

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA DOLNÍHO TĚLESA OBJEMOVÝM TVÁŘENÍM

PRODUCTION OF BOTTOM BODY BY SOLID FORMING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAKUB KADĚRA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILOSLAV KOPŘIVA

BRNO 2010

ABSTRAKT

Bc. KADĚRA Jakub: Výroba dolního tělesa objemovým tvářením

Tato diplomová práce, která je vypracovaná v rámci navazujícího magisterského studia oboru strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005) předkládá návrh technologie výroby dolního tělesa objemovým tvářením a jeho ekonomické vyhodnocení, obsahující všechny ekonomické náležitosti potřebné k výrobě a ke stanovení konečné ceny výkovku. Práce obsahuje všechny potřebné výpočty a návrhy strojů vzhledem k materiálu zápuštěk a pro požadovanou roční kapacitu 250 000 kusů výkovků. Polotovary pro výrobu výkovku je přířez z tyče kruhového průřezu z oceli 14 220 ČSN 42 5510.

Klíčová slova

Klíkový kovací lis, mzdy, náklady, výkovek, zápuštěk, zápuštěkové kování

ABSTRACT

Bc. KADĚRA Jakub: Production of bottom body by solid forming

This diploma thesis, which has been elaborated within Master's study programme Manufacturing Technology and Management in Industry (2303T005), submits a production proposal of production of bottom body by solid forming and its economical evaluation containing all the economical essentials needed in order to produce and specify the final price of a forging. This thesis takes in all the necessary calculations and machinery proposals according to the material of dies and to annual capacity of 250 000 pieces of forgings requested. Semi-finished product for the manufacture of forging is cut size of bars of circular cross-section of steel 14 220 ČSN 42 5510.

Key words

Crank forging press, wages, costs, forging, die, drop forging

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KADĚRA, J. *Výroba dolního tělesa objemovým tvářením*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 71 s.
Vedoucí diplomové práce Ing. Miloslav Kopřiva.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Výroba dolního tělesa objemovým tvářením vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum: 28.5.2010

Bc. Jakub Kaděra

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Miloslavu Kopřivovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt	5
Prohlášení	7
Poděkování	9
Obsah	11
1. Úvod	14
2. Literární studie	15
2.1. Volné kování	15
2.2. Zápustkové kování	15
2.2.1. Zápustkové dutiny-dělení	15
2.2.2. Rozměry zápustek	16
2.2.3. Materiál zápustek	16
2.2.4. Výronková drážka a určení jejich rozměrů	17
2.2.5. Upínání zápustek	18
2.2.6. Smrštění	18
2.2.7. Vyhazovače	18
2.3. Charakteristika a konstrukce výkovků	19
2.3.1. Základní charakteristiky výkovků	19
2.3.2. Technologické přídavky a tolerance	19
2.3.3. Kovací úkosy	20
2.3.4. Poloměry zaoblení	20
2.3.5. Dělicí rovina	20
2.3.6. Předkování děr	21
2.3.7. Třídění výkovků do tříd	21
2.3.8. Ideální předkovek	23
2.4. Ohřev materiálu	23
2.4.1. Ohřívací zařízení materiálu	23
2.4.2. Opal	24
2.5. Tvářecí stroje a nástroje	24
2.5.1. Volba kovacího stroje	24
2.5.2. Lis versus buchar	24
2.5.3. Kovací válce	25
2.6. Dokončovací operace	25
2.6.1. Ostřihování výkovků	25
2.6.2. Rovnání výkovků	25
2.6.3. Kalibrování výkovků	26
2.7. Údržba a životnost zápustek	26
2.7.1. Vložkování zápustek	26
2.7.2. Mazání zápustek	26
2.7.3. Chlazení zápustek	27
2.7.4. Metody zvyšování životnosti zápustek	27
2.8. Počítačová podpora kování	28
2.8.1. Simulace	28

3. Návrh technologie	28
3.1. Zhodnocení zadaných parametrů materiálu	28
3.2. Značení výkovku podle složitosti jeho tvaru	29
3.3. Přídavky na obrábění	29
3.4. Technologické přídavky, mezní úchytky a tolerance rozměrů	29
3.5. Varianty umístění výkovku v zápustce	30
3.6. Konstrukce ideálního předkovku	30
3.7. Stanovení hmotnosti výkovku	38
3.8. Určení rozměrů polotovaru	40
3.9. Dělení výchozího polotovaru	41
3.10. Návrh lisu a potřebná tvářecí síla	43
3.10.1. Výpočet tvářecí síly dle Rebelského	43
3.10.2. Výpočet tvářecí síly dle nomogramu firmy ŠMERAL	44
3.10.3. Výpočet tvářecí síly dle nomogramu ČSN 22 8306	45
3.10.4. Porovnání výsledků tvářecích sil	47
3.11. Návrh rozměrů a tvaru výronkové drážky	50
3.12. Výpočet síly na ostřížení výronku	50
3.13. Volba ostřihovacího stroje	51
3.14. Návrh a technologické parametry zápustek	52
3.14.1. Minimální vzdálenost od okraje a mezi dutinami zápustky ...	53
3.15. Ohřev polotovaru a předeřev zápustek	55
3.16. Vyhazování výkovku	56
3.17. Mazání zápustek	56
3.18. Technologický postup výroby výkovku	57
4. Ekonomické hledisko	57
4.1. Náklady na materiál výkovku	57
4.1.1. Zjištěné a vypočítané vstupní parametry	57
4.1.2. Počet přířezů z jedné tyče	58
4.1.3. Počet tyčí pro požadovanou roční kapacitu	58
4.1.4. Přímé náklady na materiál polotovaru pro celou výr. dávku ...	58
4.1.5. Přímé náklady materiálu na jeden kus výkovku	59
4.1.6. Stupeň využití materiálu	59
4.1.7. Vratný odpad materiálu pro roční výrobní dávku	59
4.2. Kapacitní propočty	60
4.2.1. Technologický postup se strojními časy	60
4.2.2. Efektivní časový fond	60
4.2.3. Skutečná výrobní kapacita	60
4.3. Náklady na mzdy	61
4.3.1. Mzda na kus	61
4.4. Ostatní přímé náklady	61
4.4.1. Náklady na elektrickou energii	61
4.5. Nepřímé náklady	62
4.6. Předpokládaný zisk	62
4.7. Výsledná cena hotového výkovku za kus	62
4.8. Výsledná tabulka ekonomických údajů	63
4.9. Analýza bodu zvratu	63
4.9.1. Tržby	63
4.9.2. Náklady	63
4.9.3. Výrobní kritické množství	64

5. Závěr	65
Seznam použitých zdrojů	66
Seznam použitých zkratk a symbolů	68
Seznam příloh	71

1. ÚVOD

Technologie tváření kovů je jedna z nejproduktivnějších technologií ve strojírenském průmyslu. Během procesu tváření je materiál vlivem účinku vnějšího zatížení uveden do plastického stavu, ve kterém mění svůj tvar a vlastnosti, aniž by došlo k porušení jeho soudržnosti. Tvářené součásti se nejčastěji používají v automobilovém a leteckém průmyslu. Mezi technologie objemového tváření patří i kování. Součást vyrobená kovářím se nazývá výkovek. Kování je technologie velmi produktivní, hospodárná a perspektivní. Ve srovnání s obráběním je odpad materiálu zhruba třetinový a vlákna v materiálu nejsou narušena. Při zápusťkovém kování se jako kovací stroje běžně užívají klikové lisys nebo buchary. Výkonnost strojního zařízení je velká. Výrobní procesy lze automatizovat, čímž se výrazně snižují výrobní náklady a zkracují se výrobní časy. V dnešní době je možno za podpory softwaru modelovat tvářecí proces za předem vymezených podmínek a získat tak matematický popis termomechanických vlastností tvářeného materiálu. Touto simulací eliminujeme případné nedostatky před samotným kovářím procesem.

2 LITERÁRNÍ STUDIE

2.1. Volné kování

Technologie volného kování je způsob objemového tváření za tepla. Touto technologií lze vyrobit výkovky od hmotnosti několika kilogramů až po velké několika tunové součásti. Volné kování se provádí buď strojně nebo klasicky ručně na kovadlině kovářským nástrojem, nejčastěji kladivem. Materiál se předehtívá v pecích nebo kovářských výhních. Strojní volné kování je dnes mnohem rozšířenější a má větší význam než ruční kování. Polotovarem je slévárenský ingot nebo materiál, který prošel operací válcování. Charakteristické znaky volného kování jsou především:

- získání jakostních výkovků s lepšími vlastnostmi
- turbulentní charakter deformace, tím se zabezpečuje poškození dendritické struktury při menších úběrech
- touto technologií je možno tvářet velké výkovky o hmotnostech v řádech desítek a stovek tun
- víceúčelové tvářecí stroje a nástroje, čímž se snižují výrobní náklady
- značné materiálové přídavky

2.2. Zápustkové kování

2.2.1. Zápustkové dutiny-dělení

Dutina zužovací – v zužovací dutině se přemísťuje kov ve směru podélné osy. Kove se jedním úderem bez pootočení a materiál se v některých částech redukuje a v jiných pěchuje.

Dutina rozdělovací otevřená – v této dutině se materiál přemísťuje ve směru podélné osy se současným napěchováním a redukcí v příčném řezu. Kove se na 2 – 4 zdvihy beranu s pootočením o 90°.

Dutina tvarovací – v dutině tvarovací se materiál přemísťuje ve směru osy. Dutina se používá k tvarování materiálu na tvar obrysu konečného výkovku v dělicí rovině. Kove se bez pootočení na jeden až dva zdvihy beranu.

Dutina oddělovací – slouží k odseknutí hotového výkovku.

Dutina prodlužovací – tato dutina může být uzavřená nebo otevřená a dochází v ní k redukcí původního průřezu za současného zvětšení délky předkovku. Při kování se posunuje materiál za současného otáčení kolem podélné osy.

Dutina pro otáčivé kování (roller) – použití této dutiny je především pro předkování osově symetrických výkovků, pro které má předkovek podobný kruhový průřez.

Dutina ohýbací – je používána k ohýbání základního polotovaru nebo výjimečně k ohnutí hotového ostříženeho výkovku. Je třeba dbát na to, aby byl polotovar situován pokud možno ve vodorovné poloze a byl podepřen na dvou místech.

2.2.2. Rozměry zápusťek

Vnější rozměry zápusťek jsou konstruovány vzhledem k upínacím možnostem stroje, na kterém se bude provádět kovací proces. Při stanovování rozměrů dutiny je třeba dbát na určité faktory. Jsou to zejména rozměr výkovku a jeho výronku, jakost materiálu výkovku, hloubka dutiny, předpokládaný počet použití zápusťky, velikost dosedacích ploch, upínání do lisu nebo bucharu, minimální vzdálenost mezi dutinami a minimální vzdálenost dutiny od okraje zápusťky.

2.2.3. Materiál zápusťek

Vhodnou volbou materiálu výrazně prodloužíme životnost zápusťky. Zápusťky jsou vystavovány měrnému tlaku někdy ve formě rázů a cyklickému působení vysokých teplot někdy až kolem 500 °C. Proto je nutné volit materiál houževnatý s odpovídající tvrdostí a pevností zejména v oblasti vyšších teplot. Jako materiál zápusťek se používají legované nástrojové oceli nejčastěji třídy 19 dle ČSN. Chemické přísady v oceli jsou molybden, nikl, chrom, vanad, wolfram. První dva zmiňované prvky zvyšují odolnost vůči vysokým teplotám a zbylé zvyšují především tvrdost a prokalitelnost. Nejběžněji používané oceli na výrobu zápusťek a zápusťkových vložek jejich charakteristika a použití jsou uvedeny v tab. 2.1.

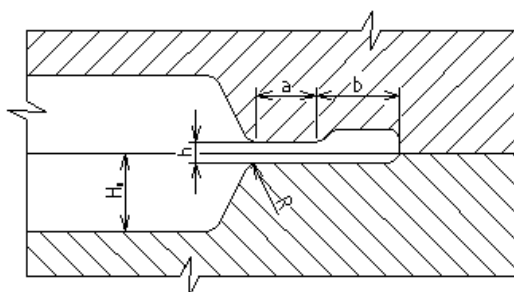
Tab. 2.1: Legované zápusťkové oceli, značení dle ČSN

OCEL	CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI OCELI	DOPORUČENÉ POUŽITÍ OCELI
19 103	malá pevnost za tepla, odolné proti úderům	menší a méně namáhané zápusťky s tvrdším povrchem a mělkou dutinou
19 132	malá pevnost za tepla, rychlé opotřebení, odolné proti úderům	
19 152	malá pevnost za tepla, velká houževnatost, odolné proti úderům	
19 423	malá pevnost za tepla, dobrá houževnatost, odolné proti tlaku a opotřebení	
19 552	dobrá pevnost za tepla, odolné proti tlaku, úderu, opotřebení, tepelné únavě	malé vložky a zápusťky při větším tepelném namáhání pro buchary a lis
19 642	odolné proti změnám teplot, opotřebení, úderu, tlaku, tepelné únavě	zápusťky všech velikostí s velkou trvanlivostí pro všechny druhy kovacích strojů
19 650	dobrá pevnost za tepla, odolné proti tlaku, úderu, opotřebení	malé, střední a velké zápusťky s větší trvanlivostí pro kování ocelí i neželezných kovů, vložky
19 662	dobrá pevnost za tepla, velká houževnatost, odolné proti změnám teplot	zápusťky pro buchary s hlubokou dutinou s pevností pod 1300 MPa, vložky a razníky pro vodorovné kovací lis

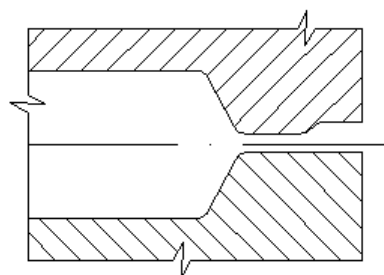
19 663	velká houževnatost, odolné proti změnám teplot, popuštění, tepelné únavě	zápustky s pevností nad 1300 MPa, s hlubokou a tvarově členitou dutinou, vložky a razníky pro vodorovné kovací lisy
19 720	velká pevnost za tepla, odolné proti tepelné únavě	malé zápustky, vložky a trny do velkých zápustek
19 721	velká pevnost za tepla, odolné proti tepelné únavě, dobrá houževnatost	
19 723	velká pevnost za tepla, dobrá houževnatost	
19 740	dobrá pevnost za tepla, dobrá houževnatost, odolné proti opotřebení a tepelné únavě	malé zápustky pro šrouby, matice, nýty, kde stačí nižší pevnost za tepla

2.2.4. Výronková drážka a určení jejich rozměrů

Výronková drážka se konstruuje okolo dutiny zápustky v dělicí rovině. Slouží pro odvod přebytečného kovu. Existují 2 základní druhy drážek a to uzavřené (obr.2.1) a otevřené (obr.2.2). Uzavřené drážky se používají především u bucharů a otevřené u klikových lisů. Výronková drážka je tvořena tzv. brzdícím můstkem, což je vlastně zúžení výronkové drážky, který zvyšuje odpor proti vytečení kovu a tím napomáhá lepšímu vyplnění zápustky materiálem. Rozměry výronkové drážky stanovují výpočtové vztahy (2.1), (2.2).



Obr.2.1: Uzavřená drážka pro buchar [6]



Obr.2.2: Otevřená drážka pro lis [6]

Výpočtový vztah pro tloušťku výronku:

$$h = 0,015 \cdot \sqrt{S_D} \quad (2.1)$$

Výpočtový vztah přechodu(zaoblení) dutiny zápustky do výronkové drážky:

$$R = \frac{\sqrt{S_D}}{200} + 0,04 \cdot H_D \quad (2.2)$$

2.2.5. Upínání zápustek

Způsoby upínání závisí především na volbě kovacího stroje a velikosti zápustky. Upínání při kování na lisu a bucharu jsou odlišné. Na svislých klikových lisech se zápustky upínají do držáku zápustek, kde horní a spodní část držáku je upevněna šrouby ke stolu lisu nebo k beranu lisu. Pokud má zápustka menší rozměry než držák zápustky, je třeba tuto vůli vymezit distančními vložkami (mezerníkama). Na bucharech je upínání horního a spodního nástroje zápustky stejné. Provádí se pomocí rybiny (kořen zápustky), do rybinové drážky v beranu. Proti bočnímu posuvu se používají klíny. Proti axiálnímu posuvu je zápustka zabezpečena perem, které se umísťuje do boční drážky.

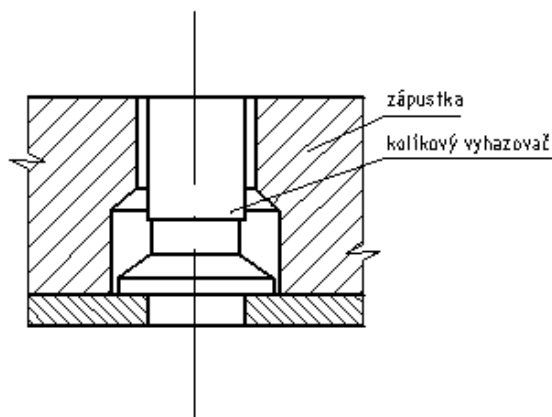
2.2.6. Smrštění

Vlivem tepelné roztažnosti dochází při ohřevu materiálu v zápustce ke změně jeho objemu, konkrétně k rozpínání a zvětšení objemu. Naopak při chladnutí prochází materiál smršťováním, proto je nutné s tím počítat při návrhu zápustky. Ke stanovení hodnoty délkového smrštění použijeme tabulkové procentuální hodnoty, které jsou stanoveny dle kovaného materiálu nebo výpočtový vztah (2.3). Další parametry, které ovlivňují smrštění jsou kromě materiálu ještě kovací teplota a v neposlední řadě tvar výkovku.

