližovací
 t_{AV3pr} ... jednotkový čas pracovní
 t_{AV3z} ... jednotkový čas zpětného chodu
 s_n ... dráha beranu nečinná
 s_p ... dráha beranu pracovní
 v_p ... rychlost beranu přibližovací
 v_{pr} ... rychlost beranu pracovní
 v_z ... rychlost beranu zpětná

- jednotkový čas operace

$$t_{A3} = \frac{t_{AV3} + t_{AP3}}{60} = \frac{1,24 + 0,13}{60} = 22,83 \cdot 10^{-3} \text{ hod}$$

- náklady na mzdy

$$N_{m3} = t_{A3} \cdot n_s \cdot c_m = 22,83 \cdot 10^{-3} \cdot 10\,000 \cdot 58,6 = 13\,380 \text{ Kč}$$

- náklady na stroj

$$N_{s3} = t_{A3} \cdot n_s \cdot c_{s3} = 22,83 \cdot 10^{-3} \cdot 10\,000 \cdot 2\,000 = 456\,600 \text{ Kč}$$

- Operace 020 – kontrola zahrnuta v režii

- Operace 025 – ostřížení příruby

- jednotkový čas operace

$$t_{A4} = \frac{1}{n_{pk} \cdot 60} + \frac{t_{AP4}}{60} = \frac{1}{10 \cdot 60} + \frac{0,12}{60} = 3,67 \cdot 10^{-3} \text{ hod}$$

- náklady na mzdy

$$N_{m4} = t_{A4} \cdot n_s \cdot c_m = 3,67 \cdot 10^{-3} \cdot 10\,000 \cdot 58,6 = 2\,150,6 \text{ Kč}$$

- náklady na stroj

$$N_{s4} = t_{A4} \cdot n_s \cdot c_{s2} = 3,67 \cdot 10^{-3} \cdot 10\,000 \cdot 800 = 29\,360 \text{ Kč}$$

- Operace 030 – odmaštění zahrnuto v režii

- Operace 035 – kontrola zahrnuta v režii

- Celkové náklady na mzdy:

$$N_m = N_{m1} + N_{m2} + N_{m3} + N_{m4} = 1\,681,8 + 3\,094,1 + 13\,380 + 2\,150,6 = 20\,306,5 \text{ Kč}$$

- Celkové strojní náklady:

$$N_s = N_{s1} + N_{s2} + N_{s3} + N_{s4} = 14\,350 + 42\,240 + 456\,600 + 29\,360 = 542\,550 \text{ Kč}$$

- Cena tažného nástroje:

$$N_n = 120\,000 \text{ Kč.}$$

- Cena strojů:

$$N_{st} = N_{n1} + N_{n2} + N_{n3} = 2\,000\,000 + 100\,000 + 80\,000 = 2\,180\,000 \text{ Kč}$$

- Režijní náklady:

- Výrobní režie (údržba, režijní materiál, mazivo...):

- Variabilní náklady:

$$N_{VRv} = \frac{N_m \cdot VR}{100} = 20\,306,5 \cdot \frac{400}{100} = 81\,226 \text{ Kč}$$

kde: VR ... hodnota výrobní režie

- Fixní náklady:

$$N_{VRf} = 300\,000 \text{ Kč}$$

$$N_{VR} = N_{VRv} + N_{VRf} = 81\,226 + 300\,000 = 381\,226 \text{ Kč}$$

- Správní režie (management, účetnictví, personalisti...):

$$N_{SR} = N_m \cdot \frac{SR}{100} = 20\,306,5 \cdot \frac{110}{100} = 22\,337 \text{ Kč}$$

kde: SR ... hodnota správní režie

- Odbytová režie (skladování, expedice...):

$$N_{OR} = N_m \cdot \frac{OR}{100} = 20\,306,5 \cdot \frac{80}{100} = 16\,245,2 \text{ Kč}$$

Celkové režijní náklady pak budou:

$$N_R = N_{VR} + N_{SR} + N_{OR} = 381\,226 + 22\,337 + 16\,245,2 = 419\,808,2 \text{ Kč}$$

- Bod zvratu se získá z ceny za kus, fixních a variabilních nákladů

Fixní náklady:

$$N_F = N_n + N_{st} + N_{VRf} = 120\,000 + 2\,180\,000 + 300\,000 = 2\,600\,000 \text{ Kč}$$

Variabilní náklady:

- Celkové variabilní náklady

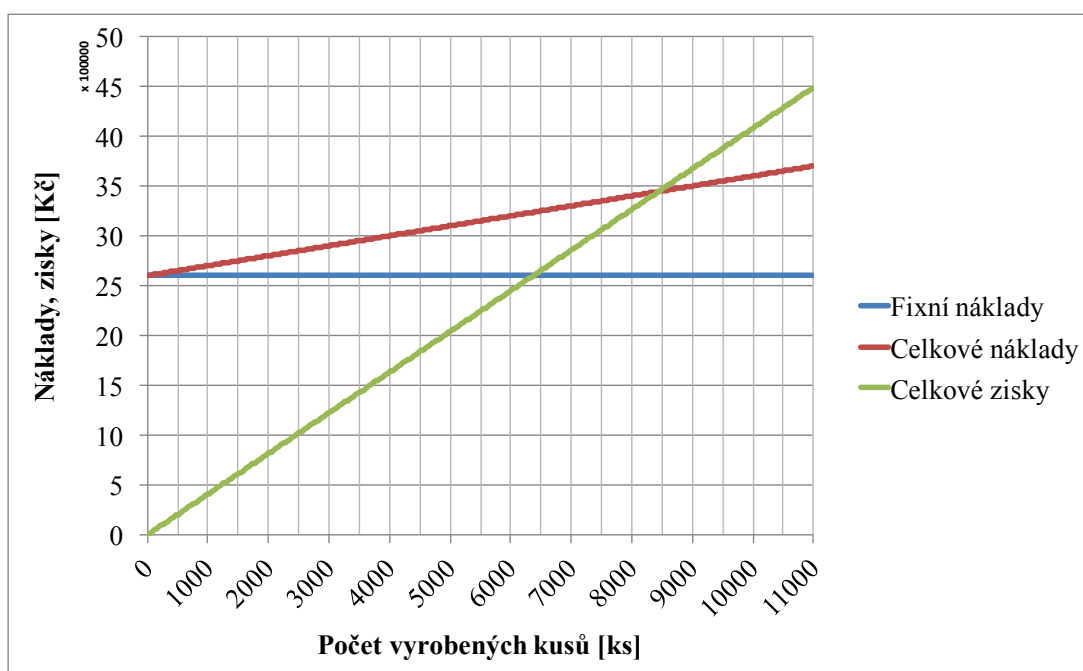
$$\begin{aligned} N_{VC} &= C_c + N_m + N_s + N_{VRv} + N_{SR} + N_{OR} \\ &= 851\,031 + 20\,306,5 + 542\,550 + 81\,226 \\ &\quad + 22\,337 + 16\,245,2 = 1\,533\,696 \text{ Kč} \end{aligned}$$

