



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY OZUBENÉHO KOLA

GEAR PRODUCTION DESIGN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marie Rusková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Studentka: **Marie Rusková**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

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:

Návrh výroby ozubeného kola

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby ozubeného kola zadní polonápravy traktoru z oceli objemovým tvářením za tepla. Součástka je rotačního tvaru a bude vyráběna technologií zápusťkového kování. Na tuto problematiku bude zaměřena literární studie.

Cíle bakalářské práce:

- zhodnotit technologičnost ozubeného kola,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj,
- zhotovit výkres nástroje.

Seznam doporučené literatury:

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

PRIMUS, František. Teorie objemového tváření. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1990. s. 250.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.

HAŠEK, Vladimír. Kování. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 730 s. TISK. ISBN 04-233-65.

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

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.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem ozubeného kola, které se nachází na zadní polonápravě traktoru. Vzhledem k přenosu velkého kroutícího momentu bude vyrobeno z oceli 12 061. Po posouzení různých technologií výroby bylo jako nejoptimálnější zvoleno kování na svislém klikovém lisu. Následně byl dle normy ČSN 42 9030 navržen výkovek. Polotovarem bude tyč o průměru 125 mm, která bude dělena řezáním na délku 219 mm. Kování proběhne ve třech operacích. Na základě nejvyšší vypočtené potřebné síly, která vyšla 63,16 MN, byl zvolen stroj LZK 6500. Pro odstranění výronku a blány bude použit ostříhovací lis LDO 315 A/S.

Klíčová slova

Zápustkové kování, ozubené kolo, svislý klikový lis, ocel 12 061, výkovek

ABSTRACT

The thesis deals with the design of a gear, which is located on the rear half-axle of the tractor. Due to the high torque transmission, it will be made of 12 061 steel. After assessing the various production technologies, the forging on the vertical crank press were chosen as the most optimal. Forging was designed according to the standard ČSN 42 9030. The semi-finished product is going to be a rod with a diameter of 125 mm, which will be divided by cutting to a length of 219 mm. Forging will take place in three operations. Based on the highest calculated required force, which came out to 63.16 MN, the LZK 6500 machine was chosen. An LDO 315 A/S trimming press will be used to remove the protrusion and membrane.

Key words

Die forging, gear, vertical crank press, 12 061 steel, forging

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RUSKOVÁ, Marie. *Návrh výroby ozubeného kola* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139754>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh výroby ozubeného kola vypracovala samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