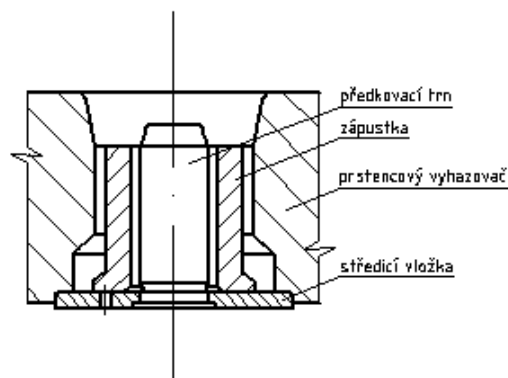
$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot (t_1 - t_0) \quad (2.3)$$

2.2.7. Vyhazovače

Při zápustkovém kování dochází kulpívání materiálu (výkovku) v dutině zápustky, které je ovlivněno hloubkou dutiny, její drsností, členitostí výkovku, úkosa, radiusy, mazáním zápustky a jejím provozním opotřebením. Vyhazovače umožňují snazší vyjímání výkovků ze zápustky a jsou vyrobeny zpravidla z nástrojových ocelí. Ve stroji může být vyhazovač umístěn na dvou místech a proto rozdělujeme vyhazovače dle umístění na horní nebo spodní a dle tvaru vyhazovače na kolíkové (obr.2.3) a prstencové (obr.2.4). Prstencové vyhazovače se používají pro výkovky se zahloubením ve střední části výkovku. Průměr předkovacího trnu se stanoví s ohledem na velikost přípustných tlaků v dosedacích plochách. Kolíkové vyhazovače se používají jako středové, mimostředové a umístěné v ploše výronku. Dle tvaru výkovku se navrhne způsob umístění.



Obr. 2.3: Kolíkový vyhazovač [9]



Obr. 2.4: Prstencový vyhazovač [9]

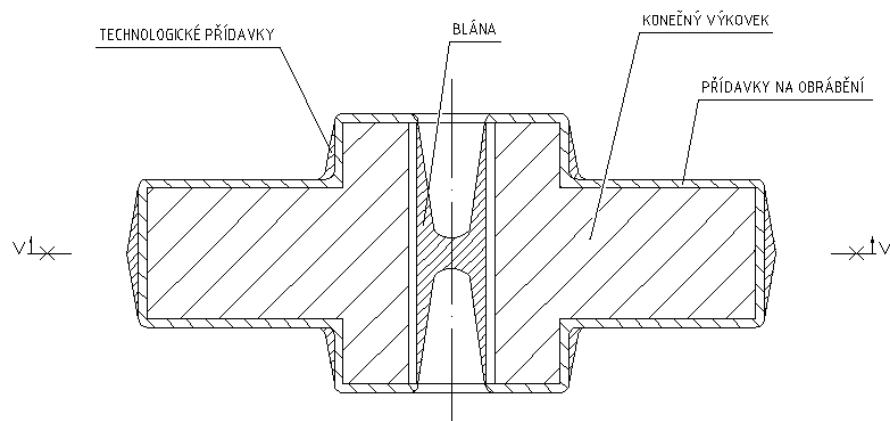
2.3. Charakteristika a konstrukce výkovků

2.3.1. Základní charakteristika výkovků

Výkovky jsou součásti vyrobené metodou kování nejčastěji na klikových lisech nebo bucharech. Tato metoda se používá k zhotovení finálních výrobků nebo polotovárů, které jsou dále opracovávány. Používá se tam, kde nelze použít válcování z důvodů velké spotřeby materiálu nebo pevnostních charakteristik materiálu. Výkovky se dělí na výkovky zápuskové a na výkovky zhotovené volným kovááním. Při navrhování výkovků se používají na výkresech přídávky materiálu, které se dělí na technologické přídávky a přídávky na obrábění. Mezi technologické přídávky patří například úkosalby, blány, zaoblení,

2.3.2. Technologické přídávky a tolerance

Přídávky na výkovkách jsou navrhovány z důvodu dalšího opracování a k docílení požadované přesnosti, jmenovitých rozměrů a drsnosti povrchu. Je třeba zvážit, které plochy je třeba dále obrábět a které ne, aby bylo následně obráběno co nejméně ploch. Nejčastěji se volí přídávky na obrábění na funkčních plochách výkovku. Dále se pak přídávky používají na zkvalitnění povrchu výkovku po samotném kovací proces, kdy na povrchu výkovku mohou vznikat vady jako například trhliny, rozválcované bubliny nebo oduhličená vrstva. Velikosti přídávků nám určuje norma ČSN 42 9030. Mezi technologické přídávky patří úkosalby bočních ploch, zvětšení tloušťek stěn, různého žebrování a dna výkovků. V některých případech, kdy má výkovek například průchozí otvor a nelze tento výkovek běžným způsobem vykovat se používá technologický přídavek tzv. blána, která se po ukončení kovacího procesu spolu s výrobkem odstříhne. Přídávky jsou zobrazeny na obrázku (2.5). Aby bylo možné tolerance jednoznačně určit, je v normě zavedeno třídění výkovků dle složitosti tvaru, k nimž jsou přiřazeny stupně přesnosti pro jednotlivé dílce.



Obr.2.5: Výkovek s přídávky [6]

2.3.3. Kovací úkosy

Úkosy jsou velice důležitý prvek při návrhu výkovku. Slouží nám zejména pro snadnější vyjímání výkovku z forem (zápustek). Navrhují se na svislých plochách výkovků, což jsou zde plochy rovnoběžné s pohybem zápustky. Úkosy vnitřních stěn výkovku jsou větší než na stěnách vnějších. Vnější svislé plochy výkovku se uvolňují od stěn dutiny během chladnutí a smršťování, naopak vnitřní stěny výkovku svírá. Velikost úkosů se volí především dle velikosti a tvaru ploch, obvykle od 3° do 10° . Jejich přesné použití určuje norma a najdeme je ve strojnických tabulkách. U kování na bucharech se navrhují úkosy větší, protože nejsou vybaveny vyhazovačem.

2.3.4. Poloměry zaoblení

Zaoblení hran a přechodů na výkovku se provádí tak, aby kov v zápustce rovnoměrně zatékal. Ostré hrany v zápustce by mohli působit jako vrub, v nichž by docházelo ke koncentraci napětí a důsledkem tohoto procesu by se mohla zápustka poškodit. Hodnoty zaoblení hran a přechodů by se měli volit v dostatečné velikosti, protože tím snížíme sílu při kování na lisu nebo zmenšíme počet úderů bucharu. Přesné hodnoty jsou závislé na poměru výšky a průměru a jejich odpovídající hodnoty najdeme opět v tabulkách.

2.3.5. Dělicí rovina

Je rovina mezi zápustkami, ve které se stýká horní a spodní díl zápustky. Tato rovina je důležitá pro návrh výronkové drážky, která se do ní umísťuje. Poloha dělicí roviny je volena tak, aby se co nejlépe vyplnila spodní i horní dutina zápustky materiálem. Dělicí rovina se též navrhuje s ohledem na snadné vyjmutí výkovku. Při návrhu je třeba se držet určitých zásad. Rozdělení výkovku má být symetrické, sníží se tím spotřeba materiálu a zvýší se kvalita stříhu při

ostřihování výronku. Pakliže výkovek není symetrický, umístí se vyšší část výkovku do horního nástroje zápustky. Buchar má vyšší zatékavost do horní části zápustky. Dělicí rovina by měla usnadňovat tok materiálu a dělicí rovinu je třeba volit s ohledem na vzájemné vedení obou dílů zápustek.

2.3.6. Předkování děr

U výkovků, které mají průchozí otvor, nelze tento otvor vykovat bez předkování. Tady se používá technologických přídavek blan. Otvor se pouze předkove a následně po samotném kování se blána prostřihne. Blána musí mít určitou předem danou tloušťku. Příliš tlustá blána ztěžuje děrování a naopak moc tenká blána způsobí rychlé napěchování příslušných výstupků v dutině zápustky a zapříčiní nadměrné sevření výkovku. Tloušťku blány se stanoví dle vzorce (2.4).

Výpočtový vztah pro tloušťku blány:

$$s = 0,45 \cdot \sqrt{d - 0,25 \times h - 5} + 0,6 \cdot \sqrt{h} \quad (2.4)$$

2.3.7. Třídění výkovků do tříd

Existuje několik způsobů členění výkovků do jednotlivých tříd. Především podle jeho tvaru nebo způsobu výroby. Norma udává značení výkovků dle složitosti jeho tvaru 5- místným číslem kde:

Tvarový druh: XXXX – X

- 4 výkovky kruhového průřezu plné
- 5 výkovky kruhového průřezu duté
- 6 výkovky hranolovitých tvarů plné i duté
- 7 výkovky kombinovaných tvarů plné i duté
- 8 výkovky s ohnutou osou
- 9 výkovky složitých tvarů s přímou dělicí plochou
- 0 výkovky s lomenou dělicí plochou

Tvarová třída: XXXX – X

- 1 konstantní průřez
- 2 kuželovité (jehlanovité, klínovité)
- 3 jednostranně osazené
- 4 oboustranně osazené
- 5 osazené s kuzelem (jehlanem, klínem)
- 6 prosazené
- 7 kombinované
- 8 kombinované s kuzelem (jehlanem, klínem)
- 9 členité (u tvarového druhu 8 – výkovky háků)
- 0 neobsazeno

Tvarová skupina: XXXX – X

Tvarová podskupina: XXXX – X

Zápustkové výkovky, které přesahují stanovený maximální poměrovou na sobě závislých veličin, se označují podle jednotlivých vzájemných poměrů čísly 1 až 9. Zápustkové výkovky, které nepřesahují stanovený maximální poměr dvou na sobě závislých veličin se označují číslem 0.

- 1 přesah v poměru $L : B(D)$ nebo $H : B(D)$
- 2 přesah v poměru $H : H_1 (D : D_1)$
- 3 přesah v poměru $B : B_1$
- 4 přesah v poměru $F : F_1$
- 5 přesah v hloubce dutiny $h : d$ nebo úhlu listů lopatek β
- 6 přesah v tloušťce dna nebo blány H_1
- 7 přesah v tloušťce stěny s nebo velikosti rozvidlení $l : b$
- 8 přesah v zaoblení přechodů a hran R, r
- 9 kombinace několika přesahů

Technologické hledisko: XXXX – X

- 1 výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy – souměrné
- 2 výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy – nesouměrné
- 3 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu – souměrné
- 4 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu – nesouměrné
- 5 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu – s ozubením
- 6 výkovky zhotovené na vodorovných kovacích lisech – souměrné
- 7 výkovky zhotovené na vodorovných kovacích lisech – nesouměrné
- 8 výkovky zhotovené na vodorovných kovacích lisech – s ozubením
- 9 výkovky s více dělicími plochami
- 0 neobsazeno

Dále se dělí výkovky dle stroje na kterém byly vykovány takto:

Zápustkové výkovky kované bucharem:

- I.skupina - výkovky s rovnou protáhlou osou
- II.skupina – výkovky s prohnutou osou
- III.skupina – výkovky s výčnělky
- IV.skupina – výkovky rozvidlené nebo s rozvidlením
- V.skupina – výkovky s kruhovým nebo čtvercovým půdorysem nebo blíží se tvarem
- VI.skupina – výkovky se složeným tvarem

Zápustkové výkovky kované na klikovém lisu:

- I.skupina – výkovky s kruhovým nebo čtvercovým půdorysem nebo blíží se tvarem
- II.skupina – výkovky s dlouhou osou
- III.skupina – výkovky s ohnutou osou
- IV.skupina – výkovky vyráběné sdruženým kovááním na zápustkovém lisu a na jiném kovacím zařízení

Zápustkové výkovky kované na vodorovném kovacím lisu:

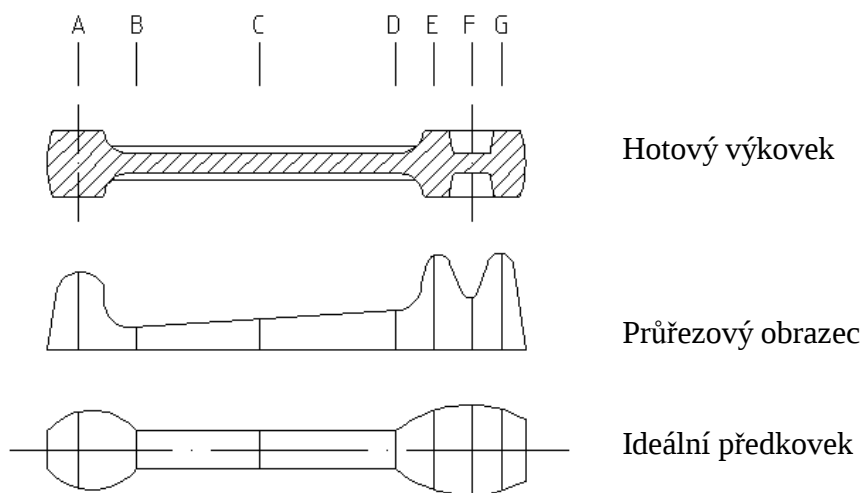
- I.skupina – dřívkovité výkovky s hlavami
- II.skupina – výkovky s průchozí dírou
- III.skupina – výkovky se slepou dírou

IV.skupina – výkovky smíšeného tvaru

V.skupina – výkovky kombinovaného tvaru

2.3.8. Ideální předkovek

Ideální předkovek je myšlený předkovek s kruhovými průřezy a je třeba ho užít při konstrukci předkovacích dutin pro podlouhlé výkovky. Tím je zjištěno rozdělení materiálu podél hlavní osy a jak by asi měl být materiál rozdělen v předkovacích operacích. Z ideálního předkovku se navrhuje průřezový obrazec a množství vsázkového kovu. Při postupu návrhu ideálního předkovku se nejdříve spočítá průřez ideálního předkovku a následně průměr předkovku v libovolném místě. Tím vznikne řada charakteristických hodnot, které jsou vynášeny na pořadnice vedené těmito průřezy a spojí se křivkou. Takto je vytvořen ideální předkovek. Ideální předkovek má plynulý tvar, vznikne-li ostrohranný redukuje se oblinami. Princip a postup vytvoření ideálního výkovku a průřezového obrazce je znázorněno na obrázku (2.6).



Obr. 2.6: Schéma postupu tvorby ideálního předkovku [6]

2.4. Ohřev materiálu

2.4.1. Ohřívací zařízení materiálu

Ohřívací zařízení se rozlišuje dle způsobu ohřevu na ohřev plynem a ohřev elektrickou energií. Ohřev plynem je ekonomicky výhodnější, ale způsobuje větší propal, je třeba delšího času na dosažení ohřívací teploty a jsou vyšší nároky na udržení vyhovujícího pracovního prostředí. Nejběžnější plynové pece jsou s přímým topením, s nepřímým plamenem a pece komorové případně pece průchozí. Ohřev elektrickou energií je spolehlivější, má menší propal díky kratší ohřívací době, nicméně je finančně náročnější. Ohřev elektrickým

proudem je realizován přímým průchodem proudu, nepřímým odporovým ohřevem nebo indukčním ohřevem. Ohřívací pece pro zápusťkové kování, které jsou běžně používány v průmyslu jsou karuselové pece, talířové pece, šterbinové pece a strkací pece.

2.4.2. Opal

Při ohřevu ocelí v ohřívacích pecích vznikají na povrchu výkovku okuje, což je nežádoucí prvek. K tomu dochází oxidací vzduchu, při kterém vznikají oxidy FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 . Množství vzniklých okují závisí na teplotě ohřívání, nad $1000\text{ }^\circ\text{C}$ se již viditelně tvoří okuje a při teplotě $1320\text{ }^\circ\text{C}$ se začínají okuje natavovat. Dále tvorbu okují ovlivňuje doba ohřevu, pecní atmosféra, chemické složení materiálu a v neposlední řadě manipulace s výkovky a polotovary v peci. Opal je možno omezit rychlostním ohřevem založeným na intenzivním vnějším tepelném toku nebo řízenou atmosférou pece.