- Náklady na jeden kus

$$N_V = \frac{N_{VC}}{n_s} = \frac{1\,533\,696}{10\,000} = 153,4 \text{ Kč}$$

- Bod zvratu s 300 % ceny výrobku:

$$BZ = \frac{N_F}{N_V \cdot 3 - N_V} = \frac{2\,600\,000}{153,4 \cdot 3 - 153,4} = 8\,474,6 = 8\,475 \text{ ks}$$



Obr. 66 Bod zvratu

5 ZÁVĚRY

Práce je zaměřena na návrh výroby tvaru víka kotlového grilu o průměru 57 cm. Výrobní série byla zvolena na 10 000 ks/rok. Součást musí odolávat zvýšeným teplotám, a proto je povrch opatřen úpravou smaltem. Na základě toho byl pak určen materiál ocel 11 305 (1.0338) s tloušťkou 1 mm, který je levný a v kombinaci s povrchovou úpravou splňuje požadavky pro funkci.

Jako nejvhodnější metoda výroby víka z možných variant byla zvolena technologie konvenčního tažení pevným nástrojem bez ztenčení stěny.

Po technologických výpočtech byl zjištěn polotovár ve tvaru rondel s průměrem 732 mm, který je zvětšen o 3 % na ostřížení. Součást dle podmínek lze vyrobit na jednu operaci pouze v kombinaci s použitím brzdného žebra po obvodu. Bylo navrženo žebro dle doporučení z literatury. Materiál se bude dopravovat ve formě svitků, které vycházejí ekonomicky nejvýhodněji především z důvodu využití materiálu, které je 77,4 %. Potřebná síla pro volbu stroje byla získána z maximální kritické síly navýšené o 50 % kvůli použití žebra. Na základě této síly byl zvolen stroj CBA 250 od firmy TOS Rakovník se jmenovitou silou 2 500 kN. Stroj byl vybrán s uvážením rozměrů součástí. Jako mazivo bude použit olej OMV draw YU 200.

Podle technologických výpočtů a zvoleného stroje byl navržen jednooperační nástroj. Dle simulace byl nástroj ověřen. Dochází k zadírání materiálu, následnému zvýšení efektivního napětí a ztenčení ve dně víka. Navýšení napětí není výrazné, avšak ztenčení už ano. Nástroj tedy vyžaduje úpravu funkčních částí (pravděpodobně žebra, či tažné hrany tažnice) a opakování simulace.

V technicko-ekonomickém zhodnocení jsou zahrnuty operace získání polotovaru ze svitku, vytažení součásti a ostřížení příruby. Cena materiálu byla ověřena u firmy Feron a.s., ceny strojů a nástrojů byly odhadnuty. Výsledná cena výtažku připraveného pro další operace zahrnující materiál, náklady na stoje, nástroj a na mzdy včetně režii činí 153,4 Kč za jeden kus.

Po vytvoření výtažku je zapotřebí pro plnou funkčnost dalších technologických operací, na které není práce zaměřena, ale patří do nich vytvoření ventilačních a montážních otvorů, olemování obvodu příruby a následná povrchová úprava. Po vytvrzení smaltu v peci je pak možná montáž madla, teploměru a regulační ventilační klapky nýtem.

Vzhledem k tomu, že efektivní napětí v simulaci vychází na mezi pevnosti materiálu dle materiálového modelu, je třeba provést úpravu nástroje a opětovaně simulačně prověřit, případně odzkoušet ve zkušební sérii.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [3]

1. MÍKA, Tomáš. *Výroba filtračního sítky*. Brno, 2015. 39s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
2. BAREŠ, Karel a Jaroslav VRTĚL. *Lisování*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1971.
3. *CitacePRO* [online]. ©2012 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/>
4. ČADA, Radek. *Technologie I: objemové a plošné tváření zastudena : (návod do cvičení)*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009, 89 s. ISBN 978-80-248-2126-9.
5. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
6. DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 978-80-214-4747-9.
7. ELECTRIC MOTOR FAN COVER. *Picclick* [online]. 2017 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: https://www.picclickimg.com/d/w1600/pict/122020402450_/Electric-Motor-FanCover-Fan-Cowl-Electric.jpg
8. EXPLOSIVE-FORMING. *Engineeringclicks* [online]. 2016 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <https://www.engineeringclicks.com/wp-content/uploads/2016/06/EXPLOSIVEFORMING.jpg>
9. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2., v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7.
10. GRIL WEBER MASTER-TOUCH. *Grily Weber* [online]. 2012 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <https://www.topgrily.cz/gril-weber-master-touch-57cm-kourove-sedysmoke-grey.html>
11. HALKACI, Huseyin Selcuk, Mevlut TURKOZ a Murat DILMEC. Enhancing formability in hydromechanical deep drawing process adding a shallow drawbead to the blank holder. *Journal of Materials Processing Technology*. 2014, 214(8), 1638-1646. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.03.008>. ISSN 09240136. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013614000880>
12. KHANDEPARKAR, T. a M. LIEWALD. Hydromechanical deep drawing of cups with stepped geometries. *Journal of Materials Processing Technology*. 2008, 202(1–3), 246-254. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.08.072>. ISSN 09240136. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013607008722>
13. Kotoučové nůžky na plech RS 090. *UNIVER* [online]. 2017 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: https://www.univer.cz/obrazek.php?image=reno1_kv098rs.jpg
14. LENFELD, Petr. *Technologie II. Technologie plošného tváření - tažení* [online]. 2005 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm

