



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA ŠROUBU RADLICE PLUHU

PRODUCTION OF PLOUGH SHARE SCREW

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Milan Hladík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Milan Forejt, CSc.

BRNO 2020

Zadaní bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Milan Hladík
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	prof. Ing. Milan Forejt, CSc.
Akademický rok:	2020/21

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:

Výroba šroubu radlice pluhu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh technologie velkosériové výroby šroubu radlice pluhu z konstrukční oceli 34Cr4 objemovým tvářením za studena s důrazem na protlačování a pýchování.

Cíle bakalářské práce:

- 1 Provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti, hodnotit technologičnost šroubu.
2. Vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii.
- 3 Zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty.
4. Navrhnout a popsat tvářecí nástroj.
- 5 Zhotovit výkres postupového nástroje a kusovník.
6. Zpracovat technické a ekonomické hodnocení navržené technologie.
7. Formulovat závěry a doporučení provýrobní praxi.

Seznam doporučené literatury:

LANGE, Kurt, et al. Handbook of Metal Forming. New York: McGraw-Hill, 1985, 1191 s. ISBN 0-0-036285-8.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tvářením a nástroje. Brno: Akad.nakl. CERM, 2006, 226 s. ISBN 80-214-2374-9. Dotisk 2008, 2012, 2015, 2018.

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.

BABOR, Karel, Augustin CVILINEK a Jan FIALA. Objemové tváření ocelí. 6006. Praha: SNTL, 1967, 332 s. DT 621.77.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

HLADÍK Milan: Výroba šroubu radlice pluhu

Bakalářská práce předkládá návrh technologie výroby pluhového šroubu sloužící k upevnění radlice k rámu pluhu. Šroub je vyráběn z konstrukční oceli 14 140, ve výrobní sérii 120 000ks/rok. Z možných technologií byla vybrána technologie objemové tváření za studena. Z literárních zdrojů problematiky objemového tváření za studena byl navržen optimální postup výroby šroubu. Pomocí konstrukčních, technologických a kontrolních výpočtů byl navržen stroj a následně výrobní nástroj, pro který byla vypracována výkresová dokumentace. Za pomoci technicko – ekonomického zhodnocení byly porovnány náklady na výrobu součásti využitím objemového tváření a třískového obábění.

Klíčová slova: šroub, ocel 14 140, objemové tváření za studena

ABSTRACT

HLADÍK Milan: Production of plough share screw

The bachelor's thesis presents a design of plow screw production technology used to attach the blade to the plow frame. The screw is made of structural steel 14,140, in a production series of 120,000 pcs / year. From the possible technologies, the technology of volume cold forming was chosen. From the literature sources of the issue of volume cold forming, the optimal procedure of screw production was proposed. With the help of design, technological and control calculations, a machine was designed and subsequently a production tool, for which drawing documentation was prepared. With the help of technical - economic evaluation, the costs of component production were compared using volume forming and machining.

Keywords: screw, steel 14 140, volume cold forming

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HLADÍK, Milan. *Výroba šroubu radlice pluhu* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-06].

Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132014>. Bakalářská práce.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.
Vedoucí práce Milan Forejt.

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 21.5.2021

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu prof. Ing. Milanu Forejtovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

Děkuji také rodině za podporu během celého studia.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD.....	6
1 ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI.....	10
1.1 VÝROBNÍ MOŽNOSTI / VARIANTNÍ ŘEŠENÍ	11
2 OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ ZA STUDENA	13
2.1 PLASTICKÁ DEFORMACE	14
2.2 ZPŮSOBY OBJEMOVÉHO TVÁŘENÍ ZA STUDENA	15
2.2.1 <i>Protlačování</i>	15
2.2.2 <i>Pěchování Sdružené protlačování</i>	16
2.3 TECHNOLOGIČNOST A TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY	17
3 NÁVRH TECHNOLOTIE VÝROBY	19
3.1 VÝPOČET OBJEMU	19
3.1.1 <i>Určení tvaru a rozměru výchozího polotovaru</i>	21
3.2 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY V JEDNOTLIVÝCH OPERACÍCH.....	27
4 VOLBA TVÁŘECÍHO STROJE	32
5 NÁVRH SESTAVY NÁSTROJE	33
5.1 NÁVRH PRŮTLAČNICE	33
5.2 NÁVRH PRŮTLAČNÍKU	34
6 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	35
7 ZÁVĚRY.....	39

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD [1], [2],[7]

Technologie tváření je jednou z nejstarších metod zpracování kovů a je využívána již od doby bronzové. V této době lidé využívali tuto technologii pro vytváření nářadí a nástrojů do různých odvětví, kterými by si usnadnili práci. Další metody pro zpracování kovů jsou obrábění, slévání a svařování. Objemové tváření za studena má mnoho výhod oproti technologii obrábění. Kvůli tomu je ve velkém množství využívána při sériové i hromadné výrobě symetrických součástí. Hlavní výhody jsou: úspora výrobního materiálu, jakost výrobku, vysoká houževnatost a vysoká produktivita práce. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena strojů a nástrojů.

Samostatný proces tváření způsobí změnu tvaru polotovaru působením vnější síly. Dělí se na plošné a objemové tváření. Plošné tváření nezpůsobuje ztenčení výchozího materiálu, jelikož na materiál působí rovinný stav napjatosti a deformace. Polotovar ve formě plechu je přetvořen do prostorového tvaru. Stav napjatosti a deformace při objemovém tváření ve tvářeném materiálu je převážně trojosý a průřez je při procesu změněn. Zde platí zákon o zachování objemu. Na obrázku 1 je možné vidět výrobky zhotovené objemovým tvářením za studena.



Obr. 1 Součásti vyrobené objemovým tvářením [7]

1 ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI [5],[11],[20],[23],[29]

Řešenou součástkou je šroub radlice pluhu. Slouží k upevnění dláta, ostří a odhrnovací desky k pluhu (obr. 1.1). Tvar musí být navržen tak, aby nedocházelo k zachycení prokysličené zeminy o tento šroub, tudíž musí být do částí zapuštěn a tvarově navržen tak, aby se při dotahování nemohl protočit.

Šrouby mají široké množství využití v různých odvětvích průmyslu. Jedná se o rozebíratelný spoj, pomocí kterého lze snadno, lehce a rychle nahrazovat opotřebované dílce nástroje a zároveň zajišťuje maximální tuhost.

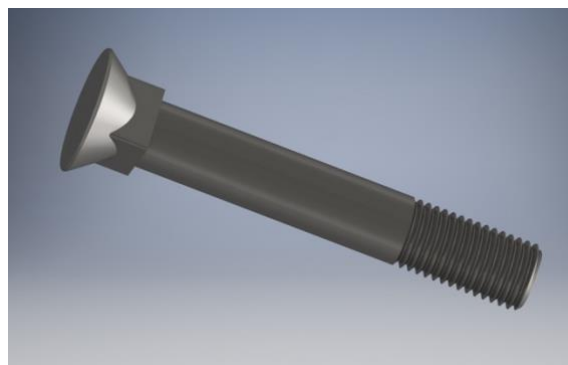
Zadaná součást (obr. 1.2) se skládá z tvarové hlavy a dříku dlouhý 70 mm osazený závitem M12 do délky 30 mm. Šroub se bude nacházet ve ztížených povětrnostních podmínkách.

Budou na něj působit zatěžující síly vyvolané utažením šroubu, váhy částí pluhu a celkového chodu zařízení. K těmto skutečnostem bude přihlíženo při volbě materiálu.

Materiálem pro výrobu šroubu byla zvolena konstrukční ocel 14 140, která má velmi dobré předpoklady pro tváření za studena. Tato ocel je obvykle používaná pro středně namáhané součásti leteckých motorů, motorových vozidel a motorů, tudíž má jasné předpoklady pro větší zatížení při provozu. Zároveň má výbornou tvařitelnost, proto je pro výrobu šroubu za pomoci objemového tváření velmi vhodná.



Obr. 1. 1 Pluh [5]



Obr. 1. 2 3D model šroubu

Vlastnosti materiálu: výborná tvařitelnost, obtížná svařitelnost, špatná obrobitelnost

Použití: středně namáhané součásti leteckých motorů, motorových vozidel a motorů.

Označení zahraničních ekvivalentů materiálu: ISO 683/7-70, 37Cr4, EN 10083-91

Tab. 1 Chemické složení oceli 14 140.3 [23]

	Ocel 14 140							
Prvek	C	Cr	Mn	Si	Cu	P	S	Ni
hm[%]	0,35	0,87	0,64	0,25	0,11	0,013	0,005	0,336

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli 14 140.3 [23]

Rm [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	A ₅ [%]	Z [%]	HB 2,5/187,5
581,04	382,08	26,85	38,16	159

1.1 Výrobní možnosti / variantní řešení [1], [3], [4]

Zadaná součást lze vyrobit mnoha různými technologickými způsoby, jelikož se jedná o symetrický kruhový výrobek. Pro vybrání vhodné technologie výroby se musí brát v potaz tvar součásti, kvalita zpracování, mechanické vlastnosti, rozměrové tolerance a předepsaná geometrie. Technologie, které mohou být použity pro výrobu šroubu:

- Odlévání (obr. 1. 3) je způsob výroby především složitějších součástí, které by šlo těžko vyrobit jinou metodou. Tvar formy musí být navržen s technologickými přídávky, jako jsou úkosity a rádiusy, aby šlo výrobek z formy lehce vyjmout.

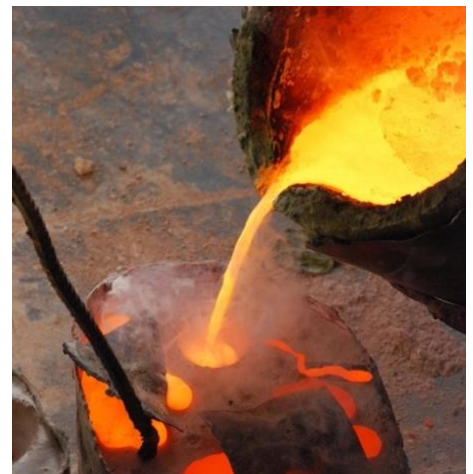
Roztavený kov vyplní dutinu formy kopírující tvar součásti zvětšený právě o technologické přídávky.

Nejvíce vhodná metoda pro výrobu šroubu z odvětví odlévání je metoda vytavitelného modelu. Tato metoda je v dnešní době velmi používaná pro tvarově i rozměrově přesné lití s přesností až IT 12 -IT 13. Více se využívá pro málosériovou výrobu, jelikož je technologicky náročná. V prvním kroku se zhotoví voskový model, který bývá připevněn na stromečku zajišťující vtok tekutého kovu. Ve druhém kroku je stromeček namáčen do keramické břechky po okapání se posype ostrivem. Tento proces se opakuje, dokud není vytvořena keramická forma předepsané tloušťky. V dalším kroku je vosk vytaven ven a tím vznikne skořepinová forma připravena pro odlévání. Tekutý kov je vléván tokovou soustavou. Po vychladnutí kovu následuje očištění odlitku od skořepiny a následné opracování.

Z důvodu velké technologické náročnosti a nutného dalšího opracování je tato metoda nevhodná.

- Obrábění je technologický proces, při kterém je pomocí nástroje odebírán přebytečný materiál (obr. 1. 4) z polotovaru pro dosažení konečného tvaru. Nejvhodnější metodou pro výrobu šroubu se nabízí soustružení. Při soustružení se polotovaz upne do sklíčidla, které se roztočí a za pomoci nástroje je polotovaz obráběn. Tato metoda je velmi přesná a velmi často používaná.

Nevýhodou je velké množství odpadního materiálu a při výrobě šroubu narušení toku materiálu, což způsobuje menší pevnost závitu. Dále v tomto případě by byla zapotřebí další metoda obrábění, jelikož šroub má tvarovou hlavu, kterou soustružením zhotovit nelze. Kvůli těmto důvodům je metoda soustružení nevhodná.

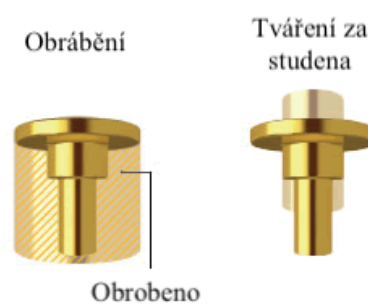


Obr. 1. 3 Odlévání [8]



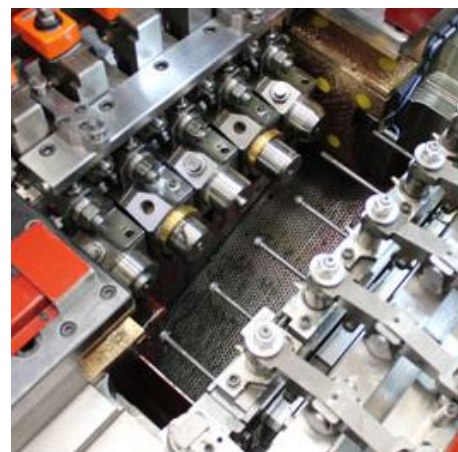
Obr. 1. 4 Třískové obrábění [9]

- Objemové tváření je technologický proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru výrobku nebo polotovaru za pomoci vnějších sil bez odběru třísek, což zaručí stoprocentní využití materiálu a ve srovnání s technologií obrábění bude výrobek daleko tužší a pevnější, jelikož se nenaruší vnitřní tok materiálu, ale pouze se přetvoří. Porovnání využití materiálu lze vidět na obrázku 1. 5. Nejčastěji se požadovaného tvaru výrobku dosáhne pěchováním, nebo protlačováním a zejména jejich kombinací za pomoci například vícešupňového tvářecího stroje (obr. 1. 6). Zpravidla se dosáhne lepších konečných mechanicko-fyzikálních vlastností díky toku materiálu. Další výhody oproti obrábění jsou například: velkosériová a hromadná výroba, velká produktivita, krátké výrobní časy. Hlavní nevýhodou této technologie je vysoká pořizovací cena za stroje a nástroje.



Obr. 1. 5 Využití materiálu při obrábění, při tváření [10]

Z výše uvedených technologií jen nejvhodnější objemové tváření za studena. Zaručí vysokou přesnost (až IT 7), kvalitní zpracování a efektivní výrobu. Při výrobě nevzniká žádný odpadní materiál, tudíž bude využití materiálu stoprocentní. Díky toku materiálu při výrobě bude výrobek kvalitní a pevný. Součást bude vyráběna kombinací pěchování a protlačování. Tomuto tématu bude zaměřena teoretická i praktická část této práce.



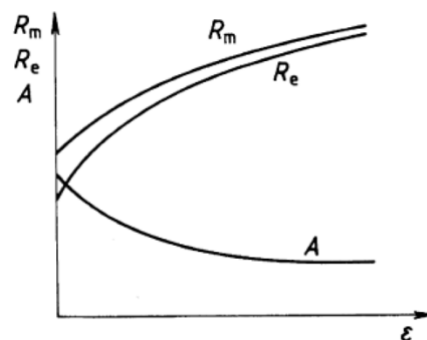
Obr. 1. 6 Objemové tváření za studena [7]

2 OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ ZA STUDENA [1], [2], [12], [13], [14], [15]

Technologie objemového tváření za studena je moderní, vysokoproduktivní a hospodárná metoda vhodná pro výrobu symetrických součástí probíhající pod teplotou rekrystalizace s řadou výhod. Především je to podstatná úspora výrobního materiálu, snížení výrobních časů, snížení výrobních nákladů a zlepšení kvality výroby. Princip spočívá ve změně tvaru polotovaru působením vnějších sil, které způsobují trojosou napjatost v materiálu. Vlivem vnějších sil vznikají podmínky pro velké plastické deformace, aniž by došlo k porušení soudržnosti materiálu. Během plastické deformace se mění nejen tvar součástí, ale i mechanické a fyzikální vlastnosti, jelikož se uskutečňuje proces zpevňování a odpevňování. Při tváření rozeznáváme dva hlavní druhy objemového tváření, a to podle směru a způsobu, jakým je materiál přemístován. Jedná se o pěchování a protlačování.

o Proces zpevňování

Zpevňování kovů se projevuje u všech způsobů tváření. V závislosti na daném způsobu tváření se projevuje odlišnou mírou zpevňování, jelikož každý způsob tváření deformuje krystaly materiálu jinak. Proces převládá při teplotě $T \leq 0,3T_{TAV}$. Nastává zvyšujícím se odporem proti dalším plastickým deformacím. Způsobuje zvýšenou hustotu čárových poruch - dislokací poruch a zvýšenou obtížnost pohybu nových dislokací, změny krystalické mřížky, její deformace, otáčení při částečné destrukci, stěsnání a vzájemné zaklesnutí sousedních krystalových zrn. Zrna se prodlužují ve směru tváření a dochází ke vzniku textury. Hlavním projevem zpevňování je především zvýšení pevnosti a tvrdosti na úkor snížení tažnosti. Změny mechanických vlastností zpevňováním jsou obecně znázorněny na obr. 2.1. Houževnatost může poklesnout na tolik, že se materiál při tažení trhá a při pěchování praská. Velikost deformačního zpevňování závisí jednak na velikosti změny průřezu, na způsobu tváření a hlavně na chemickém složení a struktuře materiálu.



Obr. 2. 1 Závislost mechanických vlastností oceli při tváření za studena [2]

o Proces odpevňování

Během procesu zpevňování se uvnitř materiálu hromadí vnitřní napětí, vznikající v tělese jako reakce na působení vnějších tvářecích sil. Toto napětí lze snížit, nebo úplně zrušit za pomoci procesů deformačního odpevňování, u něhož je důležitá závislost času na teplotě rekrystalizace.

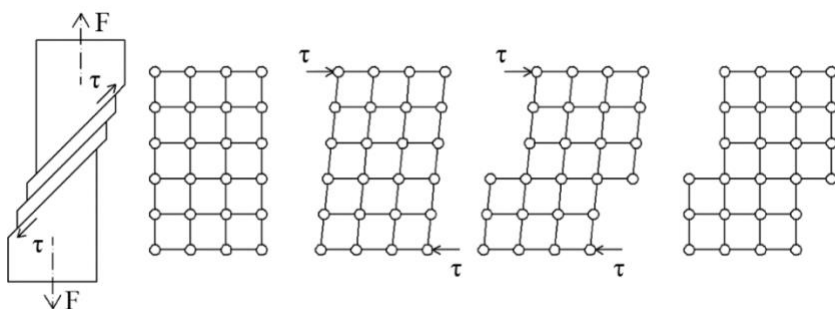
- **Zotavování** – ohřev deformovaného kovu na nízké teploty odstraňující ve značné míře vnitřní pnutí a poruchy v krystalických mřížkách. Část vnitřního tnutí však zůstává zachována. Tvrdost společně s ostatními mechanickými vlastnostmi se neznatelně snižují.
- **Rekrystalizace** – ohřev deformovaného kovu na teplotu vyvolávající nepřetržitou tvorbu nových krystalizačních zárodků a růst nových zrn. Deformovaná struktura se nahrazuje novými zrny, které mění mechanické vlastnosti kovu. Vnitřní napětí plně vymizí, tvrdost s pevností se sníží a houževnatost vzroste.

- **Sekundární hrubnutí zrn** – také označováno jako sekundární rekrytalizace, nastává v případě setrvání kovu na rekrytalizační teplotě déle než jednu hodinu. Hlavním mechanismem při normální hrubnutí je ztráta nejmenších zrn, při zachování téměř konstantní distribuce velikosti zrn. U abnormálního růstu zrn roste několik zrn uvnitř ukotvené struktury.

