



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**TECHNOLOGIE PROTLAČOVÁNÍ**

TECHNOLOGY OF EXTRUSION

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Jakub Cháma

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2017

# Zadání bakalářské práce

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

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

## Technologie protlačování

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Jedná se o zpracování literární studie technologií protlačování, zejména dopředného a zpětného. Rešerše bude obsahovat základní rozdělení metod, principy, výhody a nevýhody.

### **Cíle bakalářské práce:**

- provést průzkum v oblasti technologie protlačování
- popsat principy
- zhodnotit využitelnost a problémy technologie

### **Seznam literatury:**

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

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

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

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

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

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

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

CHÁMA Jakub: Technologie protlačování.

---

Práce se zabývá zpracováním literární studie technologií protlačování jako studijního textu. Popsány jsou zde základní principy technologie, rozdělení metod, použité materiály, stroje a nástroje a oblasti použití. Hlavním zaměřením práce jsou výhody a nevýhody technologie a její skutečné použití v praxi, což je doloženo příkladem využití z české firmy Vítkovice Cylinders.

Klíčová slova: tváření, protlačování, průtlačník, průtlačnice, tlakové láhve

## **ABSTRACT**

CHÁMA Jakub: Technology of extrusion.

---

This bachelor thesis is a literary study dealing with extrusion technology and is aimed to be used as a study material. There are described basic principles of technology, the division of methods, used materials, machines, tools and the area of usage. The main focus of this work is to depict advantages and disadvantages of extrusion technology and its application in practice, which is supported by the example of usage in one of the Czech companies called Vítkovice Cylinders.

Keywords: forming, extrusion, extruder, extrusion die, pressure cylinder

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

CHÁMA, Jakub. *Technologie protlačování*. Brno, 2017. 29s, CD. bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

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

V ..... dne 25.5.2017

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za trpělivost a cenné připomínky a rady týkající se zpracování této bakalářské práce. Dále firmě Vítkovice Cylinders za poskytnuté informace. A v neposlední řadě rodině, přátelům a kolegům za projevenou podporu.

## **OBSAH**

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Str.

**ÚVOD** ..... 9

**1 TECHNOLOGIE PROTLAČOVÁNÍ** ..... 10

**1.1 Druhy protlačování**..... 11

**1.2 Materiály vhodné k protlačování** ..... 15

**1.3 Příprava materiálu** ..... 18

**1.4 Návrh protlačku** ..... 20

**1.5 Protlačovací nástroje** ..... 23

**1.6 Protlačovací stroje** ..... 27

**2 VYUŽITÍ PROTLAČOVÁNÍ VE FIREMNÍ PRAXI**..... 28

**3 ZÁVĚRY** ..... 29

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek



## ÚVOD [2, 3, 10, 20, 28, 35]

V dnešním moderním světě se společnost neobejde bez strojů, přístrojů a nástrojů sloužícím ke zjednodušení každodenního života nebo k rozvoji nových technologií. K výrobě strojních součástí potřebných ke konstrukci těchto zařízení, jsou využívány různé metody výroby. Jsou to slévárství, obrábění a ve velké míře používané tváření.

Tvářením jsou označovány procesy, při kterých za působení síly je polotovar formován do požadovaného tvaru. Využívá se sil, které překonají mez kluzu, a proto dojde k plastickým (trvalým) deformacím materiálu. Při této deformaci jsou však zachovány krystalické struktury, které ovlivňují vlastnosti daného kovu. Díky tomu vykazují lepší mechanické a metalurgické vlastnosti a spolehlivost, než ty, které jsou vyráběny pouze odléváním a obráběním.

Hlavní výhodou tváření je velmi malé, nebo žádné množství odpadu a rychlá a přesná výroba požadovaných tvarů. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady na stroje a nástroje. Proto se tvářecí technologie používá převážně pro velké série výrobků.

Tváření je rozděleno do dvou základních skupin a to na plošné, kdy je polotovarem plech a nedochází ke změně tloušťky plechu. Druhou skupinou je objemové, kde nastává výrazná změna tvaru polotovaru. Základními metodami jsou kování, válcování a protlačování. Příklady součástí zhotovených protlačováním jsou uvedeny na obrázku 1.



Obr. 1 Příklady součástí zhotovených protlačováním [2, 3, 10, 35]

## 1 TECHNOLOGIE PROTlačOVÁNÍ [8, 15, 18, 26, 28, 29]

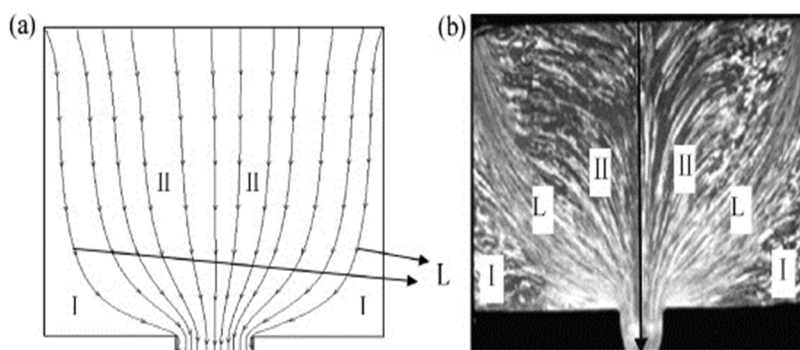
Protlačování je metoda výroby pracující na principu deformace polotovaru (špalíku) za působení přetvárné síly průtlačníku. Za těchto podmínek, při vzniku prostorové napjatosti, jsou vytvářeny podmínky pro velké trvalé deformace bez porušení materiálu. V polotovaru lze sledovat vysoké napětí, které po dosažení hodnoty přetvárného odporu způsobí tzv. „tečení“ materiálu. Materiál se poté přemísťuje podle tvaru nástroje. Tím lze dosáhnout různých variant výrobků, od rotačně symetrických tvarů, přes tažené tyče, dráty, bezešvé trubky, profily až po výrobky, které by se jen velmi obtížně vyráběly jinými metodami kvůli složitému tvaru.

Protlačování lze provádět za tepla, ale to pouze ve výjimečných případech. Častější je za poloohřevu a za studena tj. pod teplotou rekrystalizace. Nejpoužívanějším a nejdůležitějším je metoda za studena, kterou lze označit za stále se vyvíjející technologii s dlouhou historií a velkou perspektivou i v současnosti.

Hlavními výhodami jsou vysoké využití materiálu, nízké výrobní časy, dobrá rozměrová přesnost (standartně až IT 7) a z toho plynoucí vysoká pracovní produktivita. To vše má za následek možnost významného snížení výrobních nákladů. Další výhodou je, že dochází k postupnému zpevnění, tedy ke zvýšení meze kluzu, pevnosti a metalurgických vlastností. Velikost zpevnění je závislá na průřezové deformaci v konkrétním místě průtlačku.

Také nedochází k porušení průběhu vláken, ani k výrazným přeloženinám, jako je tomu například u obráběných součástí. Neporušený průběh vláken je vidět na obrázku 2.

V důsledku tohoto jevu jsou vlákna usměrňována v závislosti na zamýšleném zatížení a materiál dosahuje ještě výhodnějších mechanických vlastností. Díky tomu lze využít méně hodnotné materiály, které po deformaci přesto dosáhnou požadovaných mechanických vlastností.



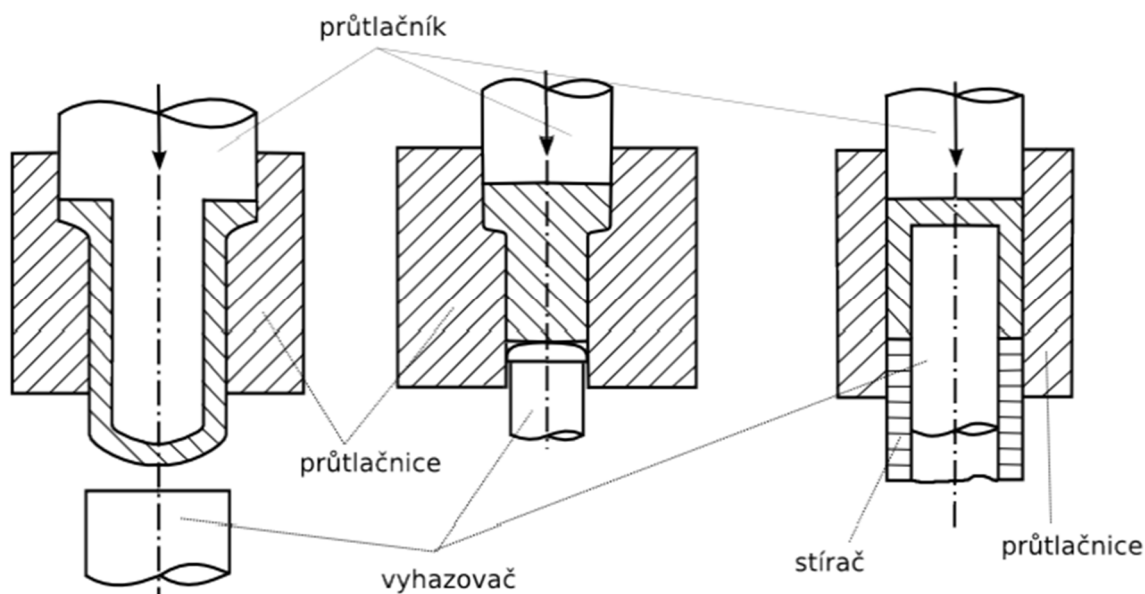
Obr. 2 Srovnání simulačního vykreslení (a) s experimentálním výsledkem (b) průběhu vláken v protlačku [15]

Zpevnění materiálu však kromě mnoha výhod způsobuje i nevýhody, například snížení tažnosti - tvárnosti. Rozhodující nevýhodou technologie je však vysoká pořizovací cena strojů a nástrojů. Proto je vhodné zvážit ekonomické využití metody. Nejlepších výsledků po ekonomické stránce lze dosáhnout při velkosériové a hromadné výrobě spojovacích a strojních součástí. Hospodárnost určuje množství vyrobených výrobků. Malé hmotnosti protlačovacích součástí umožní zanedbat vlivy setrvačných sil a rychlostí deformace, poté lze výsledky řešit analyticky za stálých podmínek izotermických dějů. Existují však případy, kdy je použití této metody nutné vzhledem k nemožnosti výroby jinou technologií. Potenciální úspora by měla být stejná, nebo větší než náklady na vývoj metody a nástrojů.

## 1.1 Druhy protlačování [12, 14, 18, 23, 25, 26, 22, 29]

Protlačování jako metodu výroby lze rozdělit s ohledem na způsob vyráběných součástí do 4 konkrétních skupin:

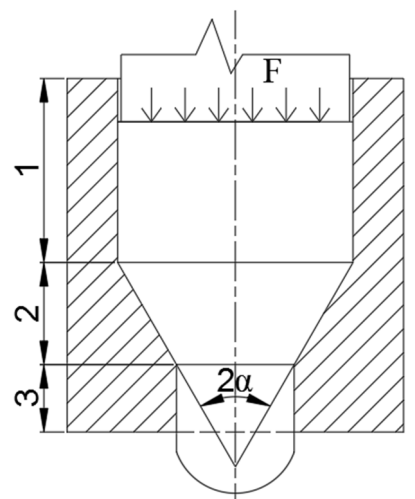
- I. Dopředné protlačování – kterým jsou označovány procesy, kdy kov vytéká z otvoru na výstupu z průtlačnice ve směru působení působící síly (obr. 3). Tato technologie se



Obr. 3 Princip dopředného protlačování [25]

hojně využívá v hutních provozech, zejména pak na výrobu tyčí, trubek, drátů a profilů různých průřezů. Využití však nachází i při výrobě strojních součástí bez konstantního průřezu, jako například, čepů, šroubů, nýtů nebo pouzder. Při této metodě lze dosáhnout až 90% redukce, avšak z hlediska co nejvyšší možné životnosti nástroje se používá maximálně 70%. Délka protlačované součásti může být až 24krát větší než její průměr.