Brno, 19. 5. 2022

místo, datum

Marie Rusková

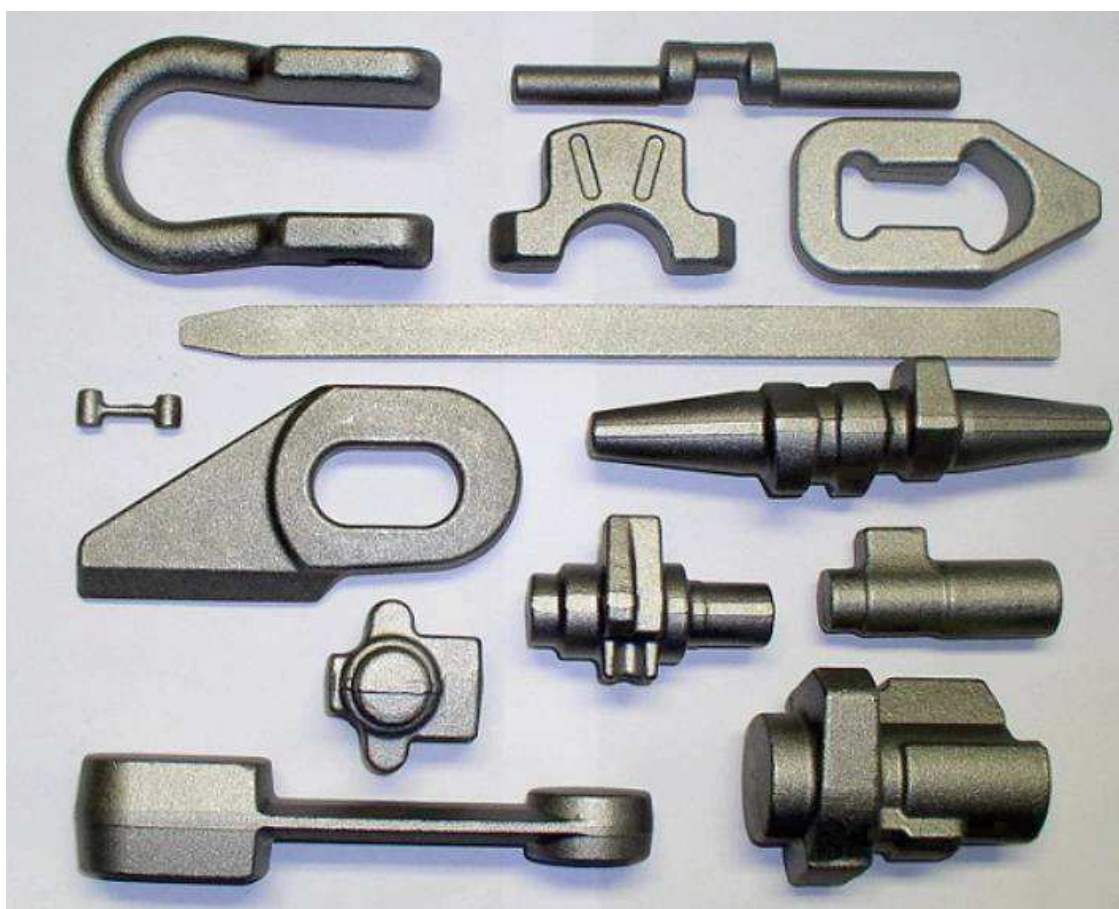
PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Kamilovi Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD	9
1 ROZBOR SOUČÁSTI	10
1.1 Návrh technologie výroby	11
2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ	13
2.1 Návrh výkovku	15
2.2 Zápustka	17
2.3 Kovací síla	18
2.4 Lisy	19
2.5 Dokončující operace	20
2.6 Technologičnost	21
3 NÁVRH VÝROBY	23
3.1 Výronková drážka	28
3.2 Polotovar	29
3.3 Síla a potřebný stroj	30
3.4 Návrh kovacích operací	34
3.5 Návrh zápustky	36
3.5.1 Popis nástroje a kování	39
3.6 Ostřížení a dokončení	40
ZÁVĚR.....	42
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	43
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	46
SEZNAM PŘÍLOH	48

Jednou z metod objemového tváření za tepla je kování, které bývá volné nebo zápustkové. Při volném se používají víceúčelové nástroje zvané kovádla, kdežto u zápustkového jednoúčelové zápustky, díky kterým se kov tvaruje do značně přesnějších a složitějších tvarů. Mezi výhody zápustkových výkovků patří jejich pevnost, houževnatost, čistota a přesnost povrchu, úspora materiálu, vysoká produktivita a snadná obsluha. Nevýhodou jsou omezené rozměry a hmotnosti výkovků. Příklady zápustkových výkovků jsou uvedeny na obrázku 1. [4; 5]



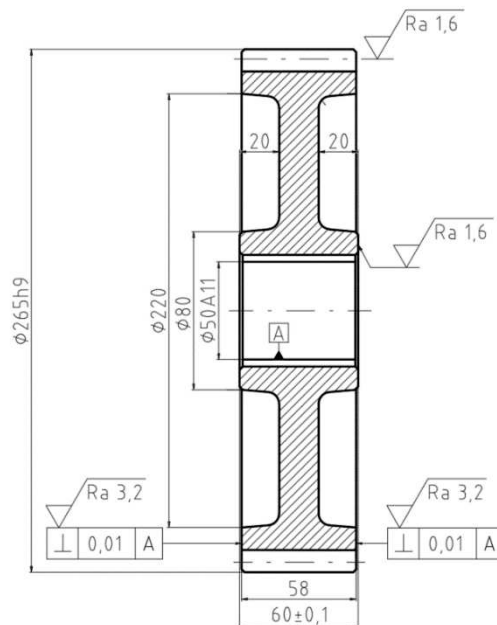
Obr. 1 Příklad zápusťkových výkovků [6].