15. L'emboutissage. *Bourgeat industrie* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.bourgeat-industrie.com/emboutissage/>
16. NEW GENERATION GRANITE KITCHEN SINKS. *Carysil* [online]. ©2017 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://acrysil.com/public/images/product/image/1077Single%20Bowl%20with%20Drainer.jpg>
17. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-04019.
18. OMV DRAW YU 200. *Katalog omv* [online]. 2016 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.lubstar.cz/upload/files/cs/omv-draw-yu-200-cs.pdf>
19. ROMANOVSKIJ, V. *Příručka pro lisování za studena*. Praha: SNTL, 1959, 537 s. DT 621.986.
20. SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ a Zdeněk LIDMILA. *Speciální technologie tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-802-1442-207.
21. SHEET METAL FORMING. *Manufacturing Cost Esrimation* [online]. 2009 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-forming>
22. SINK. *Möebelix* [online]. ©2017 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://moebelix.scene7.com/is/image/xxxlutz/OdpadnStoTecno7Cm/0041240881/15qjeclmy1eLZFBtPBbUapcLls/41240881-I013.jpg?fit=fit%2C0&wid=560&hei=410&qlt=90&resmode=sharp2&6d58>
23. STAINLESS STEEL BOWL. *Amazon* [online]. 2017 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/71Ou6sNb5ZL._SL1500_.jpg
24. SVÚM A.S. PRAHA, VÚK PANENSKÉ BŘEŽANY, S.R.O. a HUTNICTVÍ ŽELEZA A.S. *Lexikon kovů se zahraničními ekvivalenty: PC software*. Verlag Dashöfer.
25. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. Praha: SNTL, 1990, 196 s. Knižnice techn. aktualit. ISBN 80-030-0221-4.
26. UNIVERZÁLNÍ HYDRAULICKÉ LISY CBA. *Rakovnické tvářecí stroje s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: http://www.tosrakovnik.cz/files/rts_katalog_cba.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Popis
A	[J]	tažná práce
BZ	[ks]	bod zvratu
b	[mm]	šířka pásu
C ₁	[-]	koeficient zaplnění diagramu
C _C	[Kč]	celkové náklady za materiál
C _v	[Kč]	náklady za materiál za jednu součást
c	[-]	opravný součinitel
c _{cs}	[Kč]	cena všech svitků celé série
c _{kg}	[Kč/kg]	výkupní cena oceli
c _m	[Kč/hod]	sazební skupina 3
c _o	[Kč]	cena odpadu
c _s	[Kč/kg]	cena za jeden kilogram svitku
c _{s1,s2,s3}	[Kč/hod]	hodinové sazby strojů
D	[mm]	zmenšující se průměr přístřihu v průběhu tažení
D ₀	[mm]	průměr rondelu (polotovaru)
D ₀₁	[mm]	průměr polotovaru metodou rovnosti ploch
D ₀₂	[mm]	průměr polotovaru zjednodušeným vzorcem
D ₀₃	[mm]	průměr polotovaru vypočten softwarem
D _{A,C}	[mm]	vnější průměry dílčích ploch
D _{BS,DS,FS}	[mm]	střední průměry rádiusů
D _{sl}	[mm]	průměr sloupku
d ₁	[mm]	vnější průměr výtažku
d ₂	[mm]	průměr příruby finálního výtažku
d	[mm]	vnitřní průměr výtažku
d _C	[mm]	vnitřní průměr elementární plochy
d _i	[mm]	průměr taženého dílce v i-té operaci
d _n	[mm]	výsledný průměr
d _s	[mm]	střední průměr výtažku
E	[MPa]	Youngův modul pružnosti
e	[mm]	můstek
F _C	[N]	celková síla
F _{C1,5}	[N]	navýšená celková síla pro žebro
F _f	[N]	třecí síla
F _{krit}	[N]	kritická síla při utržení dna
F _p	[N]	síla přidržovače
F _{taž}	[N]	tažná síla
F _v	[N]	síla od vyhazovače
F _{vz}	[N]	vzpěrná síla s bezpečností

Symbol	Jednotka	Popis
F_{vzkrit}	[N]	kritická síla na vzpěr
f	[-]	součinitel tření
f_p	[mm]	přepážka
H_C	[mm]	výška tažené součásti
h	[mm]	minimální výška výtažku
h_1	[mm]	výška kulového vrchlíku
h_2	[mm]	výška válcové části
h_E	[mm]	výška kuželové plochy
h_{ES}	[mm]	délka řezu kuželové plochy
h_{Fmax}	[mm]	výška maximální síly při tažení válcové součásti
i	[%]	procentuální využití plechu
J_S	[mm ³]	osový moment setrvačnosti
$K_{1,2,3}$	[-]	koeficienty pro tažnou mezeru
k	[-]	koeficient tažení
k_k	[mm]	délka kroku
k_m	[-]	materiálová konstanta
k_p	[N/mm]	tuhost pružiny vyhazovače
L	[mm]	délka tvořící křivku
L_v	[mm]	vzpěrná délka
l_{1-n}	[mm]	dílčí délky
l_p	[mm]	délka pásu pro celou sérii
$\tilde{l}_{D,F}$	[mm]	délky oblouků
M_o	[Nm]	ohybový moment
$m_{1,2,3,i}$	[-]	součinitel tažení v 1., 2., 3. až i-té operaci
m_c	[-]	celkový součinitel tažení
m_{cp}	[kg]	celková hmotnost všech přístřihů v sérii
m_{cs}	[kg]	hmotnost svitků pro celkový počet kusů série
m_i	[-]	součinitel tažení v i-té operaci
m_o	[kg]	hmotnost odpadu
m_s	[-]	střední souč. tažení pro 2. a další tahy
m_v	[kg]	hmotnost jednoho výtažku
N_F	[Kč]	celkové fixní náklady
N_{OR}	[Kč]	odbytová režie
N_R	[Kč]	celkové režijní náklady
N_{SR}	[Kč]	správní režie
$N_{VC/V}$	[Kč]	variabilní náklady celkové/na jeden kus
N_{VR}	[Kč]	náklady výrobní režie
N_{VRf}	[Kč]	fixní náklady výrobní režie
N_{VRv}	[Kč]	variabilní náklady výrobní režie