Geometrický model průtlačnice je zobrazen na obrázku 4. Obvykle se skládá ze třech základních částí, a to na zásobník (1), což je vstupní rotačně symetrická část, kde je uložen materiál určený k protlačování. Odpovídá průměru průtlačníku, aby byla zachována maximální těsnost. Dále redukční očko (2), kde existuje variace, zda protlačujeme s redukčním kuzelem, nebo bez něj. Při protlačování kuželovou průtlačnicí existuje riziko vzniku hluchých úhlů – tuhých zón. Tomu lze předejít vhodným zvolením středového úhlu  $\alpha$ , který nesmí být větší než úhel přirozeného toku -  $2\alpha < 110^\circ$ . V některých případech je tato hranice v praxi posunuta až na -  $2\alpha \leq 130^\circ$ . Při řešení případu průtlačnice bez redukčního kuzele je



1 – zásobník, 2 – redukční očko, 3 – kalibrační očko

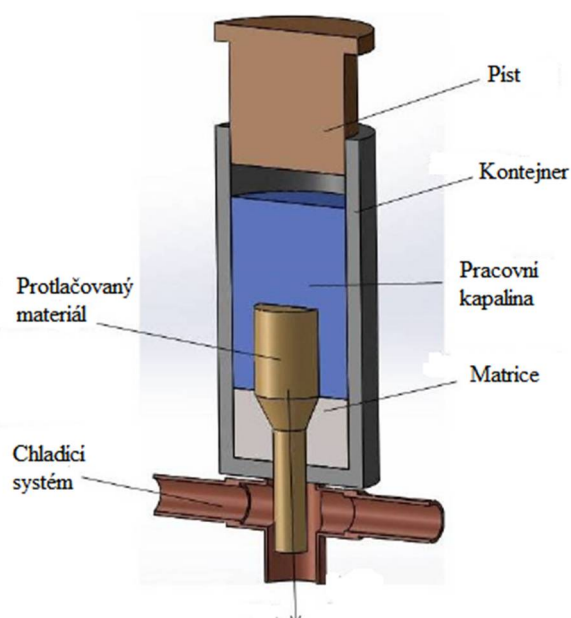
Obr. 4 Geometrický model průtlačnice pro dopředné protlačování [25]

nutné počítat s úhlem  $2\alpha = 90^\circ$ . A na výstupní část průtlačnice (3), která slouží ke kalibraci protlačovaného průměru, či profilu.

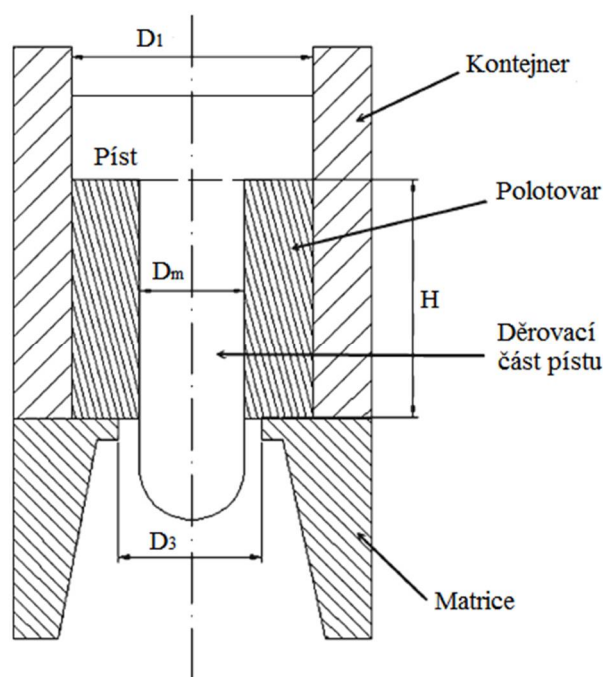
Právě výše zmíněný středový, nebo také protlačovací úhel  $\alpha$  je nejdůležitějším geometrickým parametrem této metody protlačování. Nejlepších výsledků lze dosáhnout volbou úhlu  $\alpha \leq 30^\circ$ .

Mezi metody dopředného protlačování jsou dále zahrnovány metody speciální, mezi které patří protlačování při všestranném tlaku kapaliny – hydrostatické protlačování (obr. 5) kde je materiál obklopen kapalinou, nejčastěji olejem který působí zároveň jako mazivo. Dojde k všestrannému napětí materiálu a tím k zvýšení jeho tvárnosti. Pod vysokým tlakem kapaliny až 3000 MPa je polotovár protlačován otvorem průtlačnice. Vhodnými materiály jsou jak slitiny mědi a hliníku, tak i čisté kovy a ocel. Výhodou je soustavné mazání a díky tomu možnost absence fosfátové vrstvy na protlačovaném materiálu, až 100% využitelnost materiálu a vysoká možnost přetvoření – u slitin mědi a hliníku až 80%. Nevýhodou je výše zmíněný velmi vysoký hydrostatický tlak, a s tím spojené vyšší nároky na protlačovací stroje a nástroje.

Mezi speciální metody je zahrnováno také protlačování trubek (obr. 6), kde polotovarem jsou válcované špalky, které jsou po děrování protlačovány klasickým dopředným způsobem. Pro metodu je charakteristický vysoký stupeň deformace a součinitel prodloužení 8 až 25. Výhodou je vyšší pevnost trubek, oproti variantě se švem, které se zhotovují zakružováním a svařováním. Další výhodou je také možnost využití speciálního tvaru průtlačníku, který zaručí protlačení trubky z polotovaru na jeden zdvih. Hlavní nevýhodou je odpad (o objemu redukčního kužele pokud je použit) vznikající po dokončení procesu v matrici.

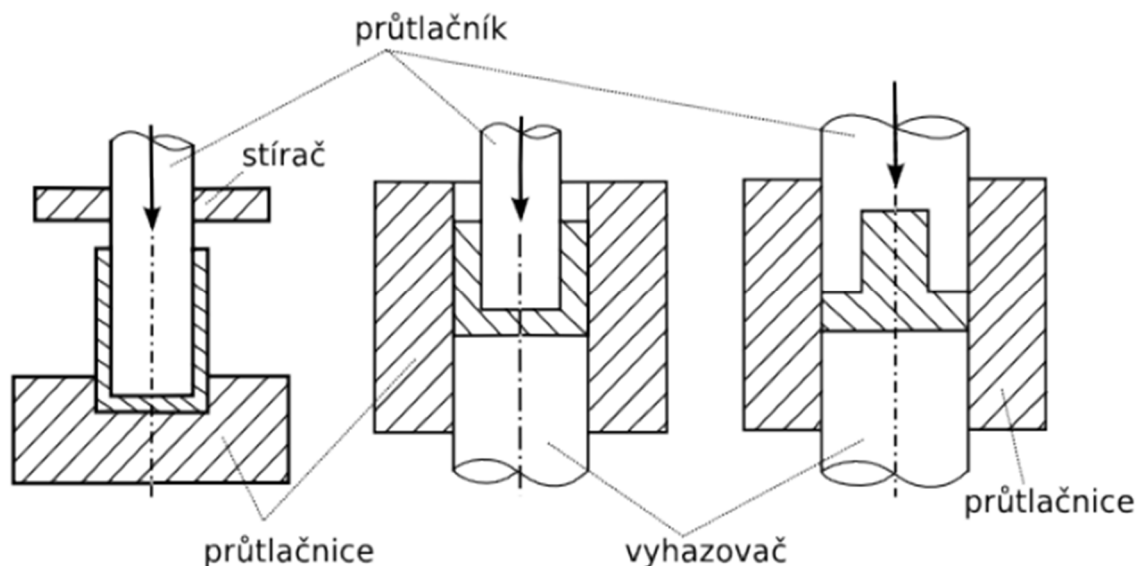


Obr. 5 Princip hydrostatického protlačování [14]



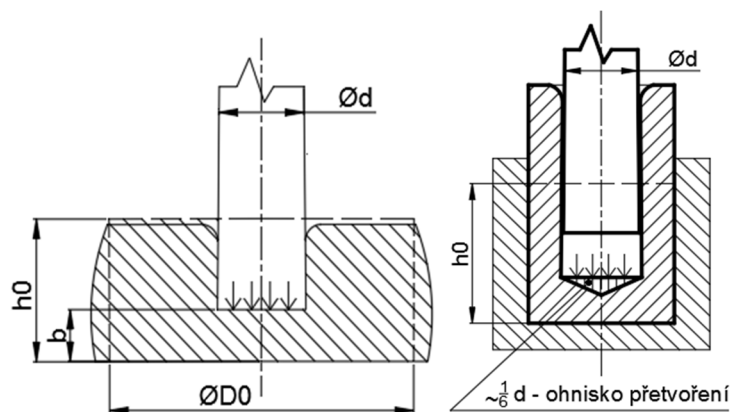
Obr. 6 Princip výroby trubek dopředným protlačováním [23]

- II. Zpětné protlačování – je metodou, kdy se materiál přemísťuje proti směru protlačovací síly (obr. 7). Rozlišuje se varianta volná, při volném vtlačování (obr. 8), kdy se výchozí polotovar přetváří do volného prostoru okolo průtlačníku. Avšak častějším modelem je



Obr. 7 Princip zpětného protlačování [25]

usměrňování materiálu tvarem průtlačnice při vtlačování (obr. 9) a tvorba prstence mezi průtlačníkem a průtlačnicí. Možností je i protlačování výčnělku, kdy je prstencového tvaru průtlačník (obr. 7 vpravo). To se v praxi využívá pro poměry  $D_0/d < 2$ . Těmito způsoby se převážně vyrábí duté protlačky, s malou tloušťkou stěny vzhledem k jejich průměru, nebo naopak velmi nízké s tlustou stěnou.



Obr. 8 Schéma volného protlačování [28]

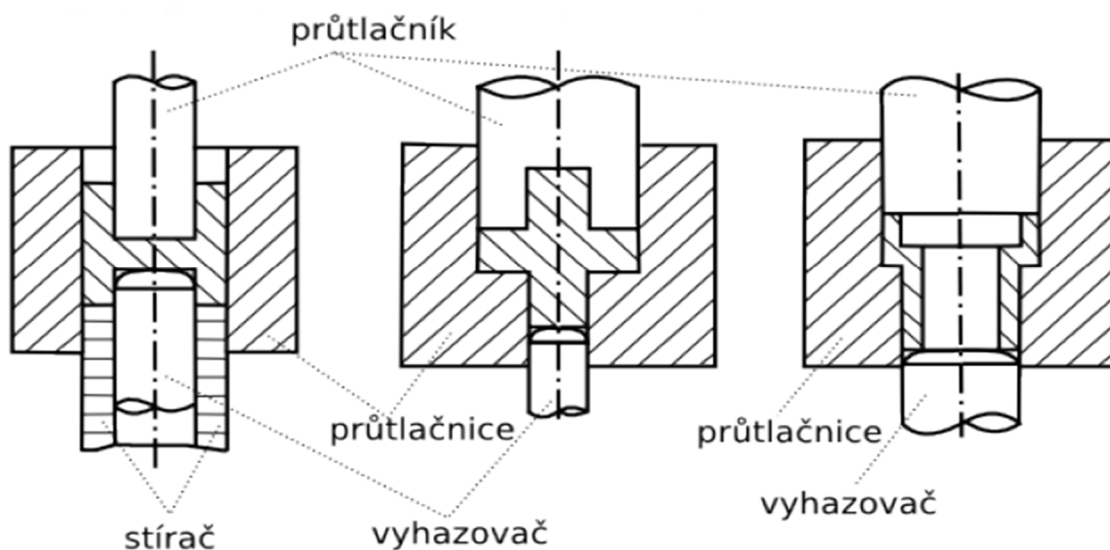
Obr. 9 Schéma usměrněného protlačování [28]

Ve stavu plastickém je pouze část kovu pod průtlačníkem. Tato oblast zasahuje obvykle až do hloubky  $1/6$  průměru průtlačníku a je známá jako ohnisko přetvoření (deformace). Po dosažení poměru  $d/b \geq 6$  se začne projevovat kritická hloubka dna a dojde k výraznému vzrůstu deformačního odporu. Zpětné protlačování je jeden z příkladů, kdy se můžeme setkat s nehomogenní plastickou deformací, tedy směry hlavních deformací nejsou totožné se směry hlavních souřadných os.