1 ROZBOR SOUČÁSTI

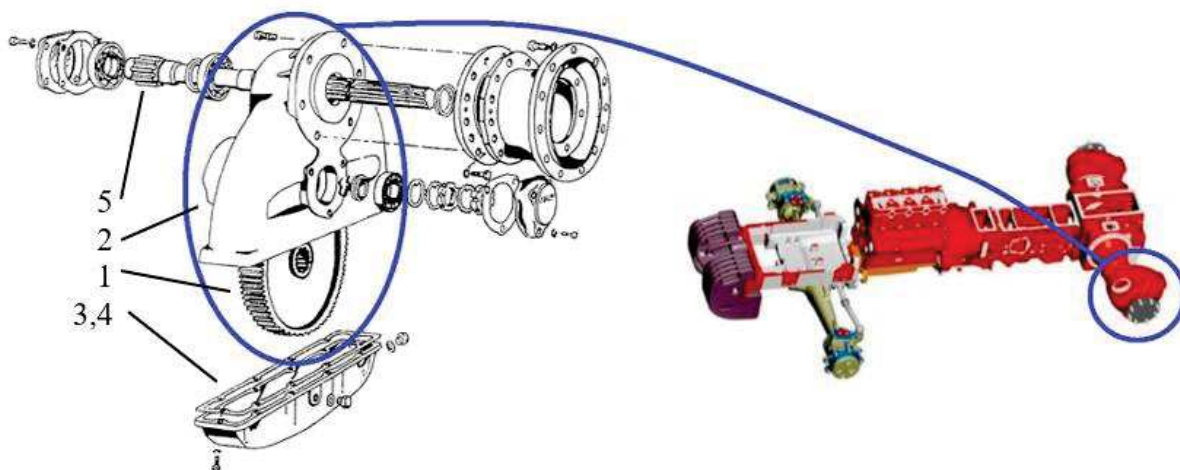
Zadanou součástí je čelní ozubené kolo (obr. 2), které se nachází na zadní polonápravě traktoru Zetor a jehož hlavní funkcí je přenos kroutícího momentu. Bude se vyrábět v sérii 10 000 ks/rok, má 51 přímých zubů širokých 60 mm a modul 5 mm. Uprostřed ozubeného kola se nachází otvor pro hřídel s jemným drážkováním 55 dle normy ČSN 01 4933, na který bude připevněn unašeč zadní pneumatiky. Schéma sestavy, včetně umístění v podvozku, je na obrázku 4. Pozice 1 je zadané ozubené kolo, které je v záběru s pastorkem na hřídeli diferenciálu 5 a je uložené v portálu, skládajícího se z dílů 2, 3 a 4. [7; 8; 9]



Obr. 2 Zadané ozubené kolo [7].



Obr. 3 Základní rozměry a tolerance součásti.



Obr. 4 Schéma zadní polonápravy [7; 9].

Na obrázku 3 jsou zobrazeny základní rozměry a tolerance součásti. Podrobnější zobrazení včetně parametrů ozubeného kola je na výkresu 2022-BP-217586-01. Na čelních plochách a na ozubení je předepsaná drsnost Ra 1,6. Hlavová kružnice má být vyrobena v tolerančním poli h9, které má vzhledem k jejímu průměru 265 mm zápornou hodnotu 0,13 mm. V otvoru ozubeného kola je základna, ke které je vztažena geometrická tolerance kolmosti čelních ploch. Na součásti je předepsáno tepelné zpracování zubů kalením na $HRC 58 \pm 1$. [8; 10]

Materiálem ozubených kol je obvykle ocel tříd 11 až 16. Zadané kolo je velmi namáhané, neboť přenáší velký kroutící moment. Bude tedy vyrobeno z konstrukční oceli 12 061 (označení dle EN 10 027-1 – C60), která má vhodné mechanické vlastnosti a přijatelnou cenu. Její mechanické vlastnosti, chemické složení a teploty, při nichž probíhá tepelné zpracování, jsou uvedeny v tabulkách 1 až 3. [11]

Tab. 1 Mechanické vlastnosti oceli 12 061 [12].

Pevnost v tahu R_m [MPa]	Mez kluzu R_e [MPa]	Tvrдость [HB]
660	380	max. 265

Tab. 2 Chemické složení oceli 12 061 [12].

C [%]	Mn [%]	Si [%]	Cr [%]
0,57 až 0,65	0,50 až 0,80	0,15 až 0,40	max. 0,25
Ni [%]	Cu [%]	P [%]	S [%]
max. 0,30	max. 0,30	max. 0,040	max. 0,040

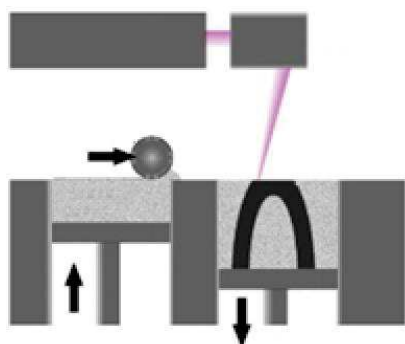
Tab. 3 Teploty kování a tepelného zpracování oceli 12 061 [11].