2.5. Tvářecí stroje a nástroje

2.5.1. Volba kovacího stroje

Nejčastěji používanými kovacími stroji jsou lis a buchary. Konkrétně padací buchary, dvojčinné zápusťkové buchary, protiběžné buchary. Z lisů stojí za zmínku vřetenové lis, svislé klikové lis, vodorovné klikové lis a hydraulické lis pro zápusťkové kování. Padací buchary jsou stroje, u nichž je beran zvednut do určité výšky. Po uvolnění beran padá vlastní vahou na kovadlinu (šabotu). U protiběžných bucharů se pohybují proti sobě současně spodní a horní beran. Pohyb beranů je spojen jednostranným nebo dvoustranným převodem případně hydraulicky. Svislý klikový lis je nejběžnějším používaným lisem a je určen pro přesné zápusťkové kování a kalibrování výkovků za tepla. Lis pracují konstantním tlakem a postupně stlačují zápusťku s výkovkem na rozdíl od bucharů, které tváří úderem beranu, proto je na jeden zdvih provedena pouze jedna operace. Konstrukce lisů umožňuje použití vyhazovačů. Při volbě kovacího stroje je nutné vzít v úvahu počet kusů, které budeme tvářet, tvar a rozměry součástí a velikost tvářecích sil.

2.5.2. Lis versus buchar

Kování na lisu a na bucharu mají rozdílné charaktery. K dokončení výkovku kovaném na lisu stačí pouze jeden zdvih beranu, kdy beran lisu působí konstantní silou a pohybem na zápusťku než se horní a dolní nástroj zápusťky uzavře. U bucharu je zapotřebí na dokončení kování a uzavření zápusťky několik úderů beranu. Výkonnost u lisů je zhruba 3x vyšší než výkonost bucharů. Z ekonomického hlediska je výhodnější buchar pro malosériovou výrobu, náklady na pořízení stroje a zápusťky je vyšší než u lisů. Naopak lis se vyplatí zejména při velkosériové a hromadné výrobě. Výkovky kované na mechanických lisech jsou přesnější. Výrazný rozdíl je také v zatékání kovu do

zápustky. Rázový účinek u bucharů způsobuje vyšší rychlost tečení a snazší zaplňování hlubších dutin ve směru rázu. V případě lisu klidné působení síly zapříčiní lepší tečení kovu ve směru kolmém k působící síle.

2.5.3. Kovací válce

Kovací válce slouží k předkování výchozího materiálu. Je to nejběžnější způsob tváření před samotným kováním. Používá se především v případech, kde je třeba prodlužování nebo zužování polotovaru. Princip této metody je v tom, že dva kovací válce opatřené tvářecí zápustkou jsou ve svislé ose proti sobě. Mezi nimi je mezera, kterou se buď ručně nebo automatickým manipulátorem protahuje tvářený polotovar. Oba válce se otáčejí konstantní rychlostí v navzájem opačném směru. Kovacími válci se většinou tváří na několik operací, protože je velmi obtížné najednou dosáhnout velkých změn rozměrů v příčném průřezu.

2.6. Dokončovací operace

2.6.1. Ostřihování výkovků

Ostřihováním a prostřížením se odstraní výronek nebo blána a tyto procesy jsou realizovány na ostřihovacích lisech. Ostřihovací lisy jsou součástí kovací linky, která je tvořena ohřívacím zařízením, předkovacím zařízením (kovací válce) a kovacím strojem (klikový lis a ostřihovací lis). Výkovky s obsahem uhlíku vyšším jak 0,5% a velké výkovky je třeba ostřihovat za tepla, jinak je možno za studena. Sílu na odstřížení výronku nebo blány je třeba použít vztahy (2.5), (2.6), (2.7). Celkovou sílu je třeba zvýšit o 25% s ohledem na opotřebení zápustek a tím zvětšení tloušťky výronku.

Síla pro ostřížení vnějšího výronku:

$$F_s = 1,6 \cdot L \cdot s \cdot R_m \cdot 10^{-6} \quad (2.5)$$

Síla pro ostřížení blány:

$$F_{s1} = 1,6 \cdot L_1 \cdot s_1 \cdot R_m \cdot 10^{-6} \quad (2.6)$$

Celková síla při současném ostřížení blány a výronku:

$$F_c = F_s + F_{s1} \quad (2.7)$$

2.6.2. Rovnání výkovků

Rovnání výkovků se provádí po kování. Výkovky se rovnají za studena i za tepla. Za studena je možno rovnat výkovky po tepelném zpracování nebo po čištění a za tepla se rovnají pokřivené výkovky, které vzniknou během kování nebo ostřihování. Dle křivosti os a úhlu zkřivení se určuje zkřivení výkovku.

Přesnost a zmetky určuje tolerance na výkrese. Výkovky se rovnají za tepla v dokončovací dutině zápustky, na ostříhovacích lisech v rovnacích nástrojích a za studena v rovnacích zápustkách.

2.6.3. Kalibrování výkovků

Kalibrování se provádí po kovacím procesu a touto metodou se dosahuje konečná přesnost, hmotnost a drsnost povrchu. Tato technologie je dokončovací a provádí se téměř na všech kovárenských strojích na zápustkové kování. Kalibrování se provádí za tepla i za studena. Při kalibrování za tepla se může stát, že výkovek má ještě značné přídavky na kalibrování a vznikne malý výronek, který se následně odstříhne za studena, jinak hrozí nebezpečí zkřivení. Kalibrování za studena je přesnější jak za tepla a provádí se zpravidla na razicích lisech. Dále rozlišujeme kalibraci plošnou, objemovou a kombinovanou. Kalibrovací síla se získá výpočtem z velikosti kalibrované plochy a z měrného tlaku. Při kalibraci za tepla zpravidla snižujeme kalibrovací sílu zhruba o 50%.

2.7. Údržba a životnost zápustek

2.7.1. Vložkování zápustek

Některé zápustky se nahrazují, buď celý jejich tvar nebo jen jejich část, vložkami. Vložky v horním nástroji zápustky se musí zajistit proti jejich samovolnému uvolnění. Při vložkování používáme přesnost s přesahem H8/u7. Vložkování se používá především jsou-li nad dělicí rovinou, v ohýbací dutině nebo v zápustkových dutinách výstupky. Dále je vložkování užíváno, jestliže se nadměrně opotřebují tvarové části v zápustce. Výhodou je, že když se opotřebí vložka není třeba vyměňovat celou zápustku. Vymění se pouze opotřebovaná nebo poškozená vložka za novou. Vložka se zhotovuje z jakostní zápustkové oceli u velmi namáhaných zápustek jsou používány materiály keramika nebo slinuté karbidy. Při renovaci se používá navařování, předepínání a povlakování zápustek. Navařování se užívá při opravách zápustky.

2.7.2. Mazání zápustek

Mazivo a celkově mazání zápustek je velmi důležitým krokem při zápustkovém kování. Mazivo chrání zápustku před opotřebením, zmenšuje tření mezi zápustkou a výkovkem, chladí zápustku a napomáhá snižovat ulpívání okují v zápustce a tím zlepšuje tok tvářeného materiálu. Nejčastěji se používají na mazání zápustek tuhá maziva (dispergovaná ve vodě např. grafit nebo v oleji), kapalinná maziva (minerální a organické oleje, emulgační oleje, syntetické látky), konzistentní maziva (tuky, mýdla), piliny, soli nebo sklo.

2.7.3. Chlazení zápustek

Při zápustkovém kování dochází k značnému zahřátí povrchové vrstvy dutiny zápustky a tím dochází k popouštění a k poklesu pevnosti funkčních částí zápustky. Chlazení se nejčastěji provádí vodou nebo stlačeným vzduchem. Je třeba aby se ochlazovala pouze zápustka nikoli výkovek. Je vhodné důkladně zvážit použití chladicího média vzhledem k materiálu zápustky, aby nevznikly na zápustce vlivem velkých změn teplot trhliny. Výhodné jsou také zápustky, které mají oběhový vnitřní okruh vody, která proudí vyfrézovanými kanálky uvnitř zápustky a tím je možno vhodně regulovat intenzitu chlazení.

2.7.4. Metody zvyšování životnosti zápustek

Během tvářecích kovárenských procesů a namáhání dochází k opotřebením zápustek nástroje, které po překročení určité kritické hodnoty vede k jejich výměně, popřípadě renovaci. Toto opotřebením je ovlivněno mnoha faktory, nejčastěji mechanickými a fyzikálními vlastnostmi zápustky a výkovku, pracovním prostředím a výrobními podmínkami stroje. U tvářecích nástrojů se především jedná o opotřebením vlivem mechanické, tepelné únavy a mechanickým opotřebením. Principem mechanické únavy je šíření interkrystalických trhlin, které jsou zapříčiněny opakovaným mechanickým namáháním materiálu. U takto poškozené zápustky může dojít k lomu i při napětích menších než je hodnota meze pevnosti. Při tepelné únavě v důsledku cyklického střídání teplot se začínají na zápustce objevovat tepelné trhliny, které se dalším používáním zápustky postupně zvětšují a konečnou fází je destrukce zápustky. Při tepelné únavě se segregují některé prvky obsažené v nástrojových materiálech na hranicích zrna, kde následuje oslabení těchto hranic a následný vznik trhlin. Mezi mechanické opotřebením je zahrnuto abrazivní opotřebením, ulpívání tvářeného materiálu na zápustce (adheze) a lokální plastická deformace aktivních ploch nástroje. Takto namáhané zápustky lze renovovat nebo zvyšovat jejich životnost snižováním jejich tvaru nebo vložkováním. Při renovaci se používá navařování, předepínání a povlakování zápustek. Pro navařování se nejčastěji používají metody MIG a MAG, navařování plamenem nebo elektrickým obloukem, plazmou. Pokud je zápustka vystavena vysokému vnitřnímu pnutí, které může způsobit její prasknutí je využívána metoda předepínání zápustek. Při předepínání zápustky se zápustka opatřuje speciální bandáží, která zajistí předepnutí zápustky proti směru napětí působícího při kování. Princip povlakování je nanesení speciálního povlaku s vysokou odolností proti opotřebením. Bohužel touto metodou nelze vždy renovovat zápustky, protože povlak nemá dostatečnou odolnost proti vysokým kovacími teplotám, takže je jeho použití omezené.

2.8. Počítačová podpora kování

2.8.1. Simulace

Simulační systémy pomáhají snížit náklady, zvýšit kvalitu výrobku a zkracují výrobní a vývojové časy. Dnes již tyto systémy umožňují nasimulovat celé průběhy výrobních operací. Nejzákladnější metodou je metoda MRP neboli metoda konečných prvků. Při použití těchto simulačních systémů se eliminují různé vady a nedostatky při výrobních procesech. Výroba je pak efektivnější. U kování lze těmito metoda zjistit přesné teploty v po sobě následujících krocích. Tyto programy jsou 2D plošné nebo 3D prostorové. Vlastní software pro simulaci kovacích procesů by měl umožňovat především předpovědi teplotních, rychlostních a napěťových polí, předpověď vzniku přeložek a jiných vad při tečení, predikci vzniku vnitřních vad v tvářeném materiálu, předpověď možnosti vzniku nebezpečných napětí v nástroji, predikci opotřebení nástroje, určení zbytkových pnutí, volbu pořadí operací. Počítačovou simulací nelze plně nahradit skutečné zkoušky, ale lze se jejím výsledkům reálně přiblížit. Při volbě softwaru je třeba vzít v úvahu poměr cena/výkon, náročnost na obsluhu, snadnost editace, doba přípravy dat, doba výpočtu, kompatibilita dat (v samotné firmě i u zákazníka), vhodný hardware a počítačové komponenty na zvládnutí nainstalování a použití daného softwaru, možnosti výstupů CAD-CAM a v neposlední řadě dostupný servis nebo odborná pomoc při problémech s programem.

3. NÁVRH TECHNOLOGIE

3.1. Zhodnocení zadaných parametrů a materiálu

Zadaný výrobek vodící těleso má být zhotoveno objemovým tvářením, konkrétně zápusťkovým kovááním v sérii 250 000 výkovků ročně. S největší pravděpodobností se bude kovat na klikovém lise, který je opatřen vyhazovačem. Kovací proces bude probíhat ve dvou operacích. Předkování a dokování. Následně se bude výkovek obrábět do konečné podoby. Takto zhotovená součást se bude využívat v automobilovém průmyslu. Výchozím materiálem polotovaru byla zvolena ocel 14 220 dle ČSN. Je to ušlechtilá konstrukční mangan-chromová ocel. Tato ocel má feritickou strukturu s globulárními vměstky oxidů železa. Střední tvrdost oceli ve výchozím stavu je asi $Hv_{10} = 200$ (zkouška tvrdosti dle Vickerse). Ocel se používá na strojní součástky, výkovky a výlisky určené k cementování s tvrdou cementovanou vrstvou a se střední pevností v jádře po kalení jako například ozubená kola, řetězová kola, různé čepy a menší hřídele. Procentuální chemické složení legur je uvedeno v tabulce (3.1).

Tab. 3.1: Prvky obsažené v oceli 14 220 dle ČSN a jejich procentuální obsažení v oceli

PRVEK	OBSAH PRVKU V OCELI V %
C	0,140 - 0,190
Mn	1,100 - 1,400
Si	0,170 - 0,370
Cr	0,800 - 1,100
P	0,035
S	0,035

3.2. Značení výkovku podle složitosti jeho tvaru

Podle složitosti tvaru byl zadán výkovek s použitím normy ČSN 42 9030 označen následujícím kódem (bližší specifikaci uvádí tabulka 3.2).

7 9 6 0 – 2

Tab. 3.2: Prvky obsažené v oceli 14 220 dle ČSN a jejich procentuální obsažení v oceli

ČÍSELNÉ OZNAČENÍ	TVAROVÉ SPECIFIKACE	PODROBNÝ POPIS
7	tvarový druh	výkovky kombinovaných tvarů plné i duté
9	tvarová třída	výkovky členité
6	tvarová skupina	výkovky krátké s poměrem délka L=3xšířka B
0	tvarová podskupina	výkovky bez přesahu
2	technologické hledisko	výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy nesouměrné

3.3. Přídavky na obrábění

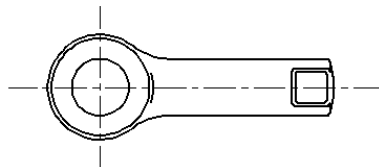
Hodnota přídavku na obrábění byla zvolena podle normy ČSN 42 9030. Dle tabulky normy ČSN 42 9030 (str. 3) byl zvolen přídavek na obrábění 2 mm.

3.4. Technologické přídavky, mezní úchytky a tolerance rozměrů

Technologické přídavky (úkosy a zaoblení) jsou uvedeny na výkrese. Dle normy ČSN 42 9030 (str.10) je stupeň přesnosti kolmo k rázu **5** a stupeň přesnosti rovnoběžně s rázem **6**. Mezní úchytky, tolerance rozměrů a tvarů se stanoví dle stupně přesnosti výkovku z největších rozměrů výkovku ve směru kolmo k rázu a ve směru rázu dle ČSN 42 9030 (str.13). Pro stupeň přesnosti 5 kolmo k rázu je velikost tolerančního pole 1,4 mm, horní mezní úchylka +1,0 mm a dolní mezní úchylka –0,4 mm. Pro stupeň přesnosti 6 rovnoběžně s rázem je velikost tolerančního pole 2,1 mm, horní mezní úchylka +1,4 mm a dolní mezní úchylka –0,7 mm.

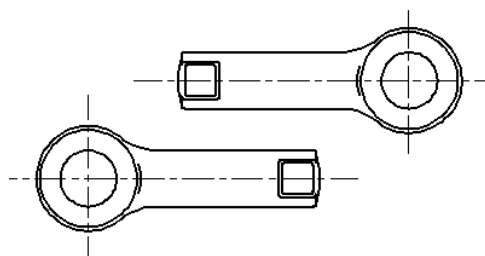
3.5. Varianty umístění výkovku v zápustce

VARIANTA I:



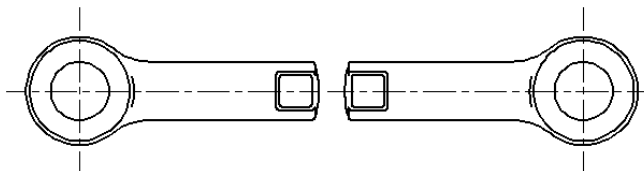
Obr. 3.1: Umístění výkovku varianta I

VARIANTA II:



Obr. 3.2: Umístění výkovku varianta II

VARIANTA III:



Obr. 3.3: Umístění výkovku varianta III

3.6. Konstrukce ideálního předkovku

Tvářený výkovek je složitějšího tvaru, proto objem polotovaru bude určen z ideálního předkovku. Princip je takový, že výkovkem je vedeno několik imaginárních řezných rovin především tam, kde výkovek výrazně mění tvar. V těchto řezech bylo spočítáno pomocí 3D softwaru plocha výkovku a plocha výronku. Z těchto veličin pomocí výpočtových vztahů (3.1), (3.2) byl zjištěn průměr ideálního předkovku a výška průřezového obrazce. Je možno více variant umístění výkovku v zápustce. Pro porovnání byly zvoleny 3 varianty umístění výkovku a jejich rovin.