Rozborem odvozených vztahů a důkazy z praxe je známo, že u zpětného protlačování je nutné při stejném stupni přetvoření počítat s vyššími deformačními odpory, než u protlačování dopředného. Příkladem vyráběných produktů mohou být součásti

s žebry, nebo vysoce namáhané součásti kalíškového tvaru, například obaly od kondenzátorů, či plechovky s maximální možnou velikostí redukce 65%, vyšší výrazně snižuje životnost funkčních součástí.

- III. Sdružené protlačování - je kombinací obou předchozích metod, jak dopředného, tak zpětného. Materiál je tedy posouván ve směru i proti směru působení protlačovací síly (obr. 10). Důležitým předpokladem je, aby stupeň deformace v dolní části průtlačku,

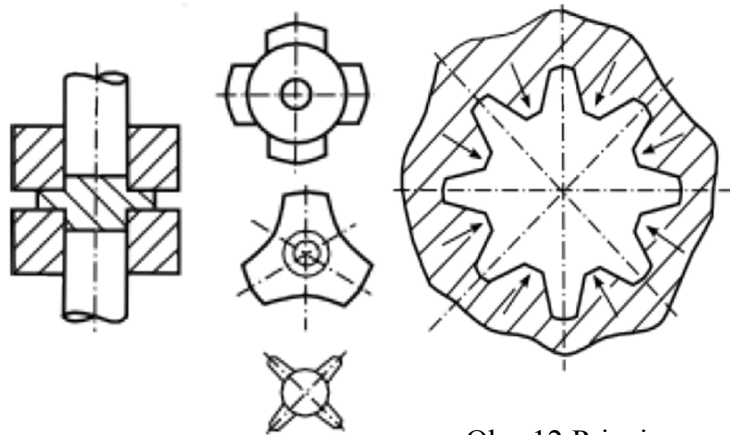


Obr. 10 Princip sdruženého protlačování [25]

kde dochází k dopřednému protlačování, byl menší než v horní části průtlačnice, kde se kov chová dle zásad zpětného protlačování. Důvodem je rozdílnost podmínek pro posuv kovu obou kombinovaných metod. Mezi hlavní vyráběné součásti patří velmi namáhané profilové výrobky rotačních i nerotačních tvarů. Například šrouby s šestihrannou, nebo imbusovou hlavou.

- IV. Stranové protlačování – označuje procesy, kdy se materiál přetváří kolmo na směr protlačovací síly a podélné osy průtlačníku. (obr. 11). Lze dosáhnout protlačků s vnějším popřípadě i vnitřním oboustranným osazením, například příruby.

Speciálním typem je také protlačování radiální. To lze rozeznat podle pohybu nejen materiálu, ale i některých částí nástroje kolmo k ose protlačované součásti (obr. 12).



Obr. 11 Princip stranového protlačování [25]

Obr. 12 Princip radiálního protlačování [25]

## 1.2 Materiály vhodné k protlačování [1, 6, 8, 9, 18, 26, 34]

Nejlépe se protlačují čisté kovy, jsou vhodné i k tvarově složitějším nebo tenkostěnným průtlačkům, protože snesou vysokou deformaci i za menších měrných protlačovacích tlaků. Navíc se vyznačují velmi dobrou jakostí povrchu a vzhledovou čistotou. Oproti tomu ze znečištěných kovů a slitin se za použití jedné tahové operace vyrábí pouze tlustostěnné součásti. Pokud je cílem dosáhnout složitějších součástí, lze využít možnosti dalších kalibrovacích a dokončovacích operací. Důvodem je intenzivní zahřívání materiálu, jeho rychlé zpevnění a s tím spojené vysoké opotřebování protlačovacího nástroje.

Základními vlastnostmi při výběru vhodného materiálu je tažnost, která musí přesahovat 10% a kontrakce větší, než 55%. Materiály nevhodné k protlačování jsou mimo jiné ty, jejichž přetvoření po jedné operaci nedosahuje hodnot alespoň 25 % z důvodu vysokého zpevnění a materiály, na které je potřeba vynaložit zvláště vysoký kontaktní tlak, přes 2500 MPa, který ohrožuje hospodárnost výroby a životnost nástrojů. Protlačované materiály je vhodné rozdělit do dvou základních skupin:

- a. Ocel - jako nejpoužívanější strojírenský materiál, je i nejčastěji používána k protlačování. Použití lze nalézt v hutním protlačování profilů, zejména však při protlačování součástí jako jsou šrouby, matice, náty, čepy, apod. (obr. 13). Podmínky vhodné k protlačování splňují nejlépe ty, jejichž obsah uhlíku je menší, než 0,2 % C. Jako i u jiných materiálů je tento způsob výroby vhodný zejména pro velké série. Ocel je z důvodu vyšší přetvárné pevnosti nejčastěji protlačována na více operací oproti například slitinám hliníku, či mědi. Teoreticky lze, protlačovat všechny druhy ocelí, které je možné deformovat za studena. V praxi je však důležité zohlednit co nejvhodnější mechanické vlastnosti. Vhodné jsou ty, s co nejnižší mezí kluzu, co nejnižší tažností, co nejvyšší kontrakcí (minimálně pak tedy 55%) a vhodným poměrem meze kluzu k pevnosti 0,5 až 0,6. Snahou je dosáhnout co největší deformace na jeden pracovní zdvih, a tím co nejhospodárnějšího protlačovacího procesu. Velikost této deformace a velikost přetvárného odporu ovlivňuje chemické složení ocelí. Z tohoto hlediska jsou nejčastěji používány kvůli malým sklonům ke zpevnění a dostatečnou tvárností především oceli nízkouhlíkové a nízkolegované s minimálním obsahem fosforu a síry, minimálním výskytem staženin a vycezenin, a s nízkým obsahem nekovových vměstků. U ocelí k protlačování je důležitá feriticko – perlitická struktura, s globulárním (kuličkovým) perlitem. Těchto struktur lze dosáhnout vhodnou přípravou oceli, zejména žiháním na měkko a normalizačním.



Obr. 13 Příklad protlačování oceli (šroub s imbusovou hlavou) [34]

Oceli jsou často rozděleny do tří skupin, z hlediska tvárnosti a tlaků potřebných k přetvoření (tab 1):

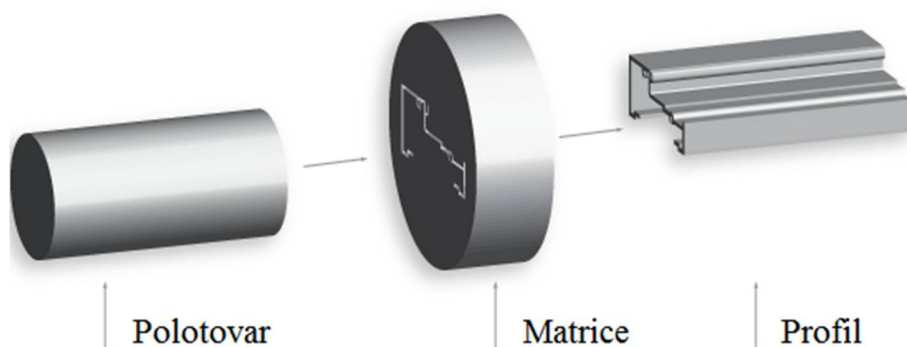
- Skupina A – oceli pro největší redukce, s vysokou tvárností, používané při velmi nízkém protlačovacím tlaku. Jde o oceli zvláště vhodné k tváření.
- Skupina B – jedná se o materiály s vyšší pevností v protlačeném stavu, se střední tvárností, používající se za středních protlačovacích tlaků. Lze je označit za snadno protlačovatelné při běžném tepelném zpracování a povrchové úpravě.
- Skupina C – ty se vyznačují nejvyšší pevností v konečném stavu, malou tvárností a vysokými protlačovacími tlaky. Tvrdé oceli skupiny C lze protlačovat pouze při pečlivém tepelném zpracování, vhodné povrchové úpravě a také mazání. I za těchto podmínek je nutné výrobní proces rozložit do více tvářecích operací.

Oceli ČSN		Chemické složení v %						
		C	P max.	S max.	P+S	Mn	Si	Cr
Skupina A	11 340	0,1	0,05	0,05				
	11 370	0,15	0,05	0,05				
	12 010	0,13	0,04	0,04	0,07	0,6	0,35	
Skupina B	11 420	0,22	0,05	0,05				
	12 020	0,2	0,04	0,04	0,07	0,9	0,35	
	14 120	0,18	0,04	0,04	0,07	0,6	0,35	0,9
	14 220	0,19	0,04	0,04	0,07	1,4	0,35	1,1
Skupina C	11 500	0,28	0,06	0,06	0,1			
	11 600	0,43	0,06	0,06	0,1			
	12 050	0,5	0,04	0,04	0,07	0,8	0,35	

Tab. 1 Nejběžnější používané oceli rozděleny do skupin, dle vhodnosti k protlačování [26]

#### b. Neželezné kovy

- Hliník a jeho slitiny - je nejčastěji protlačovaným neželezným kovem za studena. Jako i ostatní neželezné kovy se hliník a jeho slitiny protlačují ve většině případů pouze na jednu operaci. Protlačováním hliníku lze dosáhnout zpevnění až o 120%. Možností je protlačování hliníku plátovaného mědí, přičemž se měď rovnoměrně rozdělí po povrchu součásti. Nejčastějšími výrobky jsou zpracovatelné hutní profily, mnohdy specifických tvarů (obr. 14).



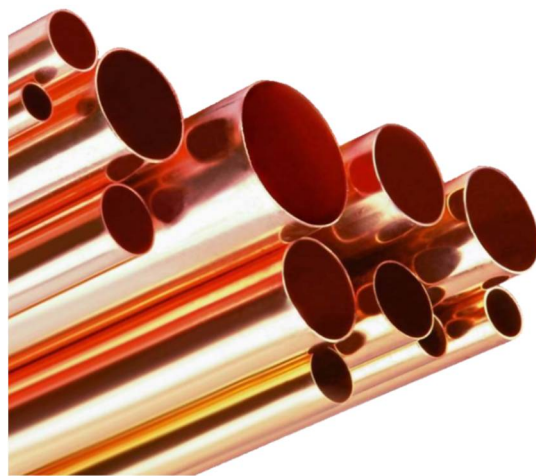
Obr. 14 Příklad protlačovaného profilu ze slitiny hliníku [1]



Hliníkové slitiny lze rozdělit do tří částí podle potřebných provozních tlaků:

- Materiály, které jsou protlačovány do provozního tlaku  $k_f = 30$  MPa mohou být označeny jako lehce protlačovatelné. Ze slitin jsou to zejména slitiny s manganem, pro jejich lepší tvárnost. Do této skupiny běžně patří i čistý hliník, který je často využívaný, a to díky více faktorům. Hlavně pro jeho lesklý a čistý povrch, a dobrou kvalitu povrchu, kterou po protlačení získá.
- Používá-li se provozního tlaku  $k_f = 30 - 45$  MPa, označují se tyto slitiny hliníku jako středně těžce protlačovatelné.
- Nejlépe však splňují požadavky na mechanické vlastnosti těžce protlačovatelné materiály. Tyto slitiny hliníku pracují při provozním tlaku  $k_f = 47 - 56$  MPa a nacházejí uplatnění v leteckém průmyslu, díky výborným mechanickým vlastnostem, vysoké houževnatosti a odolnosti vůči extrémním teplotám.
- Měď a její slitiny - dalším důležitým neželezným kovem v protlačování je měď a její slitiny, hlavně pak bronz a mosaz. Byly používány už od počátku lidské technické éry a to v době bronzové, především na šperky, zbraně a další spotřební zboží. Dobrá zpracovatelnost a atraktivní vzhled jsou pak zodpovědné za používání těchto slitin i dnes, příkladem mohou být hudební nástroje, svítidla, obaly, podnosy a pekařské zboží.

Hlavní výhodou mědi je také její velmi vysoká elektrická vodivost, největší ze všech komerčně používaných kovů ( $58 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$  při  $20^\circ\text{C}$ ). Této vysoké elektrické vodivosti odpovídá i vysoká tepelná odolnost. Další výhodou je přirozená korozivzdornost. Tyto vlastnosti dělají z mědi a jejích slitin nejvhodnější materiál pro výrobu bezešvých trubek (obr. 15). Tyto materiály nacházejí i velmi široké uplatnění v elektrotechnice a elektronice. Zatímco tyče a dráty se vyrábí v celém rozsahu slitiny, trubky se protlačují hlavně polotvrdou, neboli



Obr. 15 Protlačované trubky ze slitin mědi [6]

odkysličenou mědi s omezeným obsahem fosforu, která nese označení SF – Cu. Taková měď má horší vodivost, ale zato má lepší pevnost a tažnost za studena.