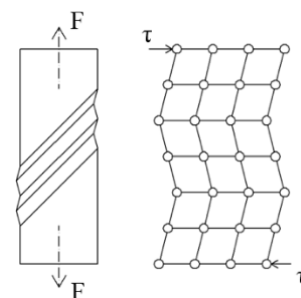
2.1 Plastická deformace [1], [2]

Deformace je název pro změnu tvaru tvářeného kovu způsobeno smykovým napětím τ . Deformace se dělí na pružnou (elastickou) a plastickou část. Je-li materiál zatěžován menším napětím pod mezí kluzu, než je mez kluzu R_e , nastává v materiálu pouze pružná deformace. Po odlehčení se materiál vrátí do původního tvaru, neboť zde platí Hookův zákon. Překročí-li zatížení mez kluzu R_e , začne na materiál působit i plastická deformace. Plastická deformace se dá popsat jako trvalá změna tvaru materiálu bez porušení krystalické struktury a nastává především na hranicích a uvnitř zrn důsledkem difuzního pohybu a pohybu dislokací. Uskutečňuje se v nejhustěji obsazených rovinách.

- **Plastická deformace skluzem** (obr. 2. 2) – jedná se o nejčastější způsob deformace, způsobené smykovým napětím. Po dosažení tzv. kritického smykového napětí τ_{kr} je část dislokací uvedena do pohybu po skluzných rovinách. Krystaly jsou deformované až po uvedení do pohybu dalšího skluzného systému. Skluz se realizuje v nejhustěji obsazených rovinách a směrech, kde se nevyskytuje mnoho překážek, s maximální hodnotou smykového napětí. Deformace skluzem je závislá i na rychlosti deformace, teplotě a předchozím stavu materiálu.



Obr 2. 2 Schéma pružné a plastické deformace skluzem [2]



Obr 2. 3 Schéma pružné a plastické deformace dvojčatěním [2]

- **Plastická deformace dvojčatěním** (obr. 2. 3) – jedná se o doplňující mechanismus plastické deformace, uplatňující se pouze v přítomnosti nízkého počtu skluzných systémů, jelikož je třeba vyšší kritické napětí oproti deformaci skluzem. Posun rovin atomů dochází o určitou vzdálenost tak, že část krystalické mřížky je symetrická ke druhé. Symetrie je určena rovinou dvojčatění.

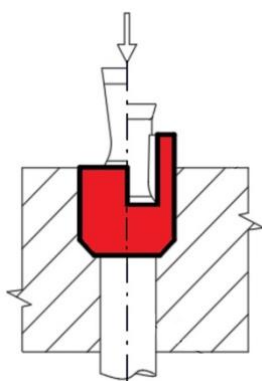
2.2 Způsoby objemového tváření za studena [1], [2], [13],[16], [19]

Při tváření za studena je podstatně měněn tvar polotovaru (tloušťky), a to zpravidla kombinací různých základních způsobů tváření jako je pěchování, protlačování. Oproti jiným metodám tváření za studena, jako je ohýbání nebo tažení, probíhá za působení prostorové napjatosti způsobující velké plastické deformace bez porušení soudržnosti tvářeného materiálu.

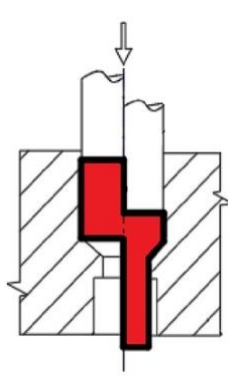
2.2.1 Protlačování

Princip protlačování je deformace materiálu v důsledku sil do předem stanoveného směru s konečnými výhodami mechanickými a rozměrovými vlastnostmi konečného výrobku.

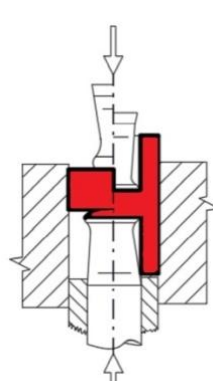
- **Zpětné (protisměrné) protlačování** (obr. 2. 4) – materiál je překupován (teče) proti směru pohybu průtlačníku ve tvaru prstence mezi průtlačnicí a průtlačníkem. Dále se nepřetváří, ale pouze vysouvá. Výchozím polotovarem je špalík, jehož výška je zpravidla vyšší než polovina průměru. Výrobky mají pravidelný tvar, výjimečně i nepravidelný, většinou kruhový průřez připomínající tvar kalíšku. Tímto způsobem je možné získat hotový výrobek, nebo polotovar pro strojní obrábění.
- **Dopředné (sousedné) protlačování** (obr. 2. 5) – materiál teče ve směru pohybu průtlačníku. Polotovarem mohou být tyčoviny, trubky, nebo silné dráty ze svitků. Výlisky jsou buď dutá, nebo plná tělesa převážně kruhového průřezu, lze vyrábět i jiné tvary pravidelného tvaru.
- **Sdružené (obousměrné) protlačování** (obr. 2. 6) – je kombinací dopředného a zpětného protlačování. Materiál teče ve směru i v protisměru pohybu průtlačníku. Pro kvalitní výrobek je třeba dodržet menší stupeň přetváření pro spodní části výlisku. Výchozím polotovarem může být děrovaný rondel, prsteneček nebo špalík. Vhodné pro výrobu méně složitých součástí s kruhovým průřezem s kombinací kalíškováním a protlačováním plné části, nebo pro výrobu součástí s menší dutinou výlisku na jedné straně oproti druhé.
- **Stranové protlačování** (obr. 2. 7) – hlavní směr toku materiálu je ve směru kolmém na podélnou osu polotovaru, tedy radiálně. Průtlačnice se skládá ze dvou částí, aby šel výlisek po přetvoření vyjmout. Tento způsob je nejčastěji využíván ke změně průřezu určité části výlisku například výstupku různého pravidelného i nepravidelného tvaru.



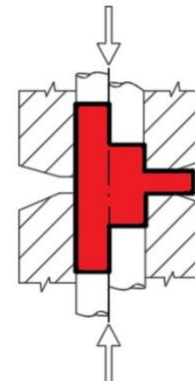
Obr 2. 4 Zpětné protlačování [2]



Obr 2. 5 Dopředné protlačování [2]



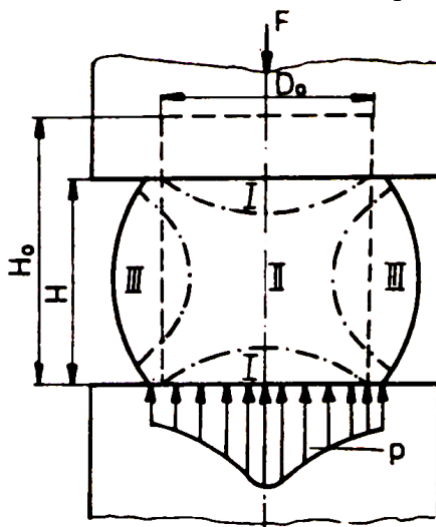
Obr 2. 6 Sdružené protlačování [2]



Obr 2. 7 Stranové protlačování [2]

2.2.2 Pěchování [1],[2]

Jedná se o základní operaci v odvětví objemového tváření, při které je zmenšována výška polotovaru a zvětšován příčný průřez za pomoci tvářecího nástroje. Je jednou z nejčastějších operací lisování mezi rovnými kovadly i v zápustkách. Vlivem tření vzniká uvnitř celého objemu nerovnoměrná deformace což vede ke změně tvářeného materiálu směrem nejmenšího odporu na soudkovitý tvar. Uvnitř tvářeného materiálu vyvolává vnější zatížení prostorový stav napjatosti, který není podél průřezu stejný. Tato skutečnost je příčinou složitého mechanismu přetvoření (obr. 2. 8). Změna vnějšího obrysu je způsobena nehomogeností deformací ve vnitřních oblastech a částic pěchované součásti.



Obr 2. 8 Pěchování válce [19]

- Oblast I – přiléhající k čelům součásti, vyznačující se malou deformací způsobenou třecími silami působící na plochách kovadel, které v těchto oblastech zapříčiňují všestranný tlak.
- Oblast II – zaklíněna mezi oblastí I. Nejintenzivnější deformace v osovém i radiálním směru, ve směre nevhodnějšího kluzu.
- Oblast III – nacházející mezi oblastí I a II. Vlivem nehomogenních deformací vyvolává nahromadění přídavných napětí, které mohou v některých oblastech způsobovat tahové napětí. Tento jev napomáhá rozvoji soudečkovitosti. Vnitřní oblast A, tvaru válce, se vlivem pěchování snaží změnit do tvaru soudečku a tím působí na vnější oblast B v které vyvolává tahové napětí. Tímto mohou vznikat podélné trhliny.

K zabránění vzniku trhlín v oblasti největšího přetvoření je vhodné polotovary mazat. Funkční plochy nástrojů jsou leštěny. Nejčastějším polotovar pro pěchování jsou špalíky a kaloty. Tento způsob je i v současné době nejvíce využíván pro výrobu jednoduchých normalizovaných spojovacích součástí, jako jsou hlavy šroubů, nýtů, čepů, matic, tvarových osazení apod. Při výrobě složitějších tvarových součástí se s pěchováním setkáme při:

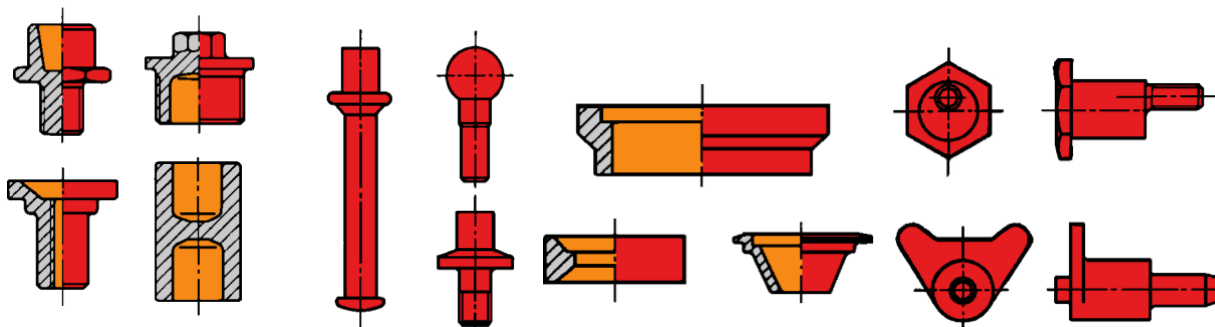
- Kalibrace výchozího špalíku za účelem zarovnání zdeformovaných čel vzniklé dělením materiálu stříhem.
- Přípravné tvářecí operace, které přizpůsobují tvar i rozměr výchozího polotovaru pro další tvářecí operace.
- Víceoperační tváření jako v samostatné nebo sloučené tvářecí operaci.

2.3 Technologičnost a technologické výpočty

Technologičnost konstrukce výrobku se rozumí možnost zhotovit součást při nejnižších výrobních nákladech za nejkratší výrobní dobu. O míře technologičnosti se lze přesvědčit pouze ve srovnání s konstrukčními alternativy.

Tvarově vhodné součásti pro objemové tváření za studena mohou být symetrická i nesymetrická, jednoduchá ale i složitějších tvarů. Zhotoveny mohou být v kombinaci nebo obměnami základních způsobů tváření. Podle charakteristik tvarových znaků je lze rozdělit do skupin:

- Součásti kalíškového tvaru (obr 2. 9) (jednostranné i dvoustranné) vyráběné převážně dopředným a zpětným protlačováním
- Součásti čepového tvaru (obr 2. 10), vyráběné převážně pěchováním, dopředným a stranovým protlačováním.
- Nízké rotační součásti s průchozím otvorem (obr 2.11) zhotovené kombinací některých základních způsobů objemového tváření za studena
- Součásti nepravidelných tvarů (obr 2.12)



Obr 2. 9 Součásti kalíškového tvaru [1]

Obr 2. 10 Součásti čepového tvaru [1]

Obr 2. 11 Nízké rotační součásti s průchozím otvorem [1]

Obr 2. 12 Součásti nepravidelných tvarů [1]

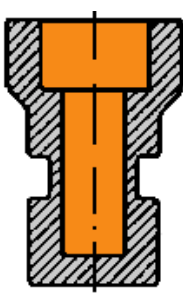
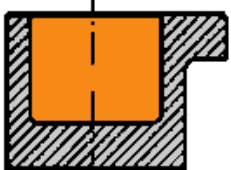
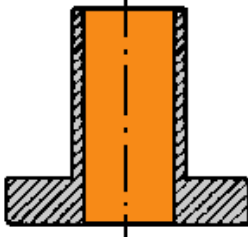
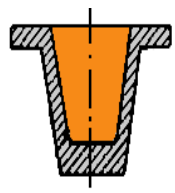
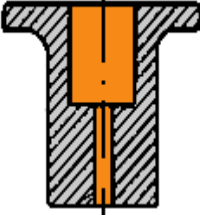
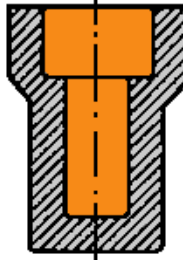
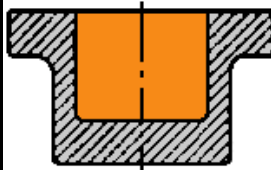
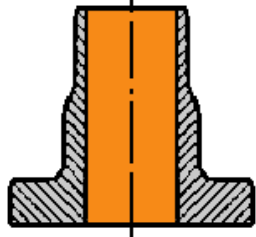
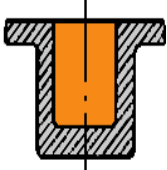

Tvar výrobku je třeba vhodně přizpůsobit objemovému tváření za studena a musí se dbát na dané zásady (Tab. 3).

- **Náhlé přechody**, ostré hrany a rohy jsou nevhodné u protlačovaných součástí. Je třeba, aby materiál při procesu zbytečně nenarážel na velký odpor. Ostré hrany a rohy lze zalisovat v samostatné pracovní operaci. Doporučuje se součást zaoblit na poloměr od 1,5 mm do 20 mm v závislosti na jejich jmenovitém průměru. Náhle přechody lze zmírnit také vhodným zaoblením rohu.
- **Nahromadění materiálu** – Není vhodné protlačovat součást s nesymetrickým nahromaděním materiálu. Zapotřebí je i vyvarovat se ostrým změnám příčného průřezu a rychlých přechodů od tlustých stěn k tenkým. Při nutnosti takových přechodů je třeba provést vhodné zaoblení.
- **Místní zúžení** – Veškerá místní zúžení, zejména ty jednoduchá, výrazně zvyšují náklady na nástroje. Z ekonomických důvodů je zapotřebí se těmto zúžení vyhnout a popřípadě je následně zhotovit pomocí obrábění.
- **Tvar** – Některé tvary jsou pro výrobu protlačováním téměř nemožné vzhledem ke skladbě nástroje z průtláčnicku, průtláčnice a vyhazovače. Z tohoto důvodu mají součásti vnější stěny rovnoběžné se směrem protlačování. Zapotřebí je také nutno

počítat s nadbytkem materiálu ve směru toku, jelikož výchozí materiál se vždy volí o něco větší než objem výchozí součásti.

- **Kuželovitost** – Na rozdíl od kování a odlévání, kde jsou vnitřní a vnější úkosy požadovány, pro snadné vyjmutí součásti z formy, u protlačování úkosy nejsou vhodné. Při nutnosti kuželu na součásti se kuželová plocha nahradí odstupňováním průměru a kužel se dodělá za pomoci obrábění.
- **Otvory** – V protlačovaných součástech jsou otvory omezeny na minimální průměr a na maximální hloubku. Minimální průměr na protlačování otvoru se uvádí 10 mm.
- **Závity** – Vnitřní ani vnější závity nelze vyrobit pomocí protlačování za studena. Závít se na rozměrově předem připravenou součást dá zhotovit pomocí obrábění nebo válcování.

Tab. 3 Příklady vhodných a nevhodných tvarů k protlačování za studena [22]

	Náhlé Přečody	Nahromadění materiálu	Místní zúžení	Kužel	Otvory
Nevhodné řešení					
Vhodné řešení					

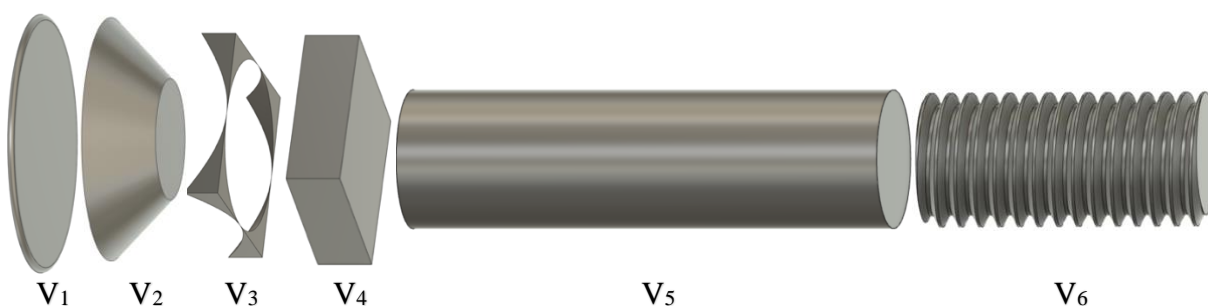
Určení objemu vylisku [1]

Objem polotovaru se během tváření nemění a zůstává konstantní. Objem polotovaru se tím pádem rovná objemu vylisku. Výchozí objem materiálu se tedy bere z výsledného vylisku s přírůstkem na případné obrábění. Konečný tvar vylisku se rozdělí na jednoduchá tělesa, pro která jsou známa matematické vzorce pro výpočet objemu. Součet nebo rozdíl těchto objemů dává celkový objem hotového vylisku. Na základě výrobních zkušeností je třeba k vypočtenému objemu připočítat hodnota odpadu připadající na zhotovení výchozího polotovaru. Součet těchto hodnot dá výchozí objem a hmotu materiálu.

3 NÁVRH TECHNOLOTIE VÝROBY [1],[2],[3],[11],[16],[17],[18],[19]

V této kapitole bude vypočítán objem součásti sečtením jednotlivých dílců a následně porovnán s objemem získaným z 3D programu Fusion 360. Po vypočtení objemů budou navrženy dvě varianty výroby, ve kterých se určí dílčí rozměry šroubu a logaritmické přetvoření materiálu. Z těchto variant bude vybrána jedna, která bude pro výrobu vhodnější. Pro tuto variantu bude dále zjištěn deformační odpor, který povede k zjištění maximální potřebné síly a maximální přetvárné práce pro danou operaci. Po sečtení bude zjištěna maximální potřebná síla a přetvárná práce, které jsou důležitou informací pro volbu stroje.