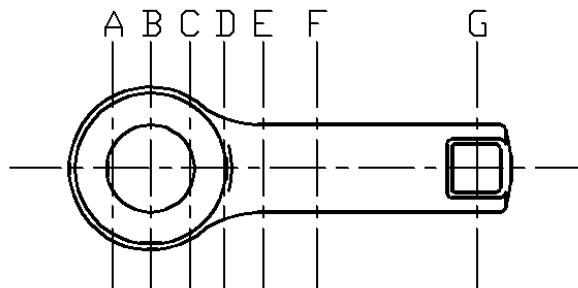
Výpočtový vztah pro průměr ideálního předkovku:

$$d_{ip} = 1,13 \cdot \sqrt{S_{ip}} \quad (3.1)$$

Výpočtový vztah pro výšku průřezového obrazce:

$$h_{ip} = \frac{S_{ip}}{m} \quad (3.2)$$

VARIANTA I



Řez A:

$$d_{ipA} = 1,13 \cdot \sqrt{832} = 32,6mm$$

$$h_{ipA} = \frac{S_{ipA}}{m} = \frac{832}{20} = 41,6mm$$

Řez C:

$$d_{ipC} = 1,13 \cdot \sqrt{832} = 32,6mm$$

$$h_{ipC} = \frac{S_{ipC}}{m} = \frac{832}{20} = 41,6mm$$

Řez E:

$$d_{ipE} = 1,13 \cdot \sqrt{280,4} = 18,9mm$$

$$h_{ipE} = \frac{S_{ipE}}{m} = \frac{280,4}{20} = 14mm$$

Řez G:

$$d_{ipG} = 1,13 \cdot \sqrt{359,2} = 21,4mm$$

$$h_{ipG} = \frac{S_{ipG}}{m} = \frac{359,2}{20} = 18mm$$

Řez B:

$$d_{ipB} = 1,13 \cdot \sqrt{845,2} = 32,9mm$$

$$h_{ipB} = \frac{S_{ipB}}{m} = \frac{845,2}{20} = 42,3mm$$

Řez D:

$$d_{ipD} = 1,13 \cdot \sqrt{492,4} = 25,1mm$$

$$h_{ipD} = \frac{S_{ipD}}{m} = \frac{492,4}{20} = 24,6mm$$

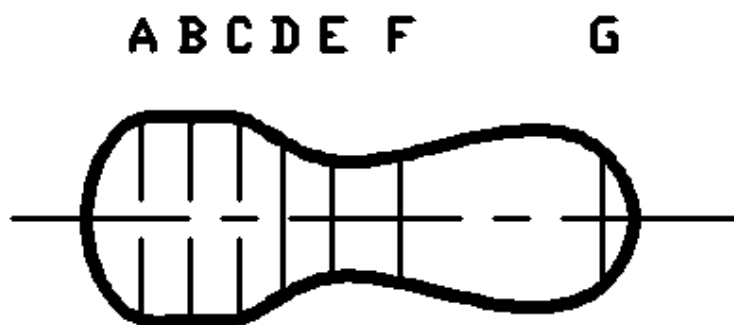
Řez F:

$$d_{ipF} = 1,13 \cdot \sqrt{333,2} = 20,6mm$$

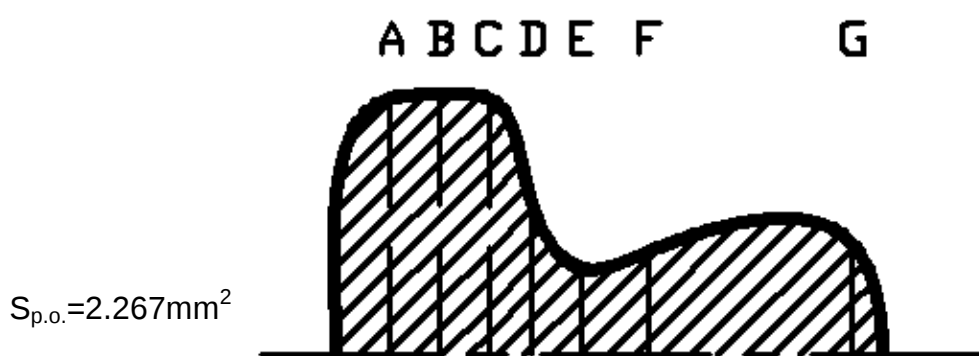
$$h_{ipF} = \frac{S_{ipF}}{m} = \frac{333,2}{20} = 16,7mm$$

Tab. 3.3: Hodnoty pro konstrukci ideálního předkovku pro variantu I

ŘEZ	PLOCHA ŘEZU VÝKOVEM $S_{\text{VÝKOV}}$ [mm ²]	PLOCHA VÝRONKU $S_{\text{VÝRON}}$ [mm ²]	PLOCHA CELKOVÁ S_{ip} [mm ²]	PRŮMĚR IDEÁLNÍHO PŘEDKOVKU d_{ip} [mm]	VÝŠKA PRŮŘEZOVÉHO OBRAZCE h_{ip} [mm]
A	749	83	832	32,6	41,6
B	767	78,2	845,2	32,9	42,3
C	749	83	832	32,6	41,6
D	401	91,4	492,4	25,1	24,6
E	202	78,4	280,4	18,9	14
F	255	78,2	333,2	20,6	16,7
G	281	78,2	359,2	21,4	18



Obr 3.4: Tvar ideálního předkovku pro variantu I



Obr 3.5: Tvar průřezového obrazce pro variantu I

Objem ideálního předkovku (vypočteno 3D programem Solidworks):

$$V_{ipI} = 47.384 \text{ mm}^3$$

Objem materiálu připadajícího na opal:

$$V_{op} = V_{ip} \cdot \sigma \quad (3.3)$$

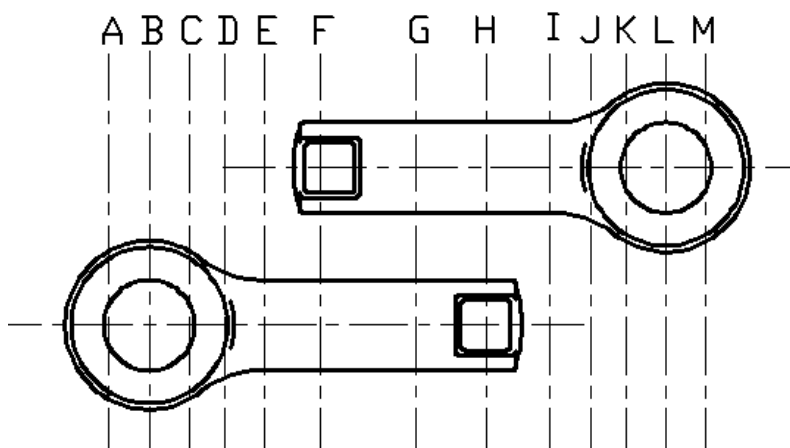
$$V_{op.I} = V_{ipI} \cdot \sigma = 47.384 \cdot 0,01 = 473,8 \text{ mm}^3$$

Celkový objem předkovku:

$$V_C = V_{ip} + V_{op} \quad (3.4)$$

$$V_{C.I} = V_{ipI} + V_{opI} = 47.384 + 473,8 = 47.858 \text{ mm}^3$$

VARIANTA II:



Řez A:

$$d_{ipA} = 1,13 \cdot \sqrt{832} = 32,6 \text{ mm}$$

$$h_{ipA} = \frac{S_{ipA}}{m} = \frac{832}{20} = 41,6 \text{ mm}$$

Řez C:

$$d_{ipC} = 1,13 \cdot \sqrt{832} = 32,6 \text{ mm}$$

$$h_{ipC} = \frac{S_{ipC}}{m} = \frac{832}{20} = 41,6 \text{ mm}$$

Řez E:

$$d_{ipE} = 1,13 \cdot \sqrt{280,4} = 18,9 \text{ mm}$$

Řez B:

$$d_{ipB} = 1,13 \cdot \sqrt{845,2} = 32,9 \text{ mm}$$

$$h_{ipB} = \frac{S_{ipB}}{m} = \frac{845,2}{20} = 42,3 \text{ mm}$$

Řez D:

$$d_{ipD} = 1,13 \cdot \sqrt{492,4} = 25,1 \text{ mm}$$

$$h_{ipD} = \frac{S_{ipD}}{m} = \frac{492,4}{20} = 24,6 \text{ mm}$$

Řez F:

$$d_{ipF} = 1,13 \cdot \sqrt{626,2} = 28,3 \text{ mm}$$

$$h_{ipE} = \frac{S_{ipE}}{m} = \frac{280,4}{20} = 14mm$$

$$h_{ipF} = \frac{S_{ipF}}{m} = \frac{626,2}{20} = 31,3mm$$

Řez G:

$$d_{ipG} = 1,13 \cdot \sqrt{600,2} = 27,7mm$$

$$h_{ipG} = \frac{S_{ipG}}{m} = \frac{600,2}{20} = 30mm$$

Řez H:

$$d_{ipF} = 1,13 \cdot \sqrt{626,2} = 28,3mm$$

$$h_{ipF} = \frac{S_{ipF}}{m} = \frac{626,2}{20} = 31,3mm$$

Řez I:

$$d_{ipI} = 1,13 \cdot \sqrt{280,4} = 18,9mm$$

$$h_{ipI} = \frac{S_{ipI}}{m} = \frac{280,4}{20} = 14mm$$

Řez J:

$$d_{ipJ} = 1,13 \cdot \sqrt{492,4} = 25,1mm$$

$$h_{ipJ} = \frac{S_{ipK}}{m} = \frac{492,4}{20} = 24,6mm$$

Řez K:

$$d_{ipK} = 1,13 \cdot \sqrt{832} = 32,6mm$$

$$h_{ipK} = \frac{S_{ipK}}{m} = \frac{832}{20} = 41,6mm$$

Řez L:

$$d_{ipL} = 1,13 \cdot \sqrt{845,2} = 32,9mm$$

$$h_{ipL} = \frac{S_{ipL}}{m} = \frac{845,2}{20} = 42,3mm$$

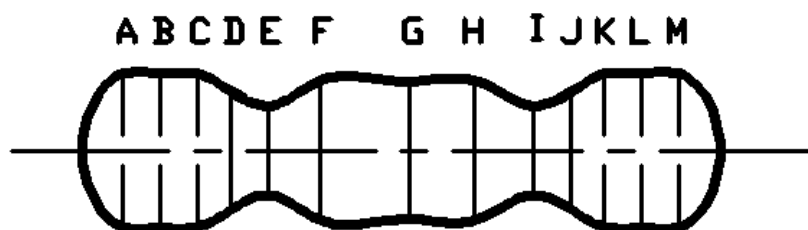
Řez M:

$$d_{ipM} = 1,13 \cdot \sqrt{832} = 32,6mm$$

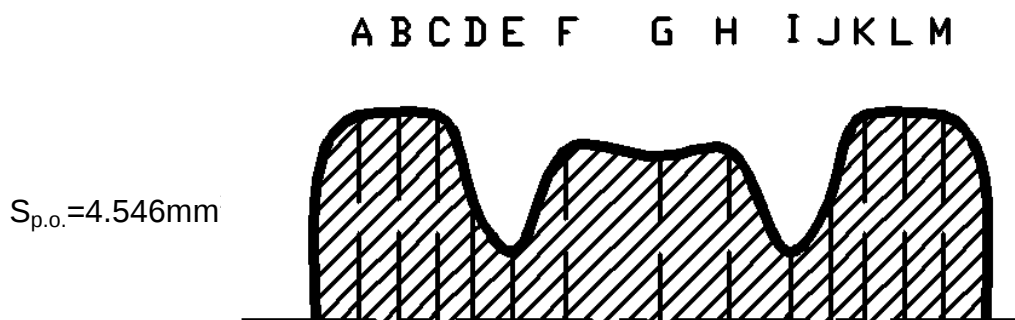
$$h_{ipM} = \frac{S_{ipM}}{m} = \frac{832}{20} = 41,6mm$$

Tab. 3.4: Hodnoty pro konstrukci ideálního předkovku pro variantu II

ŘEZ	PLOCHA ŘEZU VÝKOVEM $S_{VÝKOV}$ [mm ²]	PLOCHA VÝRONKU $S_{VÝRON}$ [mm ²]	PLOCHA CELKOVÁ S_{ip} [mm ²]	PRŮMĚR IDEÁLNÍHO PŘEDKOVKU d_{ip} [mm]	VÝŠKA PRŮŘEZOVÉHO OBRAZCE h_{ip} [mm]
A	749	83	832	32,6	41,6
B	767	78,2	845,2	32,9	42,3
C	749	83	832	32,6	41,6
D	401	91,4	492,4	25,1	24,6
E	202	78,4	280,4	18,9	14
F	536	156,4	692,4	29,7	34,6
G	510	156,4	666,4	29,2	33,3
H	536	156,4	692,4	29,7	34,6
I	202	78,4	280,4	18,9	14
J	401	91,4	492,4	25,1	24,6
K	749	83	832	32,6	41,6
L	767	78,2	845,2	32,9	42,3
M	749	83	832	32,6	41,6



Obr 3.6: Tvar ideálního předkovku pro variantu II



Obr 3.7: Tvar průřezového obrazce pro variantu II

Objem ideálního předkovku(vypočteno 3D programem Solidworks):

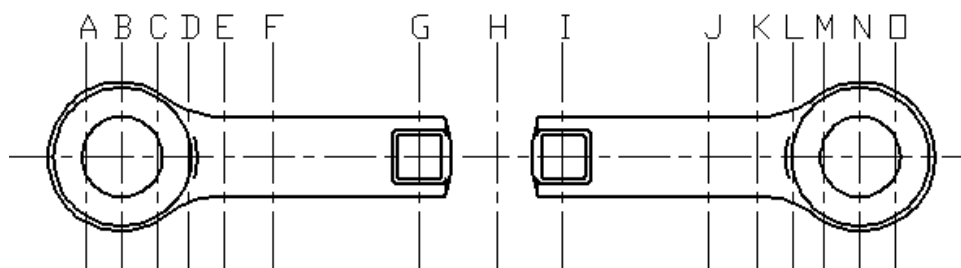
$$V_{ipII} = 86.039mm^3$$

Objem materiálu připadajícího na opal:

$$V_{op.II} = V_{ipII} \cdot \sigma = 86.039 \cdot 0,01 = 860,4mm^3$$

Celkový objem předkovku:

$$V_{C.II} = V_{ipII} + V_{opII} = 86.039 + 860,4 = 86.900mm^3$$

VARIANTA III:**Řez A:**

$$d_{ipA} = 1,13 \cdot \sqrt{832} = 32,6mm$$

$$h_{ipA} = \frac{S_{ipA}}{m} = \frac{832}{20} = 41,6mm$$

Řez C:

$$d_{ipC} = 1,13 \cdot \sqrt{832} = 32,6mm$$

$$h_{ipC} = \frac{S_{ipC}}{m} = \frac{832}{20} = 41,6mm$$

Řez E:

$$d_{ipE} = 1,13 \cdot \sqrt{280,4} = 18,9mm$$

$$h_{ipE} = \frac{S_{ipE}}{m} = \frac{280,4}{20} = 14mm$$

Řez G:

$$d_{ipG} = 1,13 \cdot \sqrt{359,2} = 21,4mm$$

$$h_{ipG} = \frac{S_{ipG}}{m} = \frac{359,2}{20} = 18mm$$

Řez I:

$$d_{ipI} = 1,13 \cdot \sqrt{359,2} = 21,4mm$$

$$h_{ipI} = \frac{S_{ipI}}{m} = \frac{359,2}{20} = 18mm$$

Řez K:

$$d_{ipK} = 1,13 \cdot \sqrt{280,4} = 18,9mm$$

$$h_{ipK} = \frac{S_{ipK}}{m} = \frac{280,4}{20} = 14mm$$

Řez B:

$$d_{ipB} = 1,13 \cdot \sqrt{845,2} = 32,9mm$$

$$h_{ipB} = \frac{S_{ipB}}{m} = \frac{845,2}{20} = 42,3mm$$

Řez D:

$$d_{ipD} = 1,13 \cdot \sqrt{492,4} = 25,1mm$$

$$h_{ipD} = \frac{S_{ipD}}{m} = \frac{492,4}{20} = 24,6mm$$

Řez F:

$$d_{ipF} = 1,13 \cdot \sqrt{333,2} = 20,6mm$$

$$h_{ipF} = \frac{S_{ipF}}{m} = \frac{333,2}{20} = 16,7mm$$

Řez H:

$$d_{ipH} = 1,13 \cdot \sqrt{60} = 8,75mm$$

$$h_{ipH} = \frac{S_{ipH}}{m} = \frac{60}{20} = 3mm$$

Řez J:

$$d_{ipJ} = 1,13 \cdot \sqrt{333,2} = 20,6mm$$

$$h_{ipJ} = \frac{S_{ipJ}}{m} = \frac{333,2}{20} = 16,7mm$$

Řez L:

$$d_{ipL} = 1,13 \cdot \sqrt{492,4} = 25,1mm$$

$$h_{ipL} = \frac{S_{ipL}}{m} = \frac{492,4}{20} = 24,6mm$$

Řez M:

$$d_{ipM} = 1,13 \cdot \sqrt{832} = 32,6 \text{ mm}$$

$$h_{ipM} = \frac{S_{ipM}}{m} = \frac{832}{20} = 41,6 \text{ mm}$$

Řez O:

$$d_{ipO} = 1,13 \cdot \sqrt{832} = 32,6 \text{ mm}$$

$$h_{ipO} = \frac{S_{ipO}}{m} = \frac{832}{20} = 41,6 \text{ mm}$$

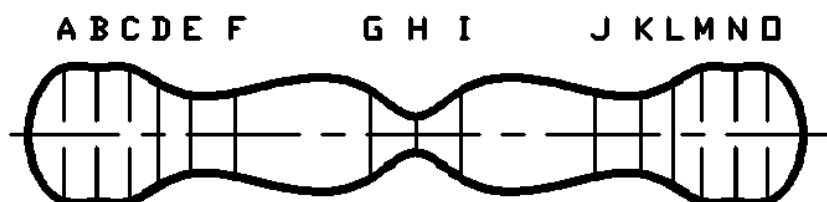
Řez N:

$$d_{ipN} = 1,13 \cdot \sqrt{845,2} = 32,9 \text{ mm}$$

$$h_{ipN} = \frac{S_{ipN}}{m} = \frac{845,2}{20} = 42,3 \text{ mm}$$

Tab. 3.5: Hodnoty pro konstrukci ideálního předkovku pro variantu III

ŘEZ	PLOCHA ŘEZU VÝKOVEM $S_{VÝKOV}$ [mm ²]	PLOCHA VÝRONKU $S_{VÝRON}$ [mm ²]	PLOCHA CELKOVÁ S_{ip} [mm ²]	PRŮMĚR IDEÁLNÍHO PŘEDKOVKU d_{ip} [mm]	VÝŠKA PRŮŘEZOVÉHO OBRAZCE h_{ip} [mm]
A	749	83	832	32,6	41,6
B	767	78,2	845,2	32,9	42,3
C	749	83	832	32,6	41,6
D	401	91,4	492,4	25,1	24,6
E	202	78,4	280,4	18,9	14
F	255	78,2	333,2	20,6	16,7
G	281	78,2	359,2	21,4	18
H	0	60	60	8,75	3
I	281	78,2	359,2	21,4	18
J	255	78,2	333,2	20,6	16,7
K	202	78,4	280,4	18,9	14
L	401	91,4	492,4	25,1	24,6
M	749	83	832	32,6	41,6
N	767	78,2	845,2	32,9	42,3
O	749	83	832	32,6	41,6