- Cín a jeho slitiny - jeden z prvních protlačovaných materiálů k výrobě bezešvých trub. Kvůli nízké tvrdosti se nyní čistý cín v protlačování nepoužívá, a k zlepšení mechanických vlastností se přidávají legující prvky, nejčastěji vizmut, zinek a měď.
- Olovo a jeho slitiny - se vyznačují velmi malou pevností, proto jsou bez legujících prvků v protlačování nepoužitelné. Zvýšením obsahu legujících prvků, především antimonu se však pevnost zvýší natolik, že tyto slitiny olova lze protlačovat běžně.

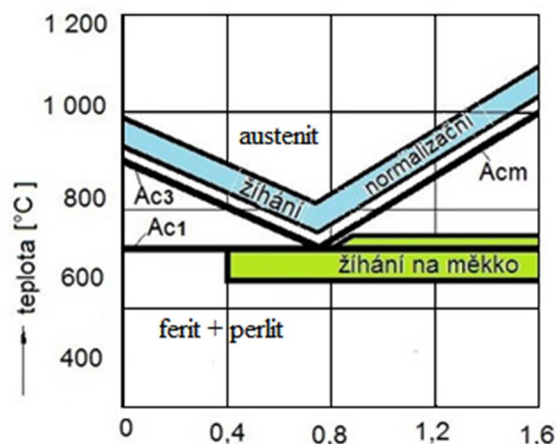
### 1.3 Příprava materiálu [11, 16, 17, 18, 19, 22, 24, 36, 37]

Z důvodu dosažení trvalé plastické deformace při co nejnižším protlačovacím tlaku je tvářený polotovar před protlačováním tepelně zpracováván. Materiál je proto žhán, tím lze docílit snížení vnitřního pnutí a tvrdosti při současném zvýšení tvárnosti. Orientační teploty žhání oceli jsou zobrazeny na obrázku 16.

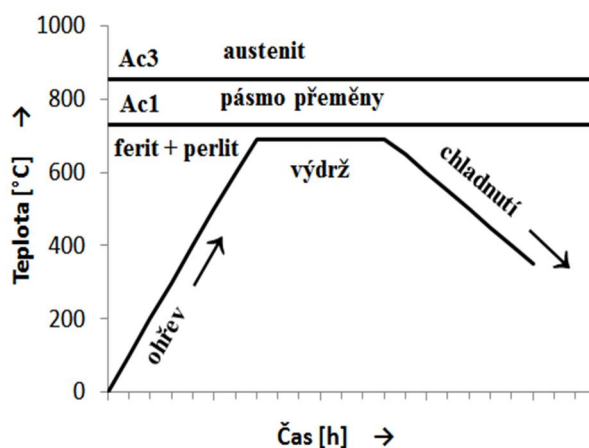
Tepelné zpracování se ve velmi výjimečných případech může provádět i mezi jednotlivými operacemi. To je však nežádoucí kvůli složitému vyjímání součástí z protlačovacích automatů a porušování tak jinak automatického a plynulého procesu.

Mezi hlavní procesy žhání provádějící se na extrudované součásti patří:

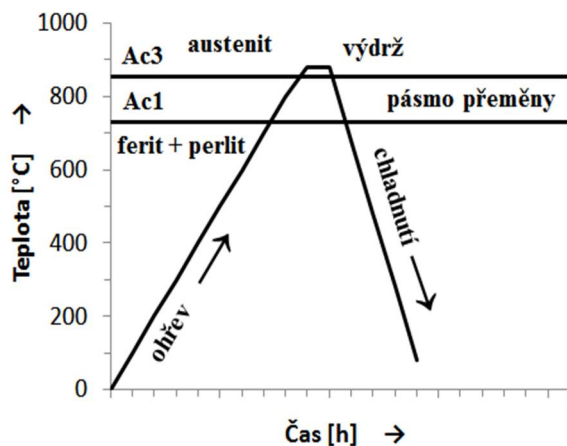
- Žhání na měkko – dochází k přeměně laminárního perlitu na globulární a tím dojde k výraznému změknutí daného kovu. Provádí se na ocelích, slitinách mědi nebo mosazi vždy za teplot pohybujících okolo teploty Ac1 pro daný materiál. Po ohřátí na tuto teplotu probíhá výdrž (obr. 17), běžně 3 – 4 hodiny, ale výjimečně až 8 hodin i více dle druhu materiálu. Následně se kov volně ochlazuje. Ochlazení probíhá v peci s ochrannou atmosférou, nebo vakuové, aby se předešlo vzniku nečistot na povrchu žháného kovu. Je vhodné především před protlačováním a ve velmi výjimečných případech i mezi jednotlivými operacemi.
- Normalizační žhání – cílem je zjemnění a homogenizace struktury daného kovu. Používá se u uhlíkatých a nízkolegovaných ocelí. Po ohřátí na teplotu kalení 800 – 920 °C, což odpovídá teplotám 20 – 80 °C nad křivkou Ac3, následuje běžně hodinová výdrž (obr. 18) a poté chlazení na vzduchu. To způsobí vznik jemných austenitických zrn, která nahradí hrubá zrna feritická. Po ochlazení vzniká opět ferit, avšak už s menšími zrny. Taktéž může ochlazení probíhat ve vakuové peci, nebo v peci s ochrannou atmosférou, aby se zabránilo oxidaci a oduhlíčení.



Obr. 16 Výřez z  $Fe_3C$  diagramu s vyznačenými žihacími teplotami [22]



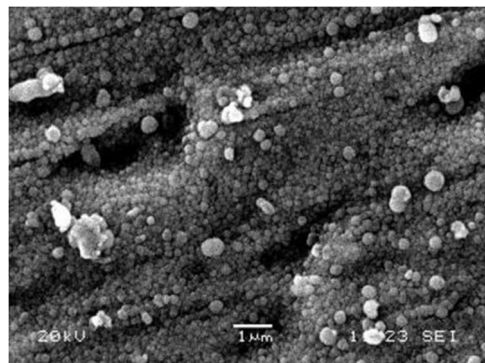
Obr. 17 Teplota, výdrž a rychlost ochlazování žhání na měkko [22]



Obr. 18 Teplota, výdrž a rychlost ochlazování žhání normalizačního [22]

Po vhodném tepelném zpracování následuje také vhodná příprava povrchu materiálu sloužící ke snížení tření mezi polotovarem a protlačovacím nástrojem, odstranění nečistot, okují a co největší snížení síly potřebné k deformaci polotovaru. To vše vede k menšímu opotřebení nástroje nebo také lepší kvalitě povrchu a s tím souvisejícím nižším nákladům. Obecným pracovním postupem přípravy povrchu před protlačováním je:

- ♦ Po žíhání je nutné odstranit okuje a nečistoty mechanicky, například otryskáváním (proces úpravy povrchu proudem většinou tvrdých částic, jako je křemičitý písek, korund, či broky), omíláním (neustálý pohyb omílacích tělísek a součástí v omílacím bubnu, způsobí úběr materiálu a zlepšení jakosti jeho povrchu), nebo loupáním (odstranění rovnoměrné malé části povrchu součástí za účelem dosažení lepší kvality povrchu a odstranění mikrotrhlin a vad).
- ♦ Poté materiál prochází odmaštěním, omýváním a následným sušením. Odmaštění může probíhat i společně s omíláním v předchozím kroku. Používá se zásaditých odmašťovačů, nejčastěji v alkalických lázních, nebo tekutin na bázi fosforečnanů například Alkon „S“ a to při teplotě kolem 100 °C s výdrží 5 – 15 minut.
- ♦ Dále oplach, nejčastěji vodou při teplotě 70 až 80 °C.
- ♦ Vhodné je po čištění mechanickém také čištění chemické - moření. Při moření aplikujeme anorganické kyseliny, například kyselinu solnou a to při teplotách 20 –70 °C po dobu 10 – 30 minut. Možná je i kombinace chemického a mechanického čištění v jednom kroku.
- ♦ Materiál prochází znovu oplachem.
- ♦ Před fosfátováním je nutný aktivační oplach. Používat se může například Synfát 1007 při teplotě 15 až 25 °C s výdrží kolem minuty.
- ♦ Následuje fosfátování, díky kterému se povrch kovu stane pórovitým. Pórovitost zaručí velmi dobrou přilnavost maziva na materiálu. Mimo to spolu mazivo a fosfátovaná vrstva (obr. 19) drží i díky chemické reakci mezi prvky. Skládá se obvykle z fosforečnanu zinečnatého a malého přídatku fosforečnanu železitého a aplikuje se ponořením materiálu na 4 – 12 minut do fosfátizační lázně. Nejvhodnější teplota lázně se pohybuje okolo 90 °C, při soustavném pohybování součásti vzniká výhodné rozložení fosfátové vrstvy s hustotou 40 - 200 mg/dm<sup>2</sup>.
- ♦ Materiál prochází znovu oplachem.
- ♦ Následuje neutralizační, nebo také pasivační oplach. Pasivace označuje zklidnění povrchu kovu po jeho aktivaci a vytvoření ochranné vrstvy, která zabraňuje dalšímu průběhu reakce. Po fosfátování se používá například dvojchroman draselný při teplotě 50 – 90 °C po dobu 0,5 až 2 minut.
- ♦ Příprava materiálu k tváření končí mazáním polotovaru před protlačením, nebo i mezi jednotlivými operacemi. Mazáním je snahou minimalizovat tření mezi činnými částmi protlačovadla a tvářeného kovu. Druhým důvodem je možnost intenzivního chlazení zahřívaných částí. Mazáním lze docílit o poznání kvalitnějších protlačků a také menšího



Obr. 19 Fosfátová vrstva silnovrstvých fosfátů [36]

opotřebení částí protlačovadla. Mazivo se obvykle nanáší na polotovary ponořením. Jako maziva se mohou používat:

- Rostlinné tuky - například palmový tuk, řepkový olej, sulfonovaný lůj, nebo lněný olej s příměsí mýdlového roztoku, aditiv a inhibitorů pro zlepšení viskózních a užitných vlastností.
- Minerální oleje s různým stupněm viskozity, které nemají sklony k emulgaci. Většinou s přísadkami mastných kyselin a také aditiv a inhibitorů.
- Mýdla rozpustná ve vodě.

U neželezných kovů se ke snížení třetí používá mezera mezi průtlačnicí a průtlačníkem od 2 – 4 mm, kam zateče materiál, který následně působí jako mazivo. Tato mezera se poté nazývá košilka.

#### 1.4 Návrh protlačku [13, 29, 30]

Objem kovu vstupujícího do matrice se musí rovnat objemu materiálu, který z matrice vystupuje, proto pomocí zákona konstantního objemu je proveden výpočet objemu polotovaru.

K objemu protlačku je nutné přidat ještě objem přísadků na zarovnání, který činí cca 3% z celkového objemu. Součtem objemu požadované součásti a doporučených přísadků je dán celkový potřebný objem polotovaru. Dalším krokem je návrh rozměrů polotovaru k tvářecí operaci. Například při výrobě rotačních součástí je použita tyč, kde je zohledněn průměr, který se co neoptimálně vejde do nástroje. Následuje výpočet činné plochy průtlačníku, což je průřez požadovaného nástroje a půdorysné plochy protlačku (průřez protlačku). Díky těmto dvěma hodnotám je možné dopočítat přetvárný (deformační) odpor materiálu, který je napětím potřebným k dosažení plastické deformace, jinak označované jako přetvárná pevnost, navíc zvětšený o odpory vznikající mezi nástrojem a tvářeným materiálem.

Závisí na teplotě tváření, rozměrech polotovaru a nástroje, na deformační rychlosti a také na velikosti tření.

V odborné literatuře je možné nalézt více vztahů pro výpočet deformačního, nebo také přetvárného odporu při dopředném protlačování.