Kování [°C]	Normalizační žíhání [°C]	Žíhání na měkko [°C]	Kalení do vody [°C]	Kalení do oleje [°C]	Popouštění [°C]
1100 až 800	810 až 840	680 až 720	790 až 830	800 až 840	530 až 670

1.1 Návrh technologie výroby

Volbu technologie výroby ovlivňuje mnoho faktorů, mezi které patří velikost výrobní série, požadované mechanické vlastnosti, rozměrová a geometrická přesnost, jakost povrchu, tvar a materiál součásti a ekonomičnost výroby. Z důvodu tvarové složitosti a vysokým požadavkům na přesnost bude muset být použita jako dokončovací operace metoda třískového obrábění. Základní tvar lze vyrobit následovně:

- Selektivním spékáním kovového prášku laserem – jedná se o proces aditivní výroby neboli 3D tisku (obr. 5). Tenká vrstva kovového prášku je nanášena na podkladovou desku, kde se materiál přehřeje a působením laseru speče. Následně se podkladová deska posune o tloušťku vrstvy dolů, je nanášen další materiál a celý proces se opakuje až do dokončení výrobku. Používá se pro součásti složitých tvarů srovnatelné kvality. Nelze vyrábět dutiny, protože nespečený prášek, sloužící jako podpora, by z nich nešel odstranit. Hlavními nevýhodami jsou vysoké pořizovací náklady, dlouhá doba výroby a potřeba prostorově a energeticky náročného zařízení včetně speciálního kovového prášku. Zadanou součást není možné tímto způsobem zhotovit, protože ocel 12 061 nelze vytisknout a navíc není tato metoda pro 10 000 kusů efektivní. [13; 14; 15]

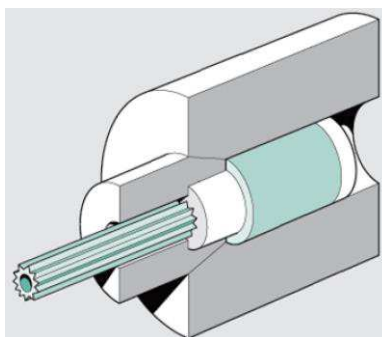


Obr. 5 Selektivní spékání laserem [15].



Obr. 6 Soustružení [17].

- Soustružením – nástroj ve tvaru klínu silově působí na obráběný materiál, ze kterého se oddělují částice ve formě třísky (obr. 6). Lze dosáhnout vysoké přesnosti, požadované kolmosti i kvalitního povrchu s běžně dosažitelnou drsností Ra 3,2 až 1,6. Ocelové tyče z oceli 12 061 mají skupinu obrobiteľnosti 12b, takže je lze poměrně dobře zpracovat. Mezi nevýhody patří velká ztráta materiálu a opotřebení nástrojů, což není při výrobě 10 000 kusů ekonomicky vhodné, a proto soustružení nebude využito při výrobě zadané součásti. [1; 16; 17; 18]
- Odléváním – roztavený kov se vlije do dutiny formy, kde ztuhne (obr. 7). Lze vyrábět odlitky složitých tvarů s různými tloušťkami stěn a s vnitřními dutinami, které nelze zhotovit jinou technologií. Mezi nevýhody patří velké smršťování a nebezpečí vnitřních vad, kterým lze předejít nálitky či výfuky, ale za cenu snížení využitelnosti tekutého kovu. Pokud nemá součást stejnou tloušťku stěn, jako je tomu u zadané součásti, dochází k nerovnoměrnému tuhnutí a chladnutí, které může způsobit rozdíly ve struktuře, vznik vnitřních pnutí, deformaci odlitku a jeho prasknutí. Ocel 12 061 není vhodná pro odlévání, musela by být nahrazena ocelolitinou, která ovšem nevyhovuje pevností a tvrdostí. [19; 20]



Obr. 7 Gravitační lití [21].

Obr. 8 Protlačování [22].

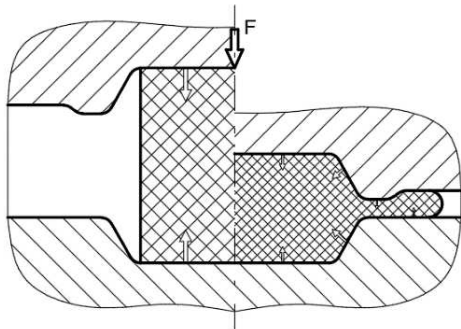
Obr. 9 Zápusťkové kování [23].