Obr 3.8: Tvar ideálního předkovku pro variantu III



Obr 3.9: Tvar průřezového obrazce pro variantu III

Objem ideálního předkovku (vypočteno 3D programem Solidworks):

$$V_{ipIII} = 94.888 \text{ mm}^3$$

Objem materiálu připadajícího na opal:

$$V_{op.III} = V_{ipIII} \cdot \sigma = 94.888 \cdot 0,01 = 948,9 \text{ mm}^3$$

Celkový objem předkovku:

$$V_{C.III} = V_{ipIII} + V_{op.III} = 94.888 + 948,9 = 95.837 \text{ mm}^3$$

Tab. 3.6: Hodnoty objemů výkovků

VARIANTA	OBJEM IDEÁLNÍHO PŘEDKOVKU [mm ³]	OBJEM MATERIÁLU NA OPAL [mm ³]	CELKOVÝ OBJEM PŘEDKOVKU [mm ³]
I	47 384	474	47 858
II	86 039	861	86 900
III	94 888	949	95 837

3.7. Stanovení hmotnosti výkovku

Objem výkovku byl vypočten z 3D modelu výkovku vytvořeného v programu Solidworks 2009. Objem tedy činí **36 450 mm³**. Obvod výkovku v dělicí rovině byl také softwarově určen a jeho hodnota je **220,4 mm**. Hustota oceli dle tabulek je **7 850 kg/m³**. Hmotnost propalu byla zvolen jako **1,5%** z hmotnosti výkovku.

VARIANTA I:

Hmotnost samotného výkovku bez výronku:

$$m_{výkI} = \rho \cdot V_{výk.} = 7.850 \cdot 0,000036450 = 0,2861 \text{ kg}$$

Objem výronku:

$$V_{\text{výr.}} = o \cdot \left[s \cdot h + \left(n + \frac{h}{2} \right) \cdot B \right] \quad (3.5)$$

$$V_{\text{výr.}} = o \cdot \left[s \cdot h + \left(n + \frac{h}{2} \right) \cdot B \right] = 220,4 \cdot \left[6 \cdot 2 + \left(2,8 + \frac{2}{2} \right) \cdot 10 \right] = 11.020 \text{ mm}^3$$

Hmotnost výronku:

$$m_{\text{výr.I}} = \rho \cdot V_{\text{výr.I}} = 0,000011020 \cdot 7.850 = 0,0865 \text{ kg}$$

Hmotnost propalu:

$$m_{pI} = \frac{1,5}{100} \cdot 0,2861 = 0,0043 \text{ kg}$$

Celková hmotnost:

$$m_{cI} = m_{\text{výk.I}} + m_{\text{výr.I}} + m_{pI} = 0,2861 + 0,0865 + 0,0043 = 0,377 \text{ kg}$$

Celková hmotnost výkovku varianta I včetně výronku a propalu činí 0,377kg.

VARIANTA II:

Hmotnost samotného výkovku bez výronku:

$$m_{\text{výk.II}} = 2 \cdot \rho \cdot V_{\text{výk.}} = 2 \cdot 7.850 \cdot 0,000036450 = 0,5723 \text{ kg}$$

Objem výronku (Solidworks):

$$V_{\text{výr.II}} = 18.080 \text{ mm}^3$$

Hmotnost výronku:

$$m_{\text{výr.II}} = \rho \cdot V_{\text{výr.II}} = 0,000018080 \cdot 7.850 = 0,1419 \text{ kg}$$

Hmotnost propalu:

$$m_{pII} = \frac{1,5}{100} \cdot 0,5723 = 0,0086 \text{ kg}$$

Celková hmotnost:

$$m_{cII} = m_{\text{výk.II}} + m_{\text{výr.II}} + m_{pII} = 0,5723 + 0,1419 + 0,0086 = 0,723 \text{ kg}$$

Celková hmotnost výkovku varianta II včetně výronku a propalu činí 0,723kg.

VARIANTA III:

Hmotnost samotného výkovku bez výronku:

$$m_{\text{výk.III}} = 2 \cdot \rho \cdot V_{\text{výk.}} = 2 \cdot 7.850 \cdot 0,000036450 = 0,5723 \text{ kg}$$

Objem výronku (Solidworks):

$$V_{\text{výr.III}} = 20.456 \text{ mm}^3$$

Hmotnost výronku:

$$m_{\text{výr.III}} = \rho \cdot V_{\text{výr.III}} = 0,000020456 \cdot 7.850 = 0,1606 \text{ kg}$$

Hmotnost propalu:

$$m_{\text{p.III}} = \frac{1,5}{100} \cdot 0,5723 = 0,0086 \text{ kg}$$

Celková hmotnost:

$$m_{\text{c.III}} = m_{\text{výk.III}} + m_{\text{výr.III}} + m_{\text{p.III}} = 0,5723 + 0,1606 + 0,0086 = 0,742 \text{ kg}$$

Celková hmotnost výkovku varianta III včetně výronku a propalu činí 0,742 kg.

Tab. 3.7: Hmotnosti výkovků, výronků, propalu a celková pro všechny 3 varianty

VARIANTA	HMOTNOST VÝKOVKU [kg]	HMOTNOST VÝRONKU [kg]	HMOTNOST PROPALU [kg]	CELKOVÁ HMOTNOST [kg]
I	0,2861	0,0865	0,0043	0,377
II	0,5723	0,1419	0,0086	0,723
III	0,5723	0,1606	0,0086	0,742

3.8. Určení rozměrů polotovaru

Po vypočtení celkového objemu výkovku se stanoví rozměry polotovaru. Průměr polotovaru se vypočte pomocí vztahu (3.6). Polotovar pro výkovek bude ocelová tyč kruhového průřezu tažená za tepla třída oceli 14 dle ČSN a dle normy ČSN 42 5510 bude určen tabulkový průměr tyče.

$$D_{\text{pol}} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\text{C}}}{\pi \cdot L_{\text{pol}}}} \quad (3.6)$$

VARIANTA I:

$$L_{pol}=91\text{mm}$$

$$V_C=47.858\text{mm}$$

$$D_{pol} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_C}{\pi \cdot L_{pol}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 47.858}{\pi \cdot 91}} = 25,9 = 26\text{mm}$$

Polotovár: **φ26 – 91 ČSN 42 5510**

VARIANTA II:

$$L_{pol}=136\text{mm}$$

$$V_C=86.900\text{mm}$$

$$D_{pol} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_C}{\pi \cdot L_{pol}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 86.900}{\pi \cdot 136}} = 28,6 = 29\text{mm}$$

Polotovár: **φ29 – 136 ČSN 42 5510**

VARIANTA III:

$$L_{pol}=188\text{mm}$$

$$V_C=95.837\text{mm}$$

$$D_{pol} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_C}{\pi \cdot L_{pol}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 95.837}{\pi \cdot 188}} = 25,6 = 26\text{mm}$$

Polotovár: **φ26 – 188 ČSN 42 5510**

3.9. Dělení výchozího polotovaru

Možnosti dělení ocelových tyčí je několik. Materiál se odděluje stříháním nebo řezáním. Nejčastěji je dělení prováděno ve stříhacích nástrojích lisu nebo strojními nůžkami a řezání na strojních pilách. V našem případě bude vhodné z časových a ekonomických důvodů zvolit stříhání za studena. Střížná síla bude zjištěna z výpočtového vzorce (3.7).

Velikost střížné síly:

$$F_{stř} = (1,25 \div 1,5) \cdot S \cdot \tau_{PS} \quad (3.7)$$

VARIANTA I:

$$F_{stř.I} = 1,3 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 27^2}{4} \right) \cdot 0,8 \cdot 640 = 381.093 = 0,38 MN$$

VARIANTA II:

$$F_{stř.II} = 1,3 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 29^2}{4} \right) \cdot 0,8 \cdot 640 = 439.642 = 0,44 MN$$

VARIANTA III:

$$F_{stř.III} = 1,3 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 27^2}{4} \right) \cdot 0,8 \cdot 640 = 381.093 = 0,38 MN$$

Tab. 3.8: Velikosti střižných sil

VARIANTA	STŘIŽNÁ SÍLA [MN]
I	0,38
II	0,44
III	0,38

Pro dělení tyčí u všech 3 variant byly zvoleny strojní nůžky **Sck 315**. Maximální střižná síla stroje činí 3,15 MN. Ilustrační obrázek strojních nůžek je na obr.(3.10).



Obr 3.10: Strojní nůžky Sck 315

3.10. Návrh lisu a potřebná tvářecí síla

Tvářecí síla potřebná k zhotovení výkovku byla stanovena několika způsoby pro porovnání a návržení optimálního svislého kovacího lisu. Pro výpočet byly použity 3 metody výpočtu. Výpočet tvářecí síly dle Rebelského podle vztahů (3.8), (3.9), (3.10), dle nomogramu firmy ŠMERAL Brno (3.11) a nakonec byla zvolena metoda dle nomogramu ČSN 22 8306. Tvářecí teplota bude 1000 °C a této teplotě odpovídá hodnota meze pevnosti 59 MPa.

Tab. 3.9: Pevnost R_{mT} za určitých teplot pro ocel 14 220

TEPLOTA [°C]	PEVNOST R_{mT} [MPa]
900	86
950	70
1000	59
1100	40

3.10.1. Výpočet tvářecí síly dle Rebelského [1]

$$F = 8 \times (1 - 0,001 \times D_{RED}) \times (1,1 + \frac{20}{D_{RED}})^2 \times (1 + 0,1 \times \sqrt{\frac{L_V}{B_S}}) \times R_{mT} \times S_V \quad (3.8)$$

$$D_{RED} = 1,13 \times \sqrt{S_V} \quad (3.9)$$

$$B_S = \frac{S_V}{L_V} \quad (3.10)$$

VARIANTA I:

$$S_V = 1.941 \text{ mm}^2$$

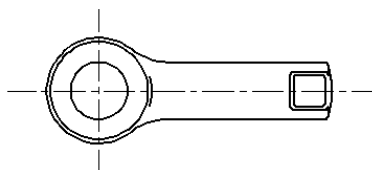
$$L_V = 90,75 \text{ mm}$$

$$B_S = \frac{S_V}{L_V} = \frac{1.941}{90,75} = 21,39$$

$$D_{RED} = 1,13 \cdot \sqrt{S_V} = 1,13 \cdot \sqrt{1.941} = 49,78 \text{ mm}$$

$$F_I = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_{RED}) \cdot (1,1 + \frac{20}{D_{RED}})^2 \cdot (1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{L_V}{B_S}}) \cdot R_{mT} \cdot S_V = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 49,78) \cdot$$

$$\cdot (1,1 + \frac{20}{49,78})^2 \cdot (1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{90,75}{21,39}}) \cdot 59 \cdot 1.941 = 2.367.751 \text{ N} = 2,4 \text{ MN}$$



VARIANTA II:

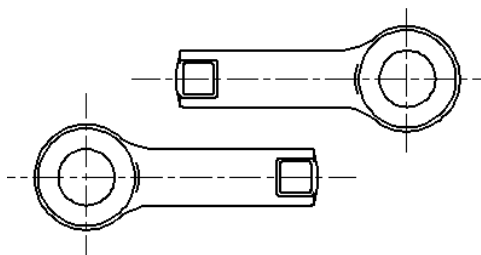
$$S_V = 4.422 \text{ mm}^2$$

$$L_V = 136 \text{ mm}$$

$$B_S = \frac{S_V}{L_V} = \frac{4.422}{136} = 32,51$$

$$D_{RED} = 1,13 \cdot \sqrt{S_V} = 1,13 \cdot \sqrt{4.422} = 75,14 \text{ mm}$$

$$F_{II} = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_{RED}) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_{RED}}\right)^2 \cdot (1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{L_V}{B_S}}) \cdot R_{mT} \cdot S_V = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 75,14) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{75,14}\right)^2 \cdot (1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{136}{32,51}}) \cdot 59 \cdot 4.422 = 4.692.329 \text{ N} = 4,7 \text{ MN}$$

**VARIANTA III:**

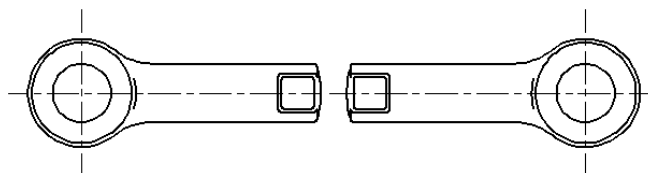
$$S_V = 4.098 \text{ mm}^2$$

$$L_V = 189,5 \text{ mm}$$

$$B_S = \frac{S_V}{L_V} = \frac{4.098}{189,5} = 21,63$$

$$D_{RED} = 1,13 \cdot \sqrt{S_V} = 1,13 \cdot \sqrt{4.098} = 72,34 \text{ mm}$$

$$F_{III} = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_{RED}) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_{RED}}\right)^2 \cdot (1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{L_V}{B_S}}) \cdot R_{mT} \cdot S_V = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 72,34) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{72,34}\right)^2 \cdot (1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{189,5}{21,63}}) \cdot 59 \cdot 4.098 = 4.407.814 \text{ N} = 4,4 \text{ MN}$$

**3.10.2. Výpočet tvářecí síly dle nomogramu firmy ŠMERAL**

Dle katalogu firmy ŠMERAL a.s. Brno pro tvářecí stroje byl určen vztah pro tvářecí sílu [13]:

$$F = 0,6 \times S_C \times \sigma_p \times n_{TS} \quad (3.11)$$

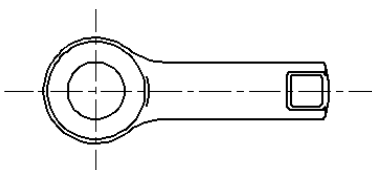
VARIANTA I:

$$S_{CI} = 33,75 \text{ cm}^2$$

$$n_{TS} = 1,3$$

$$\sigma_p = 139 \text{ MPa}$$

$$F_I = 0,6 \cdot S_C \cdot \sigma_p \cdot n_{TS} = 0,6 \cdot 33,75 \cdot 139 \cdot 1,3 = 3.659 \text{ kN} = 3,7 \text{ MN}$$

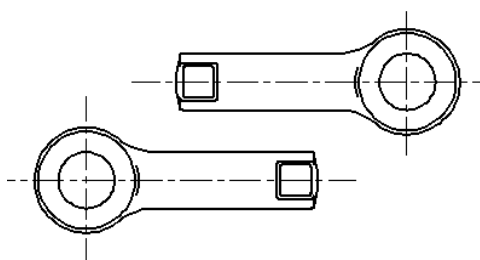
**VARIANTA II:**

$$S_{CII} = 50,47 \text{ mm}^2$$

$$n_{TS} = 1,3$$

$$\sigma_p = 139 \text{ MPa}$$

$$F_{II} = 0,6 \cdot S_C \cdot \sigma_p \cdot n_{TS} = 0,6 \cdot 50,47 \cdot 139 \cdot 1,3 = 5.472 \text{ kN} = 5,5 \text{ MN}$$