Jako příklad lze uvést vztah při běžném, dobře mazaném protlačování:

$$\sigma_d = \sigma_{ps} \left[ \left( 4 \cdot f_3 \cdot \frac{L_3}{D_3} \cdot \frac{\sigma_{p3}}{\sigma_{ps}} + \frac{tg\alpha}{f_2} + 1 \right) \cdot \left( \frac{D_2}{D_3} \right)^{\frac{2 \cdot f_2}{tg\alpha}} - \frac{tg\alpha}{f_2} - 1 \right] e^{\frac{\mu}{1-\mu} \cdot 4 \cdot f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1}} \quad (1.1)$$

kde  $\sigma_{ps}$  – střední hodnota přirozeného deformačního odporu [MPa]

$\sigma_{p3}$  – přirozený deformační odpor v očku [MPa]

$D_1$  – průměr zásobníku [mm]

$D_2$  – průměr redukčního kužele [mm]

$D_3$  – průměr očka [mm]

$L_1$  – délka zásobníku [mm]

$L_3$  – délka očka [mm]

$f_1$  – součinitel tření v zásobníku [-]

$f_2$  – součinitel tření v redukčním kuželu [-]

$f_3$  – součinitel tření v očku [-]

$\alpha$  – úhel redukčního kužele [°]

$\mu$  – Poissonova konstanta [-]

Nebo vzorec popsany Storozevem, kdy prvni cast rovnice vyjadruje deformačni odpor v zásobníku, druhá část deformačni odpor v redukčním kuželu a třetí člen  $\sigma_d$  v očku.

$$\sigma_d = \sigma_{p1} \cdot 4 \cdot f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1} + \sigma_{p2} \left( \frac{f_2 + 0,5}{2 \cdot \sin \alpha} + \frac{2}{1 + \cos \alpha} \right) \cdot \ln \left( \frac{D_2}{D_3} \right)^2 + \sigma_{p3} \cdot 4 \cdot f_3 \cdot \frac{L_3}{D_3} \quad (1.2)$$

kde  $\sigma_{p1}$  – přirozený deformační odpor v zásobníku [MPa]  
 $\sigma_{p2}$  – přirozený deformační odpor v redukčním kuželu [MPa]

Pro zpětné protlačování lze například použít vztah:

$$\sigma_d = 1,152 \cdot \sigma_p \cdot \frac{S_o}{S_p} \cdot \left( \log \frac{S_o}{S_o - S_p} + \frac{S_o}{S_o - S_p} \cdot \log \frac{S_o}{S_p} + \log \frac{S_p}{S_p - S_o} \right) \quad (1.3)$$

kde  $\sigma_d$  – deformační odpor [MPa]  
 $\sigma_p$  – přirozený deformační odpor [MPa]

Přirozený deformační odpor  $\sigma_p$  lze určit dvěma způsoby. Lze využít matematického popisu výsledků mechanických zkoušek, tzv. křivek zpevnění, které popisují závislost napětí na poměrném přetvoření. Nebo ho lze odečíst z diagramu závislosti na logaritmickém přetvoření  $\varphi$  pro příslušný materiál. Logaritmické přetvoření je obecně dáno jako obecný průřez počáteční ku průřezu konečnému. Zde je uveden vztah pro výpočet u zpětného protlačování.

$$\varphi = \ln \frac{S_o}{S_o - S_p} \quad (1.4)$$

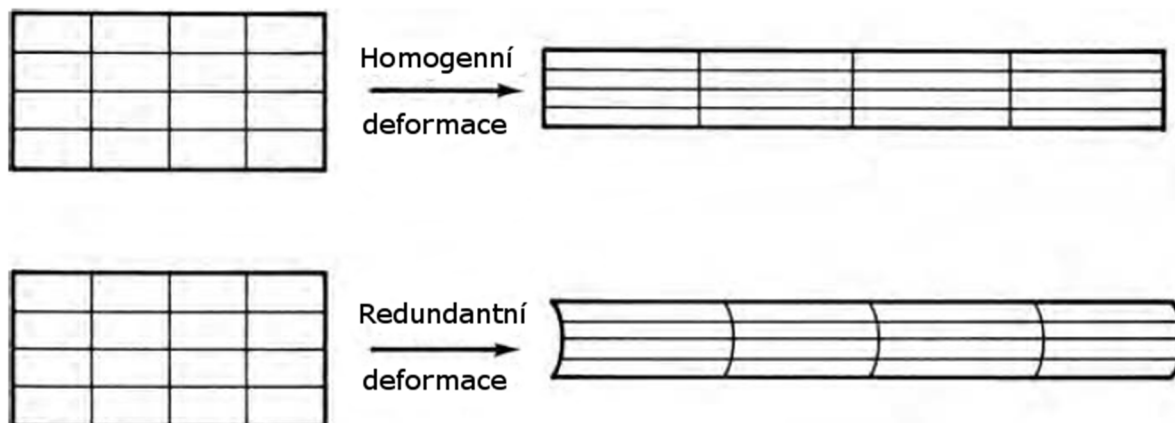
kde  $\varphi$  – logaritmické přetvoření [-]

Pomocí maximální hodnoty protlačovací síly lze určit vhodnost použití jednotlivých druhů protlačovacích strojů - lisů.

$$F_p = \sigma_d \cdot S_p \quad (1.5)$$

kde  $F_p$  – protlačovací síla [N]

Ke správné volbě protlačovacího stroje je také nutný výpočet deformační (přetvárné) práce. Vyjma práce skutečné (reálné)  $w_a$  je používána pro zjednodušení výpočtu práce ideální  $w_i$ . Při výpočtech s ideální prací se nezapočítává práce třecí  $w_f$ , která zahrnuje hlavně tření mezi nástrojem a tvářeným kovem a také práce redundantní (nadbytečná)  $w_r$ . Redundantními, neboli ztrátovými, účinky je označována deformace, při které vznikají nehomogenní deformace v tvářeném kovu při nezidealizovaných stavech (obr. 20). Snižují tvárnost materiálu a zvyšují jeho tvrdost, jsou proto ve většině případů nežádoucí.



Obr. 20 Rozdíly mezi homogenní deformací a deformací redundantní [13]

Skutečná práce je poté součtem práce ideální, třecí a redundantní.

$$w_a = w_i + w_f + w_r, \quad [J] \quad (1.6)$$

Je však často obtížné najít co nejpřesnější hodnotu  $w_f$  a  $w_r$ , proto lze využít obecné deformační účinnosti  $\eta$ .

$$\eta = \frac{w_i}{w_a}, \quad [-] \quad (1.7)$$

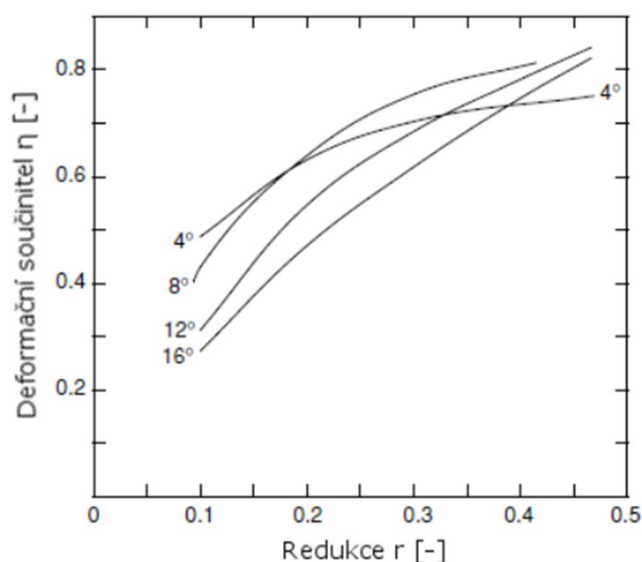
Zkušenosti konstruktérům umožňují udělat rozumné odhady  $\eta$ . Například u tvářených tyčí a drátů se  $\eta$  pohybuje mezi hodnotami 0,5 – 0,65. Tyto hodnoty jsou dány v závislosti na úhlu matrice, mazání, či stupni redukce.

Pomocí účinnosti lze určit i protlačovací tlak:

$$P_{Prot} = \frac{1}{\eta} \int \bar{\sigma} d\varepsilon, \quad [MPa] \quad (1.8)$$

kde  $\bar{\sigma}$  – skutečné napětí [MPa]

Při ideálně plastickém kovu ( $n = 0$ ) a ideální deformační účinnosti ( $\eta = 1$ ) bude maximální mezní deformace  $\varepsilon = 1$ , což odpovídá redukci  $r = 63\%$ . Při výpočtu s reálnou hodnotou účinnosti, například  $\eta = 0,65$ , je dána deformace  $\varepsilon = 0,65$  a redukce  $r = 48\%$ . V praxi se používá převážně víceoperační protlačování a po prvním nebo druhém protlačení, lze přídatvé zpevnění zanedbat ( $n \rightarrow 0$ ). Z měření J. G. Wistreicha vyplývá, že deformační účinnost „ $\eta$ “ a optimální úhel je funkcí redukce „ $r$ “. Obecně se s rostoucí redukcí zvyšuje efektivita výroby i úhel matrice (obr. 21).



Obr. 21 Wistreichova data ukazují zvýšení efektivity s rostoucí redukcí při různých úhlech matrice [13]

Za všech podmínek maximální deformační odpor odpovídá  $\sigma_d = \bar{\sigma}/\eta$ .

Netvářený materiál je protahován skrz matrici. Pokud je předtím žíhán, bude maximální protlačovací síla odpovídat pevnosti v tahu, neboli:  $\sigma_{d(max)} = K \cdot \varphi^n$

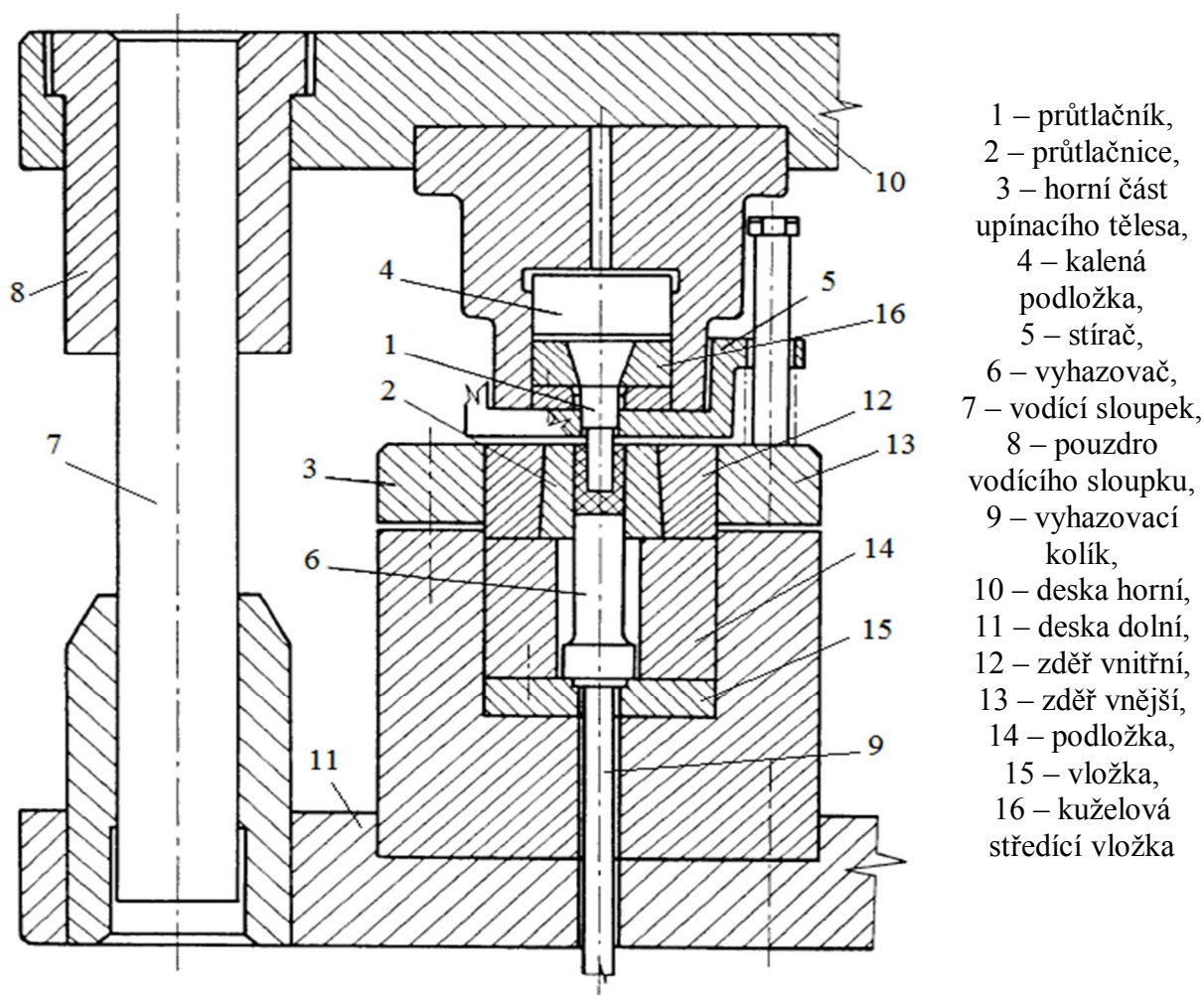
Maximální deformace poté odpovídá hodnotám  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = [\eta \cdot (n + 1)n^n]^{1/(n+1)} \quad (1.9)$$

Na paměti při návrhu protlačovacího procesu je také třeba mít podmínku konstantního zpevnění. Při pěchování tělesa například při výrobě hlavy šroubu dochází ke většímu zpevnění, než při protlačení jeho dřívku. Proto je vhodné dřívku posléze například tepelně zpracovávat, kvůli dosažení podobného zpevnění, tedy podobné pevnosti v tahu v celé součásti.