- Protlačováním – tlakem průtlačníku na materiál dochází ke změně polotovaru na tělesa různého, většinou kruhového nebo symetrického, tvaru (obr. 8). Výhodou protlačování je dosažení výrobních tolerancí IT 7 až IT 8, drsnosti Ra 0,8 a možnost vytvoření ozubení. Omezení je však ve výběru materiálu, který musí být pokud možno žíhaný na měkko, mít globulární feriticko-perlitickou strukturu, nízký obsah uhlíku, fosforu a síry a malý sklon ke zpevňování. Ocel 12 061 má velký obsah uhlíku, což zvyšuje deformační odpory, proto není vhodná a je potřeba použít jinou technologii výroby. [3; 24; 25]
- Zápusťkovým kovááním – proces, kdy se zahřátý materiál vloží do dutiny spodní zápusťky a tlakem horní je zhotoven výkovek (obr. 9). Používá se při výrobě velkého počtu stejných, tvarově složitých součástí. Výhodou je velká produktivita a vznik vláknité struktury, která má za následek nejpriznivější mechanické vlastnosti. Vzhledem k použitému materiálu 12 061, který je běžně kovatelý, složitosti tvaru součásti, sériovosti 10 000 kusů za rok a požadovaným mechanickým vlastnostem se jeví jako nejvhodnější technologie výroby zadaného dílce. [4; 24]

Se zohledněním požadavků zadání se z možných způsobů výroby jako neoptimálnější jeví zápusťkové kování, které může probíhat na bucharech nebo na lisech. Buchary jsou vhodnější pro vysoké výkovky, protože se díky rázům zaplňují snadněji. Dále se vlivem setrvačných sil zaplňuje horní dutina lépe než dolní, proto se používají pro výkovky s členitým povrchem. Lisy působí na materiál klidnou silou, která způsobuje lepší tečení kovu ve směru k ní kolmém, proto se používají k výrobě nižších a zároveň širších výkovků. Zadané ozubené kolo má velký průměr a menší výšku, proto bude vhodnější použít lis, na což bude zaměřena teoretická i návrhová část. [5; 25]

2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ

Základním principem zápusťkového kování (obr. 10) je přeměna tvaru polotovaru, ohřátého na kovací teplotu, pomocí nástroje zvaného zápusťka. Účelem je odstranění hrubé lící struktury a metalurgických vad, které snižují mechanické vlastnosti. Jelikož kování probíhá nad rekrytalizační teplotou, dochází ke změně deformovaných zrn. Díky nečistotám, které nepodléhají rekrytalizaci, vzniká vláknitá struktura (obr. 11), která má za následek zvýšení mechanických vlastností. Tok kovu je výrazně omezen stěnami dutiny, která je zvětšena o hodnotu smrštění. Přebytek materiálu vyteče do výronkové drážky, čímž se vytvoří výronek, který se musí následně odstranit. [1; 5; 24; 26]



Obr. 10 Schéma zápusťkového kování [1].



Obr. 11 Vlákenná struktura [24].