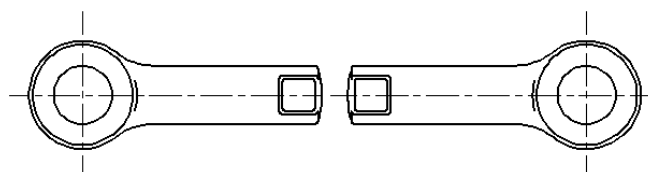
**VARIANTA III:**

$$S_{CIII} = 52,09 \text{ mm}^2$$

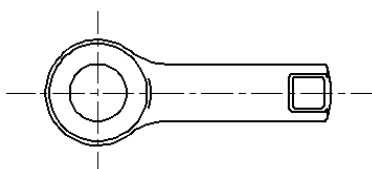
$$n_{TS} = 1,3$$

$$\sigma_p = 139 \text{ MPa}$$

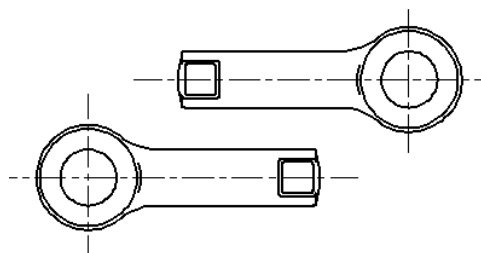
$$F_{III} = 0,6 \cdot S_C \cdot \sigma_p \cdot n_{TS} = 0,6 \cdot 52,09 \cdot 139 \cdot 1,3 = 5.648 \text{ kN} = 5,7 \text{ MN}$$

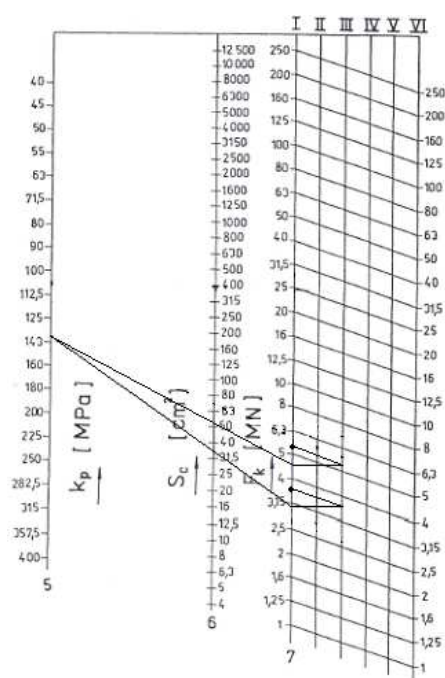
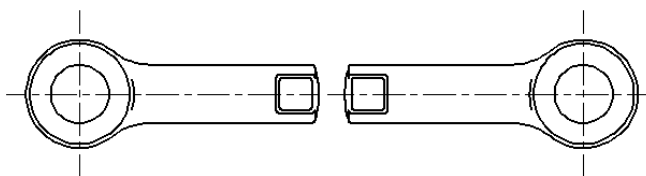
**3.10.3. Výpočet tvářecí síly dle nomogramu ČSN 22 8306 [9]****VARIANTA I:**

$$F_I = \underline{3,8 \text{ MN}}$$

**VARIANTA II:**

$$F_{II} = \underline{5,2 \text{ MN}}$$



VARIANTA III: **$F_{III} = 5,3 \text{ MN}$** 

Obr. 3.11: Graf tvářecí síly dle nomogramu ČSN 22 8306 (norma ČSN 22 8306 str.6)

I.		Jednoduché, kompaktní součásti
II.		Kompaktní, málo členité součásti
III.		Součásti s vysokým stupněm členitosti
IV.		Rozvidlené součásti
V.		Součásti s malými tloušťkami a přechody
VI.		Součásti s extrémně malou tloušťkou průřezu

Obr. 3.12: Stupeň tvarové složitosti(norma ČSN 22 8306 str.4)

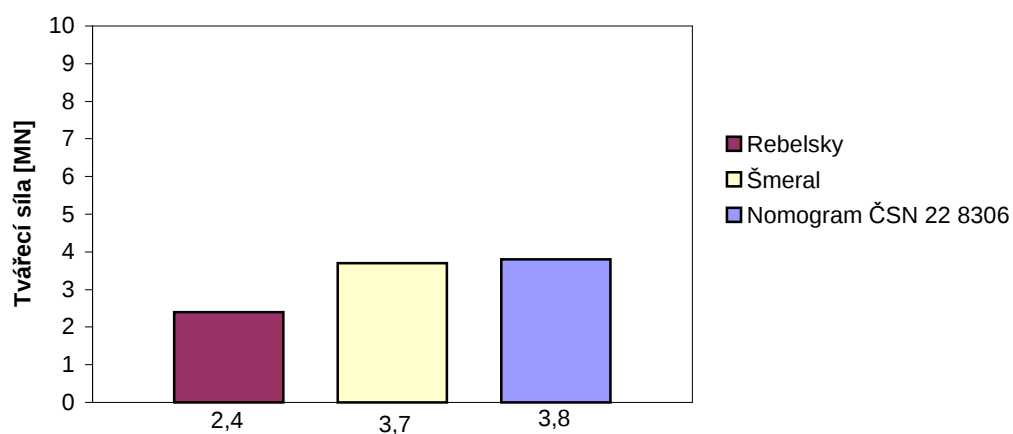
Z tabulky (obr.3.12) byl zvolen dle tvaru a rozměrů výkovku stupeň tvarové složitosti III. V grafu (obr. 3.11) je vyznačena potřebná tvářecí síla, která byla zjištěna z výchozích hodnot přirozeného přetvárného odporu, celkové plochy výkovku v dělicí rovině (výkovek+můstek) a stupně tvarové složitosti. Tyto hodnoty byly propojeny průsečnicemi tak, jak je vyznačeno v grafu (obr. 3.11). Pro variantu II a III byly zvoleny pro přehlednost stejné průsečnice, protože jejich dráhy jsou téměř totožné a graf by byl nepřehledný. Samozřejmě že konečné výsledky se nepatrně liší.

Tab. 3.10: Velikosti tvářecích sil pro všechny 3 varianty

VARIANTA	REBELSKY [MN]	ŠMERAL [MN]	NOMOGRAM ČSN 22 8306[MN]
I	2,4	3,7	3,8
II	4,7	5,5	5,2
III	4,4	5,7	5,3

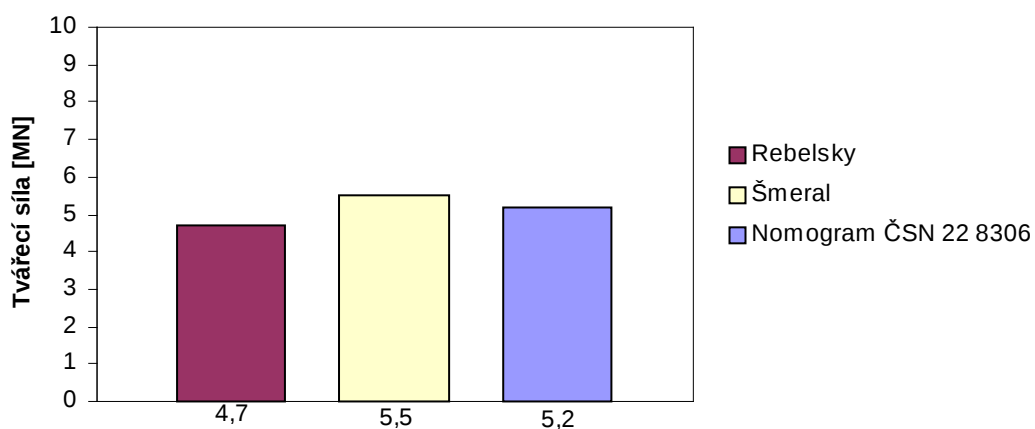
3.10.4. Porovnání výsledků tvářecích sil

Velikosti tvářecích sil pro variantu I



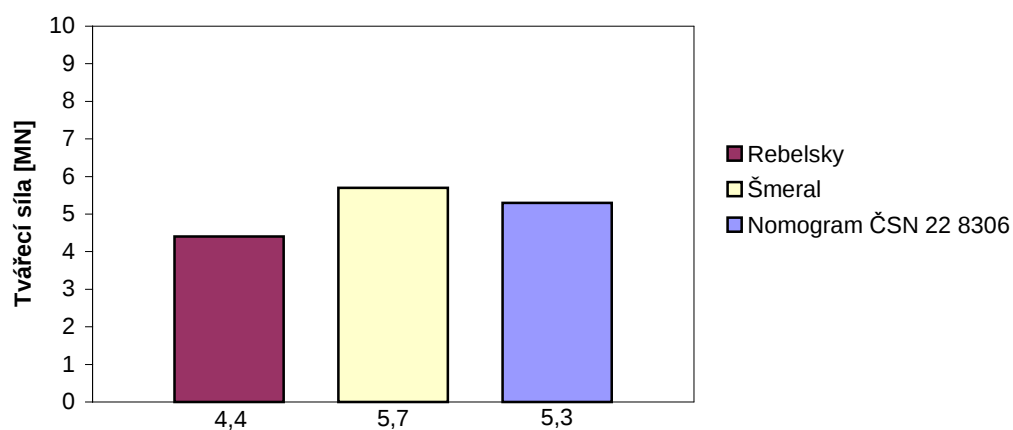
Zhodnocení vypočtených výsledků: Pro variantu I by byl nejvhodnější tvářecí stroj LZK 600 od firmy ŠMERAL a.s. Brno s maximální tvářecí silou 6 MN, ale bohužel se tento lis vyrábí pouze na zakázku a pořizovací náklady by převyšovaly pořizovací náklady na tvářecí stroj LZK 1000 od firmy ŠMERAL a.s. Brno s maximální tvářecí silou 10 MN, tak z tohoto důvodu byl zvolen lis LZK 1000.

Velikosti tvářecích sil pro variantu II



Zhodnocení vypočtených výsledků: Pro variantu II byl navržen tvářecí stroj LZK 1000 od firmy ŠMERAL a.s. Brno s maximální tvářecí silou 10 MN. V případě automatizace tvářecího procesu by bylo vhodné navrhnout větší lis LZK 1600 též od firmy ŠMERAL a.s. Brno s maximální tvářecí silou 16 MN.

Velikosti tvářecích sil pro variantu III



Zhodnocení vypočtených výsledků: Pro variantu III byl navržen tvářecí stroj LZK 1000 od firmy ŠMERAL a.s. Brno s maximální tvářecí silou 10 MN. V případě automatizace tvářecího procesu by bylo vhodné navrhnout větší lis LZK 1600 též od firmy ŠMERAL a.s. Brno s maximální tvářecí silou 16 MN.

Tab. 3.11: Základní parametry svislého kovacího lisu LMZ 1000 [13]

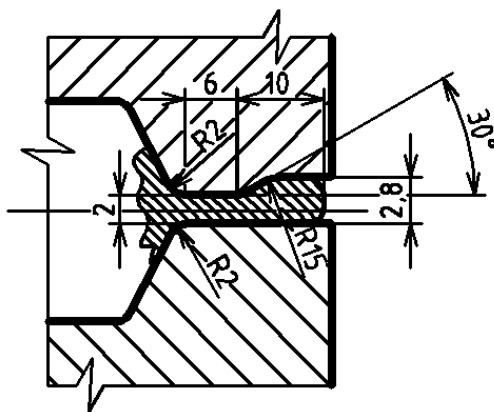
JMENOVITÁ TVÁŘECÍ SÍLA [MN]	10
ZDVIH [mm]	220
SEVŘENÍ [mm]	620
PŘESTAVENÍ BERANU [mm]	10
POČET ZDVIHŮ [1/min]	100
ROZMĚR STOLU [mm]	1000x950
ROZMĚR BERANU [mm]	968x750
VÝŠKA LISU [mm]	4600
VÝKON ELEKTROMOTORU [kW]	55



Obr 3.13: Svislý kovací lis LMZ 1000 [13]

3.11. Návrh rozměrů a tvaru výronkové drážky

Pro návrh rozměrů a tvaru výronkové drážky bylo použito normy ČSN 22 8306 (str. 21 a str.23). Tvar a rozměry výronkové drážky jsou stejné pro všechny 3 varianty.



Obr. 3.14: Tvar a rozměry výronkové drážky

3.12. Výpočet síly na ostřížení výronku

Výronek se oddělí od výkovku hned po dokování za tepla při teplotě kolem 800°C. Pouze výkovky s obsahem vyšším jak 0,5% C se ostříhují za studena. K výpočtu byl použit vztah (3.12).

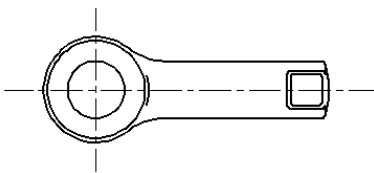
$$F_S = 1,6 \cdot L \cdot s \cdot R_{mT} \quad (3.12)$$

VARIANTA I:

$$L_I = 220,4 \text{ mm}$$

$$R_{mT} = 126 \text{ MPa}$$

$$F_I = 1,6 \cdot L_I \cdot s \cdot R_{mT} = 1,6 \cdot 220,4 \cdot 2 \cdot 126 = 88.865 = 0,088 \text{ MN}$$

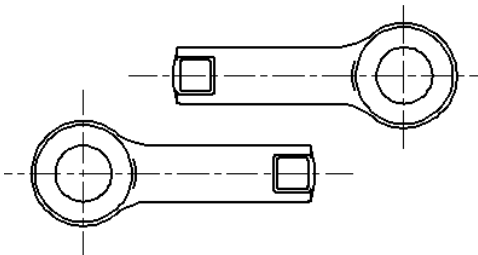


VARIANTA II:

$$L_{II} = 395,8 \text{ mm}$$

$$R_{mT} = 126 \text{ MPa}$$

$$F_{II} = 1,6 \cdot L_{II} \cdot s \cdot R_{mT} = 1,6 \cdot 395,4 \cdot 2 \cdot 126 = 159.425 = 0,160 \text{ MN}$$

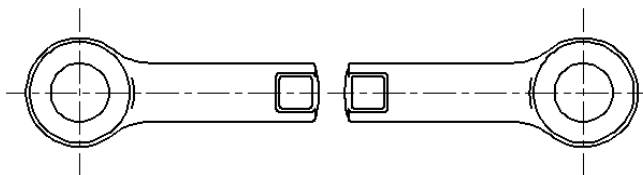


VARIANTA III:

$$L_{III} = 422,8 \text{ mm}$$

$$R_{mT} = 126 \text{ MPa}$$

$$F_{III} = 1,6 \cdot L_{III} \cdot s \cdot R_{mT} = 1,6 \cdot 422,8 \cdot 2 \cdot 126 = 170.473 = 0,170 \text{ MN}$$



Tab. 3.12: Síla potřebná na ostřížení výronku

VARIANTA	STŘIŽNÁ SÍLA [MN]
I	0,088
II	0,16
III	0,17

3.13. Volba ostříhovacího stroje

S ohledem na sílu potřebnou na ostřížení výronku jsem zvolil pro všechny 3 varianty ostříhovací lis o jmenovité tvářecí síle 2 MN a výrobním označením LKOA 200, který dodává firma ŠMERAL a.s. Brno. Základní technické parametry jsou uvedeny v tab.(3.8) a ilustrační foto na obr.(3.2)

Tab. 3.13: Základní parametry ostříhovacího lisu [14]

JMENOVITÁ TVÁŘECÍ SÍLA [kN]	2000
ZDVIH [mm]	180
SEVŘENÍ [mm]	600
PŘESTAVENÍ BERANU [mm]	100
POČET ZDVIHŮ [1/min]	55
ROZMĚR STOLU [mm]	1415x1000
ROZMĚR BERANU [mm]	1300x800
VÝŠKA LISU [mm]	4070
VÝKON ELEKTROMOTORU [kW]	15



Obr. 3.15: Ostřihovací lis LKOA 200 od firmy ŠMERAL a.s. Brno [14]

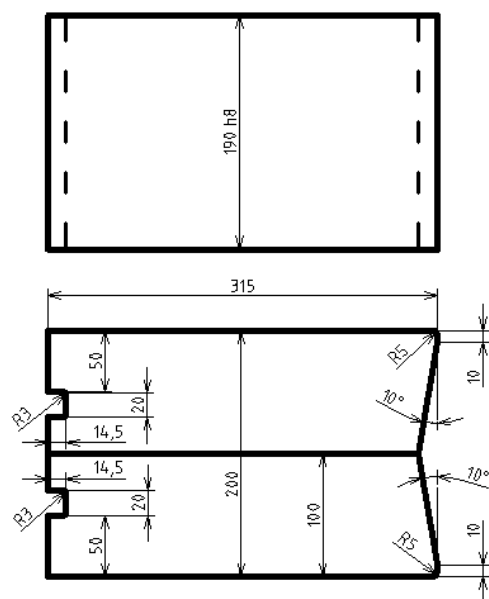
3.14. Návrh a technologické parametry zápustek

Rozměry dokončovací dutiny, které přesahují 10 mm budou zvětšeny o hodnotu smrštění. Norma ČSN 22 8306 (str.19) udává hodnotu smrštění pro ocelové výkovky v rozmezí od 1,0 % do 1,3 %. Rádusy jsou neměnné. Pro zadanou součást byla zvolena hodnota smrštění 1,3 %. Mezní úchytky rozměrů dokončovací dutiny jsou opět uvedeny v normě ČSN 22 8306 (str.20). Jako materiál zápustek byla zvolena nástrojová ocel 19 663 dle ČSN. Charakteristiky a použití jsou uvedeny v literární studii (v podkapitole 2.2.3. Materiál zápustek). Dle použitého stroje byl zvolen upínač zápustek QLZK 1000/UC od firmy ŠMERAL a.s. Brno a hranolovité zápustky.