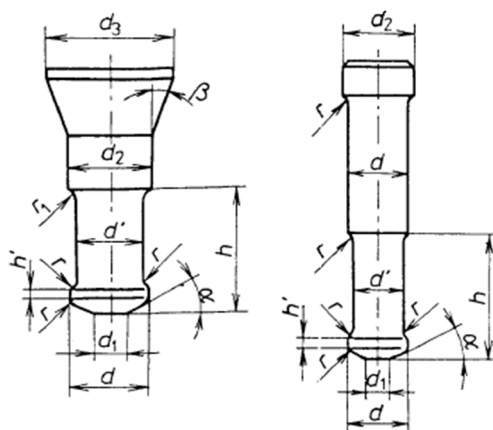
## 1.5 Protlačovací nástroje [7, 18, 24, 28, 31]

Předposledním krokem v návrhu protlačovacích operací je návrh nástroje, který je co možná nejvhodnější pro tváření daného případu součásti. Protlačovací nástroje, dále jen protlačovadla, lze rozdělit do typizovaných upínacích částí a to na horní část – průtlačníkovou a dolní část – průtlačnicovou. V praxi se používá sofistikovaných pracovních automatů o mnoha částech, pro dosažení co největší efektivity výroby a životnosti, která při vhodném návrhu může být až 50000 kusů. Schéma protlačovadla pro zpětné protlačování lze vidět na obrázku (obr. 22). Jeho hlavními částmi jsou vždy průtlačník, průtlačnice a stírač. Možná je i varianta s použitím vyhazovače (jako je na obrázku). Průtlačník slouží k základnímu přenosu protlačovací síly na polotovar. Průtlačnice zpravidla udává tvar požadované součásti. Stírač v první řadě usměrňuje tok materiálu do průtlačnice. Vyhazovač také pomáhá tvarovat součást, ale hlavně slouží k přemístění protlačku po dokončení protlačování, aby udělal místo pro další polotovar, pomáhá tak plynulosti tvářecího procesu. Vyhazovač se zde ale lze nahradit jinými metodami odstranění hotové součásti, například za pomoci robotů.

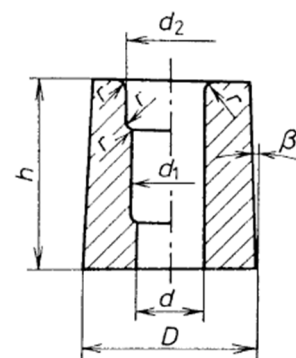


Obr. 22 Nástroj pro zpětné protlačování [31]

Průtlačník při tomto typu protlačování je velmi namáhán na ohyb, proto je nutné z důvodu co největší životnosti navrhovat ho co nejkratší a s co nejmenším možným počtem změn v průřezu, případně s rovnoměrnými přechody. Nejčastěji jsou používány průtlačníky dle normy ČSN 22 7005, které lze vidět na obrázku 23. Tato norma také popisuje tvar vhodné průtlačnice, kterou je možné vidět na obrázku 24. Průtlačnice pro zpětné protlačování jsou nejčastěji konstruovány jako složené z více radiálně předepjatých nádob (objímek), které jsou od tvářecích sil namáhány vnitřním tlakem. Průtlačnici bez objímky lze použít pouze pro tlaky do 1000 MPa. Podrobný výpočet těchto průtlačnic lze nalézt ve výše uvedené normě.

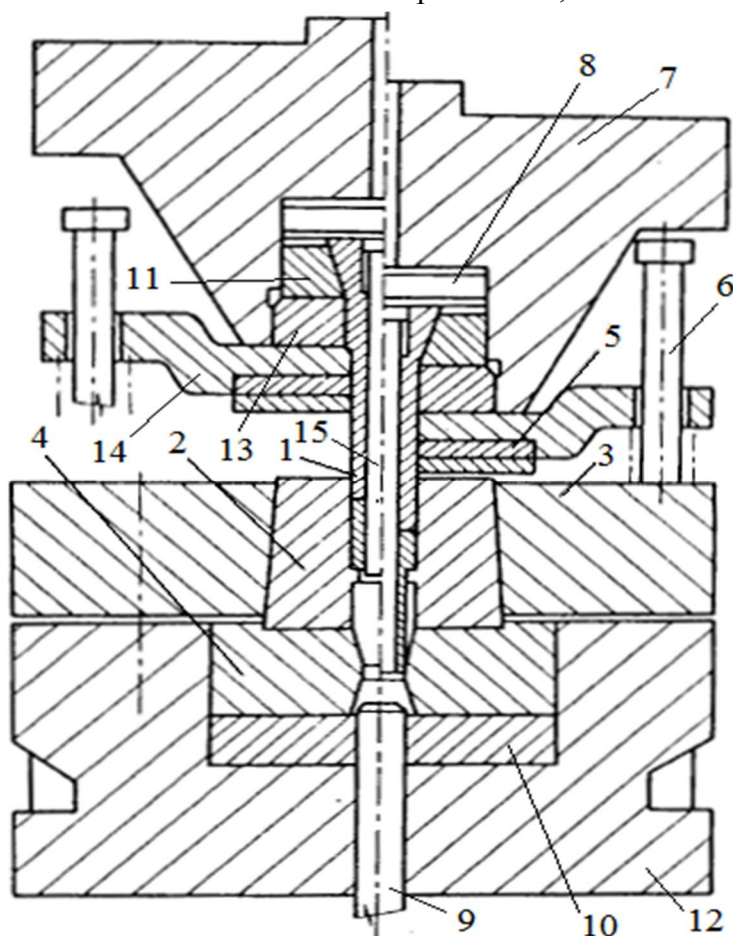


Obr. 23 Normalizované průtlačníky pro zpětné protlačování [31]



Obr. 24 Normalizovaná průtlačnice pro zpětné protlačování [31]

U protlačovadla pro dopředné protlačování (obr. 25) je stírač ve většině případů nahrazen vyhazovačem, který vyhazuje již protlačenou součást a pomáhá zarovnávat čelo protlačku. Možná je i varianta bez použití vyhazovače, kdy jeden protlaček vytlačí ten předcházející. Délka součásti nezávisí na délce průtlačnice, avšak minimální velikost vedení je 2 mm.

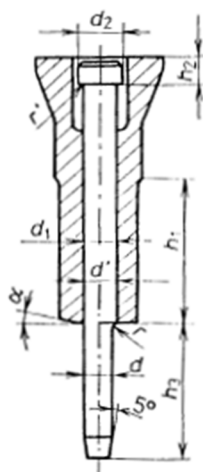


- 1 – průtlačník, 2 – průtlačnice,
- 3 – horní část upínacího tělesa,
- 4 – kalená podložka, 5 – stírač,
- 6 – vodící sloupek, 7 – horní upínací deska, 8 – opěrná deska,
- 9 – vyhazovač, 10 – vložka,
- 11 – kuželová středící vložka,
- 12 – dolní část upínacího tělesa,
- 13 – podložka, 14 – čelisti stírače, 15 – pohyblivý trn

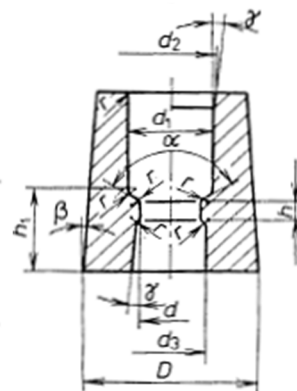
Obr. 25 Nástroj pro dopředné protlačování [31]



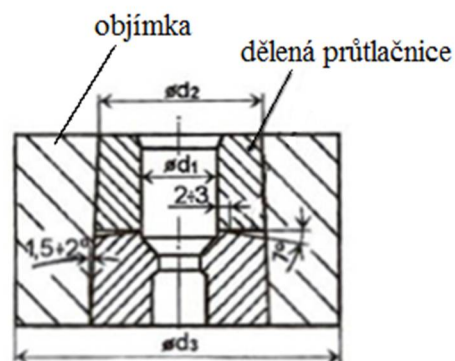
Protlačovat je možné buď v otevřené průtlačnici, či uzavřené průtlačnici a to nejčastěji normalizovanými tvary průtlačníků podle ČSN 22 7005, které jsou zobrazeny na obrázku 26 a z důvodů vysokého ohybového napětí je vhodné navrhovat je co nejkratší. Při protlačování dutých součástí je poměrně časté použití pohyblivého trnu, který lze vidět na obrázku 26 vlevo, či na obr. 25. Ten může pomoci vyhnout se nepřípustně vysokým tahovým napětím. Tento trn pracuje za předpokladu proměnlivých tření, mezi ním a protlačovaným materiálem. Při protlačování plné součásti jsou průtlačníky zpravidla z jednoho kusu s upínací částí. Stejně tak je podle výše zmíněné normy doporučený tvar průtlačnice (obr. 27). Ta může obsahovat navíc příčné dělení (obr. 28) v oblasti přechodu válcové části v kuželovou, to pomáhá zmírnit vrubový účinek a tím i zvýšit životnost průtlačnice. Možné je i použití průtlačnice s vložkou funkční části opotřebovávané třením, což usnadní její výměnu. Obvykle se také používá jedné či více objímek s radiálním přepětím k zajištění vyšší únosnosti průtlačnice. Jednoobjímkové průtlačnice je možné využít do tlaků 1600 MPa. Možností je i axiální přepětí, které nachází využití především u dělených průtlačnic.