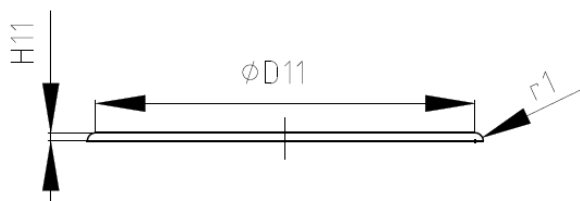
3.1 Výpočet objemu



Obr.3 1 Objemové části šroubu

Výpočet objemu zaoblené části hlavy V₁:

$$\begin{aligned} \varnothing D_{11} &= 23 \text{ mm} \\ r_1 &= 0,5 \text{ mm} \\ H_{11} &= 0,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



Obr.3 2 Náčrt pro výpočet V₁

$$V_1 = \left(\frac{\pi \cdot D_{11}^2}{4} \cdot H_{11} \right) + \left(\frac{\pi \cdot (2 \cdot r_1)^2}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D_{11}}{4} \right) = \left(\frac{\pi \cdot 23^2}{4} \cdot 0,5 \right) + \left(\frac{\pi \cdot (2 \cdot 0,5)^2}{4} \cdot \frac{\pi \cdot 23}{4} \right)$$

$$V_1 = 221,93 \text{ mm}^3 \tag{3.1}$$

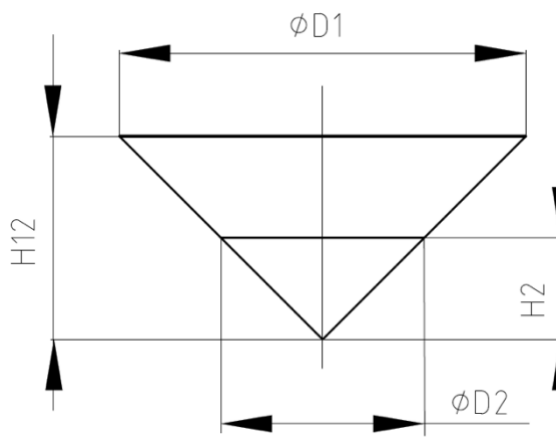
Výpočet objemu kuželové části hlavy V₂:

$$\begin{aligned} \varnothing D_1 &= 24 \text{ mm} \\ H_{12} &= 12 \text{ mm} \\ \varnothing D_2 &= 12 \text{ mm} \\ H_2 &= 6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$V_2 = \frac{\pi}{3} \cdot \left(\frac{D_1}{2} \right)^2 \cdot H_{12} - \frac{\pi}{3} \cdot \left(\frac{D_2}{2} \right)^2 \cdot H_2$$

$$V_2 = \frac{\pi}{3} \cdot \left(\frac{24}{2} \right)^2 \cdot 12 - \frac{\pi}{3} \cdot \left(\frac{12}{2} \right)^2 \cdot 6$$

$$V_2 = 1583,36 \text{ mm}^3$$



Obr.3 3 Náčrt pro výpočet V₂

(3.2)

Objemu přechodové části hlavy mezi kuželovou a hranolovou částí hlavy V_3 :
 Výpočet je proveden odečtením válce, představující kuželovou výseč, od hranolu

$$\begin{aligned}\varnothing D_{23} &= 13 \text{ mm} \\ H_{23} &= 2,49 \text{ mm} \\ a_1 &= 12 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{31} &= a_1^2 \cdot H_{23} \\ V_{31} &= 12^2 \cdot 2,49 \\ V_{31} &= 358,56 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

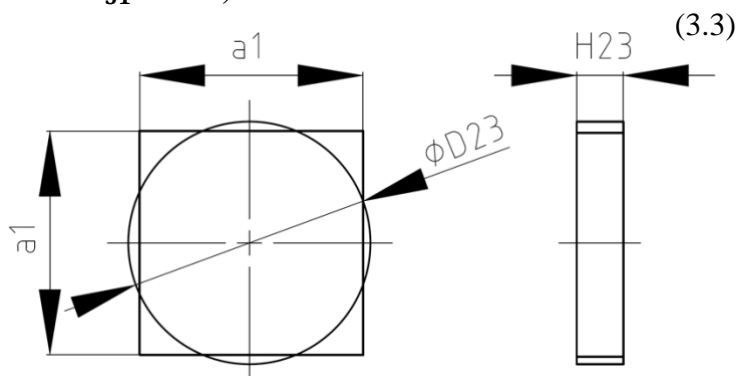
$$V_{32} = \frac{\pi \cdot D_{23}^2}{4} \cdot H_{23}$$

$$V_{32} = \frac{\pi \cdot 13}{4} \cdot 2,49$$

$$V_{32} = 330,5 \text{ mm}^3$$

$$V_3 = V_{31} - V_{32} = 358,56 - 330,5$$

$$V'_3 = 28,06 \text{ mm}^3$$



Obr.3 4 Náčrt pro výpočet V_3

(3.4)

Pro kontrolu byla vymodelována tato část objemu pro zjištění přesného objemu V_3 .

$$V_3 = 23,32 \text{ mm}^3$$



Obr.3 5 3D model objemu V_3

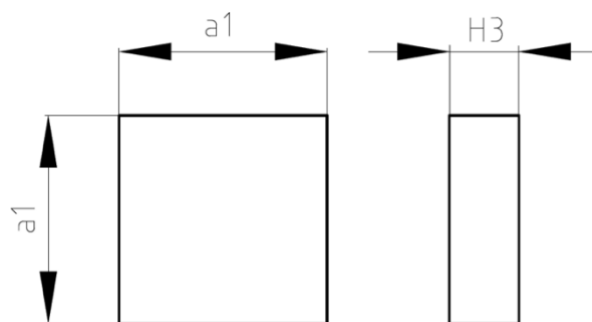
Výpočet objemu hranolové části hlavy V_4 :

$$\begin{aligned}H_3 &= 4 \text{ mm} \\ a_1 &= 12 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$V_4 = a_1^2 \cdot H_3$$

$$V_4 = 12 \cdot 4$$

$$V_4 = 576 \text{ mm}^3$$



Obr.3 6 Náčrt pro výpočet V_4

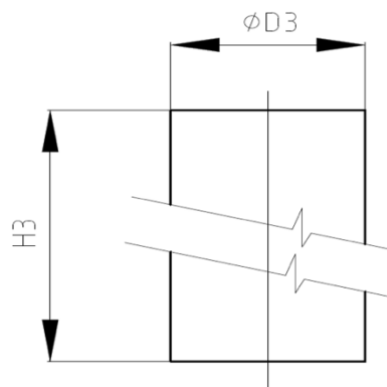
(3.5)

Výpočet objemu dřívku bez závitů V_5 :

$$\begin{aligned}\varnothing D_3 &= 24 \text{ mm} \\ H_3 &= 12 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$V_5 = \frac{\pi \cdot D_3^2}{4} \cdot H_3 = \frac{\pi \cdot 12^2}{4} \cdot 40$$

$$V_5 = 4523,89 \text{ mm}^3$$



Obr.3 7 Náčrt pro výpočet V_5

(3.6)

Výpočet objemu dřívku se závitem V_6 :

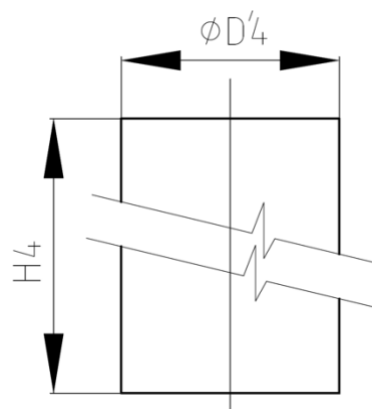
Průměr $\phi D'_4$ volím střední průměr metrického závitu M 12 x 1,5.

$$\phi D'_4 = 11,03 \text{ mm}$$

$$H_4 = 30 \text{ mm}$$

$$V_6 = \frac{\pi \cdot D'^2_4}{4} \cdot H_4 = \frac{\pi \cdot 11,03^2}{4} \cdot 30$$

$$V_6 = 2864,49 \text{ mm}^3$$



Obr.3 8 Náčrt pro výpočet V_6

(3.7)

Výpočet celkového objemu součásti:

$$V_{cel} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6$$

$$V_{cel} = 221,93 + 1583,36 + 23,32 + 576 + 4523,89 + 2864,49$$

$$V_{cel} = 9792,99 \text{ mm}^3$$

(3.8)

Objem součásti určený pomocí softwaru Fusion 360:

$$V_c = 9773,21 \text{ mm}^3$$

Rozdíl mezi vypočteným objemem a objemem určeným softwarem Fusion 360 činí $19,78 \text{ mm}^3$. Rozdíl objemu pravděpodobně vznikl zaokrouhlováním při výpočtech nečiní ani procento celkového objemu, proto tento rozdíl nebude brán v potaz.

Lze předpokládat, že hodnota objemu získaná pomocí softwaru Fusion 360 je přesnější. Proto se dále bude uvažovat hodnota celkového objemu součásti „ V_c “.

3.1.1 Určení tvaru a rozměru výchozího polotovaru [1]

Po vypočítání objemu vylisku se určí tvar a rozměr výchozího polotovaru. Tvar je ovlivněn konečným tvarem, cenou materiálu, celkovým využitím hmoty polotovaru. Tvary polotovaru mohou být různé, od plného špalíku a jiného průřezu, kaloty se zlomkem výšky vnějšího rozměru, špalíky s průchozím otvorem, prstence, tyče, plechu, pásového materiálu, až po tlustostěnné bezešvé trubky. Vnější tvar a rozměr polotovaru u objemového tváření na několik operací ovlivní volba základních způsobů použitých během celého technologického postupu a velikostí celkového přetvoření.

Pro výrobu zadané součásti existuje několik variant řešení, které se skládají v kombinaci dopředného protlačování s pýchováním. Varianty je třeba posoudit především z hlediska počtu operací, rozložení skutečných deformací a související zpevnění materiálu v jednotlivých částech součásti. Při návrhu varianty výroby je zapotřebí zjistit celkový stupeň deformace z výchozího polotovaru na konečný tvar. Tato hlavní deformace je dána součtem deformací v jednotlivých operacích.

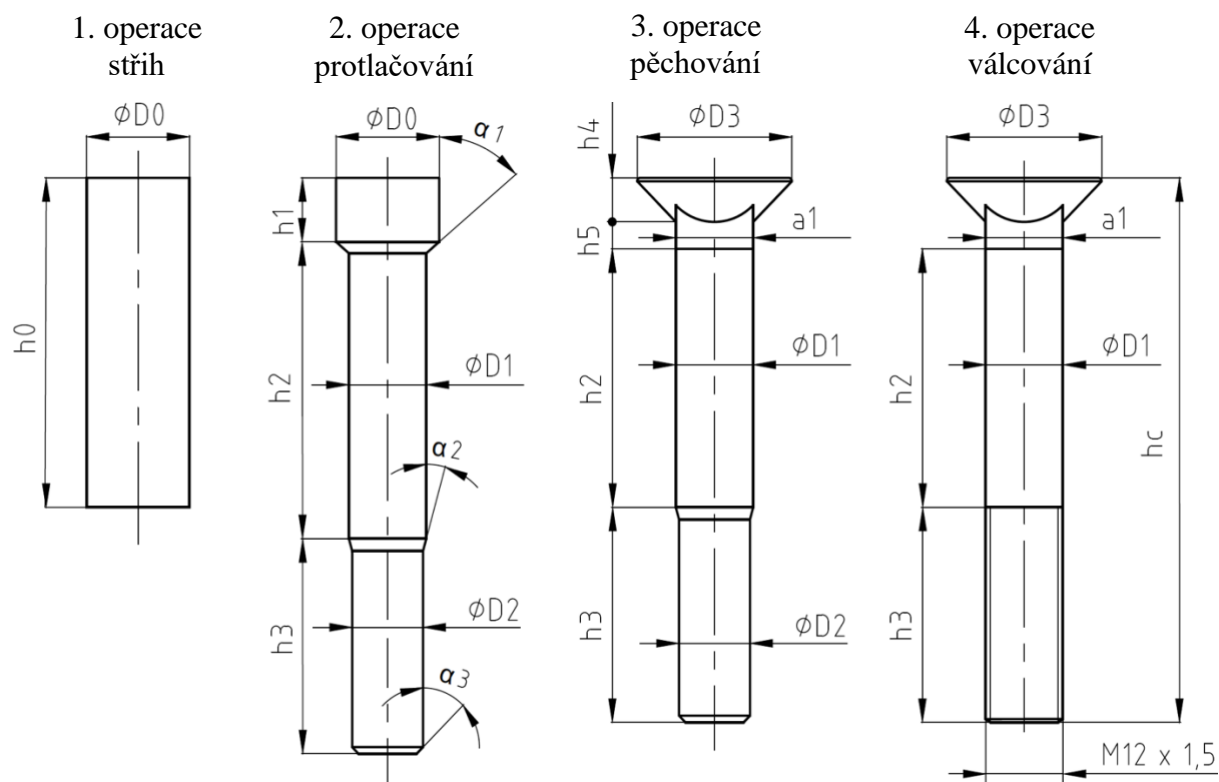
• **Varianta výroby A**

První navrhovaná varianta (obr. 3. 9) výroby se skládá ze stříhání, protlačování, pýchování a válcování závitu. Kvůli pýchovacím operacím je přechod z průměru polotovaru $\phi D_0 = 16$ mm na průměr dřívku I o průměru $\phi D_1 = 12$ mm vhodné volit strmější, proto je zvolen $\alpha_1 = 30^\circ$. Naopak přechod z dřívku I o průměru $\phi D_1 = 12$ mm na dřívku II o průměru $\phi D_2 = 11,03$ mm vzhledem k válcování závitu je třeba volit táhlejší, tj. redukční úhel $\alpha_2 = 15^\circ$.

Tab. 4 Tabulka Postup operací pro první variantu

Operace	Popis
1. stříh	Odstrížení výchozího polotovaru průměru ϕD_0 a výšky h_0
2. protlačování	Dopředné protlačování dřívku I a dřívku II
3. pýchování	Pýchování tvarové hlavy
4. válcování	Válcování závitu

Grafické znázornění výrobního postupu:



Obr.3 9 Technologický postup varianta A

$\phi D_0 = 16$ mm	$h_0 = 48,6$ mm	$\alpha_1 = 30^\circ$
$\phi D_1 = 12$ mm	$h_1 = 9,6$ mm	$\alpha_2 = 15^\circ$
$\phi D_2 = 11,03$ mm	$h_2 = 44$ mm	$\alpha_3 = 45^\circ$
$\phi D_3 = 24$ mm	$h_3 = 30$ mm	
$a_1 = 12$ mm	$h_4 = 6,5$ mm	
$u_1 = 16,97$ mm	$h_5 = 4$ mm	

Kde: u_1 úhlopříčka hranolové části hlavy

Při návrhu postupu výroby je možné využít optimalizaci zpevnění, která zajistí rovnoměrné hodnoty přetvoření po celém průřezu šroubu. Chceme-li dosáhnout rovnoměrných hodnot přetvoření, položíme hodnoty v jednotlivých částech do rovnosti dle vztahu

$$\varphi_{p\acute{e}ch.hlav\acute{y}} = \varphi_{protl.d\acute{r}\acute{i}kI} + \varphi_{p\acute{e}ch.Ahran} = \varphi_{protl.d\acute{r}\acute{i}kII}$$

Po dosažení geometrických charakteristik dle obr. 2. 21 získáme dvě navazující rovnice

$$\ln \frac{D_3^2}{D_0^2} = \ln \frac{D_0^2}{D_{1h}^2} + \ln \frac{u_1^2}{D_2^2} = \ln \frac{D_0^2}{D_2^2} \quad (3.9)$$

Po úpravě a odlogaritmování první části rovnice (2.9) byl získán tvar pro výpočet rozměru D_0

$$D_0^4 = \frac{D_3^2 \cdot D_{1h}^4}{u_1^2} \quad (3.10)$$

Po úpravě a odlogaritmování druhé části rovnice (2.9) byl získán tvar pro výpočet rozměru D_1

$$D_{1h}^4 = u_1^2 \cdot D_2^2 \quad (3.11)$$

Dosažením do vztahu pro výpočet D_0 a následnou úpravou jsou získány konečné vztahy pro výpočet rozměrů D_0 a D_1

$$D_0 = \sqrt[4]{D_3^2 \cdot D_2^2} = \sqrt[4]{24^2 \cdot 11,03^2} = 16,27 \text{ mm} \doteq 16 \text{ mm} \quad (3.12)$$

$$D_{1h} = \sqrt[4]{u_1^2 \cdot D_2^2} = \sqrt[4]{16,97^2 \cdot 11,03^2} = 13,67 \text{ mm} \doteq 14 \text{ mm} \quad (3.13)$$

Dle normy ČSN 42 6410 je zvolen polotovár o průměru $D_0 = 16$ mm. Výpočtem se zjistil nejvhodnější průměr D_1 pro hranolovou část hlavy. Ten je ale v této variantě nahrazen průměrem $D_1 = 12$ mm, který je po celé délce dříku I z důvodu možných přeloženin během tváření.

Výpočet ostatních rozměrů v jednotlivých operacích varianty A:

$$h_0 = \frac{V_c \cdot 4}{\pi \cdot D_0^2} = \frac{9773,21 \cdot 4}{\pi \cdot 16^2} = 48,6 \text{ mm} \quad (3.14)$$

$$V_{2A} = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot h_2 = \frac{\pi \cdot 12^2}{4} \cdot 44 = 4976,28 \text{ mm}^3 \quad (3.15)$$

$$V_{3A} = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot h_3 = \frac{\pi \cdot 11,03^2}{4} \cdot 30 = 2864,49 \text{ mm}^3 \quad (3.16)$$

$$h_1 = \frac{(V_c - (V_2 + V_3)) \cdot 4}{\pi \cdot D_0^2} = \frac{(9773,21 - (4976,28 + 2864,49)) \cdot 4}{\pi \cdot 16^2} = 9,61 \text{ mm} \quad (3.17)$$

Výpočet logaritmických deformací v dílčích operacích:

$$\varphi_{p\acute{e}ch.hlav\acute{y}} = \ln \frac{D_3^2}{D_0^2} = \ln \frac{24^2}{16^2} = 0,81 \quad (3.18)$$

$$\varphi_{protl.d\acute{r}\acute{i}kI} = \ln \frac{D_0^2}{D_1^2} = \ln \frac{16^2}{12^2} = 0,57 \quad (3.19)$$

$$\varphi_{p\acute{e}ch.Ahran} = \ln \frac{u_1^2}{D_2^2} = \ln \frac{16,97^2}{12^2} = 0,69 \quad (3.20)$$

$$\varphi_{protl.d\acute{r}\acute{i}kII} = \ln \frac{D_0^2}{D_2^2} = \ln \frac{16^2}{11,03^2} = 0,74 \quad (3.21)$$

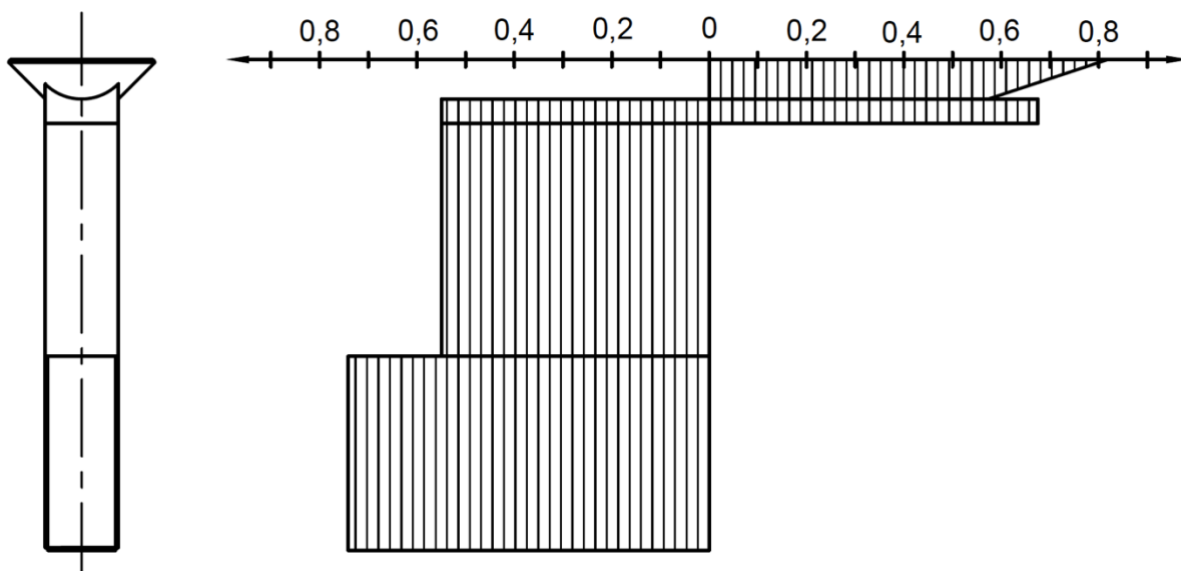
Maximálních přetvoření jednotlivých částí šroubu:

$$\varphi_{hlavy} = 0,81$$

$$\varphi_{dřík I} = 0,57$$

$$\varphi_{dřík II} = 0,74$$

$$\varphi_{4hran} = \varphi_{protl.dřík I} + \varphi_{pěch.4hran} = 0,57 + 0,69 = 1,26 \quad (3.22)$$



Obr.3 10 Průběh logaritmické deformace varianty A

Zhodnocení varianty A:

Při návrhu první varianty se především dbalo na co nejmenší počet operací, kdy byly stanoveny operace odstřížení, operace dopředné protlačování a pěchování. Jako výchozí polotovár je uvažován odstřížek drátu o průměru 16 mm a délce 48,6 mm. Tato varianta má velké logaritmické deformace v oblasti čtyřhranu hlavy, což lze vidět na obrázku 3.10, jelikož je nejprve původní polotovár protlačován na průměr 12 mm a následně pěchován do rohů o délce úhlopříček 16,97 mm.