Symbol	Jednotka	Popis
N_m	[Kč]	celkové náklady na mzdy
$N_{m1,m2,m3,m4}$	[Kč]	náklady na mzdy
N_n	[Kč]	cena nástroje
$N_{n1,n2,n3}$	[Kč]	ceny strojů
N_s	[Kč]	celkové strojní náklady
$N_{s1,s2,s3,s4}$	[Kč]	náklady na stroje
N_{st}	[Kč]	cena strojů
n	[-]	počet tažných operací
n_{pk}	[ks/min]	počet kusů za minutu
n_s	[ks/rok]	velikost série
n_{zd}	[-]	počet zdvihů nástroje za minutu
OR	[%]	hodnota odbytové režie
p	[MPa]	měrný tlak přidržovače
R	[mm]	poloměr polotovaru
$R_{B,D,F,G}$	[mm]	rádiusy dílčích ploch
R_m	[MPa]	mez pevnosti
R_r	[mm]	střední poloměr
R_{tu}	[mm]	zaoblení tažníku
R_{te}	[mm]	zaoblení tažnice
r	[mm]	poloměr zaoblení u příruby a u dna
$r_{E1,E2}$	[mm]	poloměry kužele dílčí plochy
r_{tc}	[mm]	poloměr zaoblení tažné hrany tažnice
S	[mm ²]	povrch řešené součásti
SR	[%]	hodnota správné režie
S_0	[mm ²]	plocha kruhového přístřihu
$S_{A,B,C,D,E,F,G}$	[mm ²]	dílčí plochy
S_p	[mm ²]	plocha přístřihu
S_v	[mm ²]	plocha výtažku
S_c	[mm ²]	plocha plechu pod přidržovačem
S_i	[mm ²]	elementární plochy výtažku
$S_{horizontální}$	[mm ²]	vodorovné plošky při odstupňovaném tažení
S_{rte}	[mm ²]	plochy od zaoblení tažnice při odstupňovaném tažení
S_{rtu}	[mm ²]	plochy od zaoblení tažníků při odstupňovaném tažení
S_{sl}	[mm ²]	plocha průřezu sloupku
$S_{vertikální}$	[mm ²]	svislé plošky při odstupňovaném tažení
s	[mm]	výsledná tloušťka plechu
S_0	[mm]	výchozí tloušťka plechu
$S_{max,min}$	[mm]	maximální a minimální tloušťka plechu
S_n	[mm]	dráha beranu nečinná
S_p	[mm]	dráha beranu pracovní

Symbol	Jednotka	Popis
$t_{A1,A2,A3,A4}$	[hod]	jednotkový čas operací
$t_{AP1,AP2,AP3,AP4}$	[min]	jednotkové časy přípravy
t_{AV3}	[s]	jednotkový čas výroby
$t_{AV3př/pr/z}$	[s]	jednotkový čas přibližovací/pracovní/zpětný
u	[ks]	počet kusů v pásu
VR	[%]	hodnota výrobní režie
V_c	[mm ³]	objem pásu celé série
V_v	[mm ³]	objem jednoho přístřihu
v	[ks]	počet pásů plechu
v_A	[mm]	výška válcové části plochy
v_G	[mm]	výška vrchlíku části plochy
$v_{p/pr/z}$	[mm/s]	rychlost beranu přibližovací/pracovní/zpětná
w	[ks]	celkový počet kusů na jedné tabuli
x	[mm]	vzdálenost těžiště tvořící křivky od osy
x_{1-n}	[mm]	dílcí vzdálenosti těžišť
x_d	[mm]	délka pásu z tabule plechu
x_p	[mm]	stlačení pružiny
y	[mm]	výška tabule
Z	[-]	kontrakce
z	[mm]	tažná mezera
α	[°]	úhel oblouku/opásání
β	[-]	Lodeho součinitel
Δs	[-]	poměrná tloušťka
ε_i	[-]	poměrné přetvoření pro i-tou operaci
$\varphi_{1,2,3}$	[-]	logaritmická přetvoření
$\varphi_{1max}, \varphi_{3max}$	[-]	maximální logaritmická přetvoření
ρ	[mm]	aktuální poloměr příruby
$\bar{\rho}$	[-]	poměr R/R_0
ρ_{oc}	[kg/m ³]	hustota válcované oceli
σ_1, σ_3	[MPa]	hlavní radiální a tangenciální napětí
σ_d	[MPa]	deformační odpor
σ_f	[MPa]	třecí napětí od přidržovače
σ_o	[MPa]	ohybové napětí přes tažnou hranu
σ_p	[MPa]	přirozený přetvárný odpor
σ_{ps}	[MPa]	střední hodnota přirozeného přetvárného odporu
σ_{zmax}	[MPa]	maximální napětí