Obr. 26 Normalizované průtlačníky pro dopředné protlačování [31]



Obr. 27 Normalizovaná průtlačnice pro dopředné protlačování [31]



Obr. 28 Příčně dělená a radiálně předepnutá průtlačnice s jednou objímkou [31]

Na protlačovací nástroje jsou samozřejmě kladeny obvyklé požadavky, jako je jednoduchost, snadná údržba a obsluha, stálost všech rozměrů a v neposlední řadě úměrné pořizovací a údržbové náklady odpovídající potřebné rozměrové přesnosti a jakosti povrchu součástí. Důležité je také zohlednění atributů pro dosažení co nejnižšího deformačního odporu, který by mohl způsobit deformaci, nebo i praskání nástroje. Mezi tyto atributy patří:

- × druh tvářeného materiálu
- × tvar a přesnost protlačku
- × velikost deformace
- × volba tvářecího procesu
- × celková koncepce nástroje
- × povrchová úprava
- × mazání

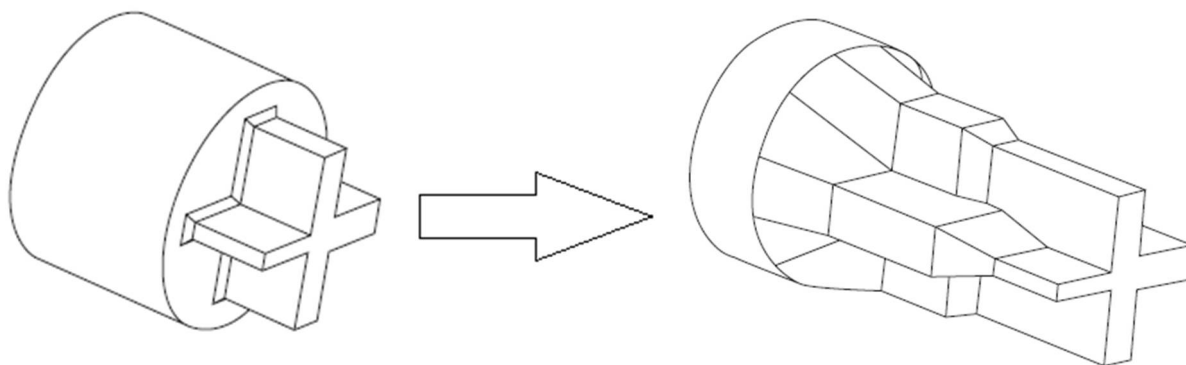
Proto je vhodné se při konstrukci protlačovadel řídit dle těchto hlavních zásad:

- ✓ Zajistit dostatečnou tuhost nástroje a zamezení tak odpružení funkčních částí, což může způsobit nedodržení požadovaného tvaru, přesnosti a zároveň snížení životnosti nástroje. Proto je nutné použití masivních upínacích těles, vhodně zvolit materiály a zejména u funkčních částí zajistit snadnou vyměnitelnost. Životnost nástroje se odvíjí od životnosti průtlačnice, při zpětném protlačování i průtlačníku. Ty lze taktéž ovlivnit volbou materiálu, ale hlavně je třeba věnovat pozornost vhodným poloměřům zaoblení,

požadovaným tolerancím, jakosti povrchu a případným přechodům mezi průměry pro zajištění plynulého toku materiálu.

- ✓ Volit dokonalé vedení, pro zajištění souososti funkčních částí nástroje.
- ✓ Vhodně řešit vyhadzovač protlačku z průtlačnice, popřípadě i jeho stírání. Možné je i jiné řešení bez vyhadzovače. Důležité je důkladné odstranění výlisku z funkčního prostoru.
- ✓ Vpatřit nástroj jednoduchou a rychlou montáží funkčních částí. Taktéž zajistit co nejrychlejší upínání polotovaru. Pokud je to možné vše mimo pracovní prostor stroje.
- ✓ Dbát na velikost maximálního stupně deformace, tím se zachová maximální životnost součástí protlačovadla. Při nutném překročení přípustné hranice deformace, volit raději větší počet protlačovacích operací.
- ✓ V místech nebezpečí vzniku vzduchových polštářů je důležité nástroj odvzdušnit.
- ✓ Nezbytné je také chlazení a mazání funkčních částí nástroje. Při běžném objemovém tváření často vznikají velmi jemné otřepy, které se posléze odplavují chladicí emulzí, proto je vhodné části nástroje odmagnetizovat a chladicí tekutinu filtrovat.

Při návrhu nástroje je také nutné brát v úvahu základní údaje k výrobku, jako sériovost, požadovanou jakost povrchu, technologický postup, typ stroje použitého k protlačování, velikost přetvárné síly, rozměry polotovaru a hlavně pak tvar protlačku, který je často nutné upravit pro co nejlepší technologičnost výroby. Například náhlé přechody a ostré hrany překážejí správnému toku materiálu a tím zvyšují přetvárnou sílu, proto je nutné se jim vyvarovat. To samé platí pro změny příčného průřezu a rohy. Pokud z konstrukčních důvodů není možné se těchto technologických problémům vyhnout, je vhodné, co nejvíce je zmírnit náběhovými kuželů (obr. 29), či zaobleními.



Obr. 29 Využití náběhových kuželů při dopředném protlačování [7]

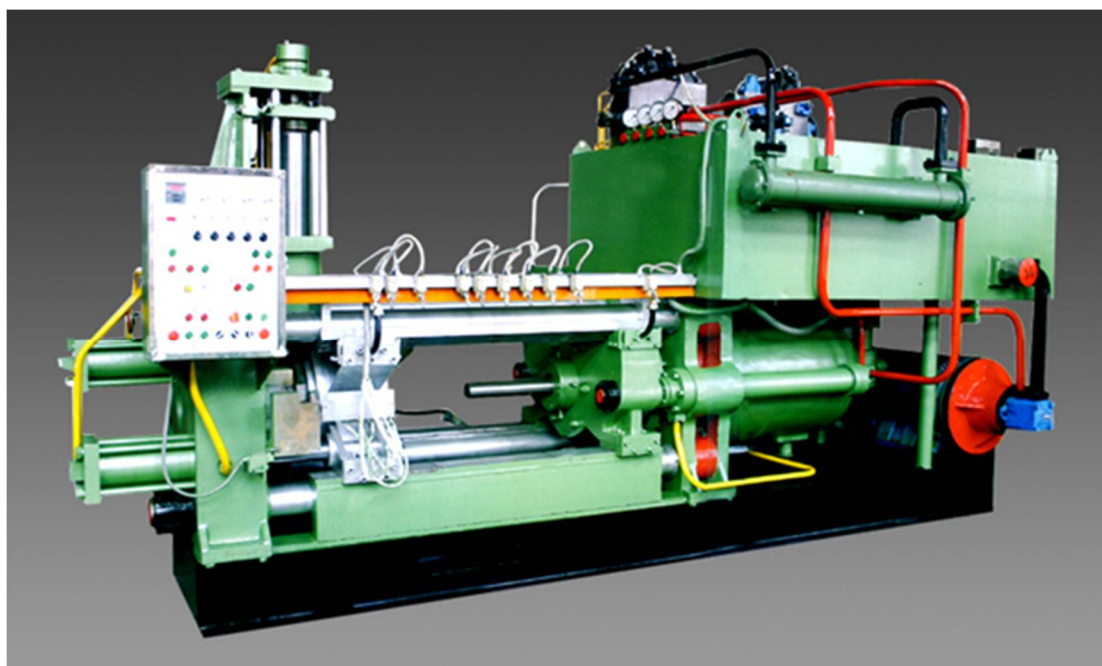
Konstruktéra musí také zajímat počet tvářecích operací, který je uveden v technologickém postupu. Tabulka 2 udává maximální možnou velikost redukce a logaritmického přetvoření pro různé druhy protlačování.

způsob tváření	změna průřezu	
	redukce $r$ [%]	logaritmické přetvoření $\varphi$ [-]
zpětné protlačování	40 - 75	0,51 - 1,4
dopředné protlačování	uzavřené	30 - 90
	otevřené	5 - 30

Tab. 2 Směrnice pro maximální velikost redukce při různých způsobech protlačování [31]

## 1.6 Protlačovací stroje [4, 26, 27]

Závěrečnou částí potřebnou k návrhu protlačovacích operací je volba stroje. Nejčastější možnostmi jsou to speciální protlačovací zařízení. Základní rozdělení tedy je na lisy mechanické, lisy hydraulické a automaty speciálně určené k protlačování. Mechanické lisy lze dále dělit na klikové, kolenové a výstředníkové. Výběr je obvykle volen dle potřebných protlačovacích parametrů, kterými jsou hlavně protlačovací (přetvárná) síla a deformační práce. Směrodatnými charakteristikami stroje jsou jeho zdvih, práce a lisovací síla, která se obvykle pohybuje v rozsahu od 300 až do 120000 KN. Výstředníkové lisy mají stojan typu C, který při protlačování pruží, musí se kvůli této nevýhodě použít několikanásobně silnější, než jiné typy, používají se proto jen výjimečně. Nejčastěji, hlavně pro největší série jsou využívány speciální protlačovací lisy (obr. 30) s možností automatického vyhazování protlačků či s podavačem. Hydraulické lisy nachází také široké využití, mají vysoký zdvih a mohou vyvinout vysokou protlačovací sílu. Hodí se proto i pro vysoké ocelové protlačky. Naopak lisy kolenové mají pouze nízký zdvih, používají se proto pouze pro nízké součásti. Rychlou a přesnou výrobu, ale předně neželezných kovů z důvodu nižší potřebné přetvárné síly lze zajistit rychloběžnými klikovými lisy se široce stavitelným zdvihem.



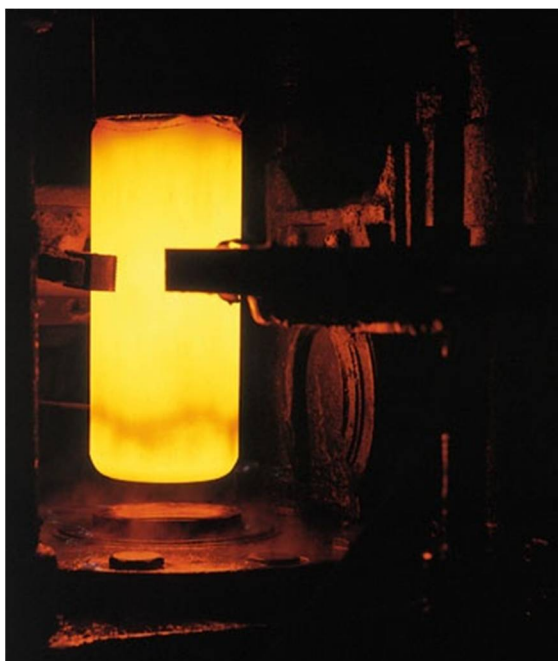
Obr. 30 Protlačovací postupový lis WTM – 500 [4]

## 2 Využití protlačování ve firemní praxi [32, 33]

Jako příklad využití technologie protlačování ve firemní praxi lze uvést výrobu vysokotlaké bezešvé ocelové láhve, vyrobené metodou zpětného protlačování ze společnosti Vítkovice Cylinders ze skupiny Vítkovice Machinery Group. Důvodem je vývoj a následná výroba produktu, jehož vlastnosti převyšují nad ostatními právě díky vhodnému použití této metody. Ostravská firma produkuje tento typ lahví k přepravě a skladování plynu pro různé oblasti použití. Hlavně pak v průmyslu, stavebnictví, zdravotnictví, potravinářství, či třeba hasicí technice. Nádoby jsou vyráběny až do průměru 406 mm, čímž zajišťují onu širokou variabilitu. Produkce v současnosti probíhá na plně automatizované a robotizované lince (obr. 31), což zajišťuje vysokou rychlost a přesnost. Ročně společnost dokáže vyrobit až půl milionu lahví, které posléze vyváží do celého světa.



Obr. 31 Plně automatizovaná výrobní linka firmy Vítkovice Cylinders [32]



Obr. 32 Nádoba vysokotlaké ocelové láhve vzniklá zpětným protlačováním [32]

Polotovarem je válcovaný sochor z materiálu X4CrNiMo16-5-1, který je před tvářecím procesem ohříván na teplotu  $1200 \pm 40$  °C v indukční peci a před vložením do protlačovacího nástroje otryskán proudem vody pro odstranění okují. Samotným protlačováním za tepla, za působení svislého lisu o síle 18 000 kN, vzniká nádoba na obrázku 32. Nádoba je poté protahována kvůli ztenčení stěny a prochází ultrazvukovou kontrolou, která odhalí i ty nejmenší vnější či vnitřní vady a také zkontroluje rozměry, hlavně tloušťku dna a stěny. Takto zkontrolovaný polotovár je uzavírán speciálně vyvinutou technologií, tepelně zpracováván a následně prochází dalšími zkouškami.

### 3 ZÁVĚRY

Technologie protlačování je moderní metoda výroby širokého spektra součástí, především rotačního tvaru. Pracuje na principu působení tlaku protlačovacích strojů, zpravidla lisů, na polotovary pomocí k tomu určeného nástroje. Tento nástroj se skládá ze dvou základních částí a to z průtlačníku a průtlačnice, které jsou vyráběny nejčastěji z nástrojových ocelí třídy 19. Působením průtlačníku na materiál dochází k jeho tečení a následné plastické deformaci podle tvaru průtlačnice. Samotnému protlačování předchází volba materiálu, nejčastěji nízkouhlíkové oceli, ale běžné jsou i neželezné kovy, hlavně pak slitiny mědi a hliníku. Více než vhodné je také tepelné zpracování, zpravidla žihání na měkko, nebo normalizační a příprava materiálu.