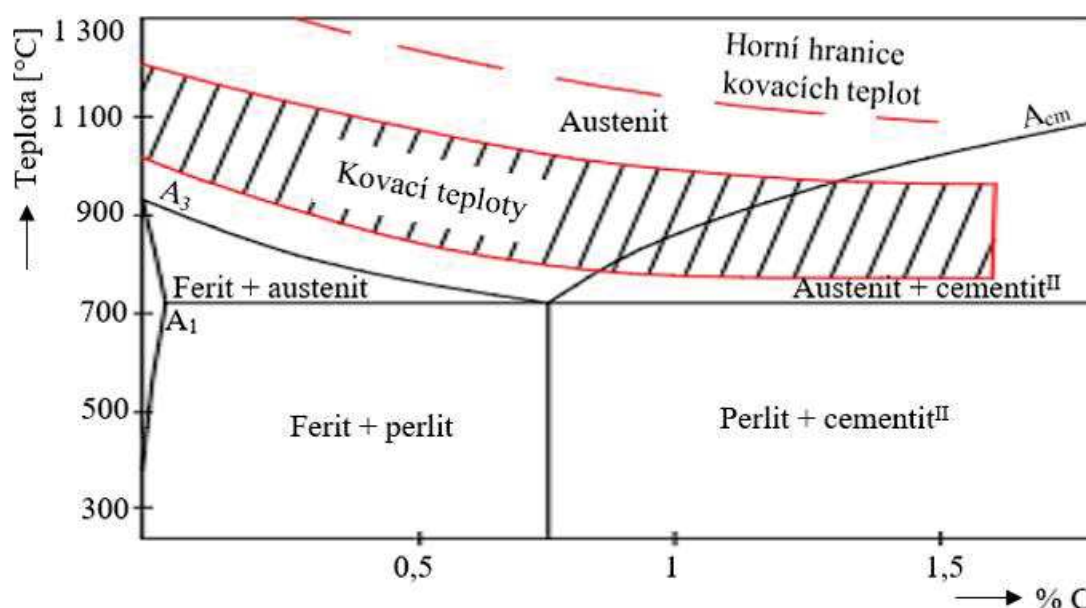
Polotovarem bývají obvykle tyče, sochory a bloky válcované za tepla, které se musí dále zkrátit na požadovanou délku tak, aby jejich objem odpovídal součtu objemů výkovku s výronkem a opalu. Metody dělení polotovaru jsou [3; 5]:

- Řezání – probíhá především na pilách. Oproti jiným způsobům dělení je méně výkonné a má větší spotřebu nástrojů. Řezáním polotovaru vzniká odpad, který má podle použitého nástroje tloušťku 1 až 8 mm. Vzniklá plocha má vysokou jakost a nedochází k deformaci polotovaru.
- Stříhání – nejlevnější, nejvýkonnější a bezodpadová metoda dělení. Nejčastěji se dělí stříháním na nůžkách. Nevýhodou je nižší jakost výsledné plochy, protože na rozdíl od řezání není kolmá k ose polotovaru. Délka ustrížené části musí být větší než 0,6 násobek jeho tloušťky, která musí být větší než 15 mm. Pro snížení potřebné síly a zabránění vzniku trhlin se vysokouhlikové a legované oceli před stříháním zahřívají na teplotu 300 až 400 °C.
- Lámání – před vlastním dělením polotovaru je potřeba na tyči udělat zářez pomocí pily nebo plamene. Při ohybu se v kořeni zářezu koncentruje napětí, které způsobuje pokles plasticity a křehký lom. Výhodou je nízká energetická náročnost a velká produktivita a nevýhodou je náročnost přípravy před dělením. Používá se pouze k dělení dlouhých materiálů.

Jakmile je polotovar nadělen na požadovanou délku, musí se ohřát na kovací teplotu, která se pohybuje v rozsahu vyznačeném v diagramu Fe-Fe₃C na obrázku 12. Ohřevem se zvyšuje tvárnost, snižuje deformační odpor, homogenizuje lící struktura, uzavírají se trhliny a rozpouštějí precipitáty. Při nesprávném ohřevu může docházet k následujícím vadám [5; 27]:

- Přehřátí – jestliže se kov ohřeje těsně nad horní kovací teplotu. Austenitické zrno rychle roste a na jeho hranicích se začne vylučovat síra. Vzniklé sirníky brání vzniku jemné struktury a zhoršují plastické vlastnosti. Pokud dojde k přehřátí oceli, lze to napravit například speciálním difúzním žíháním za vyšších teplot.
- Spálení – nastává při teplotě, blízké solidu. Austenitická zrna se natavují a začne se v nich rozpouštět síra a fosfor. Ocel má pak špatné mechanické vlastnosti a je křehká. Spálení nelze opravit.

- Oxidace – je urychlena neustálým opadáváním okujů z povrchu, které se nejvíce tvoří mezi 850 až 1 250 °C, tedy v rozmezí kovacích teplot. Mezi hlavní oxidační prvky patří kyslík, vodní páry a kysličník siřičitý nebo uhličitý. Ztráta materiálu se nazývá opal, který obvykle bývá v závislosti na ohřívací teplotě, době ohřevu, pecní atmosféře a chemickém složení oceli od 1 do 3 %. Okuje snižují životnost nástrojů a pecní nístěje, protože se na ně nalepují. Taktéž hrozí jejich zatlačení do povrchu polotovaru a tím zhoršení jeho přesnosti a jakosti.
- Oduhličení – při teplotě vyšší než 900 °C přebytečný kyslík, nacházející se na povrchu oceli, spaluje uhlík, který difunduje na povrch. Oduhličení se projevuje snížením vlastností, které jsou jeho obsahem ovlivněny. Jedná se například o pevnost a povrchovou tvrdost po tepelném zpracování.