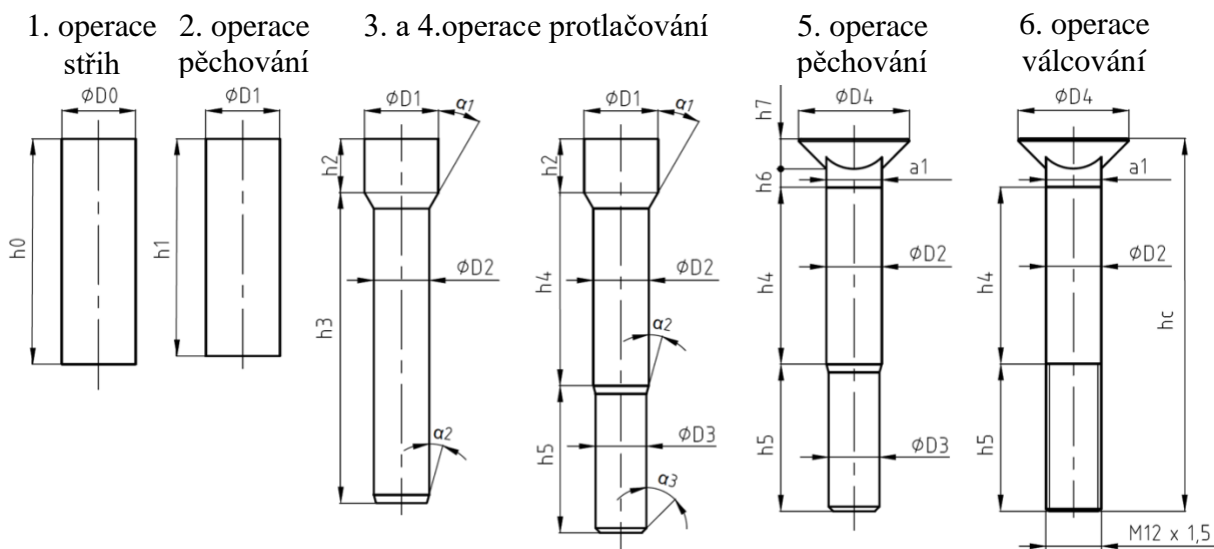
- Varianta výroby B

V druhé navrhované variantě (obr. 3. 11) výroby jsou v první operaci nejprve čela odstříženého polotovaru zarovnána pomocí pěchování a zároveň je materiál předpěchován na průměr $D_1 = 16,3$ mm. Ve druhé operaci je polotovár dopředně protlačován a tím je vytvořen dřík I, následnou třetí operací je protlačen dřík II. V poslední operaci je pomocí kombinace protlačování a pěchování v uzavřeném pěchovníku vytvořena hlava šroubu. Ze stejných důvodů jako u varianty A jsou voleny úhly $\alpha_1 = 30^\circ$ a $\alpha_2 = 15^\circ$.

Tab. 5 Tabulka Postup operací pro první variantu B

Operace	Popis
1. stříh	Odstřížení výchozího polotovaru průměru $\varnothing D_0$ a výšky h_0
2. pěchování	Zarovnání čel a předpěchování materiálu
3. protlačování	Dopředné protlačování dříku I
4. protlačování	Dopředné protlačování dříku II
5. pěchování	Pěchování tvarové hlavy
6. válcování	Válcování závitu na závitovačce

Grafické znázornění výrobního postupu:



Obr.3 11 Technologický postup varianta B

$\text{Ø}D_0 = 16 \text{ mm}$	$h_0 = 48,6 \text{ mm}$	$\alpha_1 = 30^\circ$
$\text{Ø}D_1 = 16,3 \text{ mm}$	$h_1 = 46,8 \text{ mm}$	$\alpha_2 = 15^\circ$
$\text{Ø}D_2 = 12 \text{ mm}$	$h_2 = 9,6 \text{ mm}$	$\alpha_3 = 45^\circ$
$\text{Ø}D_3 = 11,03 \text{ mm}$	$h_3 = 65,3 \text{ mm}$	
$\text{Ø}D_4 = 24 \text{ mm}$	$h_4 = 40 \text{ mm}$	
$a_1 = 12 \text{ mm}$	$h_5 = 30 \text{ mm}$	
$u_1 = 16,97 \text{ mm}$	$h_6 = 4 \text{ mm}$	
	$h_7 = 6,5 \text{ mm}$	
	$h_c = 80,5 \text{ mm}$	

Kde: u_1 úhlopříčka hranolové části hlavy

Při variantě B je brán v potaz průměr $\text{Ø}D_0 = 16 \text{ mm}$ výchozího polotovaru, který byl vypočítán pomocí optimalizace zpevnění v návrhu varianty A. Polotovar taženého drátu má délku $h_0 = 48,6 \text{ mm}$. V následujících výpočtech budou vypočítány neznámé parametry pro dané operace.

Výpočet ostatních rozměrů v jednotlivých operacích varianty B:

$$h_1 = \frac{V_c \cdot 4}{\pi \cdot D_1^2} = \frac{9773,21 \cdot 4}{\pi \cdot 16,3^2} = 46,8 \text{ mm} \quad (3.23)$$

$$V_{4B} = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot h_3 = \frac{\pi \cdot 12^2}{4} \cdot 40 = 4523,89 \text{ mm}^3 \quad (3.24)$$

$$V_{5B} = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot h_3 = \frac{\pi \cdot 11,03^2}{4} \cdot 30 = 2864,49 \text{ mm}^3 \quad (3.25)$$

$$V_{3B} = V_{4B} + V_{5B} = 4523,89 + 2864,49 = 7388,38 \text{ mm}^3 \quad (3.26)$$

$$h_3 = \frac{V_{3B} \cdot 4}{\pi \cdot D_2^2} = \frac{7388,38 \cdot 4}{\pi \cdot 12^2} = 65,3 \text{ mm} \quad (3.27)$$

$$h_2 = \frac{(V_c - (V_{4B} + V_{5B})) \cdot 4}{\pi \cdot D_1^2} = \frac{(9773,21 - (4523,89 + 2864,49)) \cdot 4}{\pi \cdot 16,3^2} = 11,43 \text{ mm} \quad (3.28)$$

Výpočet logaritmických deformací v dílčích operacích:

$$\varphi_{\text{předpěch}} = \ln \frac{D_1^2}{D_0^2} = \ln \frac{16,3^2}{16^2} = 0,037 \quad (3.29)$$

$$\varphi_{\text{protl.I}} = \ln \frac{D_1^2}{D_2^2} = \ln \frac{16,3^2}{12^2} = 0,61 \quad (3.30)$$

$$\varphi_{\text{protl.II}} = \ln \frac{D_2^2}{D_3^2} = \ln \frac{12^2}{11,03^2} = 0,169 \quad (3.31)$$

$$\varphi_{\text{pěch.4hran}} = \ln \frac{u_1^2}{D_1^2} = \ln \frac{16,97^2}{16,3^2} = 0,08 \quad (3.32)$$

$$\varphi_{\text{protl.4hran}} = \ln \frac{u_1^2}{D_1^2} = \ln \frac{16,3^2}{12^2} = 0,61 \quad (3.33)$$

$$\varphi_{\text{pěch.hlavy}} = \ln \frac{D_4^2}{D_1^2} = \ln \frac{24^2}{16,3^2} = 0,77 \quad (3.34)$$

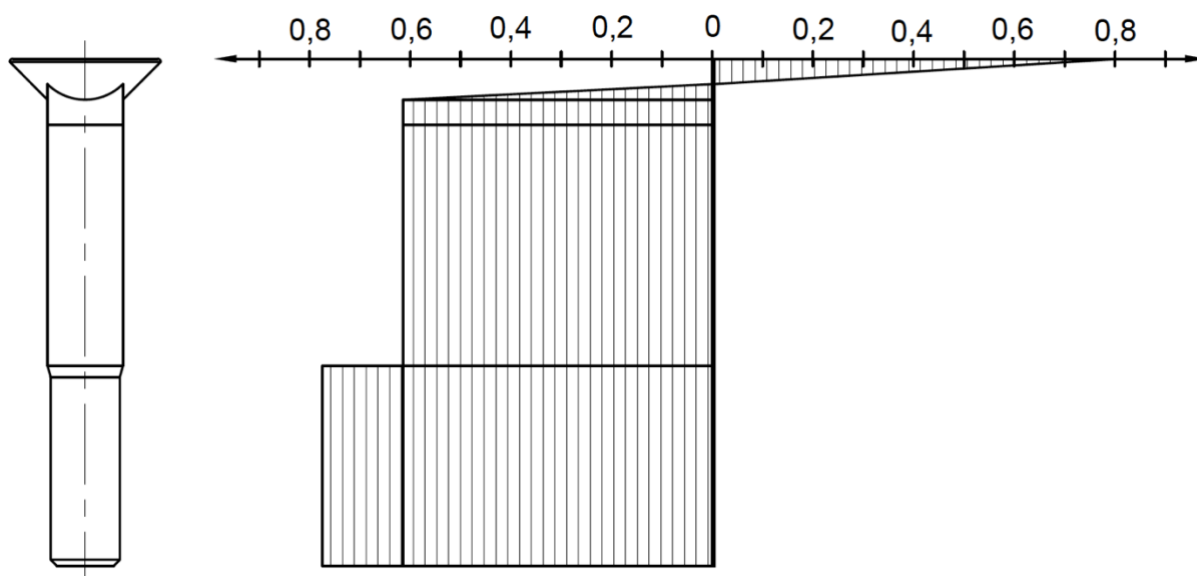
Maximálních přetvoření jednotlivých částí šroubu:

$$\varphi_{\text{dílek I}} = \varphi_{\text{předpěch}} + \varphi_{\text{protl.I}} = 0,037 + 0,61 = 0,647 \quad (3.35)$$

$$\varphi_{\text{dílek II}} = \varphi_{\text{předpěch}} + \varphi_{\text{protl.I}} + \varphi_{\text{protl.II}} = 0,037 + 0,61 + 0,169 = 0,816 \quad (3.36)$$

$$\varphi_{\text{4hran}} = \varphi_{\text{předpěch}} + \varphi_{\text{protl.4hran}} = 0,037 + 0,61 = 0,647 \quad (3.37)$$

$$\varphi_{\text{hlavy}} = \varphi_{\text{předpěch}} + \varphi_{\text{pěch.hlavy}} = 0,037 + 0,77 = 0,807 \quad (3.38)$$



Obr.3 12 Průběh logaritmické deformace varianty B

Zhodnocení varianty:

Při návrhu varianty B byla snížena logaritmická deformace, lze vidět na obrázku 3. 12, v oblasti čtyřhranu hlavy a tím se docílilo vyrovnání hodnot přetvoření ve všech částech šroubu. Pro skladba operací navržena ve variantě B bude čtyř operační stroj využíván plně. Výchozí polotovár je uvažován odštířek taženého drátu délky 48,6 mm a průměru 16 mm. Tato varianta byla vyhodnocena jako ideální pro výrobu šroubu radlice pluhu, proto budou další výpočty počítané k této variantě.

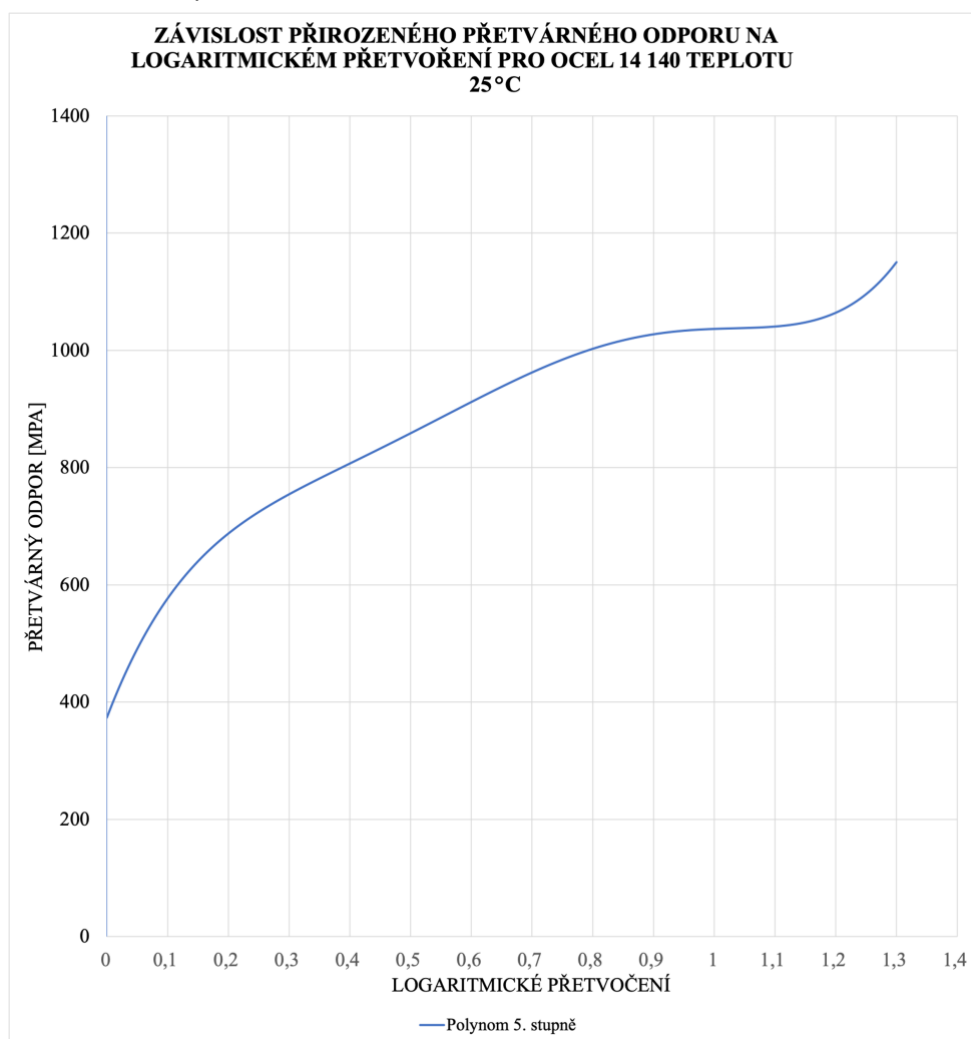
3.2 Technologické výpočty v jednotlivých operacích

Pro zvolenou variantu B budou v další části uvedeny výpočty pro zjištění střížné síly, potřebné k přestřížení polotovaru. Pro výpočet přetvárných sil je důležité znát hodnotu deformačního odporu v dané operaci, který je závislý na přetvárném odporu.

V jednotlivých operacích je teplota tváření jiná, jelikož se materiál při tváření ohřívá. Proto bude pro výpočet první operace petchování a druhou operaci dopředné protlačování použitý vztah pro výpočet přirozeného přetvárného odporu pro teplotu 25°C (obr. 3. 13), pro třetí operaci dopředné protlačování závitového dřívku bude použit vztah pro výpočet přirozeného přetvárného odporu pro teplotu 100°C a pro poslední operaci petchování hlavy bude použitý vztah pro 200°C. Přetvárný odpor lze získat z křivky přetvárných odporů nebo výpočtem dle přílohy 1. Deformační odpor pro petchování bude vypočítán pomocí empirického vztahu dle Siebela a pro dopředné protlačování pomocí vztahu dle Feldmanna.