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady tažených součástí [7], [16], [22], [23]	9
Obr. 2 Kotlový gril [10]	10
Obr. 3 Model víka s rozměry	10
Obr. 4 Schéma kovotlačení [21]	11
Obr. 5 Schéma explozivního tváření [8]	12
Obr. 6 Schéma vypínání plechu [20]	12
Obr. 7 Schéma Marform [25]	13
Obr. 8 Schéma Hydroform [12]	13
Obr. 9 Hydromechanické tažení [12]	14
Obr. 10 Schéma hlubokého tažení [15]	14
Obr. 11 Schéma konvenčního tažení [14]	15
Obr. 12 Průběh napětí při tažení [14]	15
Obr. 13 První operace tažení s přidržovačem [9]	16
Obr. 14 Schéma rozložení ploch [1]	18
Obr. 15 Rozdělení na úseky [2]	18
Obr. 16 Grafické určení výchozího přístřihu [4]	19
Obr. 17 Kulový polotovar [25]	19
Obr. 18 Víceoperační tažení [6]	20
Obr. 19 Mezní hodnoty souč. tažení [9]	20
Obr. 20 Tažná mezera [1]	21
Obr. 21 Graf síly a práce [6]	23
Obr. 22 Opravný souč. 'c' [9]	23
Obr. 23 Tažidla [9]	24
Obr. 24 Varianty řešení s přidržovačem a bez něj [9]	25
Obr. 25 Tažidlo pro sférické tvary [25]	25
Obr. 26 Provedení tažníků a způsoby upnutí [9]	26
Obr. 27 Úpravy tažné hrany tažnic [9]	26
Obr. 28 Konstrukční řešení tažnic [17]	27
Obr. 29 Doporučené hodnoty R_{te} [9]	27
Obr. 30 Brzdná žebra [17]	28
Obr. 31 Eliminace vln pomocí přidržovače [1]	28
Obr. 32 Použití přidržovače [9]	29
Obr. 33 Schéma zdvihového lisu [17]	30
Obr. 34 Schéma silového lisu [17]	31
Obr. 35 Striebeckův diagram [14]	32
Obr. 36 Výtažek víka	35
Obr. 37 Rozdělení na základní plochy	35
Obr. 38 Plocha "A"	36
Obr. 39 Plocha "B"	36
Obr. 40 Plochy "C" a "D"	36
Obr. 41 Plochy "E" a "F"	37
Obr. 42 Plocha "G"	38
Obr. 43 Návrh odstupňování	39
Obr. 44 Proměnlivá tažná mezera	40
Obr. 45 Kotoučové nůžky [13]	41
Obr. 46 Velikost můstku a přepážky	41
Obr. 47 Uspořádání "A"	41
Obr. 48 Uspořádání "B"	42
Obr. 49 Brzdné žebro [17]	43

Obr. 50 Hydraulický lis CBA 250 [26].....	44
Obr. 51 Nástroj - 3D model	45
Obr. 52 Nástroj - výchozí pozice	46
Obr. 53 Tříčtvrteční řez nástrojem.....	46
Obr. 54 Horní část tažidla	47
Obr. 55 Řez horní částí	47
Obr. 56 Spodní část tažidla	48
Obr. 57 Čtvrtinový řez tažníku	48
Obr. 58 Čtvrtinový řez sestavou přidržovače	49
Obr. 59 Tahová zkouška pro ocel 11 305	50
Obr. 60 Vstupní geometrie nástroje.....	50
Obr. 61 Diskretizace (uzlové body).....	50
Obr. 62 Efektivní napětí v součásti.....	51
Obr. 63 Plastické přetvoření	51
Obr. 64 Zúžení plechu.....	52
Obr. 65 Graf závislosti tažné síly na dráze beranu	52
Obr. 66 Bod zvratu.....	56

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické složení.....	11
Tab. 2 Mechanické vlastnosti.....	11
Tab. 3 Koeficienty K.....	21
Tab. 4 Doporučené hodnoty 'z'.....	22
Tab. 5 Materiálové konstanty.....	22
Tab. 6 Opravné součinitele 'c'.....	23
Tab. 7 Měrné tlaky přidržovače.....	23
Tab. 8 Materiály částí tažidel.....	25
Tab. 9 Minimální hodnoty R_{tu}	26
Tab. 10 Rozměry a plochy po odstupňování.....	39
Tab. 11 Varianty rozložení.....	42
Tab. 12 Parametry lisu CBA 250.....	45
Tab. 13 Technická data maziva OMV draw YU 200.....	49
Tab. 14 Technologický postup.....	49
Tab. 15 Hodinové sazby použitých strojů.....	54

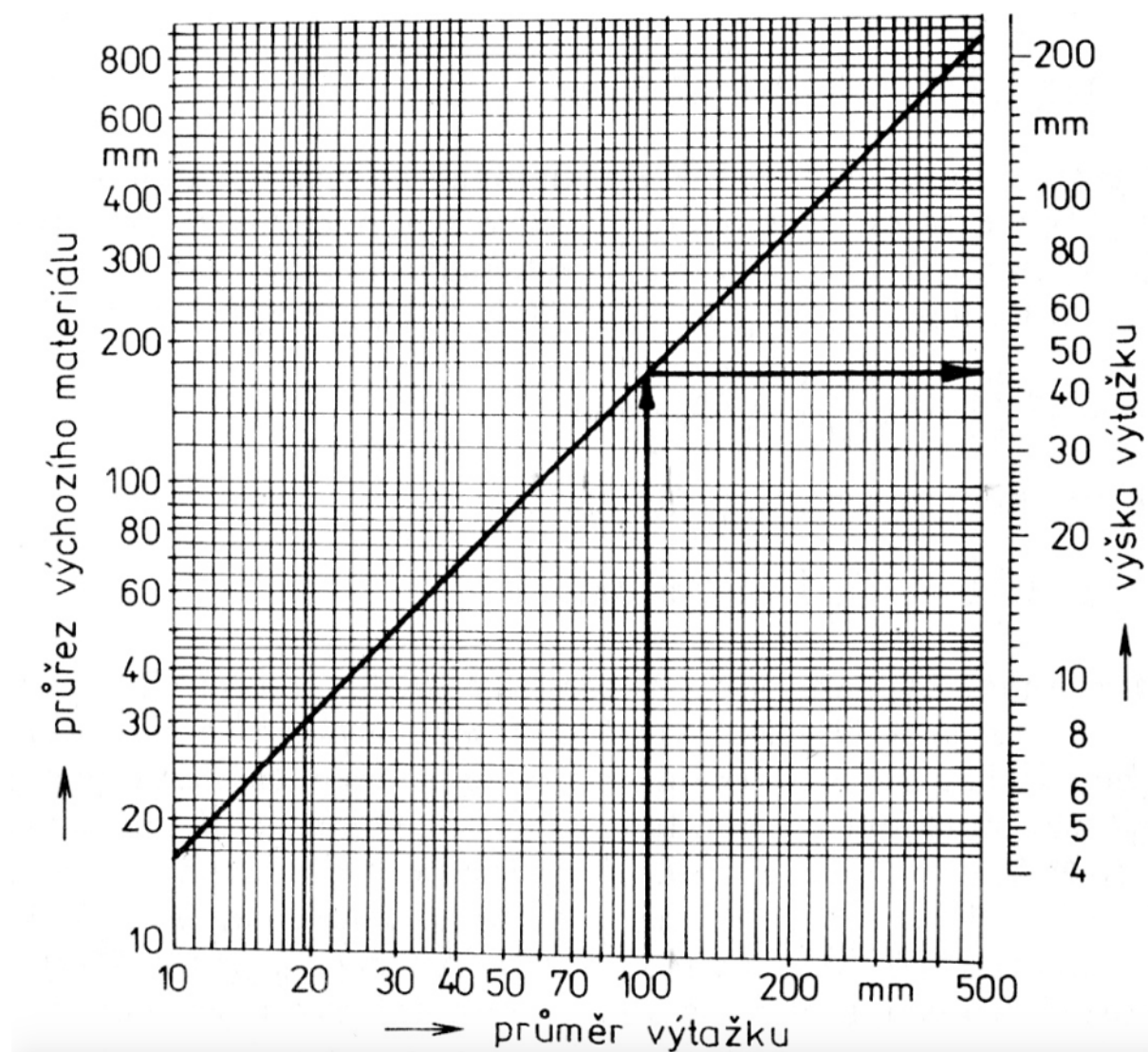
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Nomogram pro určení počtu tažných operací
Příloha 2	Nomogram pro určení můstku a přepážky
Příloha 3	Nomogram pro zjištění průměru přístříhu
Příloha 4	Materiálový list oceli 1.0338
Příloha 5	Materiálový list oceli 1.7131
Příloha 6	Produktový list maziva
Příloha 7	Parametry hydraulického lisu CBA 250