Obr. 12 Kovací teploty oceli [28].

Pece pro ohřev polotovaru mohou být [5; 27; 29]:

- Plynové – teplo pro ohřev vzniká spalováním směsi plynu a ohřátého vzduchu, který slouží jako zdroj kyslíku. Hořáky jsou umístěny v zadní čelní stěně pece. Nejvyšší teplota v peci dosahuje 1 200 až 1 300 °C. Podle konstrukce je lze rozdělit na pece komorové a průchozí.
- Odporové – těleso se zahřívá odporem vzniklým průchodem proudu. Proud prochází buď přes dráty, topné spirály, pásy či tyče, nebo přímo ohříváním polotovarem. Výhodou je velká rychlost a téměř žádný vznik okujů.
- Indukční – ohřívání materiál se vloží do dutiny cívky, kterou prochází střídavý proud vytvářející elektromagnetické pole. To indukuje vířivé proudy, které mají za následek velmi rychlý ohřev materiálu. Ten však není rovnoměrný. Většina tepla se vyvíjí na povrchu v tzv. hloubce vniku, která závisí především na frekvenci proudu. Vhodné frekvence pro různé průměry ocelových polotovarů jsou uvedeny v tabulce 4.

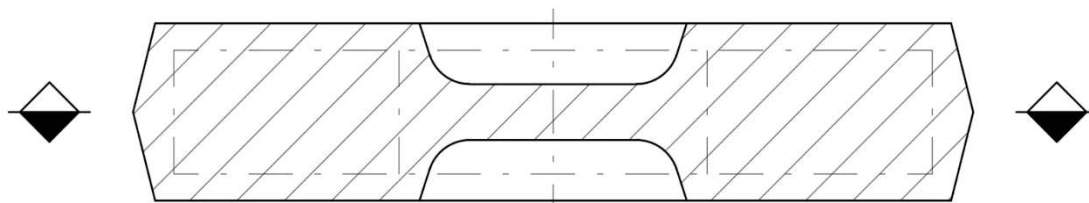
Tab. 4 Vhodné frekvence pro indukční ohřev ocelových polotovarů [5].

Průměr materiálu [mm]	170 až 800	50 až 170	35 až 120	22 až 70
Frekvence [Hz]	50	1 000	2 000	4 400

2.1 Návrh výkovku

Při návrhu se vychází z tvaru a rozměrů součásti. Výstupem je výkres výkovku, na kterém by jeho poloha měla být stejná jako v zápustce. Mimo jiné je na něm zobrazen čerchovanou čarou obrys výrobku [3]. Před konstruováním je zapotřebí určit:

- Dělicí rovinu – je plocha rozdělující zápustku na spodní a vrchní část. Podle tvaru výkovku může být přímá, lomená, zakřivená či složená z jednotlivých vodorovných, šikmých i válcových úseků. Příklad přímé dělicí roviny je na obrázku 13. Obvykle se umísťuje do dvou největších vzájemně kolmých rozměrů. Dělicí rovina musí umožnit snadné vyjmutí výkovku ze zápustky, dokonalé ostřížení výronku a kladně ovlivnit průběh vláken. [3; 25; 30]



Obr. 13 Přímá dělicí rovina [31].

- Přidávky na obrobení – se předepisují na funkční plochy, které se budou muset dokončit pro dosažení požadované přesnosti a drsnosti povrchu. Při návrhu se bere ohled na okuje, vady povrchu, oduhličení, případné povrchové úpravy a přesnost výkovků. Na obrázku 14 jsou vyznačeny červenou barvou a jejich hodnoty jsou v tabulce 5. [1; 25]

Tab. 5 Přidávky na obrábění, rozměry v mm [8].