Vztah pro výpočet přirozeného přetvárného odporu oceli 14 140 dle polynomu 5. stupně pro teplotu 25 °C [26]:

$$\sigma_p = 3553,00 \cdot \varphi^5 - 11783,18 \cdot \varphi^4 + 14337,05 \cdot \varphi^3 - 8161,08 \cdot \varphi^2 + 2717,30 \cdot \varphi + 373,73 \quad [\text{MPa}] \quad (3.39)$$



Obr.3 13 Závislost přirozeného přetvárného odporu na logaritmičkém přetvoření pro ocel 14 140 [26]

Siebelův vztah pro výpočet deformačního odporu při pýchování [1]:

$$\sigma_d = \sigma_p \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{f \cdot D}{H}\right) \quad [\text{MPa}] \quad (3.40)$$

Kde: σ_p přirozený přetvárný odpor [MPa]
 f součinitel tření [-]
 D průměr spěchovaného válce [mm]
 H výška spěchovaného válce [mm]

Feldmannův vztah pro výpočet deformačního odporu při dopředném protlačování [2]:

$$\sigma_d = \sigma_{ps} \cdot \left[\left(1 + \frac{f_2}{\hat{\alpha}}\right) \cdot \ln \left(\frac{D_1}{D_3}\right)^2 + \frac{2}{3} \cdot \hat{\alpha} \right] + 4 \cdot f_3 \cdot \frac{L_3}{D_3} \cdot \sigma_{p3} + 4 \cdot f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1} \cdot \sigma_{p1} \quad [\text{MPa}] \quad (3.41)$$

Kde: σ_{ps} střední přetvárný odpor [MPa]
 σ_{p1} přetvárný odpor materiálu na začátku [MPa]
 σ_{p3} přetvárný odpor materiálu na konci [MPa]
 D_1 vstupní průměr kontejneru [mm]
 D_3 průměr po protlačení [mm]
 f_1 součinitel smykového tření kontejneru [-]
 f_2 součinitel smykového tření průtlačnice [-]
 f_3 součinitel smykového tření kalibračního oka [-]
 $\hat{\alpha}$ úhel kuželu průtlačnice [rad]
 L_1 výška kontejneru [mm]
 L_3 výška kalibračního oka [mm]

Pro výpočet volím $f_1 = f_2 = f_3 = 0,05$

Vztah pro výpočet deformačního odporu podle Navrockého vycházející ze vztahu dle Siebela [1]:

$$\sigma_d = \sigma_p \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{f \cdot D}{H}\right) \cdot k_1 \cdot k_2 \quad [\text{MPa}] \quad (3.42)$$

Kde: k_1 součinitel charakteru deformace
 $k_1 = 1$ pro volné pýchování plochým pýchovníkem
 $k_1 = 1,25$ až $1,75$ pro pýchování v uzavřeném nástroji
 k_2 součinitel nerovnoměrnosti napětí
 $k_2 = 1,1$ pro válcové a půlkulové hlavy svorníků
 $k_2 = 1,2$ pro složitější symetrické výlisky
 $k_2 = 1,3$ pro složitější nesymetrické výlisky

Vztah pro výpočet přetvárné práce [2]:

$$A = V \cdot (\sigma_{d2} \cdot \varphi_2 - \sigma_{d1} \cdot \varphi_1) \cdot \lambda \cdot 10^{-3} \quad (3.43)$$

Kde: V přetvořený objem součásti [mm³]
 φ_1 počáteční logaritmické přetvoření [-]
 φ_2 konečné logaritmické přetvoření [-]
 σ_{d1} vstupní deformační odpor materiálu [MPa]
 σ_{d2} konečný deformační odpor materiálu [MPa]
 λ koeficient plnosti [-]

1. Operace – stříh:

Obsah střížné plochy:

$$S_o = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} = \frac{\pi \cdot 16^2}{4} = 201,06 \text{ mm}^2$$

Střížná síla:

$$F_S = R_m \cdot 0,8 \cdot n \cdot S_o \quad (3.44)$$

Kde: R_m Mez pevnosti ($R_m = 775,97 \text{ MPa}$)

n koeficient otupení (1,1 ÷ 1,3)

$$F_{Smax} = 775,97 \cdot 0,8 \cdot 1,3 \cdot 201,06 = 162\,257,19 \doteq \mathbf{162 \text{ kN}}$$

2. Operace – předpěchování

Logaritmické přetvoření předpěchování z $\varnothing D_0 = 16 \text{ mm}$ na $\varnothing D_1 = 16,3 \text{ mm}$

$$\varphi_1 = \ln \frac{D_1^2}{D_0^2} = \ln \frac{16,3^2}{16^2} = 0,037 \quad (3.45)$$

Přirozený přetvárný odpor pro teplotu $25 \text{ }^\circ\text{C}$ dle vztahu 3.39:

$$\begin{aligned} \sigma_{p1} &= 3553,00 \cdot 0,037^5 - 11783,18 \cdot 0,037^4 \\ &\quad + 14337,05 \cdot 0,037^3 - 8161,08 \cdot 0,037^2 \\ &\quad + 2717,30 \cdot 0,037 + 373,73 \\ \sigma_{p1} &= 463,8 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Deformační odpor při pěchování dle vztahu 3.40

$$\sigma_d = \sigma_p \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{f \cdot D}{H} \right)$$

$$\sigma_{d1} = 463,8 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{0,05 \cdot 16,3}{46,8} \right) = \mathbf{466,49 \text{ MPa}}$$

Tvářecí síla:

$$F_{pěch1} = \sigma_{d1} \cdot S = 466,49 \cdot \frac{\pi \cdot 16,3^2}{4} = 97\,343,6 \text{ N} \doteq \mathbf{97 \text{ kN}} \quad (3.46)$$

Přetvárná práce dle vztahu 3.43:

$$A = V \cdot (\sigma_{d2} \cdot \varphi_2 - \sigma_{d1} \cdot \varphi_1) \cdot \lambda \cdot 10^{-3}$$

$$A_1 = \frac{\pi \cdot 16,3^2}{4} \cdot 46,8 \cdot (466,49 \cdot 0,037) \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} = \mathbf{151,7 \text{ J}}$$

3. Operace – dopředné protlačování dříku I.

Logaritmické přetvoření dříku z $\varnothing D_1 = 16 \text{ mm}$ na $\varnothing D_2 = 12 \text{ mm}$, které bylo vypočítáno v předchozí kapitole.

$$\varphi_{dřI} = |\varphi_1| + |\varphi_2| = |0,037| + |-0,61| = 0,647 \quad (3.47)$$

Střední přetvárný odpor dopředného protlačování:

$$\varphi_{st1} = \frac{|\varphi_1| + |\varphi_{dř1}|}{2} = \frac{|0,037| + |0,647|}{2} = 0,3405 \quad (3.48)$$

Přirozený přetvárný odpor na začátku:

$$\sigma_{p1} = 463,8 \text{ MPa}$$

Střední hodnota přirozeného přetvárného odporu dle vztahu 3.39:

$$\sigma_{1stř} = 3553,00 \cdot 0,3405^5 - 11783,18 \cdot 0,3405^4 + 14337,05 \cdot 0,3405^3 - 8161,08 \cdot 0,3405^2 + 2717,30 \cdot 0,3405 + 373,73 = 776,64 \text{ MPa}$$

Přirozený přetvárný odpor na konci:

$$\sigma_{p3} = 3553,00 \cdot 0,647^5 - 11783,18 \cdot 0,647^4 + 14337,05 \cdot 0,647^3 - 8161,08 \cdot 0,647^2 + 2717,30 \cdot 0,647 + 373,73 = 936,58 \text{ MPa}$$

Deformační odpor pro teplotu 25 °C dle vztahu 3.41:

$$\sigma_d = \sigma_{1stř} \cdot \left[\left(1 + \frac{f_2}{\hat{\alpha}} \right) \cdot \ln \left(\frac{D_1}{D_3} \right)^2 + \frac{2}{3} \cdot \hat{\alpha} \right] + 4 \cdot f_3 \cdot \frac{L_3}{D_3} \cdot \sigma_{p3} + 4 \cdot f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1} \cdot \sigma_{p1}$$

$$\sigma_{d2} = 776,64 \cdot \left[\left(1 + \frac{0,05}{0,5236} \right) \cdot \ln \left(\frac{16,3}{12} \right)^2 + \frac{2}{3} \cdot 0,5236 \right] + 4 \cdot 0,05 \cdot \frac{2}{12} \cdot 936,58 + 4 \cdot 0,05 \cdot \frac{11,62}{16,3} \cdot 463,8 = 776,64 \cdot 0,4518 + 31,22 + 66,13 = \mathbf{448,24 \text{ MPa}}$$

Tvářecí síla:

$$F_{protl1} = \sigma_{d2} \cdot S = 448,24 \cdot \frac{\pi \cdot 16,3^2}{4} = 93\,535,33 \text{ N} \doteq \mathbf{94 \text{ kN}} \quad (3.49)$$

Přetvárná práce dle vztahu 3.43:

$$A = V \cdot (\sigma_{d2} \cdot \varphi_2 - \sigma_{d1} \cdot \varphi_1) \cdot \lambda \cdot 10^{-3}$$

$$A_2 = \frac{\pi \cdot 12^2}{4} \cdot 63,65 \cdot [914,73 \cdot 0,647 - 466,49 \cdot 0,037] \cdot \lambda \cdot 10^{-3} = \mathbf{3722,51 \text{ J}}$$

4. Operace – dopředné protlačování dříku II.

Logaritmické přetvoření dříku z $\varnothing D_1 = 12 \text{ mm}$ na $\varnothing D_2 = 11,03 \text{ mm}$, které bylo vypočítáno v předchozí kapitole.

$$\varphi_{dř2} = |\varphi_{dř1}| + |\varphi_2| = |-0,647| + |-0,169| = 0,816 \quad (3.50)$$

Střední přetvárný odpor dopředného protlačování:

$$\varphi_{st1} = \frac{|\varphi_2| + |\varphi_{dř2}|}{2} = \frac{|0,647| + |0,816|}{2} = 0,7315 \quad (3.51)$$

Přirozený přetvárný odpor na začátku:

$$\sigma_{p1} = 936,58 \text{ MPa}$$

Střední hodnota přirozeného přetvárného odporu dle vztahu pro teplotu 100 °C:

$$\sigma_{2stř} = 2707,88 \cdot 0,7315^5 - 10184,19 \cdot 0,7315^4 + 14286,73 \cdot 0,7315^3 - 9444,16 \cdot 0,7315^2 + 3363,15 \cdot 0,7315 + 287,16 = 937,1 \text{ MPa} \quad (3.52)$$

Přirozený přetvárný odpor na konci dle vztahu pro teplotu 100 °C:

$$\sigma_3 = 2707,88 \cdot 0,816^5 - 10184,19 \cdot 0,816^4 + 14286,73 \cdot 0,816^3 - 9444,16 \cdot 0,816^2 + 3363,15 \cdot 0,816 + 287,16 = 969,94 \text{ MPa} \quad (3.52)$$

Deformační odpor dle vztahu 3.41:

$$\sigma_d = \sigma_{2stř} \cdot \left[\left(1 + \frac{f_2}{\hat{\alpha}} \right) \cdot \ln \left(\frac{D_1}{D_3} \right)^2 + \frac{2}{3} \cdot \hat{\alpha} \right] + 4 \cdot f_3 \cdot \frac{L_3}{D_3} \cdot \sigma_{p3} + 4 \cdot f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1} \cdot \sigma_{p1}$$

$$\sigma_{d3} = 937,1 \cdot \left[\left(1 + \frac{0,05}{0,2618} \right) \cdot \ln \left(\frac{12}{11,03} \right)^2 + \frac{2}{3} \cdot 0,2618 \right] + 4 \cdot 0,05 \cdot \frac{2}{11,03} \cdot$$

$$969,94 + 4 \cdot 0,05 \cdot \frac{30}{12} \cdot 936,58 = 937,1 \cdot 0,1831 + 35,19 + 468,29$$

$$\sigma_{d3} = \mathbf{675,06 MPa}$$

Tvářecí síla:

$$F_{protl2} = \sigma_{d3} \cdot S = 675,06 \cdot \frac{\pi \cdot 12^2}{4} = 75\,347,49 \doteq \mathbf{76\,kN} \quad (3.54)$$

Přetvárná práce dle vztahu 3.43:

$$A = V \cdot (\sigma_{d2} \cdot \varphi_2 - \sigma_{d1} \cdot \varphi_1) \cdot \lambda \cdot 10^{-3}$$

$$A_3 = \frac{\pi \cdot 11,03^2}{4} \cdot 30 \cdot [1589,79 \cdot 0,816 - 914,73 \cdot 0,647] \cdot \lambda \cdot 10^{-3} = \mathbf{1819,98\,J}$$

5. Operace – pēchování hlavy

Pro výpočet složitějšího tvaru hlavy se pro výpočet deformačního odporu použije vztah dle Navrockého. Logaritmické pētvoření pēchováním z $\varnothing D_1 = 16,3\,mm$ na $\varnothing D_4 = 24\,mm$.

$$\varphi_{dř1} = |\varphi_1| + |\varphi_4| = |0,037| + |0,77| = 0,807 \quad (3.55)$$

Přirozený pētvárný odpor pro teplotu 200 °C:

$$\sigma_{p3} = 2119,66 \cdot 0,807^5 - 8245,16 \cdot 0,807^4 + 12040,67 \cdot 0,807^3 - 8319,59 \cdot$$

$$0,807^2 + 3120,16 \cdot 0,807 + 231,20 = 887,63\,MPa \quad (3.56)$$

Deformační odpor při pēchování dle Navrockého, vztah 3.42

Průměr D volím střední průměr kužele $D = 18\,mm$

Součinitel k_1 je z důvodu tvarové složitosti zvolen $k_1 = 1,75$

$$\sigma_{d4} = \sigma_{p3} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{f \cdot D}{H} \right) \cdot k_1 \cdot k_2 = 887,63 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{0,05 \cdot 18}{10,5} \right) \cdot 1,75 \cdot 1,2$$

$$\sigma_{d4} = \mathbf{1917,28\,MPa}$$

Tvářecí síla:

$$F_{pēch2} = \sigma_{d1} \cdot S = 1917,28 \cdot \frac{\pi \cdot 24^2}{4} = 867\,357,04 \doteq \mathbf{867\,kN} \quad (3.57)$$

Přetvárná práce dle vztahu 3.43:

$$A = V \cdot (\sigma_{d2} \cdot \varphi_2 - \sigma_{d1} \cdot \varphi_1) \cdot \lambda \cdot 10^{-3}$$

$$A_4 = 1606,68 \cdot [2383,77 \cdot 0,807 - 466,49 \cdot 0,037] \cdot \lambda \cdot 10^{-3} = \mathbf{2756,74\,J}$$

Celková tvářecí síla:

$$F_c = F_{předpēch} + F_{protl1} + F_{protl2} + F_{pēch}$$

$$F_c = 97 + 94 + 76 + 867$$

$$F_c \doteq \mathbf{1134\,kN} \quad (3.58)$$

Celková pētvárná práce:

$$A_c = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 151,7 + 3722,51 + 1819,98 + 2756,74$$

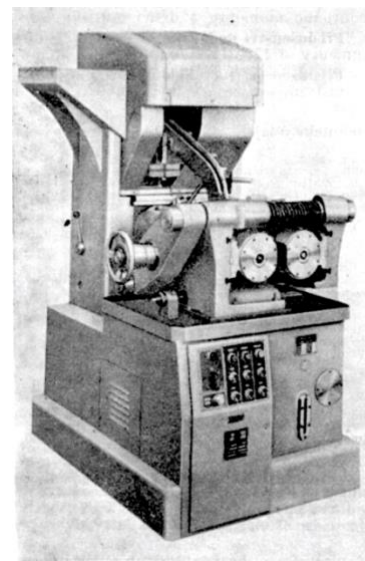
$$A_c = \mathbf{8450,93\,J} \quad (3.59)$$

4 VOLBA TVÁŘECÍHO STROJE

U zvolené výrobní varianty se výroba skládá celkem z šesti operací. V 1. operaci bude ze svitku drátu průměru 16 mm ustřižen polotovár o délce 48,6 mm. Ve 2. operaci bude polotovár předpěchován na vypočítavý průměr 16,3 mm a zároveň budou polotováru zarovnány čela. Ve 3. operaci bude za pomoci dopředného protlačování vytvořen dřík I, což je část šroubu bez závitů a průměru 12 mm. Ve 4. operaci bude protlačena závitová část šroubu se středním průměrem 11,026 mm. V 5. operaci bude za pomoci pěchování v kombinaci s protlačováním vytvořena hlava šroubu o největším průměru 24 mm. Pro tvářecí operace 2. až 5. bude použité čtyř operační tvářecí zařízení Švýcarské firmy Hatebur model BKA 3 (obr. 4. 1), které splňuje všechny rozměrové předpoklady uvedené v Tab.6. Jmenovitá síla zařízení je skoro dvojnásobná, tím je zajištěn klidný chod stroje bez rizik přetížení. Hatebur BKA 3 je vybaven podávacím zařízením s kladkami a přivedením polotováru materiálu ze svitku na nastavený doraz, odstřižením polotováru o požadované délce uzavřeným nožem a podáním kleštinami do operace 1. V poslední 6. operaci bude zhotoven závit M 12 x 30 pomocí závitovačky ZVT12/16 (obr. 4. 2). Ze všech zařízení bude vytvořena automatizovaná linka pro větší efektivitu výroby.



Obr. 4. 1 Hatebur BKA 3 [24]



Obr. 4. 2 Závitovačka ZVT12/16 [25]

Tab. 6 Technické údaje Hatebur BKA3 [26]

Technické údaje	Hodnota
Největší průměr drátu	20 mm
Průměr dříku šroubu	8-16 mm
Délka dříku	20-127 mm
největší průměr výlisku	40 mm
Počet tvářecích operací	5
Jmenovitá síla stroje	1800 KN
Počet zdvihů beranu	60-100 zdvih/min

5 NÁVRH SESTAVY NÁSTROJE

Pro šroub radlice pluhu bude navržen postupový nástroj o čtyřech operacích dle zvolené výrobní varianty B. Postupový nástroj bude vycházet z rozměrů zástavbové části tvářecího stroje Hatebur BKA 3 a z jednotlivých rozměrů pro dílčí operace. Výkresová dokumentace nástroje bude obsahovat: výkres sestavy nástroje, kusovník, výkres zadané součásti, výkres průtlačníku a průtlačnice pro zvolenou operaci dopředné protlačování dříku I.

5.1 Návrh průtlačnice

Průtlačnice (obr. 5. 1) bude navržena pro druhou tvářecí operaci (dopředné protlačování dříku I) z průměru 16,3 mm na průměr 12 mm. Materiál průtlačnice je zvolena ocel 19 830. Tvar a rozměry budou zvoleny dle přílohy 3. v závislosti s rozměry získané ve výpočtové části varianty B pro 2. tvářecí operaci.

Znamé parametry průtlačnice:

$$\varnothing D_1 = 16,3 \text{ mm}$$

$$\varnothing D_3 = 12 \text{ mm}$$

Výpočet a zvolení ostatních rozměrů průtlačnice dle přílohy 3.:

$$D_4 = D_3 + (0,1 \text{ až } 0,2) = 12 + 0,15 = 12,15 \text{ mm}$$

$$h = 0,5 \cdot \sqrt{D_3} = 0,5 \cdot \sqrt{12} = 1,73 \text{ mm volím } 2 \text{ mm}$$

$$2\alpha = 2 \cdot 30^\circ = 60^\circ$$

$$R_1 = \frac{D_1 - D_3}{2} = \frac{16,3 - 12}{2} = 2,15 \text{ mm volím } 2 \text{ mm}$$

$$R_2 = (0,05 \text{ až } 0,1) \cdot D_3 = 0,08 \cdot 12 = 0,96 \text{ mm volím } 1 \text{ mm}$$

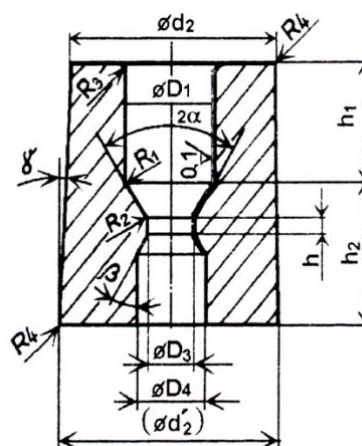
$$R_3 = 0,15 \cdot D_1 = 0,15 \cdot 16,3 = 2,445 \text{ mm volím } 2,5 \text{ mm}$$

$$h_2 = 0,7 \cdot D_1 = 0,7 \cdot 16,3 = 11,41 \text{ mm volím } 15 \text{ mm}$$

$$h_1 = \text{volím } 25 \text{ mm}$$

$$\gamma = 1 \text{ až } 2^\circ, \text{ volím } 1^\circ$$

$$\beta = 5 \text{ až } 10^\circ \text{ volím } 10^\circ$$



Obr. 5. 1 Schéma průtlačnice [2]

Pro zvýšení životnosti a únosnosti průtlačnice pro dopředné protlačování se používají objímky k předepnutí průtlačnice. Zdali objímka bude potřebná se zjistí pomocí radiálního tlaku dle vztahu z lit. [2]:

- Radiální napětí = $-p_1$ (radiální tlak)

Výpočet napětí $\sigma_{\rho 2}$ při vstupu do kuželové průtlačnice pro 2. operaci:

$$\sigma_{\rho 2} = -\sigma_{ps} \cdot \left[\left(\frac{\sigma_{p3}}{\sigma_{ps}} \cdot 4 \cdot f_3 \cdot \frac{L_3}{D_3} + \frac{\tan \alpha}{f_2} + 1 \right) \cdot \left(\frac{D_2}{D_3} \right)^{\frac{2 \cdot f_2}{\tan \alpha}} - \frac{\tan \alpha}{f_2} - 1 \right]$$

$$\sigma_{\rho 2} = -776,64 \cdot \left[\left(\frac{936,58}{776,64} \cdot 4 \cdot 0,05 \cdot \frac{2}{12} + \frac{\tan 60}{0,05} + 1 \right) \cdot \left(\frac{16,3}{12} \right)^{\frac{2 \cdot 0,05}{\tan 60}} - \frac{\tan 60}{0,05} - 1 \right]$$

$$\sigma_{\rho 2} = -525,57 \text{ MPa} = 525,57 \text{ MPa}$$

Výpočet osového napětí v kontejneru: σ_{z1}

Poissonova konstanta je zvolena 0,3.

$$\sigma_{z1} = \sigma_{\rho 2} \cdot e^{\frac{\mu}{1-\mu} \cdot \frac{4 \cdot f_1}{D_1} \cdot L_1} = 525,57 \cdot e^{\frac{0,3}{1-0,3} \cdot \frac{4 \cdot 0,05}{16,3} \cdot 11,62} = 558,69 \text{ MPa}$$

Určení radiálního napětí dle literatury [2]:

$$\sigma_r = \frac{\mu}{1-\mu} \cdot \sigma_z \doteq 0,43 \cdot \sigma_z$$

$$\sigma_r = 0,43 \cdot \sigma_z = 0,43 \cdot 558,69 = -240,24 \text{ MPa} < 1000 \text{ MPa}$$

Výpočtem bylo zjištěna hodnota radiálního napětí v průtlačnici -234,68 MPa. Z tohoto důvodu je možné využít průtlačnici bez objímky dle doporučení literatury [2].