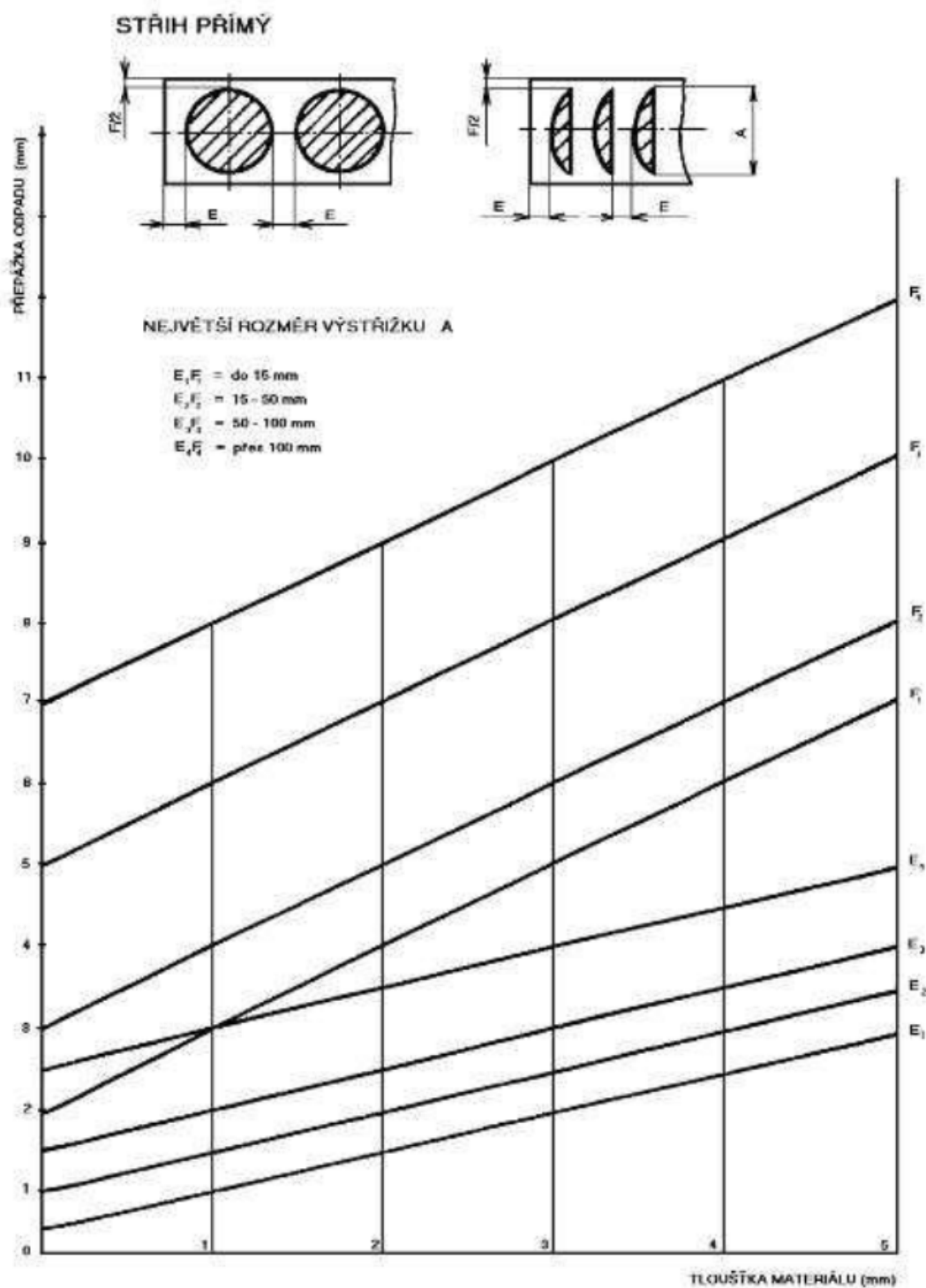
SEZNAM VÝKRESŮ

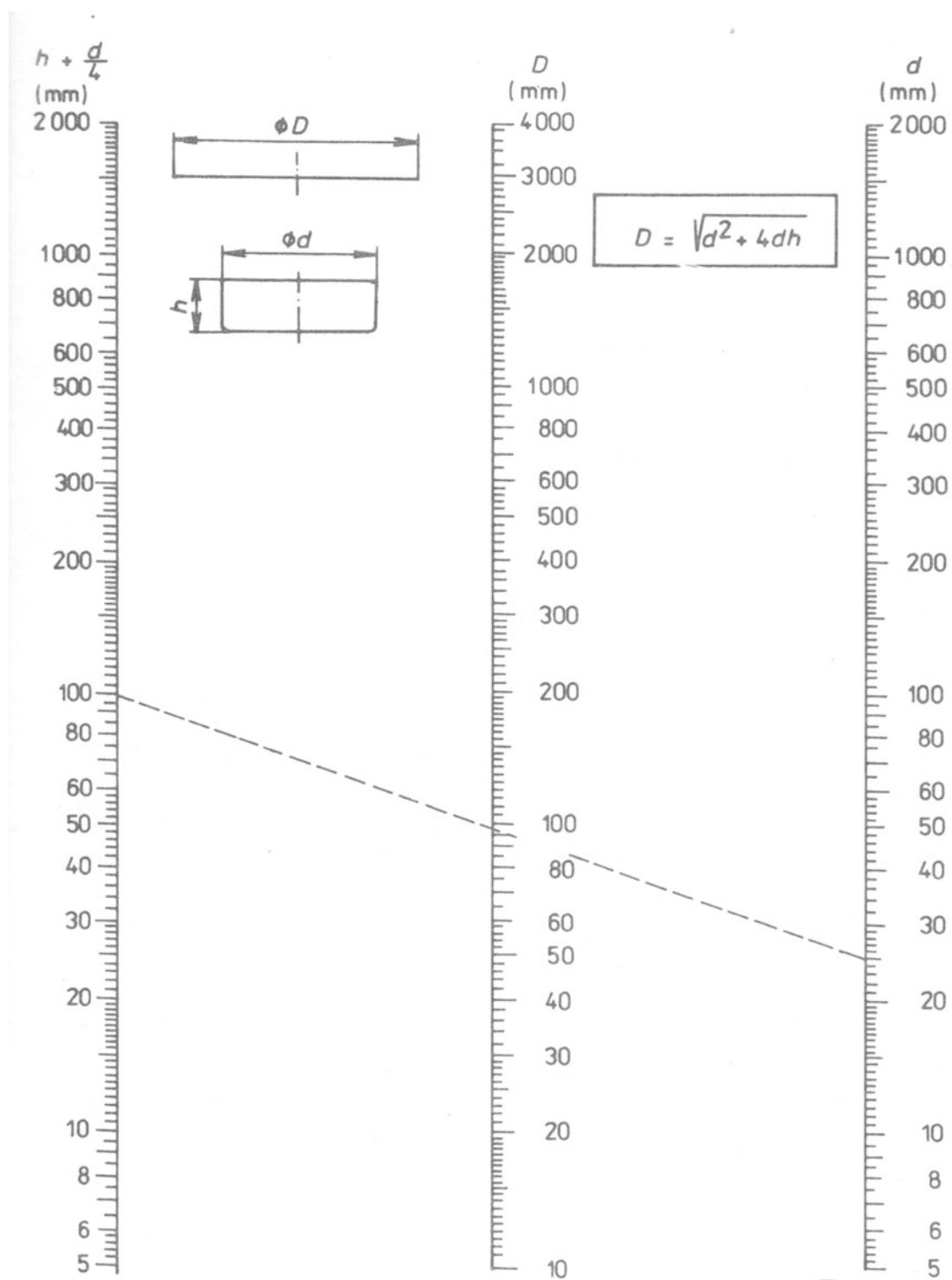
2017_A3_01	Výkres tělesa víka
2017_A3_02	Výkres tažníku
2017_A3_03	Výkres tažnice
2017_A1_04	Výkres sestavy nástroje

Příloha 1 Nomogram pro určení počtu tažných operací [25] 1/1



Příloha 2 Nomogram pro určení můstku a přepážky [1] 1/1





Obr. 5. Graf pro výpočet průměru přístřihu



Příloha 4 Materiálový list oceli 1.0338 [24] 1/1

1.0338 Číselné označení Nelegovaná jakostní hlubokotažná ocel DC04⁵⁾ Značka				
Chemické složení [hm. %] ⁶⁾				
C	Si	Mn	P	S
max 0,08	–	max 0,40	max 0,030	max 0,030
Normy EN				
[1] 10130 + A1 [2] 10139 [3] 10152 [4] 10271				
Mechanické vlastnosti ¹⁾²⁾³⁾⁴⁾				
Norma EN	[1]	[3]	[4]	
Rozměr t [mm] ⁷⁾	0,35–3,00			
Stav	–	+ZE	+ZN	
Mez kluzu R _{el} nebo R _{p0,2} [MPa] min	max 210	max 220	max 220	
Mez pevnosti R _m [MPa]	270–350	270–350	270–350	
Tažnost A ₉₀ [%] min	38	37	36	
Součinitel plastické anizotropie r ₉₀ min	1,6	1,6	1,4	
Exponent deformačního zpevnění n ₉₀ min	0,18	0,170	0,16	

Příloha 5 Materiálový list oceli 1.7131 [24] 1/1

1.7131 Číselné označení Mn-Cr ocel k cementování 16MnCr5 Značka						