Jmenovitý rozměr		Mezní úchytky	
přes	do	⊥	∥
0	25	0,06	0,07
25	40	0,07	0,1
40	63	0,08	0,12
63	100	0,1	0,15
100	160	0,12	0,2
160	250	0,15	0,25
250	400	0,2	0,3
400	630	0,3	0,45
630	1000	0,4	0,6

Použité značky:
 ⊥ kolmo k rázu
 ∥ ve směru rázu

Obr 3.16: Mezní úchytky rozměrů dokončovací dutiny [9]



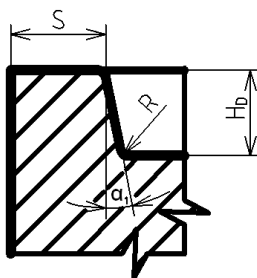
Obr 3.17: Rozměry zápusťky

3.14.1. Minimální vzdálenost od okraje a mezi dutinami zápusťky

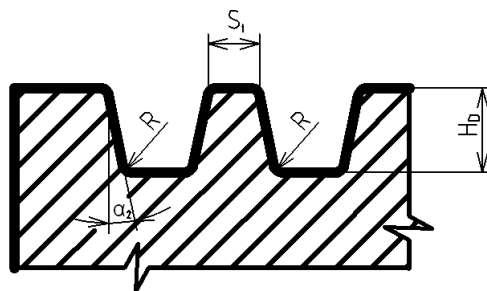
Pomocná veličina T , která je závislá na poloměru R dutiny, hloubce dutiny H_D a úhlu α_1 , pro výpočet nejmenší vzdálenosti S dutiny od okraje zápusťky a nejmenší vzdálenosti S_1 mezi jednotlivými dutinami, se určí ze vztahu (3.13), (3.14). [9]

$$S = T \quad T = \frac{11 \cdot H_D \cdot \cos \alpha_1}{\sqrt{H_D + 0,4 \cdot R}} \quad (3.13)$$

$$S_1 \geq 0,6 \cdot T \cdot \cos \alpha_2 \quad (3.14)$$



Obr 3.18: Vzdálenost dutiny od okraje zápusťky [9]



Obr 3.19: Vzdálenost mezi dutinami [9]

VARIANTA I:

$$T = \frac{11 \cdot H_D \cdot \cos \alpha_1}{\sqrt{H_D + 0,4 \cdot R}} = \frac{11 \cdot 16,8 \cdot \cos 4^\circ}{\sqrt{16,8 + 0,4 \cdot 1}} = 44,5 \text{ mm}$$

$$\underline{S = T = 44,5 \text{ mm}}$$

VARIANTA II:

$$T = \frac{11 \cdot H_D \cdot \cos \alpha_1}{\sqrt{H_D + 0,4 \cdot R}} = \frac{11 \cdot 16,8 \cdot \cos 4^\circ}{\sqrt{16,8 + 0,4 \cdot 1}} = 44,5 \text{ mm}$$

$$\underline{S = T = 44,5 \text{ mm}}$$

$$T = \frac{11 \cdot H_D \cdot \cos \alpha_1}{\sqrt{H_D + 0,4 \cdot R}} = \frac{11 \cdot 9 \cdot \cos 0^\circ}{\sqrt{9 + 0,4 \cdot 9}} = 27,9 \text{ mm}$$

$$S_1 \geq 0,6 \cdot T \cdot \cos \alpha_2 \quad 0,6 \cdot 27,9 \cdot \cos 0^\circ = 16,7 \text{ mm}$$

$$\underline{S_1 \geq 16,7 \text{ mm}}$$

VARIANTA III:

$$T = \frac{11 \cdot H_D \cdot \cos \alpha_1}{\sqrt{H_D + 0,4 \cdot R}} = \frac{11 \cdot 16,8 \cdot \cos 4^\circ}{\sqrt{16,8 + 0,4 \cdot 1}} = 44,5 \text{ mm}$$

$$\underline{S = T = 44,5 \text{ mm}}$$

$$T = \frac{11 \cdot H_D \cdot \cos \alpha_1}{\sqrt{H_D + 0,4 \cdot R}} = \frac{11 \cdot 9,5 \cdot \cos 3^\circ}{\sqrt{9,5 + 0,4 \cdot 1}} = 33,1 \text{ mm}$$

$$S_1 \geq 0,6 \cdot T \cdot \cos \alpha_2 \quad 0,6 \cdot 33,1 \cdot \cos 3^\circ = 19,8 \text{ mm}$$

$$\underline{S_1 \geq 19,8 \text{ mm}}$$

Tab. 3.14: Minimální vzdálenosti zápustek od okraje a mezi dutinami

VARIANTA	MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST OD OKRAJE ZÁPUSTKY [mm]	MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST MEZI DUTINAMI ZÁPUSTKY [mm]
I	44,5	-
II	44,5	16,7
III	44,5	19,8

3.15. Ohřev polotovaru a předehřev zápustek

Polotovar je předehříván na teplotu 1100 °C a samotné kování probíhá při teplotě polotovaru 1000 °C. Je počítáno s tepelnými ztrátami během manipulace s teplým polotovarem 100 °C. Zvyšování teploty polotovaru bude probíhat indukčním ohřevem. Na ohřev je použit středofrekvenční ohříváč typu **SOP 160** s maximálním výkonem ohřevu 160 kW od firmy ROBOTERM CHOTĚBOŘ. Zápustky se předehřívají na 250 ÷ 300°C.

Tab. 3.15: základní parametry středofrekvenčního ohříváče SOP 160 [5]

PRŮMĚR D PŘÍŘEZU [mm]	15 - 60
DÉLKA PŘÍŘEZU [mm]	1,2D - 300
MAX. TEPLOTA OHŘÍVANÝCH PŘÍŘEZŮ	1250
MAX. OHŘÁTÉ MNOŽSTVÍ [kg/hod]	360
VÝKON [kW]	160
KMITOČET [kHz]	4 - 10
VSTUPNÍ NAPĚTÍ [V]	500
SPOTŘEBA CHLADICÍ VODY [m/hod]	2,5



Obr. 3.20: Středofrekvenční ohřívač SOP 160 [5]

3.16. Vyhazování výkovku

Vyhazování výkovku bude prováděno kolíkovým vyhazovačem, umístěným ve spodní dutině zápustky. Pro kování jednoho kusu výkovku bude použit jeden kolíkový vyhazovač, pro dvojkus budou použity dva kolíkové vyhazovače. Dle normy ČSN 22 8306 (str.25) byl zvolen jmenovitý průměr kolíkového vyhazovače 16 mm pro všechny tři varianty.

3.17. Mazání zápustek

Mazání zápustek bude prováděno mazivem pro zápustky MOLYDUVAL Aqualub GH s obsahem grafitu na bázi vody. Koncentrát se mísí s vodou v poměru 1:10 až 1:15. Při tomto poměru má mazivo dobrý oddělovací a mazací účinek. Zápustky se nejlépe nastříkají pomocí automatických postřikovacích zařízení nebo stříkacími pistolemi. Toto mazivo obsahuje 20% grafitu, disponuje relativně hrubou jemností a má široké spektrum využití. [4]

3.18. Technologický postup výroby výkovku

Tab. 3.16: Technologický postup

ČÍSLO OPERACE	NÁZEV OPERACE	METODA A TECHNOLOGICKÉ PODMÍNKY	ZAŘÍZENÍ, NÁSTROJ
1	Dělení materiálu	Stříhání za studena	Strojní nůžky Sck 315
2	Ohřev polotovaru	Indukční ohřev, teplota 1100 C	Středofrekvenční ohříváč SOP 160
3	Předkování	Tvarové, teplota 1000 C	Klikový lis LZK 1000
4	Dokování	Tvarové jednooperační 1000 C	Klikový lis LZK 1000
5	Ostřížení	Odstranění výronku	Ostřihovací lis LKOA 200
6	(Tepelné zpracování)	Dle požadavků zákazníka	
7	Čištění	Otryskání	Tryskač
8	Kontrola	Kontrola rozměrů, kontrola tvrdosti, kontrola vnitřních vad	Měřidla, tvrdoměr, rentgen

4. EKONOMICKÉ HLEDISKO

4.1. Náklady na materiál výkovku

4.1.1. Zjištěné a vypočítané vstupní parametry

Tab. 4.1: Velikosti tvářecích sil pro všechny 3 varianty

POŽADOVANÝ POČET	250 000 ks/rok
OCEL DLE ČSN	14 220
HMOTNOST HOTOVÉHO VÝKOVKU 1 KUS	0,286 kg
HUTNÍ POLOTOVAR	φ 29 - 6000 ČSN 42 5510
VÝCHOZÍ ROZMĚR PŘÍŘEZU	φ 29 - 136 ČSN 42 5510
POČET VÝKOVKŮ Z JEDNOHO PŘÍŘEZU	2 ks
CENA OCELI	27,60 Kč/kg bez DPH

4.1.2. Počet přířezů z jedné tyče

$$n_p = \frac{L_T}{L_p} \quad (4.1)$$

$$n_p = \frac{L_T}{L_p} = \frac{6.000}{136} = 44ks$$

Z jedné šestimetrové tyče se vystřihne 44 kusů přířezů.

4.1.3. Počet tyčí pro požadovanou roční kapacitu

$$n_T = \frac{Q}{n_p + n_{vp}} \quad (4.2)$$

$$n_T = \frac{Q}{n_p + n_{vp}} = \frac{250.000}{44 \cdot 2} = 2.840ks$$

Pro požadovanou roční kapacitu je zapotřebí 2 840 kusů šestimetrových tyčí.

4.1.4. Přímé náklady na materiál polotovaru pro celou výrobní dávku

$$V_t = \pi \cdot \frac{d_t^2}{4} \cdot l_t \quad (4.3)$$

$$V_t = \pi \cdot \frac{d_t^2}{4} \cdot l_t = \pi \cdot \frac{0,029^2}{4} \cdot 6 = 3,963 \cdot 10^{-3} m^3$$

$$\rho_{ocel} = 7.850 kg / m^3$$

$$\rho = \frac{m_t}{V_t} \quad (4.4)$$

$$m_t = \rho_t \cdot V_t = 7.850 \cdot 3,963 \cdot 10^{-3} = 31,1kg$$

Hmotnost šestimetrové tyče hutního polotovaru činí 31,1 kg.

$$P_{VD} = n_T \cdot m_T \cdot P_O \quad (4.5)$$

$$P_{VD} = n_T \cdot m_t \cdot P_O = 2.840 \cdot 31,1 \cdot 27,6 = 2.437.743Kč$$

Náklady na materiál polotovaru pro roční výrobní dávku činí 2 437 743 Kč.

4.1.5. Přímé náklady materiálu na jeden kus výkovku

$$V_p = \pi \cdot \frac{d_p^2}{4} \cdot l_p = \pi \cdot \frac{0,029^2}{4} \cdot 0,136 = 8,983 \cdot 10^{-5} m^3$$

$$m_p = \rho_p \cdot V_p = 7.850 \cdot 8,983 \cdot 10^{-5} = 0,705 kg$$

Hmotnost jednoho přířezu činí 0,705 kg.

$$P_{KS} = \frac{m_p \cdot P_O}{n_{VP}} \quad (4.6)$$

$$P_{KS} = \frac{m_p \cdot P_O}{n_{VP}} = \frac{0,705 \cdot 27,60}{2} = 9,73 K\check{c}$$

Náklady materiálu na jeden kus výkovku činí asi 9,7 Kč.

4.1.6. Stupeň využití materiálu

$$k_m = \frac{m_v \cdot n_{VP}}{m_p} \quad (4.7)$$

$$k_m = \frac{m_v \cdot n_{VP}}{m_p} = \frac{0,286 \cdot 2}{0,705} = 0,81$$

Využití materiálu činí 81 %.

4.1.7. Vratný odpad materiálu pro roční výrobní dávku

$$m_{ODP} = [m_p - (m_v \cdot n_{VP})] \cdot \frac{n_{PP}}{n_{VP}} \quad (4.8)$$

$$m_{ODP} = [m_p - (m_v \cdot n_{VP})] \cdot \frac{Q}{n_{VP}} = [0,705 - (0,286 \cdot 2)] \cdot \frac{250.000}{2} = 16.625 kg$$

Při průměrné výkupní ceně 3,50 Kč/kg je možné získat v sběrných surovinách za 16 625 kg ocelového odpadu 58 188 Kč. Po odečtení vratného odpadu jsou náklady na materiál ve výši 2 379 546 Kč.

4.2. Kapacitní propočty

4.2.1. Technologický postup se strojními časy

Na základě analogie technologických postupů vyrábějících podobné součástky byly zjištěny normativy časů viz. tab.(4.2).

Tab. 4.2: Strojní časy jednotkové (kusové) a dávkové (přípravy) u jednotlivých operací

NÁZEV OPERACE	t_{Ai} [min]	t_{Bi} [min]
Dělení materiálu	0,10	30
Ohřev polotovaru	0,80	100
Předkování, Dokování	0,50	150
Ostřížení	0,20	120
Otryskání	0,60	10
Σ (výkovek dvojkus)	2,20	560
Σ (1 výkovek)	1,1	560

4.2.2. Efektivní časový fond

Jeden kalendářní rok má 52 týdnů a pracovní týden je tvořen 5 dny. Počet placených svátků v roce 2010 činí 8. Ze zákona je stanovená povinná dovolená 4 týdny, což je 20 pracovních dní. Z toho vyplývá že na rok 2010 připadá 233 dní pracovních.

$$F_{EF} = d \cdot h \cdot \sigma \cdot g \cdot \left(1 - \frac{z}{100}\right) \quad (4.9)$$

$$F_{EF} = d \cdot h \cdot \sigma \cdot g \cdot \left(1 - \frac{z}{100}\right) = 233 \cdot 8 \cdot 2,6 \cdot 1 \cdot \left(1 - \frac{3}{100}\right) = 4.701 \text{ hod}$$

Využitelný efektivní časový fond je 4 701 hod.

4.2.3. Skutečná výrobní kapacita

Dle technologického postupu a strojních časů vyplývá, že výroba jednoho hotového výkovek bude trvat 1,1 minuty to znamená, že se za 1 pracovní hodinu vyrobí 54 výkovek.

$$K_i = \frac{F_{EF}}{t_i} \quad (4.10)$$

$$K_i = \frac{F_{EF}}{t_i} = \frac{4.701}{\frac{1}{54}} = 253.854 \text{ ks}$$

Skutečná výrobní kapacita je 253 854 ks/rok.

4.3. Náklady na mzdy

Ve 4. čtvrtletí 2009 je medián průměrné hrubé mzdy dělníků obsluhujících stroje a zařízení 112,54 Kč/hod. Medián je hodnota uprostřed vzestupně uspořádané řady hodnot sledovaného znaku, polovina hodnot je nižší než medián a druhá polovina je vyšší než medián. Uvažuje se obsluha čtyřmi dělníky. [10]

4.3.1. Mzda na kus

$$M_{ks} = \frac{Q_{D\acute{E}L} \cdot M_H}{Q_V} \quad (4.12)$$

$$M_{ks} = \frac{Q_{D\acute{E}L} \cdot M_H}{Q_V} = \frac{4 \cdot 112,54}{54} = 8,3 \text{ Kč / ks}$$

$$C_M = Q \cdot M_{ks} \quad (4.13)$$

$$N_M = Q \cdot M_{ks} = 250.000 \cdot 8,3 = 2.075.000 \text{ Kč}$$

Mzda na jeden kus výrobku činí 8,3 Kč a celkové náklady na mzdy na celou roční výrobní dávku jsou 2 075 000 Kč.

4.4. Ostatní přímé náklady

4.4.1. Náklady na elektrickou energii

Průměrná cena elektrické energie v 1. čtvrtletí roku 2010 činí 4,50 Kč/kWh. Součet výkonů strojů v technologickém postupu je 253 kW.

$$PN_E = \Sigma P \cdot \eta \cdot t_i \cdot C_E \cdot Q \quad (4.14)$$

$$PN_E = \Sigma P \cdot \eta \cdot t_i \cdot C_E \cdot Q = 253 \cdot 0,8 \cdot \frac{1}{54} \cdot 4,50 \cdot 250.000 = 4.216.666 \text{ Kč}$$

Náklady na elektrickou energii potřebnou pro chod strojů činí 4 216 666 Kč.

4.5. Nepřímé náklady

Mezi nepřímé náklady patří výrobní režie a správní a odbytová režie. Zodpovědným odhadem je stanovena výše výrobní režie na 950 % z přímých mezd a správní a odbytová režie 370 % z přímých mezd. Sociální a zdravotní pojištění je 35 % z přímých mezd.

$$9,5 \cdot 2.075.000 = 19.712.500 \text{ Kč}$$

$$3,7 \cdot 2.075.000 = 7.677.500 \text{ Kč}$$

$$0,35 \cdot 2.075.000 = 726.250 \text{ Kč}$$

$$19.712.500 + 7.677.500 + 726.250 = 28.116.250 \text{ Kč}$$

Výrobní režie technologie činí 19 712 500 Kč a správní a odbytová režie činí 7 677 500 Kč. Sociální a zdravotní pojištění je odečteno částkou 726 250 Kč. Celkem 28 116 250 Kč.