5.2 Návrh průtlačníku

Rozměry průtlačníku (obr. 5. 2) pro druhou tvářecí operaci se určí pomocí doporučovaných rozměrů dle přílohy 4. v závislosti s rozměry získané ve výpočtové části varianty B pro 2. tvářecí operaci.

Materiál průtlačníku je zvolena nástrojová ocel 19 830 (materiálový list příloha 5.)

Znamé parametry průtlačníku:

$$\varnothing d = 16,3 \text{ mm}$$

Výpočet a zvolení ostatních rozměrů průtlačníku dle přílohy 4:

$$d_1 = 1,3 \cdot d = 1,3 \cdot 16,3 = 21,29 \text{ mm volím } 21 \text{ mm}$$

$$d_2 = 1,6 \cdot d = 1,6 \cdot 16,3 = 26,08 \text{ mm volím } 26 \text{ mm}$$

$$h_1 = 0,5 \cdot d_1 = 0,5 \cdot 21 = 10,5 \text{ mm volím } 10 \text{ mm}$$

$$h_2 \geq 0,5 \cdot d_2 = 0,5 \cdot 26 = 13 \text{ mm volím } 15 \text{ mm}$$

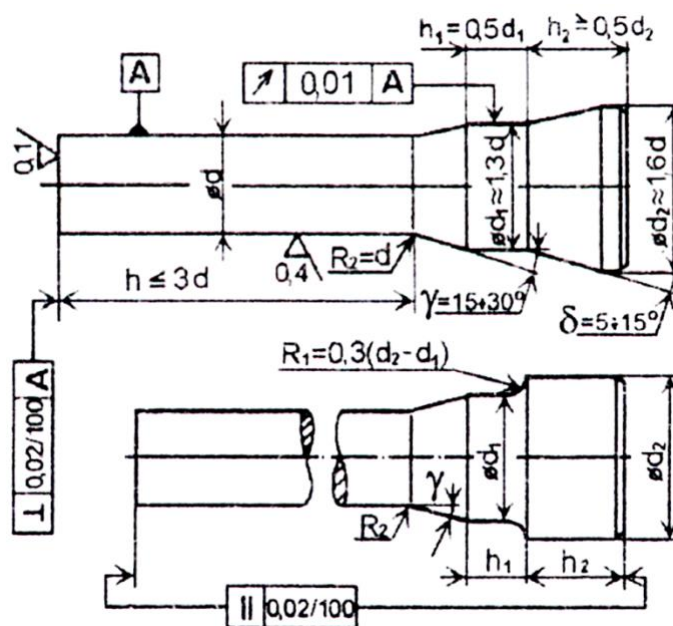
$$h \leq 3 \cdot d = 3 \cdot 16,3 = 48,9 \text{ mm volím } 45 \text{ mm}$$

$$R_2 = d = 16,3 \cong 16 \text{ mm}$$

$$\gamma = 15 \div 30^\circ, \text{ volím } 20^\circ$$

$$\delta = 5 \div 15^\circ, \text{ volím } 10^\circ$$

$$R_1 = 0,3 \cdot (d_2 - d_1) = 0,3 \cdot (26 - 21) = 1,5 \text{ mm}$$



Obr. 5. 2 Schéma průtlačníku [2]

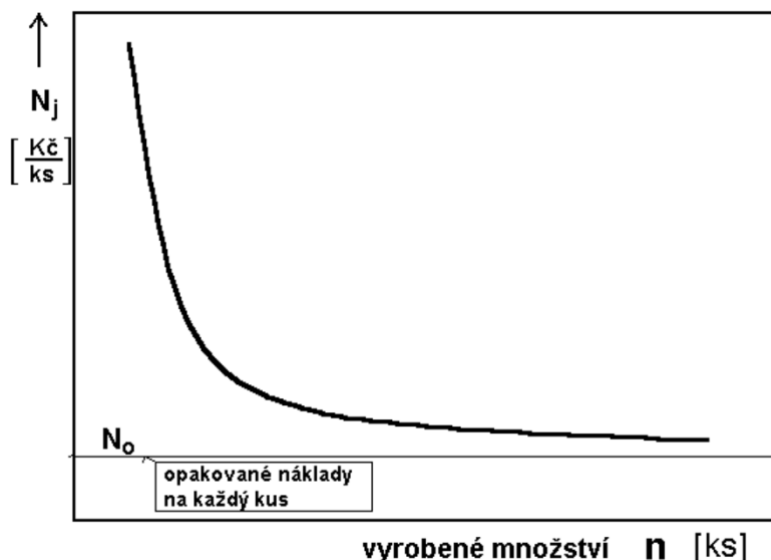
6 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Výroba šroubu radlice pluhu lze v zásadě dodržení přesností a tolerancí vyrobit pomocí třískového obrábění, nebo tvářením za studena. Hlavní nevýhodou třískového obrábění je velké množství odpadního materiálu. U výroby šroubu by odpad činil téměř polovinu objemu polotovaru a kvůli tvarové hlavě by bylo zapotřebí využít buď soustruh s frézku, nebo obráběcí centrum. Z tohoto důvodu je třískové obrábění především využíváno pro kusovou, nebo malosériovou výrobu. Objemové tvářením naopak využívá všechen materiál pro výrobu součásti a tím pádem nevzniká žádný odpad. Právě z tohoto hlediska byla pro výrobu šroubu zvolena technologie tvářením za studena za pomoci pěchování v kombinaci s dopředným protlačováním. Další výhodou oproti obrábění je vyšší produktivita práce využitím tvářecích automatů a automatizovaných linek, které rapidně sníží výrobní časy.

Pro danou součást se z technického hlediska navrhly dvě výrobní varianty A a B. Jako nejvhodnější byla zvolena varianta B. V první operaci této varianty jsou zarovnány čela a zároveň je provedeno předpěchování polotovaru, ve druhé dopředné protlačování dřívku I, ve třetí dopředné protlačování závitového dřívku II a ve čtvrté operaci je provedeno pěchování v uzavřeném pěchovníku pro vytvoření tvarové hlavy. Na základě tvářecí síly 1134 KN byl pro výrobu zvolen postupový tvářecí automat BKA 3 od společnosti Hatebur, který je vhodný pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Do vnitřního prostoru postupového automatu byla navržena sestava nástroje skládající se z jednotlivých kroků.

Z ekonomického hlediska je metoda objemového tvářením za studena značně výhodnější než metoda třískového obrábění, jelikož celkové náklady na výrobu jednoho kusu (materiál, energie a mzdy) jsou nižší. Pořizovací náklady mohou být vyšší než u třískového obrábění, ale s rostoucím počtem vyrobených kusů se tyto náklady snižují.

Pro porovnání metody objemového tvářením a třískového obrábění při sérii 120 000 ks/rok se stanoví potřebné náklady pro výrobu jednoho kusu šroubu.



Obr. 6. 1 Závislost výrobních nákladů na počtu vyrobených kusů [28]

- **Náklady na výrobu šroubu radlice pluhu objemovým tvářením** [27], [28]

1. Přímé náklady na materiál

$$PN_{mater} = S_S \cdot C_M \cdot n_s = 0,0767 \cdot 22,2 \cdot 120\,000 = 204\,328,8 \text{ Kč}$$

Kde: S_S spotřeba materiálu [kg/ks]

C_M cena materiálu [kč/kg]

n_s sériovost součásti [ks/rok]

2. Přímé náklady na mzdy

$$t = t_A + t_B = \frac{t_{A1}}{60} + \frac{t_B}{60 \cdot d_v} = \frac{0,01}{60} + \frac{0,02}{60 \cdot 15000} = 1,66 \cdot 10^{-4}$$

Kde: t_{A1} čas výroby jednoho kusu [Nmin]

t_B přípravný čas na jeden kus [Nmin]

d_v velikost výrobní dávky [ks]

$$PN_{mzdy} = t \cdot M_t \cdot n_s = 1,66 \cdot 10^{-4} \cdot 100 \cdot 120\,000 = 2390,4 \text{ Kč}$$

Kde: t výrobní čas [Nh]

M_t hodinová mzda [Kč/h]

n_s sériovost součásti [ks/rok]

3. Přímé náklady na elektrickou energii

$$PN_{energ} = P \cdot \eta \cdot t_{A1} \cdot C_E \cdot n_s = 53 \cdot 0,7 \cdot 0,01 \cdot 4,61 \cdot 120\,000 = 205\,237,2 \text{ Kč}$$

Kde: P příkon stroje [kWh]

η využití stroje [%/100]

t_{A1} čas výroby jednoho kusu [Nmin]

C_E cena energie [Kč/kWh]

n_s sériovost součásti [ks/rok]

4. Celkové přímé náklady

$$PN_{celk} = PN_{mater} + PN_{mzdy} + PN_{energ} = 204\,328,8 + 2390,4 + 205\,237,2$$

$$PN_{celk} = 411\,956,4 \text{ Kč}$$

5. Přímé náklady na výrobu jednoho kusu:

$$N_{1kus} = \frac{PN_{celk}}{n} = \frac{411\,956,4}{120\,000} = 3,43 \text{ Kč}$$

6. Nepřímé náklady:

$$NN = \frac{N_{1kus} \cdot n \cdot (VR + SR)}{100} = \frac{3,43 \cdot 120\,000 \cdot (350 + 100)}{100} = 1\,852\,200 \text{ Kč}$$

Kde: VR výrobní režie [%]

SR správní režie [%]

7. Variabilní náklady:

$$VN = PN_{celk} + NN = 411\,956,4 + 1\,852\,200 = 2\,264\,156 \text{ Kč}$$

8. Variabilní náklady na jeden kus:

$$VN_{1kus} = \frac{VN}{n} = \frac{2\,264\,156}{120\,000} = 18,86 \text{ Kč}$$

Náklady spojené s provozem a údržbou strojů se volí: $N_{fix} = 500\,000 \text{ Kč}$

9. Celkové variabilní náklady a náklady na nástroje:

$$C_N = VN + N_{fix} = 2\,264\,156 + 500\,000 = 2\,764\,156 \text{ Kč}$$

10. Celkové náklady na jeden kus:

$$C_{N1kus} = \frac{C_N}{n} = \frac{2\,764\,156}{120\,000} = 23,03 \text{ Kč}$$

11. 100% zisk při výrobě součásti za rok:

$$Z_{100\%} = \frac{C_N \cdot r}{100} = \frac{2\,764\,156 \cdot 100}{100} = 2\,764\,156 \text{ Kč}$$

Kde: r rentabilita [%]

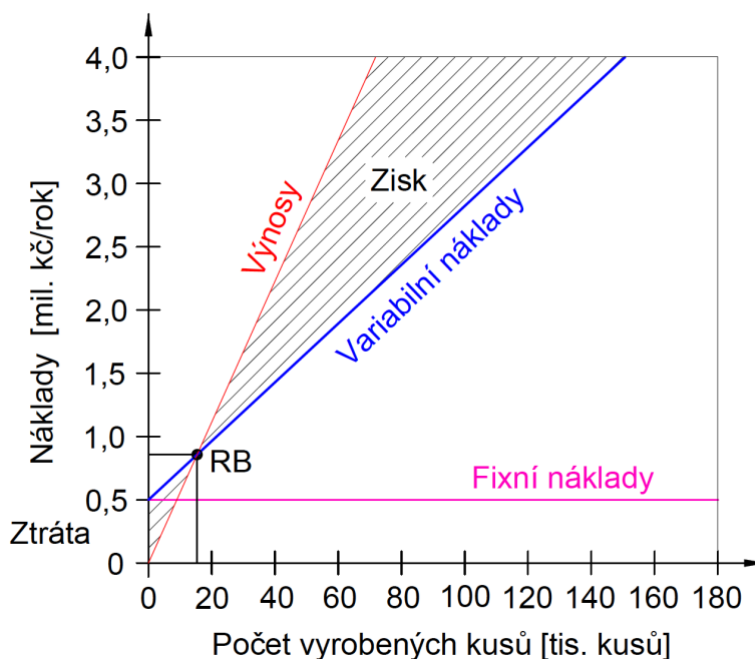
12. Zisk z jednoho kusu:

$$Z_{1kus} = \frac{N_{fix} + VN + Z_{100\%}}{n} = \frac{500\,000 + 2\,264\,156 + 2\,764\,156}{120\,000} = 46,07 \text{ Kč}$$

13. Rovnovážný bod – náklady na vyrovnání výnosů

$$RB = \frac{N_{fix}}{Z_{1kus} - VN_{1kus}} = \frac{500\,000}{46,07 - 18,86} = 18\,376 \text{ kusů}$$

Rovnovážný bod je vyobrazen v grafu na obr. 6.1.



Obr. 6. 2 Náklady pro technologii tváření

- **Výpočet nákladů pro třískové obrábění**

1. Přímé náklady na materiál:

Jako výchozí polotovar pro výrobu šroubu pomocí třískového obrábění je zvolena kruhová tyč KR 25h11 ČSN 42 6510.12 – 14140 x 82

Objem výchozího polotovaru:

$$V_C = \frac{\pi \cdot d_{pol}^2}{4} \cdot h_{pol} = \frac{\pi \cdot 25^2}{4} \cdot 82 = 40\,251,66 \text{ mm}^3$$

Kde: d_{pol} průměr výchozího polotovaru [mm]

h_{pol} délka výchozího polotovaru [mm]

Spotřeba materiálu na jeden kus:

$$S_S = \rho \cdot V_C = 7850 \cdot 40\,251,66 \cdot 10^{-9} = 0,316 \text{ Kg/ks}$$

$$PN_{mater} = S_S \cdot C_M \cdot n_s = 0,316 \cdot 22,2 \cdot 120\,000 = 841\,824 \text{ Kč}$$

Kde: S_S spotřeba materiálu [kg/ks]

C_M cena materiálu [Kč/kg]

n_s sériovost součásti [ks/rok]

2. Přímé náklady na mzdy:

$$t = t_A + t_B = \frac{t_{A1}}{60} + \frac{t_B}{60 \cdot d_v} = \frac{0,75}{60} + \frac{0,15}{60 \cdot 15000} = 12,5 \cdot 10^{-3}$$

Kde: t_{A1} čas výroby jednoho kusu [Nmin]

t_B přípravný čas na jeden kus [Nmin]

d_v velikost výrobní dávky [ks]

$$PN_{mzdy} = t \cdot M_t \cdot n_s = 12,5 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 120\,000 = 150\,000 \text{ Kč}$$

Kde: t výrobní čas [Nh]

M_t hodinová mzda [kč/h]

n_s sériovost součásti [ks/rok]

3. Přímé náklady na elektrickou energii:

$$PN_{energ} = P \cdot \eta \cdot t_{A1} \cdot C_E \cdot n_s = 10 \cdot 0,7 \cdot 0,75 \cdot 4,61 \cdot 120\,000 = 2\,904\,300 \text{ Kč}$$

Kde: P příkon stroje [kWh]

η využití stroje [%/100]

t_{A1} čas výroby jednoho kusu [Nmin]

C_E cena energie [kč/kWh]

n_s sériovost součásti [ks/rok]

4. Celkové přímé náklady:

$$PN_{celk} = PN_{mater} + PN_{mzdy} + PN_{energ} = 841\,824 + 150\,000 + 2\,904\,300$$

$$PN_{celk} = 3\,896\,124 \text{ Kč}$$

Náklady spojené s provozem a údržbou strojů se volí: $N_{fix} = 200\,000 \text{ Kč}$

Celkové přímé náklady $PN_{celk1} = 3\,896\,124 + 200\,000 = 4\,096\,124 \text{ Kč}$

5. Náklady na výrobu jednoho kusu:

$$N_{1kus} = \frac{PN_{celk}}{n} = \frac{4\,096\,124}{120\,000} = 34,13 \text{ Kč}$$

Porovná-li se vypočítané náklady na výrobu jednoho kusu metodou objemového tváření a třískového obrábění, je jasné vidět, že technologie objemové tváření za studena je značně levnější než metoda třískové obrábění. Porovnání přímých je vidět v tabulce 7.

Tab. 7 Porovnání přímých nákladů jednotlivých technologií

Náklady / Technologie	Tváření	Obrábění
Materiál - PN_{mater}	204 328,8 Kč	841 824 Kč
Mzdy – PN_{mzdy}	2 390,4 Kč	150 000 Kč
Energie - PN_{energ}	205 237,2 Kč	2 904 300 Kč
Celkové - PN_{cel}	411 956,4 Kč	3 896 124 Kč
Na jeden kus	3,43 Kč	34,13 Kč

7 ZÁVĚRY

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout vhodnou technologii výroby pro součást šroub radlice pluhu z konstrukční oceli 14 140 vhodnou pro objemové tváření za studena kvůli velké tvařitelnosti. Pro výrobu bylo uvažováno několik možných technologií. Z důvodů poměrně velké sériovosti 120 000 ks/rok, přesnosti, efektivitě, úspoře materiálu a mnoho dalších faktorů byla zvolena technologie objemového tváření za studena zakládající se na protlačování, pýchování a vzájemné kombinaci.

Na základě literární rešerše byly vytvořené dvě technologické varianty výroby A a B, pro které byla zjištěna optimalizace zpevnění, sloužící k rovnoměrnému přetvoření v jednotlivých částech, a pro každou variantu bylo vypočítáno logaritmické přetvoření materiálu s následným zaznamenáním do grafu. Ve variantě A, skládající se pouze ze dvou tvářecích operací, vyšlo poměrně velké logaritmické přetvoření a pro tváření by byla zapotřebí velká tvařecí síla. Proto se pro výrobní postu zvolila varianta B skládající se ze čtyř tvářecích operací a s poměrně rovnoměrným rozložením logaritmického přetvoření. Polotovár byl zvolen drát o \varnothing 16 mm ustřižený na délku 48,6 mm. V první tvářecí operaci byl polotovár předpýchován na průměr \varnothing 16,3 mm při předpýchování došlo k zarovnání čel. Ve druhé operaci došlo za pomoci dopředného protlačování k vytvoření dříku I o \varnothing 12 mm. Ve třetí operaci byl dřík protlačen na závitový dřík II o \varnothing 11,03 mm. V poslední operaci byla zhotovena tvarová hlava šroubu využitím kombinace dopředného protlačování a pýchování.