Chemické složení [hm. %]						
C	Si	Mn	P ⁶⁾	S	Cr	Cu ¹⁾
0,14–0,19	max 0,40	1,00–1,30	max 0,035	max 0,035	0,80–1,10	max 0,25
Normy EN						
[1] 10084 [2] 10132-2 [3] 10263-3						
Mechanické vlastnosti						
Norma	[1]			[2]		[1]
Rozměr d [mm]	–	–	–	–	–	–
Dodávaný stav ³⁾	+ A	+TH	+ FP	+A nebo +LC	+CR	+N
Mez kluzu R _{p0,2} [MPa] max	–	420	–	–	–	–
Mez pevnosti R _m [MPa] max	–	–	–	550	²⁾	–
Tažnost A ₉₀ [%] min	–	–	–	21	–	–
Kontrakce Z [%] min	–	–	–	60	–	–
Nárazová práce KV [J]	–	–	–	–	–	–
Tvrdost HB	max 207	156–207	140–187	–	–	138–187
Tvrdost HV max	–	–	–	170	²⁾	–
Norma	[3]					
Rozměr d [mm]	≥ 5 ≤ 40	≥ 5 ≤ 40	≥ 2 ≤ 5	≥ 5 ≤ 40	≥ 2 ≤ 5	≥ 5 ≤ 40
Dodávaný stav ³⁾	+AC	+ FP	+U +C +AC	+U +C +AC +LC	+AC +C	
Mez kluzu R [MPa]	–	–	–	–	–	–
Mez pevnosti R _m [MPa] max	550	–	550	530	590	570
Tažnost A [%]	–	–	–	–	–	–
Kontrakce Z [%] min	62	–	64	–	–	–
Nárazová práce KV [J]	–	–	–	–	–	–
Tvrdost HB	–	140–187	–	–	–	–



Produktový list OMV draw YU 200

Produktové číslo: 176130

OMV draw YU 200 je moderní vysoce viskózní olej pro obtížné procesy tváření kovů. Byl vyvinutý jako bezchlorová alternativa dřívějšího produktu OMV roll P (OMV ÖI KPW).