4.6. Předpokládaný zisk

Je předpoklad, že zisk bude ve výši 14 %. Zisk se pak vypočte ze vztahu (4.15).

$$Z = (N_{mat} + N_M + PN_E + NN) \cdot \% \quad (4.15)$$

$$Z = (N_{mat} + N_M + PN_E + NN) \cdot \% = (2.379.546 + 2.075.000 + 4.216.666 + 28.116.250) \cdot 0,15 = 5.150.245 \text{ Kč}$$

$$Z_{Ks} = \frac{5.150.245}{250.000} = 20,6 \text{ Kč}$$

Předpokládaný roční zisk činí 5 150 245 Kč. Zisk na jednom výrobku je 20,6 Kč.

4.7. Výsledná cena hotového výrobku za kus

$$C_V = \frac{(N_{mat} + N_M + PN_E + NN + Z)}{Q} \quad (4.16)$$

$$\begin{aligned} C_V &= \frac{(N_{mat} + N_M + PN_E + NN + Z)}{Q} = \\ &= \frac{(2.379.546 + 2.075.000 + 4.216.666 + 28.116.250 + 5.150.245)}{250.000} = \\ &= \frac{41.937.707}{250.000} = 167,8 \text{ Kč / ks} \end{aligned}$$

Výsledná cena jednoho hotového výrobku činí 167,8 Kč bez DPH.

4.8. Výsledná tabulka ekonomických údajů

Tab. 4.3: Ekonomické údaje o výkovku a jeho výrobě

NÁKLADY NA MATERIÁL VÝKOVKŮ	2 379 546 Kč
MZDY	2 075 000 Kč
SOCIÁLNÍ A ZDRAVOTNÍ POJIŠTĚNÍ	726 250 Kč
OSTATNÍ PŘÍMÉ NÁKLADY-ENERGIE	4 216 666 Kč
VÝROBNÍ REŽIE	19 712 500 Kč
SPRÁVNÍ A ODBYTOVÁ REŽIE	7 677 500 Kč
PŘEDPOKLÁDANÝ ZISK	5 150 245 Kč
CELKEM CENA BEZ DPH	41 937 707 Kč
CELKEM CENA ZA 1 KUS BEZ DPH	167,8 Kč

4.9. Analýza bodu zvratu

Zodpovědným odhadem byla stanovena výše fixních nákladů na **4 000 000 Kč**. Variabilní náklady na 1 kus výkovku jsou **147,2 Kč**.

4.9.1. Tržby

$$T = Q \cdot C_v \quad (4.17)$$

$$T = Q \cdot C_v = 250.000 \cdot 167,8 = 41.950.000 \text{ Kč}$$

Tržby činí 41 950 000 Kč.

4.9.2. Náklady

$$N = FN + Q \cdot n_v \quad (4.18)$$

$$N = FN + Q \cdot n_v = 4.000.000 + 250.000 \cdot 147,2 = 40.080.000 \text{ Kč}$$

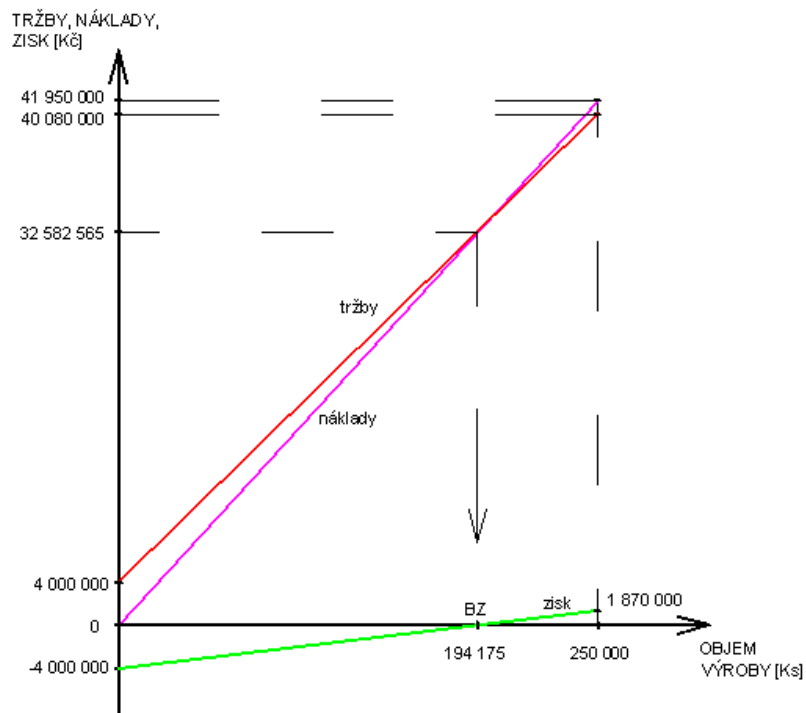
Náklady činí 40 080 000 Kč.

4.9.3. Výrobní kritické množství

$$Q_{KR} = \frac{FN}{Z_{Ks}} \quad (4.19)$$

$$Q_{KR} = \frac{FN}{Z_{Ks}} = \frac{4.000.000}{20,6} = 194.175 Ks$$

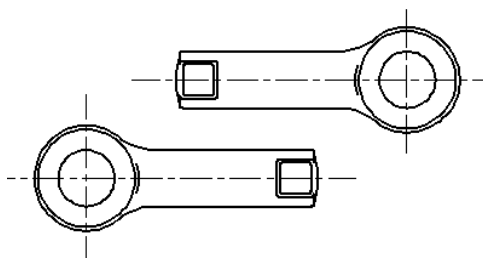
Bod zvratu je 194 175 Ks. Po překročení této produkční hranice je tvořen zisk.



Obr. 4.1: Graf bodu zvratu, závislost nákladů, tržeb a zisku na objemu výroby

5. ZÁVĚR

V diplomové práci byla zpracována problematika výroby dolního tělesa objemovým tvářením. Technologie byla navržena s ohledem na rozměry součásti, materiál 14 220 dle ČSN a roční produkci 250 000 kusů. Výkovek bude vyroben zápustkovým kováním za tepla. Hutní polotovary bude šestimetrová tyč o průměru 29 mm. Tyč bude dělena za studena na strojních nůžkách Sck 315 na rozměr přířezu ϕ 29-136 ČSN 42 5510. Z jednoho přířezu budou v konečné podobě 2 výkovky. V navržené technologii je možné umístění výkovku v zápustce třemi způsoby. Dle tvářecích sil, nákladů a možnostech výroby byla nakonec zvolena varianta II (obr. 5.1).



Obr.5.1: Konečné umístění výkovku v zápustce

Kovat se bude ve dvou operacích. Předkovací a dokončovací zápustky budou upnuty naráz v jednom upínači a samotné kování se provede na jeden zdvih beranu. Tvářecí síla byla pro kontrolu počítána třemi metodami za účelem eliminace chyb a nepřesnosti výsledku. Po vyhodnocení výsledků tvářecích sil byl pro vyhotovení výkovků zvolen svislý kovací lis LZK 1000 od firmy ŠMERAL a.s. Brno. Ostřížení výronku proběhne na ostříhovacím lisu LKOA 200 od firmy ŠMERAL a.s. Brno. Zápustka byla navržena s ohledem na zvolený upínač zápustek QLZK 1000/UC. Bylo by možné použít vložkované zápustky z důvodu úspory materiálu. Polotovary bude předehříván na teplotu 1100 °C a samotné kování bude probíhat při teplotě polotovaru 1000 °C. Je předpoklad, že tepelné ztráty v hodnotě 100 °C budou způsobeny manipulací s výkovkem. Ohřev proběhne indukčně ve středofrekvenčním ohříváči s označením SOP 160 od firmy ROBOTERM. Po vykování bude výkovek vyhozen dvěma kolíkovými vyhazovači ϕ 16 mm umístěnými ve spodní zápustce. Po provozních zkouškách možno použití horního vyhazovače. Mazání zápustek bude prováděno mazivem pro zápustky MOLYDUVAL Aqualub GH. V případě zvýšení sériovosti je možno přiřadit automatický transfer. Došlo by ke zvýšení výrobnosti celého procesu.

Stroje budou pořízeny starší po generální opravě vyřazené z jiného výrobního cyklu za účelem snížení pořizovacích nákladů. Zisk na jednom výkovku byl stanoven zodpovědným odhadem dle průzkumu trhu na 14 %. Prodejní velkoobchodní cena jednoho výkovku bude 167,80 Kč. Bod zvratu nastává při vyrobení 194 175 kusech výkovků.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] DRASTÍK, František. *Výpočty z oboru kování a lisování*. 1. vydání Praha: SNTL, 1972. 189 str. ISBN 04-227-72
- [2] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření plošné a objemové tváření*. Akademické nakladatelství CERM Brno, 2007. 169 str. ISBN 978-80-214-3425-7
- [3] FOREJT, Milan. *Teorie tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno : Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 str. Edit. VUT Brno. ISBN 80-214-0298-6
- [4] *Fina-oleje* [online]. 2009© [cit. 2010-05-24]. MOLYDUVAL. Dostupné z WWW: <http://www.fina-oleje.cz/files/produkty/molyduval/spec_maziva_pro_tvareni_kovu.pdf>
- [5] *ROBOTERM CHOTĚBOŘ* [online]. 2010 © [cit. 2010-05-24]. Středofrekvenční ohříváče přířezů. Dostupné z WWW: <http://www.roboterm.cz/ohrivace_i/ohrevy/ohrivace.htm>.
- [6] DVOŘÁK, Milan. *Technologie II / Vyd. 3., dopl., V Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2004. 238 s. : il. ; 30 cm. ISBN 80-214-2683-7 (Vysoké učení technické v Brně : brož.)*
- [7] SVOBODA, Pavel, BRANDEJS, Jan, PROKEŠ, František. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Akademické nakladatelství CERM Brno, 2007. 223 str. ISBN 978-80-7204-534-1
- [8] Norma ČSN 42 9030. *Výkovky ocelové zápuskové – Příkladky na obrábění, mezní úchytky rozměrů a tvarů*. vydalo ÚNM, Praha 1986, str. 22.
- [9] Norma ČSN 22 8306. *Zápusky pro svislé kovací lisys – Technické požadavky na konstrukci*. vydal a vytiskl ČNI, Praha 1990, str. 39.
- [10] *ISPV* [online]. 2010 © [cit. 2010-05-18]. Aktuální výsledky šetření. Dostupné z WWW: <<http://www.ispv.cz/cz/Vysledky-setreni/Aktualni.aspx>>.
- [11] JUROVÁ M.: *Řízení výroby I, část 1*. Vydavatelství VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, listopad 2005, 81 s, ISBN 80-214-3066-4.
- [12] JUROVÁ M.: *Řízení výroby I, část 2*. Vydavatelství VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, listopad 2005, 138 s, ISBN 80-214-3134-2.
- [13] *ŠMERAL BRNO a.s.* [online]. 2010 © [cit. 2010-05-24]. Svislé kovací lisys. Dostupné z WWW: <<http://www.smeral.cz/CZTvarKov.html>>.
- [14] *ŠMERAL BRNO a.s.* [online]. 2010 © [cit. 2010-05-24]. Ostřihovací lisys. Dostupné z WWW: <<http://www.smeral.cz/CZTvarOst.html>>.
- [15] HAŠEK, Vladimír, et al. *Kování*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1965. 730 s. ISBN 04-233-65.

[16] ELFMARK, Jiří, et al. Tváření kovů. Ing. Pavel Vávra. 1. vyd. Praha: SNTL, 1992. 524 s. Technický průvodce; sv. 62. ISBN 80-03-00651-1.

[17] NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 str. Edit. VUT Brno. ISBN 80-214-0401-9.

[18] KOČMANOVÁ, Alena, LUŇÁČEK, Jiří. *Ekonomika podniku I. a II.* Brno: CERM, 2005. 2 sv. 68 s. ISBN 80-214-3016-8.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
a	[mm]	Šířka můstku
B,b	[mm]	Šířka zásobníku
B _S	[mm]	Střední šířka výkovku
C _E	[Kč]	Cena za elektrickou energii
C _V	[Kč]	Výsledná cena výkovku
d	[dní]	Počet pracovních dní
d _P	[mm]	Průměr přířezu
d _p	[dní]	Počet pracovních dní (bez SO, NE a svátků)
d _t	[mm]	Průměr tyče
D _{RED}	[mm]	Redukovaný průměr výkovku
F _{EF}	[N/hod]	Efektivní časový fond
FN	[Kč]	Fixní náklady
g	[-]	Počet vzájemně zaměnitelných pracovišť
h	[mm]	Tloušťka výronku
h	[hod]	Počet hodin v pracovním dni
H _D	[mm]	Polovina výšky výkovku, výška dutiny zápustky
K _i	[Ks]	Skutečná výrobní kapacita
l ₀	[mm]	Délka výkovku při teplotě 20 °C
l _p	[mm]	Délka přířezu
l _t	[mm]	Délka tyče
L	[mm]	Skutečný obvod ostřížku po čáře ostřížení vnějšího výronku
L ₁	[mm]	Skutečný obvod ostřížku po čáře ostřížení blány
L _P	[mm]	Délka přířezu
L _T	[mm]	Délka jedné tyče
L _V	[mm]	Maximální délka výkovku v půdoryse
m _{ODP}	[kg]	Hmotnost vratného odpadu materiálu
m _P	[kg]	Hmotnost přířezu
m _t	[kg]	Hmotnost tyče
m _V	[kg]	Čistá hmotnost výkovku
M _H	[Kč]	Hodinová hrubá mzda dělníka
M _{KS}	[Kč]	Mzda na kus
n	[mm]	Výška zásobníku bez h
n _P	[Ks]	Počet přířezů z jedné tyče
n _T	[Ks]	Počet tyčí pro požadovanou roční kapacitu

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
n_{TS}	[-]	Koeficient vlivu tvarové složitosti(1÷1,42)
n_V	[Kč]	Variabilní náklady
n_{VP}	[Ks]	Počet výkovků z jednoho přířezu
N_M	[Kč]	Náklady na mzdy
NN	[Kč]	Nepřímé náklady
o	[mm]	Obvod výkovku v dělicí rovině
P	[kW]	Výkon
P_O	[Kč]	Cena oceli
P_{KS}	[Kč]	Přímé náklady na materiál na 1 kus výkovku
PN_E	[Kč]	Náklady na elektrickou energii
P_{VD}	[Kč]	Přímé náklady na materiál pro celou roční dávku
Q	[Ks]	Požadovaný počet výkovků za rok
$Q_{DĚL}$	[děl]	Počet dělníků
Q_{KR}	[Ks]	Výrobní kritické množství
Q_M	[Měs]	Počet měsíců v roce
Q_V	[Ks]	Počet výkovků vyrobených za hodinu
R	[mm]	Zaoblení přechodu výronkové drážky
R_m	[MPa]	Mez pevnosti
R_{mT}	[MPa]	Pevnost oceli při kování za určité teploty
s	[mm]	Šířka můstku
S	[mm]	Skutečná tloušťka stříhané vrstvy vnějšího výronku
S_1	[mm]	Skutečná tloušťka stříhané blány
S	[mm]	Minimální vzdálenost dutiny od okraje zápusťky
S	[mm ²]	Velikost střížné plochy
S_1	[mm]	Minimální vzdálenost mezi dutinami zápusťky
S_C	[mm ²]	Celková plocha výkovku v dělicí rovině (výkovek + můstek)
S_D	[mm ²]	Plocha průměru výkovku do dělicí roviny
S_V	[mm ²]	Plocha průmětu výkovku do dělicí roviny
t_0	[°C]	Pokojová teplota 20 °C
t_1	[°C]	Dokovací teplota
t_{Ai}	[Nmin]	Čas jednotkový(kusový)
t_{Bi}	[Nmin]	Čas dávkový(přípravy)
V_P	[m ³]	Objem přířezu

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
V_t	$[m^3]$	Objem tyče
Z	$[\%]$	Povolené časové ztráty
Z_{KS}	$[Kč]$	Zisk na jednom kusu výkovku
α	$[-]$	Střední koeficient tepelné roztlačnosti
ρ	$[kg/m^3]$	Hustota oceli
η	$[\%]$	Účinnost
σ	$[-]$	Směnnost
σ	$[-]$	Velikost opalu
σ_p	$[MPa]$	Přirozený přetvárný odpor
τ_{PS}	$[MPa]$	Pevnost ve stříhu ($0,8.R_m$)

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	VÝKOVEK 3D
Příloha 2	VÝKOVEK: 3-200-01
Příloha 3	TEPLÝ VÝKOVEK: 3-200-02
Příloha 4	HORNÍ ZÁPUSTKA 2. OPERACE: 3-001-01
Příloha 5	SPODNÍ ZÁPUSTKA 2. OPERACE: 3-001-02
Příloha 6	VYHAZOVAČ: 4-001-03
Příloha 7	SESTAVA: 2-001-00
Příloha 8	KUSOVNÍK SESTAVY: 4-001-00/01
Příloha 9	TECHNOLOGICKÝ POSTUP-SCHÉMA