Pro zvolenou variantu B byly dopočítány, pomocí objemů dílčích částí, veškeré rozměry pro jednotlivé operace, potřebné pro následný návrh rozměrů tvářecích nástrojů. Déle byl vypočítán přetvárný a deformační odpor, který umožnil vypočítat přetvárnou práci a tvařecí sílu $F_c = 1134$ KN, což je rozhodující faktor pro volbu tvařecího stroje. Z důvodu poměrně velké sériovosti 120 000 ks/rok a velikosti tvařecí síly byl zvolen postupový tvařecí automat Hatebur BKA3 o jmenovité síle 1800 KN, čímž je zajištěn klidný a plynulý chod stroje.

Dle zvolené výrobní varianty byl navržen postupový nástroj. Pro druhou tvářecí operaci protlačení dříku I byly stanoveny rozměry a následně byla vytvořena výkresová dokumentace. Z výpočtu pro radiální napětí v průtlačnici vyplývá, že pro danou operaci není zapotřebí objímka kolem průtlačnice.

V poslední části technicko - ekonomickém zhodnocení bylo pomocí výpočtů zjištěno, že výroba objemovým tvářením za studena vyjde o dost lépe jak výroba třískovým obráběním. Při výrobě objemovým tvářením za studena byla cena jednoho kusu vypočítána na 3,43 Kč, zatímco u třískového obrábění byla vypočítána cena 34,13 Kč za jeden kus. Rovnovážný bod u objemového tváření za studena, při kterém se náklady rovnají výnosu, byl vypočítán na 18 376 kusů. Lze předpokládat brzké vyrovnání nákladů a tím docílit zisk.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BABOR, Karel, Jan FIALA a Augustin CVILINEK. *Objemové tváření ocelí*. Praha: SNTL, 1967. Řada strojírenské literatury.
2. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
3. ANTON, Húmar. *Technonogie I.: Technologie obrábění - 1 část*. [online]. Brno: VUT, FSI, Ústav strojírenské technologie, 2003 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-1cast.pdf
4. ALEŠ, Herman. *Lití na vytavitelný model* [online]. Praha, , 1-29 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <http://u12133.fs.cvut.cz/assets/subject/files/32/presne-liti-na-vytavitelny-model.pdf>
5. *SERVO 6,50: PÖTTINGER polonesené pluhy* [online]. In: . s. 24 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: doi:97+212.CS0115
6. COLD AND WARM FORMING TECHNOLOGIES. *SACMA GROUP* [online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.sacmagroup.com/Sites/256/WebExplorer/Products/GuideSacma/GuideSacma2.jpg>
7. Lagus Parts for automotive industry: Díly tvářené za studena. *Lagus* [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <http://www.lagus.cz/obrazky/153acz.jpg>
8. HVH Umělecká slévárna: Odlévání metodou ztraceného vosku. *Hvh* [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://hvh.cz/proces-odlevani-metodou-ztraceneho-vosku-obecne>
9. METALPRECIZ s.r.o. *Metalpreciz* [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.metalpreciz.cz/images/2018/11/07/cnc.jpg>
10. FUKUI BYORA METAL PARTS INNOVATOR: Advantages of cold forming. *Byora* [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: https://www.byora.co.jp/index/en/index/cold-forming/images/coldtech_right01.gif
11. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-720-4248-3.
12. SCHINDLER, Ivo a Petr KAWULOK. *Deformační chování materiálu* [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: http://katedry.fmmi.vsb.cz/Modin_Animace/Opory/02_Metalurgicke_inzenyrstvi/13_Deformacni_chovani_materialu/Schindler_Deformacni_chovani_materialu.pdf
13. *Technologie tváření kovů* [online]. Technická univerzita Liberec Fakulta strojní [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
14. RADIM, Kocich. *Termomechanické procesy tváření* [online]. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2003 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: http://katedry.fmmi.vsb.cz/Modin_Animace/Opory/02_Metalurgicke_inzenyrstvi/11_Termomechanicke_procesy_tvareni/Kocich_Termomechanicke_%20procesy_tvareni.pdf
15. ŽÍDEK, Milan. *Metalurgická tvařitelnost ocelí za tepla a za studena*. Praha: Aleko, 1995. 356 s. ISBN 80-853-4145-X
16. HLUCHÝ, Miroslav. *Strojírenská technologie 2 Polotovary a jejich technologičnost Základy obrábění*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1989. 408 s.
FRANK, Augustin. *Strojírenská technologie 4 Výrobní pomůcky*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1978. 352 s.
17. ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1992. ISBN 80-03-00651-1.
18. *Technologie tváření* [online]. Brno: VUT, FSI, Ústav strojírenské technologie, Odbor tváření kovů a plastů, 2006 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/index.htm

19. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0404-3.
20. KULHÁNEK, František. *Konstrukční oceli československé a zahraniční*. Praha: SNTL, 1970. Řada hutnické literatury. ISBN 04-408-70.
21. DVOŘÁK, Milan, Karel NOVOTNÝ a František GAJDOŠ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2340-4.
22. FELDMANN, Heinz D. *Protlačování oceli: určeno pro technology a konstruktéry*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962.
23. BENEŠ, Milan, Bohumil JEDOVNICKÝ, Miroslav KUZDAS a Bohumil MAROŠ. *Křivky přetvárných odporů ocelí díl I*. vyd. Praha 4: Technický výzkumný ústav hutního průmyslu Poradna pro užití oceli, poradenská příručka, 1982, 362 s.
24. REDIMO [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: https://www.redimo.com/wp-content/uploads/redimo_rebuilding_hatebur_bka-3_gb.pdf.png
25. RUDOLF, Hýsek. *Tvářecí stroje*. 3., upravené a doplněné vydání. Praha: SNTL, 1980.
26. *Hatebur: Reklamní materiály*. Schweiz.
27. ZEMČÍK, Oskar. *Technologická příprava výroby*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-214-2219-X.
28. FOREJT, Milan. *Oborový projekt 2* [online]. Brno, 2003, 94 s. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/h2p_oborovy_projekt_2_forejt.pdf
29. ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky: pro školu a praxi*. Praha: Scientia, 2007. ISBN 978-80-86960-20-3.
30. *Lentus-ocel: 19 830* [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://www.lentus-ocel.cz/19-830>
31. CITACE PRO. Generátor citací [online]. 2021 [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Přetvárná práce	[J]
A ₅	Tažnost	[%]
C _E	Cena energie	[Kč/kWh]
C _M	Cena materiálu	[Kč/kg]
C _N	Celkové variabilní náklady a náklady na nástroje	[Kč]
C _{N1kus}	Celkové náklady na 1 kus	[Kč]
D	Průměr	[mm]
D _o	Výchozí průměr	[mm]
d _v	Velikost výrobní dávky	[Ks]
f	Součinitel tření	[-]
F	Tvářecí síla	[N]
F _c	Celková tvářecí síla	[N]
h	Výška součásti	[mm]
HB	Tvrдость	[-]
h _{beran}	Zdvih beranu	[mm]
h _D	Vztažná výška	[m]
l	Délka	[mm]
L ₁	Výška kontejneru	[mm]
L ₃	Výška redukčního očka	[mm]
M _t	Hodinová mzda	[Kč/h]
n	Exponent zpevnění	[-]
N _{1kus}	Náklady na výrobu 1 kusu	[Kč]
N _{fix}	Fixní náklady na nástroje	[Kč]
NN	Nepřímé náklady	[Kč]
N _{nástroje}	Fixní náklady na nástroje	[Kč]
n _s	Sériovost součásti	[Ks/rok]
PN _{celk}	Celkové přímé náklady	[Kč]
PN _{celk1}	Celkové přímé náklady s fixními náklady u objemového tváření	[Kč]
PN _{energ}	Přímé náklady na elektrickou energii	[Kč]
PN _{mater}	Přímé náklady na materiál	[Kč]
PN _{mzdy}	Přímé náklady na mzdy	[Kč]
R	Poloměr	[mm]
r	Rentabilita	[%]
r ₁	Poloměr dolní podstavy	[mm]
r ₂	Poloměr horní podstavy	[mm]
RB	Rovnovážný bod	[Ks]
R _e	Mez kluzu	[MPa]
R _m	Mez pevnosti	[MPa]
S	Plocha	[mm ²]
SR	Správná režie	[%]
S _s	Spotřeba materiálu	[Kg/ks]
t	Čas	[s]
T	Teplota materiálu	[K]
t _{A1}	Čas výroby 1 kusu	[Nmin]
t _B	Přípravný čas na 1 kus	[Nmin]
V	Objem součásti	[mm ³]
V _c	Celkový objem součásti	[mm ³]
VN	Variabilní náklady	[Kč]
VN _{1kus}	Variabilní náklady na 1 kus	[Kč]

VR	Výrobní režie	[%]
Z _{100%}	100% zisk při výrobě součásti	[Kč]
Z _{1kus}	Zisk z jednoho kusu	[Kč]
α	Redukční úhel	[°]
$\hat{\alpha}$	Úhel kužele v obloukové míře	[rad]
β	Úhel redukčního očka	[°]
γ	Úhel průtlačnice	[°]
ε	Poměrné přetvoření	[%]
η	Využití stroje	[%/100]
μ	Poissonova konstanta	[-]
π	Ludolfovo číslo	[-]
ρ	Hustota oceli	[kg·m ⁻³]
φ	Logaritmické přetvoření	[-]
σ_d	Deformační přetvárný odpor	[MPa]
σ_o	Statická mez kluzu	[MPa]
σ_p	Přirozený přetvárný odpor	[MPa]
σ_{pr}	Napětí v kalibračním očku	[MPa]
σ_{ps}	Střední přirozený přetvárný odpor	[MPa]
σ_r	Radiální napětí	[MPa]
σ_z	Osové napětí	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Součásti vyrobené objemovým tvářením [7]	6
Obr. 1. 1 Pluh [5]	10
Obr. 1. 2 3D model šroubu.....	10
Obr. 1. 3 Odlévání [8]	11
Obr. 1. 4 Třískové obrábění [9].....	11
Obr. 1. 5 Využití materiálu při obrábění, při tvářením [10].....	12
Obr. 1. 6 Objemové tvářením za studena [7]	12
Obr 2. 1 Závislost mechanických vlastností oceli při tvářením za studena [2].....	13
Obr 2. 2 Schéma pružné a plastické deformace skluzem [2]	14
Obr 2. 3 Schéma pružné a plastické deformace dvojčatěním [2].....	14
Obr 2. 4 Stranové protlačování [2].....	15
Obr 2. 5 Zpětné protlačování [2].....	15
Obr 2. 6 Dopředné protlačování [2]	15
Obr 2. 7 Sdružené protlačování [2]	15
Obr 2. 8 Pěchování válce, schéma napětí a deformace [19]	16
Obr 2. 9 Součásti kalíškového tvaru [1].....	17
Obr 2. 10 Součásti čepového tvaru [1].....	17
Obr 2. 11 Nízké rotační součásti s průchozím otvorem [1]	17
Obr 2. 12 Součásti nepravidelných tvarů [1]	17
Obr.3 1 Objemové části šroubu.....	19
Obr.3 2 Náčrt pro výpočet V1	19
Obr.3 3 Náčrt pro výpočet V2.....	19
Obr.3 4 Náčrt pro výpočet V'3	20
Obr.3 5 3D model objemu V3.....	20
Obr.3 6 Náčrt pro výpočet V4.....	20
Obr.3 7 Náčrt pro výpočet V5.....	20
Obr.3 8 Náčrt pro výpočet V6.....	21
Obr.3 9 Technologický postup varianta A	22
Obr.3 10 Průběh logaritmické deformace varianty A	24
Obr.3 11 Technologický postup varianta B	25
Obr.3 12 Průběh logaritmické deformace varianty B	26
Obr.3 13 Závislost přirozeného přetvárného odporu na logaritmickém přetvoření [26]	27
Obr. 4. 1 Hatebur BKA 3 [24]	32
Obr. 4. 2 Závítovačka ZVT12/16 [25]	32
Obr. 5. 1 Schéma průtláčnice [2]	33
Obr. 5. 2 Schéma průtláčnicku [2].....	34
Obr. 6. 1 Závislost výrobních nákladů na počtu vyrobených kusů [28]	35
Obr. 6. 2 Náklady pro technologii tvářením.....	37

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické složení oceli 14 140.3 [23].....	10
Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli 14 140.3 [23]	10
Tab. 3 Příklady vhodných a nevhodných tvarů k protlačování za studena [22]	18
Tab. 4 Tabulka Postup operací pro první variantu	22
Tab. 5 Tabulka Postup operací pro první variantu B	24
Tab. 6 Technické údaje Hatebur BKA3 [26]	32
Tab. 7 Porovnání přímých nákladů jednotlivých technologií	38

SEZNAM PŘÍLOH

1. Materiálový model oceli 14 140 [23] + Závislost logaritmického přetvoření na přetvárném odporu pro teploty 25 °C, 100 °C a 200 °C
2. Technologické údaje Hatebur [26]
3. Parametry pro určení roměrů průtlačnice [2]
4. Parametry pro určení rozměru průtlačníku [2]
5. Materiálový list nástrojové oceli 19 830 [30]

SEZNAM VÝKRESŮ

Sestava nástroje	2021-BP-200616-00
Kusovník	2021-BP-200616-00
Šroub radlice pluhu před válcováním	2021-BP-200616-98
Šroub radlice pluhu	2021-BP-200616-99
Průtlačník 1	2021-BP-200616-45
Průtlačnice 1	2021-BP-200616-14

1. Příloha 1. Materiálový model oceli 14 140 [23] + Závislost logaritmičkého přetvoření na přetvárném odporu pro tploty 25 °C, 100 °C a 200 °C

Technickoekonomický výzkumný ústav hutního průmyslu
Poradna pro užití oceli

Poradenská příručka č. 33

KŘIVKY PŘETVÁRNÝCH ODPORŮ OCELI

díl I.

Ing. Milan Beneš, Ing. Bohumil Jedovnický,
Prof. Ing. Miroslav Kuzdas, CSc, RNDr. Bohumil Maroš

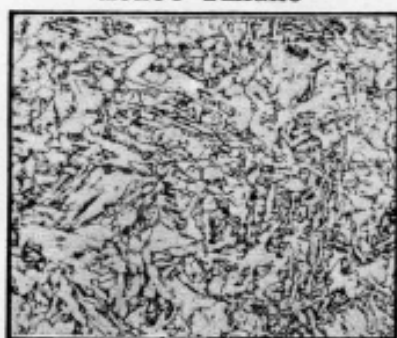
Praha 1982

Křivky přetvárného odporu oceli 14 140

Chemické složení v %							
C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
0,35	0,64	0,25	0,87	0,336	0,11	0,013	0,005

Mechanické vlastnosti	měkce žháno	normalizačně žháno
Pevnost v tahu R_m [MPa]	581,04	775,97
Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	382,08	526,10
Tažnost A_5 [%]	26,85	21,32
Kontrakce Z [%]	38,16	42,26
Tvrđost HB 2,5/187,5	159	224

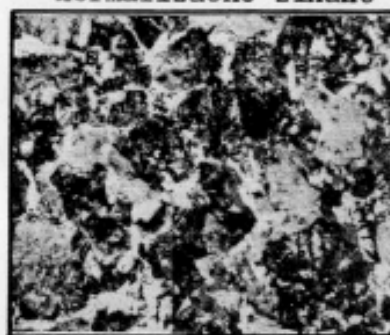
měkce žháno



NITAL

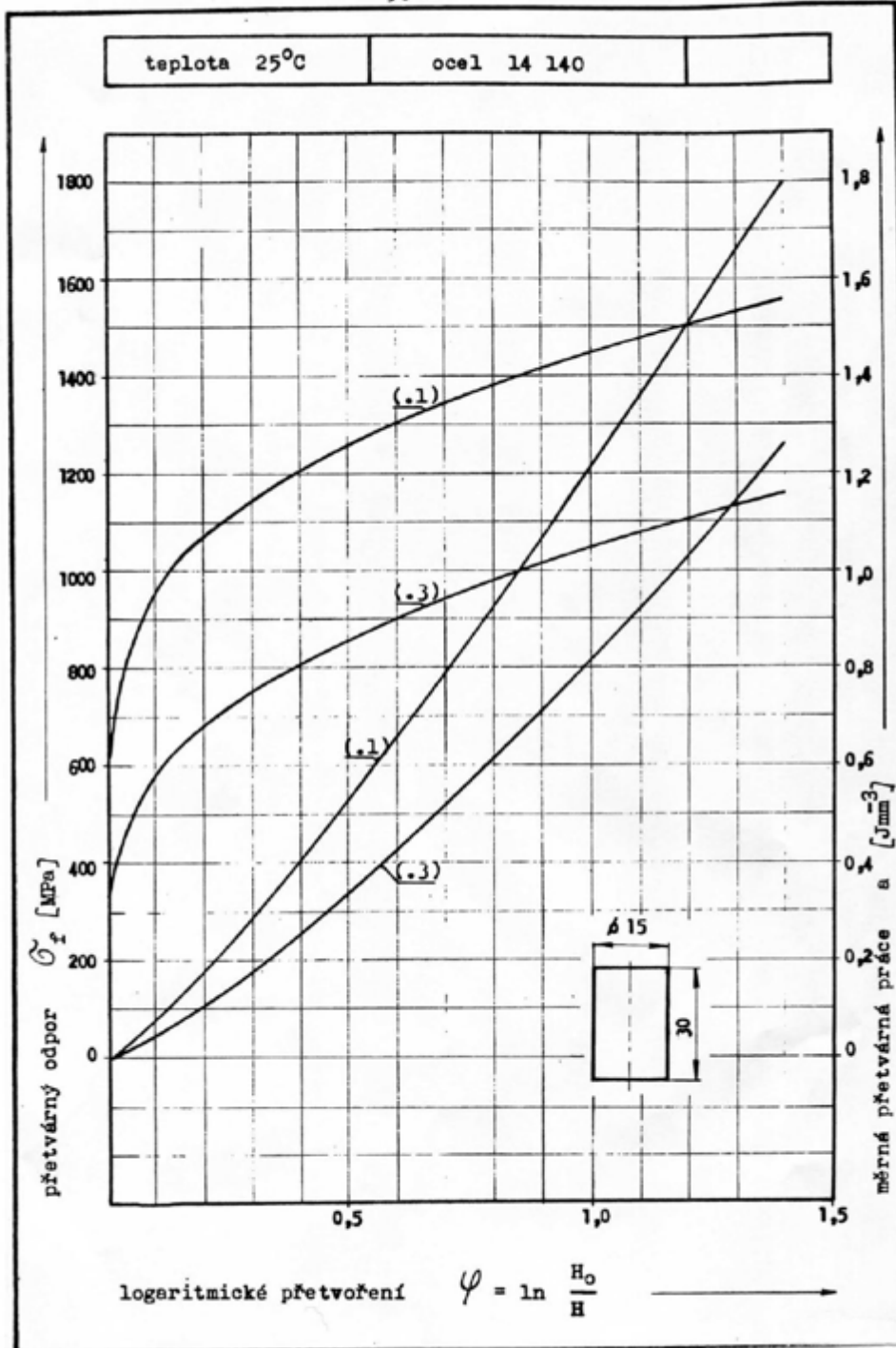
500x

normalizačně žháno



NITAL

500x



Ocel 14 140 měkce žláháno		teplota 25° C	
Aprox. kořivka	Rovnice *)	I_{yx}	J^2
Polytropa	$\tilde{\sigma}_r = 727,47 \varphi^0 + 4329 + 317,53 \text{ [MPa]}$	0,99408	417,707
Polynom 3. stupně	$\tilde{\sigma}_r = 614,42 \varphi^3 - 1568,48 \varphi^2 + 1557,71 \varphi + 413,99 \text{ [MPa]}$	0,99072	20925,009
Polynom 5. stupně	$\tilde{\sigma}_r = 3553,00 \varphi^5 - 11783,18 \varphi^4 + 14337,05 \varphi^3 - 8161,08 \varphi^2 + 2717,30 \varphi + 373,73 \text{ [MPa]}$	0,99438	12694,480
Racionálně lomená funkce $\tilde{\sigma}_r = \frac{F}{D^2} \text{ [MPa]}$	$F = 292,47 \varphi^3 - 359,72 \varphi^2 + 424,08 \varphi + 70,14 \text{ [MN]}$ $D = -4,25 \varphi^4 + 14,13 \varphi^3 - 10,99 \varphi^2 + 9,20 \varphi + 14,92 \text{ [mm]}$	0,99852	70,855
		0,99984	0,004

$$\dot{\varphi}_{str.} = 0,0111 \text{ [s}^{-1}\text{]}$$

$$a = 0,51 \varphi^{1,4329} + 0,32 \varphi \text{ [Jmm}^{-3}\text{]}$$

*) Pozn.: Rovnice platí pro φ v intervalu 0 až 1, J

Ocel 14 1 4 0		měřicí žláho		teplota 100°C	
Aprox. kvivka	Rovnice *)	I_{yx}	σ^2	I_{yx}	σ^2
Polytropa	$\sigma_r = 725,29 \varphi^{0,3617} + 273,55$ [MPa]	0,99105	351,119	0,99105	2808,952
Polynom 3. stupně	$\sigma_r = 743,39 \varphi^3 - 2019,08 \varphi^2 + 1932,80 \varphi + 329,45$ [MPa]	0,98895	1907,165	0,98895	13350,156
Polynom 5. stupně	$\sigma_r = 2707,88 \varphi^5 - 10184,19 \varphi^4 + 14286,73 \varphi^3 - 9444,16 \varphi^2 + 3363,15 \varphi + 287,16$ [MPa]	0,99603	963,662	0,99603	4818,312
Racionálně lomená funkce	$F = 231,53 \varphi^3 - 297,10 \varphi^2 + 430,68 \varphi + 57,28$ [MN]	0,99961	50,521	0,99961	353,646
$\sigma_r = \frac{F \cdot 4000}{D^2 \cdot r}$ [MPa]	$D = 1,20 \varphi^3 + 1,66 \varphi^2 + 5,32 \varphi + 15,02$ [mm]	0,99992	0,006	0,99992	0,039

$$a = 0,53 \varphi^{1,3617} + 0,27 \varphi \quad [\text{Jmm}^{-3}] \quad \varphi_{\text{stř.}} = 0,0112 \quad [\text{s}^{-1}]$$