Vlastnosti

Kombinace moderních složek pro extrémní tlaky (Extreme Pressure) a proti opotřebení (Anti Wear) a vysoké viskozity umožňují dobré výsledky i při obtížných procesech tváření vysoce pevných materiálů, které byly doposud možné pouze s produkty s vysokým obsahem chlorovaných parafinů. Z toho vyplývají podstatné výhody významné pro životní prostředí a drastická redukce nákladů na zpracování odpadu.

Použití

Pro speciální použití na obtížné procesy tváření, hluboké tažení a jemné řezání.

Technická data (typické hodnoty)

Vlastnost	Jednotka	OMV draw YU 200
Vzhled	---	opálový
Hustota/15°C	kg/m ³	954
Bod vzplanutí	°C	182
Viskozita/40°C	mm ² /s	165
Viskozita/100°C	mm ² /s	17,5
Bod tuhnutí	°C	<-9
VKA únosné zatížení	N	10.500
zatížení při svaření	N	11.000
VKA kalota	mm	0,77

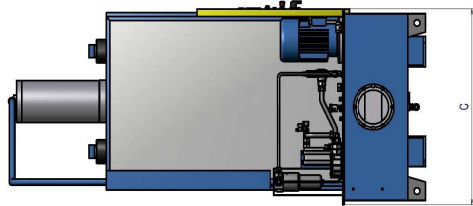
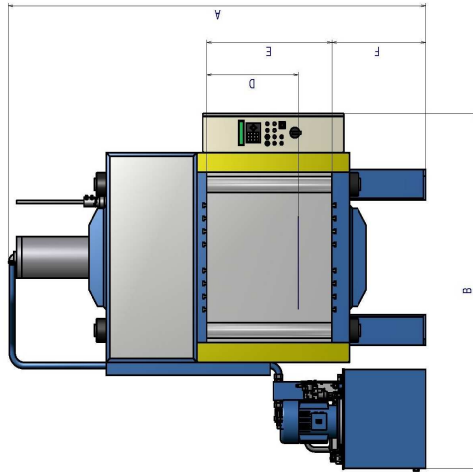
Diagram závislosti viskozity na teplotě a bezpečnostní list Vám v případě potřeby dáme rádi k dispozici.

Změny technických dat vyhrazeny. Prosím, dbejte předpisů výrobců strojů!		
Další informace získáte u Technical Market Service Lubricants na telefonním čísle +43-1-40440-27281 nebo fax: -27908		
Verze 2.1 z 21.06.2007	Strana 1 z 1	OMV draw YU 200 cs.doc

Univerzální hydraulické lisy CBA

RAKOVNICKÉ
TVÁŘECÍ
STROJE s.r.o.

TOS RAKOVNÍK®



Typ	Síla [kN]	A	B	C	D	E	F	Rozměry desek mmxmm	Průchod mezi sloupy mmxmm	Přibližovací rychlost mm/s	Lisovací rychlost mm/s	Zpětná rychlost mm/s	Hmotnost kg	Příkon kW	Pracovní tlak [bar]	Výška formy min	zdvih	otevření
CBA100	1000	3500	3000	1500	750	1250	800	1350x1000	1000x650	125	6	130	7500	11	290	400	750	1250
CBR 250	2500	4000	3200	1700	1000	1400	800	1650x1250	1250x850	110	2,5	100	15 000	18,5	315	400	1000	1400
CBR 400	4000	4250	3500	2000	1000	1400	800	2000x1500	1500x1000	75	3,5	75	28 000	30	310	400	1000	1400
CBA500	5000	4500	3500	2000	1000	1400	800	2000x1500	1500x1000	60	3	60	32 000	30	315	400	1000	1400

Lisy řady CBA jsou univerzální hydraulické lisy čtyřsloupové konstrukce s poloautomatickým nebo automatickým pracovním cyklem. Hodí se především pro lisování plastických hmot nebo pro tváření plechů za studena. Flexibilní koncepce umožňuje rozsáhlé úpravy, modifikace a rozšíření. Uzavírací síla modelů řady CBA se pohybuje v rozmezí 1000 až 5000 kN. Lisy jsou schopny dosáhnout rychlostí až do 100 mm/s.

V základním provedení je lis vybaven jedním lisovacím válcem, hydromechanickým jištěním beranu, optickou zábranou na čelní straně, základním PLC a ruční regulací tlaku. Hydraulický okruh je osazen bezpečnostními monitorovanými a zálohovanými ventily v souladu s platnou legislativou. Základní verze PLC umožňuje jednoduché nastavení pracovního cyklu a monitorování systémových veličin. Ke spouštění cyklu nebo k ručnímu řízení je stroj vybaven jedním ovládacím pultem se základními ovládacími prvky.

Volitelné vybavení

Spodní vyražec
Přídávací válce
Výjímací zařízení
Zakládací zařízení
Přídavná chladicí jednotka
Pneumaticky ovládané kryty
Centrální mazání
Dráha pro závoz formy
Příprava pro vyhívání formy
Přívod tlakového vzduchu
...a další periferie dle plánu

Příklady využití strojů CBA

Tváření plechů
Lisování termoplastů
Lisování termosetů
Zpracování pryže
Lisování sypkých hmot a keramiky
Lisování dřevěné drtě
Lisování laminátových desek
Montážní práce