Nejběžnějšími takto vyráběnými součástmi, se kterými se každodenně lze setkat, jsou šrouby, nýty, plechovky či bezešvé trubky. Právě tyto velkosériové součásti jsou hlavní výrobní oblastí technologie a to z důvodu drahého vývoje a následné výroby nástrojů - protlačovadel. Výhodou protlačovaných součástí je hlavně dosažené zpevnění, ke kterému dochází při přechování materiálu. Dále nedochází k porušení průběhu vláken jako je tomu u metod obrábění, což vede k dalšímu vylepšení mechanických vlastností. Výhodou je až 95% využití materiálu, při malých strojních časech a za velmi vysoké přesnosti, běžně až IT 7. To vše vede k vysoké ekonomické hospodárnosti.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [5]

1. ALUMINIUM - INFORMATION. *Non ferrous - Extrusion* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.non-ferrous.com/website/aluminum-information/>
2. ALUMINIUM EXTRUDED CANS. *Shiba containers PVT. LTD* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.shibacontainers.co.in/aluminium-extruded-cans.htm>
3. ALUMINIUM EXTRUSION (20X20mm). Inventables [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <https://www.inventables.com/technologies/aluminum-extrusion-20mm-x-20mm-clear>
4. Aluminium Extrusion press WTM - 500. WTM machine [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.china-extrusion-press.com/extrusion-press/Extrusion-Press-ABE-500.htm>
5. CITACE PRO. Generátor citací [online]. 2013 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
6. COPPER TUBE. Magic-Aire Industries, Inc [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <https://magic-aire.com/magic-aire-products/copper-tube-fittings/>
7. CARNEIRO, Olga S. a J. Miguel NÓBREGA, ed. Design of extrusion forming tools. London: Smithers Rapra, 2012. ISBN 978-184-7355-171.
8. BAUSER, M., G. SAUER a Klaus. SIEGERT. Extrusion. 2nd ed. Materials Park, OH: ASM International, 2006. ISBN 978-087-1708-373.
9. GILES, Harold F., John R. WAGNER a Eldridge M. MOUNT. Extrusion: the definitive processing guide and handbook. 2nd ed. Oxford: Kidlington, 2014. ISBN 978-143-7734-812.
10. FIXED TIGHT. SCREW, RIVETS AND BOLTS Fixed tight. Screws, rivets and bolts. Plansee [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <https://www.plansee.com/en/products/components/furnace-construction/screws-rivets-and-bolts.html>
11. FOSFÁTOVÁNÍ. Galvan [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://galvan.cz/fosfatovani/>
12. HYDROSTATICKÉ PROTLAČOVÁNÍ. Strojirenství [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://strojirenstvi.studentske.cz/2008/10/hydrostatick-protlaovn.html>
13. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. Metal forming: mechanics and metallurgy. 3rd ed. New York, NY: Cambridge University Press, 2007. ISBN 05-218-8121-8.
14. JAKUBOWSKA, D., J. ZDUNEK, M. KULCZYK, J. MIZERA a K. J. KURZYDŁOWSKI. Microstructure Evolution and Texture Development in a Cu-8.5%AT. AL Material Subjected to Hydrostatic Extrusion. Archives of Metallurgy and Materials [online]. 2016, 61(2), 4 [cit. 2017-05-15]. DOI: 10.1515/amm-2016-0158. Dostupné z: <https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/amm.2016.61.issue-2/amm-2016-0158/amm-2016-0158.pdf>

15. LOU, Shumei, Guoqun ZHAO, Rui WANG a Xianghong WU. Modeling of aluminum alloy profile extrusion process using finite volume method. *Journal of Materials Processing Tech* [online]. Elsevier B.V, 2008, 206(1), 481-490 [cit. 2017-05-15]. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2007.12.084. ISSN 09240136. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0924013607014227>
16. MOŘENÍ KOVŮ. Galvanovna [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.galvanovna.cz/moreni-kovu.html>
17. OMÍLÁNÍ. Kovocentrum-jiskra [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.kovocentrum-jiskra.cz/index.php?page=omylani>
18. ČADA, Radek. Postup údržby I [online]. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007 [cit. 2017-05-15]. ISBN 978-80-248-1506-0. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PU1/Postupy-udrby-I.pdf>
19. TRČKA, Josef a Jaroslav FIALA. PŘILNAVOST GALVANICKÝCH VYLOUČENÝCH ZINKOVÝCH POVLAKŮ A JEJÍ OVLIVNĚNÍ TEPLOTOU. *Metal* [online]. 2003, , 11 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://konference.tanger.cz/data/metal2003/sbornik/papers/93.pdf>
20. ALTAN, Taylan. a A. Erman. TEKKAYA. Sheet metal forming [online]. Materials Park, Oh: ASM International, 2012 [cit. 2017-02-13]. ISBN 16-150-3842-6. Dostupné z: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/ebookviewer/ebook/bmXLYmtfXzUxMzMwN19fQU41?sid=21f943dc-a579-41b7-b91f-53e32980dfc9@sessionmgr4009&vid=3&format=EB&rid=>
21. SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ a Zdeněk LIDMILA. Speciální technologie tváření. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4220-7.
22. PAŇÁK, Rudolf, Miroslav HLUCHÝ a Oldřich MODRÁČEK. Strojírenská technologie 1. Ve Scientii 2. vyd. Praha: Scientia, 1998. ISBN 80-718-3140-9.
23. HWANG, Yeong-Maw, Song-Jeng HUANG a Yu-San HUANG. Study of seamless tube extrusion of SiCp-reinforced AZ61 magnesium alloy composites. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. 2013, 68(5-8), 1361-1370 [cit. 2017-04-18]. DOI: 10.1007/s00170-013-4927-8. ISSN 02683768. Dostupné z: <http://content.ebscohost.com.ezproxy.lib.vutbr.cz>
24. TECHNOLOGIE OBJEMOVÉHO TVÁŘENÍ - PROTLAČOVÁNÍ. Katedra strojírenské technologie, Technická univerzita Liberec [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/05.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/05.htm)
25. BENEŠOVÁ, Soňa a Vladimír BERNÁŠEK. TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ. In: Zcu.cz [online]. Západočeská univerzita v Plzni: Univerzitní knihovna – oddělení vydavatelství a tiskových služeb, 2014 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <https://www.zcu.cz/export/sites/zcu/pracoviste/vyd/online/TechnologietvareniTTSS.pdf>
26. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
27. TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ KOVŮ. Katedra strojírenské technologie, Technická univerzita Liberec [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/01.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm)

28. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
29. FOREJT, Milan. Teorie tváření. Vyd. 2., v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7.
30. WISTREICH, J.G. The fundamentals of wire drawing. In Metal. Reviews, 1958, 3, 97.
31. KOTOUČ, Jiří. Tvářecí nástroje. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.
32. VÝROBA OCELOVÝCH LÁHVÍ. Vítkovice Cylinders [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://brtnik5.vitkovice.cz/13/cs/node/471>
33. Interní informace VÍTKOVICE CYLINDERS a.s. Ostrava.
34. WIRE ROD IN COLD HEADING AND COLD EXTRUSION STEELS. Voestalpine [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <https://www.voestalpine.com/wiretechnology/en/products/Walzdraht/Kaltstauchdraht>
35. ZBROJÍRENSTVÍ URNA. Stanley.jex.cz [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://stanley.jex.cz/menu/zbrojirenstvi-urna>
36. CHOCHOLOUŠEK, Jaroslav a Petr SZELAG. Železnaté fosfátování. MM průmyslové spektrum [online]. 2008, 2008(4) [cit. 2017-05-11]. DOI: 080431. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/zeleznate-fosfatovani.html>
37. ŽÍHÁNÍ/NORMALIZAČNÍ ŽÍHÁNÍ. Bodycote [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.bodycote.cz/cs-CZ/services/heat-treatment/annealing-normalising.aspx>



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
$D_1$	Průměr zásobníku	[mm]
$D_2$	Průměr redukčního kužele	[mm]
$D_3$	Průměr očka	[mm]
$F_p$	Protlačovací síla	[N]
$f_1$	Součinitel tření v zásobníku	[-]
$f_2$	Součinitel tření v redukčním kuželu	[-]
$f_3$	Součinitel tření v očku	[-]
$L_1$	Délka zásobníku	[mm]
$L_3$	Délka očka	[mm]
$n$	Plasticita	[-]
$P_{Prot}$	Protlačovací tlak	[MPa]
$r$	Redukce	[%]
$S_o$	Průřez protlačku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_p$	Průřez nástroje	[mm <sup>2</sup> ]
$w_a$	Práce skutečná	[J]
$w_f$	Práce třecí	[J]
$w_i$	Práce ideální	[J]
$w_r$	Práce redundantní	[J]
$\alpha$	Úhel redukčního kužele	[°]
$\varepsilon$	Deformace	[-]
$\eta$	Deformační účinnost	[-]
$\mu$	Poissonova konstanta	[-]
$\sigma_d$	Deformační odpor	[MPa]
$\sigma_p$	Přirozený deformační odpor	[MPa]
$\sigma_{p1}$	Přirozený deformační odpor v zásobníku	[MPa]
$\sigma_{p2}$	Přirozený deformační odpor v redukčním kuželu	[MPa]
$\sigma_{p3}$	Přirozený deformační odpor v očku	[MPa]
$\sigma_{ps}$	Střední hodnota deformačního přetvárného odporu	[MPa]
$\bar{\sigma}$	Skutečné napětí	[MPa]
$\varphi$	Logaritmické přetvoření	[-]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady součástí zhotovených protlačováním [2, 3, 10, 35].....	9
Obr. 2 Srovnání simulačního vykreslení (a) s experimentálním výsledkem (b) průběhu vláken v protlačku [15].....	10
Obr. 3 Princip dopředného protlačování [25] .....	11
Obr. 4 Geometrický model průtlačnice pro dopředné protlačování [27] .....	11
Obr. 5 Princip hydrostatického protlačování [14].....	12
Obr. 6 Princip výroby trubek dopředným protlačováním [23] .....	12
Obr. 7 Princip zpětného protlačování [25] .....	13
Obr. 8 Schéma volného protlačování [28].....	13
Obr. 9 Schéma usměrněného protlačování [28].....	13
Obr. 10 Princip sdruženého protlačování [25].....	14
Obr. 11 Princip stranového protlačování [25] .....	14
Obr. 12 Princip radiálního protlačování [25].....	14
Obr. 13 Příklad protlačování oceli (šroub s imbusovou hlavou) [35].....	15
Obr. 14 Příklad protlačovaného profilu ze slitiny hliníku [1].....	16
Obr. 15 Protlačované trubky ze slitin mědi [6].....	17
Obr. 16 Výřez z Fe3C diagramu s vyznačenými žihacími teplotami [22] .....	18
Obr. 17 Teplota, výdrž a rychlost ochlazování žihání na měkko [22] .....	18
Obr. 18 Teplota, výdrž a rychlost ochlazování žihání normalizačního [22] .....	18
Obr. 19 Fosfátová vrstva silnovrstvých fosfátů [36].....	19
Obr. 20 Rozdíly mezi homogenní deformací a deformací redundantní [13].....	21
Obr. 21 Wistreichova data ukazují zvýšení efektivity s rostoucí redukcí při různých úhlech matrice [13] .....	22
Obr. 22 Nástroj pro zpětné protlačování [31] .....	23
Obr. 23 Normalizované průtlačníky pro zpětné protlačování [31] .....	24
Obr. 24 Normalizovaná průtlačnice pro zpětné protlačování [31].....	24
Obr. 25 Nástroj pro dopředné protlačování [31].....	24
Obr. 26 Normalizované průtlačníky pro dopředné protlačování [31].....	25
Obr. 27 Normalizovaná průtlačnice pro dopředné protlačování [31] .....	25
Obr. 28 Příčně dělená a radiálně předepnutá průtlačnice s jednou objímkou [28].....	25
Obr. 29 Využití náběhových kuželů při dopředném protlačování [7].....	26
Obr. 30 Celkový 3D model hydraulického lisu [4].....	27
Obr. 31 Plně automatizovaná výrobní linka firmy Vítkovice Cylinders [32] .....	28
Obr. 32 Nádoba vysokotlaké ocelové láhve vzniklá zpětným protlačováním [32] .....	28

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Nejběžnější používané oceli rozděleny do skupin, dle vhodnosti k protlačování [26]..	16
Tab. 2 Směrnice pro maximální velikost redukce při různých způsobech protlačování [31]..	26