*) Pozn.: Rovnice platí pro φ v intervalu 0 až 1,35

Ocel 14 140 měkce žlámeno		teplota 200° C		
Aprox. křivka	Rovnice *)	I_{yx}	G^2	δ^2
Polytropa	$\tilde{G}_r = 714,76 \varphi^{0,3963} + 224,43$ [MPa]	0,99726	117,577	940,620
Polynom 3. stupně	$\tilde{G}_r = 688,13 \varphi^3 - 1843,11 \varphi^2 + 1797,86 \varphi + 271,87$ [MPa]	0,99136	1454,102	10178,717
Polynom 5. stupně	$\tilde{G}_r = 2119,66 \varphi^5 - 6245,16 \varphi^4 + 12040,67 \varphi^3 - 8319,59 \varphi^2 + 3120,16 \varphi + 231,20$ [MPa]	0,99828	407,565	2037,827
Racionálně lomená funkce	$F = 246,27 \varphi^3 - 321,85 \varphi^2 + 429,88 \varphi + 44,73$ [kN]	0,99979	28,231	197,617
	$D = 1,10 \varphi^3 + 1,29 \varphi^2 + 6,08 \varphi + 14,94$ [mm]	0,99992	0,005	0,038
$\tilde{G}_r = \frac{F}{D^2} \cdot \pi$ [MPa]				

$a = 0,51 \varphi^{1,3963} + 0,22 \varphi$ [Jmm ⁻³]	$\dot{\varphi}_{stř.} = 0,0122$ [s ⁻¹]
---	--

*) Pozn.: Rovnice platí pro φ v intervalu 0 až 1,39

Poradenské příručky TEVŮH č. 33

Ing. Milan Beneš, Ing. Bohumil Jedovnický,
Prof. Ing. Miroslav Kuzdaš, CSc, RNDr. Bohumil Maroš

KŘIVKY PŘETVÁRNÝCH ODPORŮ OCELI
díl I.

Oponenti: Prof. Ing. A. Farlik, DrSc
Ing. Jindřich Vachtl

Redakce: Ing. Jana Vršínská

Vydal: Technickoekonomický výzkumný ústav hutního průmyslu
Poradna pro užití oceli, Modřanské 18, Praha 4-
Hodkovičky v roce 1982 v řadě poradenských příruček
jako 33. publikaci

Vytiskl: TEVŮH + TOMOS Praha

Stran: 362

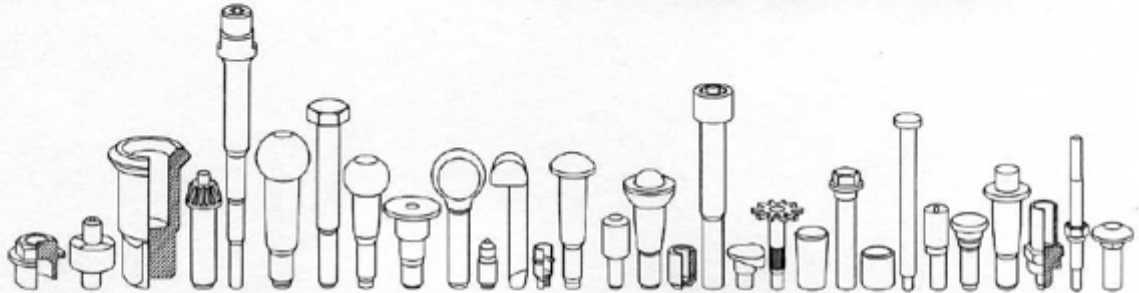
Náklad: 1500 výtisků, vydání první

Typové číslo: 735 212 3207

Vydavatelské povolení: MK 59-011-82

NEPRODEJNÉ

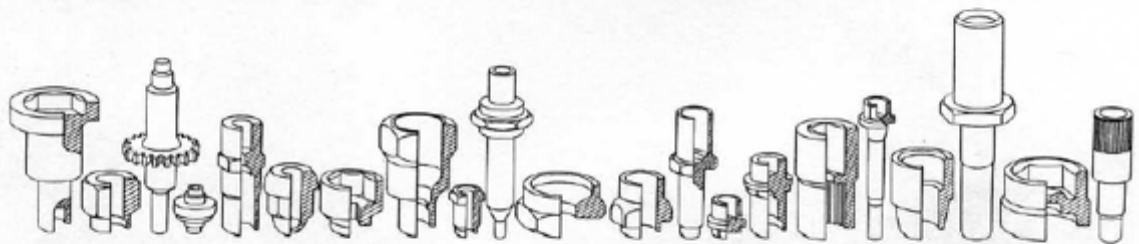
Pracovní rozsahy a technická data tvářecích strojů HATEBUR.



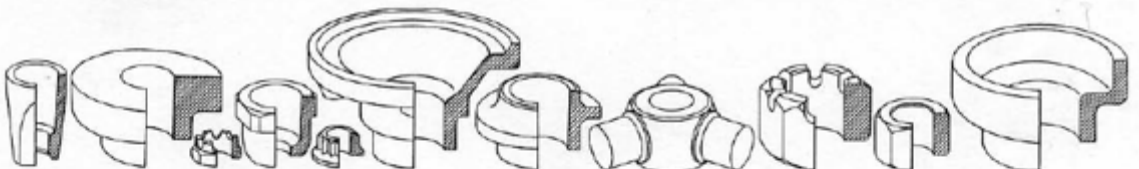
Lis pro tváření za studena «BOLTMATIC»	BKA 2	BKA 3	BKA 4	BKA 5
Největší průměr vylisku	28 mm	40 mm	48 mm	64 mm
Průměr dířku šroubu	6–12 mm	8–16 mm	12–20 mm	16–30 mm
Délka dířku	15–102 mm	20–127 mm	25–160 mm	25–205 mm
Největší průměr drátu	14 mm	20 mm	25 mm	36 mm
Počet tvářecích operací	4	4	4	4
Největší výkon ks/min.	150	100	80	70



Lis pro tváření za studena «POLYMATIC»	PKE10/PKZ1	PKE16/PKZ1½
Největší průměr vylisku	20 mm	32 mm
Největší rozměr klíče šestihranných matic	19 mm	30 mm
Největší průměr drátu	19 mm	30 mm
Největší výkon ks/min.	150	90



Lis pro tváření za studena «COLDMATIC»	AKP 3-5	AKP 4-5	AKP 5-5
Největší průměr vylisku	20 mm	28 mm	38 mm
Největší délka vylisku	90 mm	125 mm	170 mm
Největší průměr drátu	14 mm	20 mm	27 mm
Počet tvářecích operací	5	5	5
Největší výkon ks/min.	200	150	110



Lis pro tváření za tepla «HOTMATIC»	AMP 20	AMP 30	AMP 50	AMP 70
Největší průměr vylisku	35 mm	64 mm	92 mm	145 mm
Největší rozměr klíče šestihranných matic	33,3 mm	56 mm	80 mm	130 mm
Vsázková váha	20–150 g	50–700 g	170–1700 g	400–5000 g
Největší průměr tyče	25 mm	40 mm	50 mm	75 mm
Počet tvářecích operací	3	3	4	4
Největší výkon ks/min.	180	140	100	80

Změny vyhrazeny. Bližší údaje najdete v našich nabídkách.

Arbeitsbereich und technische Daten

		BKA 1	BKA 2	BKA 3	BKA 4	BKA 5 [Ⓞ]
Arbeitsbereich						
Schaftdurchmesser (hochfest)	mm	4–6	6–12	8–16	12–20	16–30
Schlüsselweite bei Sechskantschrauben (hochfest)	max. mm	11	19	24	30	46
Stauch-Durchmesser [Ⓞ]	max. mm	17	28	40	48	64
Schaftlänge	min. ca. mm	15	15	20	25	25
	max. mm	65	102	127	160	205
Drahtdurchmesser (bei 60 kg/mm ²)	max. mm	10	14	20	25	36
Abschnittlänge	max. mm	80	125	150	210	260
Leistungsdaten						
Produktion (Hubzahl stufenlos einstellbar)	Stück/min	80–130	90–150	60–100	50–80	35–70
Gesamt-Presskraft	kN	600	1000	1800	3500	6000
		(60 t)	(100 t)	(180 t)	(350 t)	(600 t)
Leistung Antriebsmotor	kW	10	35	53	80	170
Werkzeuge						
Umformstufen		3	4	4	4	4
Matrizendurchmesser (alle Stufen)	mm	80	100	120	130	175
Stempeldurchmesser (alle Stufen) [Ⓞ]	mm	60	100	120	120	160
Hübe						
Press-Schlitten	mm	130	150	180	270	320
Matrizen-Auswerfer	max. mm	68	105	130	170	215
Stempel-Auswerfer	max. mm	15	30 (60 [Ⓞ])	35 (70 [Ⓞ])	40 (75 [Ⓞ])	95 [Ⓞ]
Masse und Gewichte						
Länge inklusive Motor	mm	2750	3600	4600	6000	8520
Breite inklusive Motor	mm	1700	2200	3750	4000	5500
Höhe	mm	1450	1720	2100	1900	3300
Gewicht, inklusive Motor	ca. t	7,3	12	28	44	116

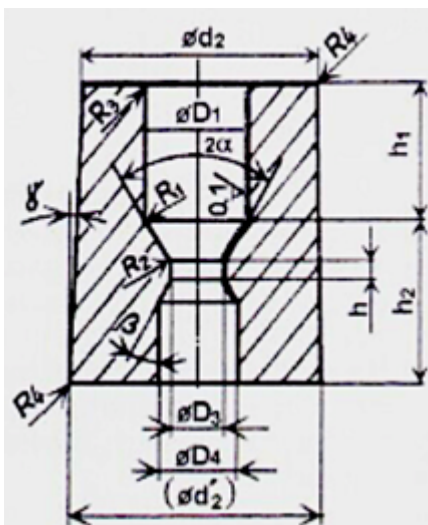
[Ⓞ] Die Konstruktion der BKA 5 unterscheidet sich in einigen Punkten von derjenigen der kleineren BKA-Maschinen. Verlangen Sie die BKA 5-Beschreibung.

[Ⓞ] Bei Kopf- oder Bundteilen mit Schaft, unter idealen Umformbedingungen.

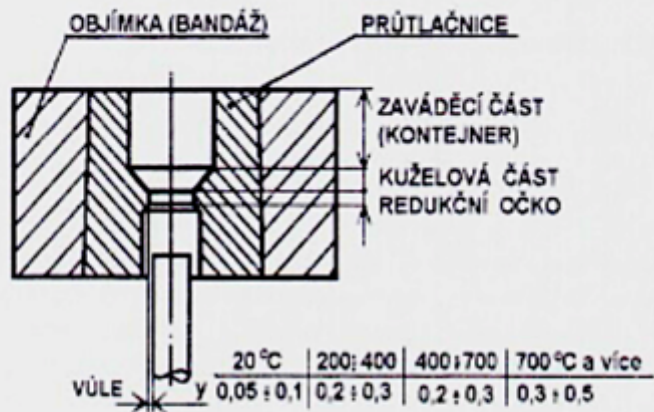
[Ⓞ] Mit diesem Durchmesser kann durch die geöffneten Greiferzangen gefahren werden (gilt bei BKA 1, 2, 3 und 4 für die 2., 3. und 4. Stufe).

[Ⓞ] Mit rotativem Stempel-Auswerfer (siehe separate Beschreibung, Blatt 401 d).

Příloha 3. Parametry pro určení rozměrů průtlačnice [2]



Obr.8.11 Průtlačnice pro dopředné plné protlačování

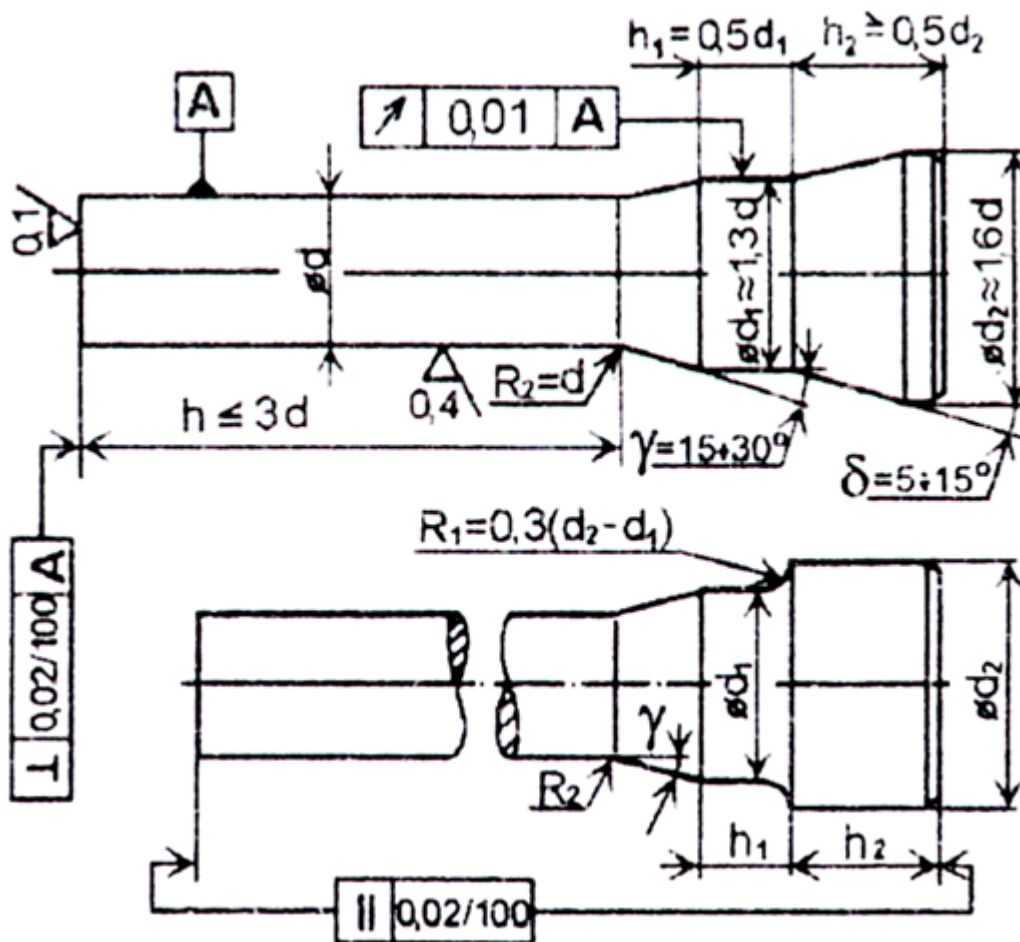


Obr.8.12 Složená průtlačnice s jednou objímkou.

Tab.5 Geometrické parametry průtlačnic pro dopředné protlačování

Teplota tváření	20°C	200 až 400°C	400 až 700°C	700 a více °C
D_4	$D_3 + (0,1 \text{ až } 0,2)$	$D_3 + (0,2 \text{ až } 0,4)$	$D_3 + (0,4 \text{ až } 0,6)$	$D_3 + (0,4 \text{ až } 0,8)$
h	$0,5 \sqrt{D_3}$	2 až 3	3 až 5	5 až 20
2α	30° až 90°	60° až 120°	90° až 120°	90° až 150°
R_1	$(D_1 - D_3)/2$			
R_2	$(0,05 \text{ až } 0,1)D_3$	1 až 2	2 až 4	3 až 10
R_3	asi 0,15 D_1			
H_2	min 0,7 D_1			
γ	1° až 2°			
β	5° až 10°			

Příloha 4. Parametry pro určení rozměru průtlačníku [2]



Příloha 5. Materiálový list nástrojové oceli 19 830 [30]

ČSN	W.-Nr.	Böhler	POLDI
19 830	1.3343	S 600	MAXIMUM SPECIAL MO 55

Chemické složení

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	W	V
19 830	0,8 - 0,9	0,45	0,45	0,035	0,035	3,8 - 4,6	4,5-5,5	5,5-7	1,5-2,2

Doporučené teploty pro tváření a tepelné zpracování

Způsob	Teplota °C	Postup
Žhání ke snížení pnutí	700 - 750°C	1380 Mpa
Žhání na měkko	800 - 840°C	1200 Mpa
Kalení	a) 1200 - 1250°C b) 1190 - 1220°C c) 1150 - 1170°C	ochlazování v oleji ochlazování v solné lázni 500 - 550 °C nebo ochlazování dmých. vzduchem v celém průřezu používaných nástrojů
Popouštění	a) 560 - 580°C b) 550 - 570°C c) 150 - 300°C	min 3x1/2 až 2 hod min 3x1/2 až 2 hod min 1 až 2 hod

Stav	normalizačně žháný	žháný na měkko	Kalený
Tvrdość podle Brinella HB		Max. 270	
Tvrdość HRc			65-66

popouštěcí teplota (°C)	520	540	560	580	600	620
tvrdost HRc	63	65	66	65	64	62