Největší průměr, střední hodnota šířky a délky kolmo k rázu		Největší hloubka					
		přes	25	40	63	100	160
		do 25	40	63	100	160	250
přes	do	Přidávky na obrábění					
	25	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	
25	40	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5
40	63	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5
63	100	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0
100	160	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5
160	250	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5
250	400	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0

- Přidávky na smrštění – je potřeba stanovit při návrhu dutiny zápustky. Závisí na materiálu výkovku, jeho tvaru a kovací teplotě. Pro oceli se pohybuje v hodnotách 1 až 3 %. [32]
- Technologické přidávky – jsou důležité pro dosažení vhodného tvaru pro danou technologii a na obrázku 14 jsou vyznačeny modrou barvou. Jedná se o úkosity, zaoblení hran a blány [25; 31]. Při konstrukci výkovku je potřeba si dát pozor na:
 - Zaoblení – musí být na všech ostrých hranách a rozích výkovku, aby se snížilo opotřebení zápustky. Jeho hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6. Malé poloměry zaoblení ztěžují tok materiálu a na povrchu výkovku se mohou vytvořit zákovky. Velké sice prodlužují životnost nástroje, ale také je potřeba větší množství kovu na jejich zaplnění. [25; 32]

Tab. 6 Poloměry zaoblení hran výkovku, rozměry v mm [8].

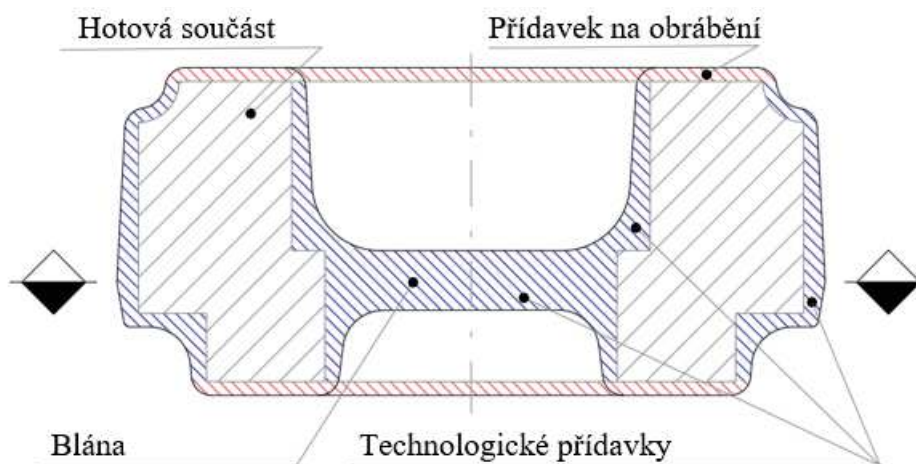
Výška (hloubka) h_i		Poloměry zaoblení hran a přechodů při poměru					
		h_i/f_i do 2		h_i/f_i od 2 do 4		h_i/f_i od 4	
přes	do	r_i	R_i	r_i	R_i	r_i	R_i
	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25
100	160	8	20	8	25	6	40
160	250	12	30	16	45	25	65
250	400	20	50	25	75	40	100

- Blány – vytváří se na výkovku místo otvoru, který nelze kovářem zhotovit. Při dokončování se prostřihnou. Pokud by byly příliš velké, byla by velká i spotřeba materiálu. Hodnoty tloušťky blan jsou uvedeny v tabulce 7. [25; 31]

Tab. 7 Nejmenší tloušťka dna, blány a stěny, rozměry v mm [8].

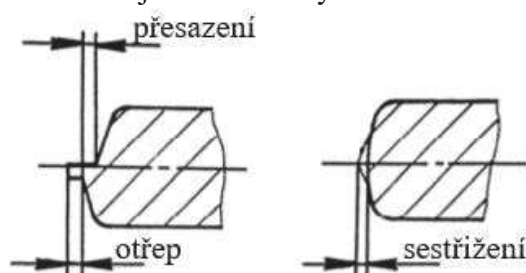
Největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu D_v		Největší výška výkovku H_V						
		přes	10	25	40	63	100	160
	do	do 10	25	40	63	100	160	250
přes	do	Nejmenší tloušťka dna, blány a stěny						
	40	4	5	6	7	9		
40	63	5	5	6	7	9	11	
63	100	5	6	7	9	11	13	15
100	160	6	7	9	11	13	15	17
160	250	8	9	11	13	15	17	20
250	400	10	13	15	17	20	25	30

- Úkosity stěn – se předepisují z důvodu jednoduššího vyjímání výkovku ze zápustky. Jelikož se výkovek při ochlazování smršťuje, volí se vnitřní úkosity větší než vnější. Běžné se volí vnější úkosity 3° a vnitřní 7° , avšak při použití lisu se dovolují menší úkosity. [25; 32]



Obr. 14 Přídavky na součásti [25].

- Minimální tloušťku stěn – předepisuje se z důvodu rychlého chladnutí a vzrůstu deformačního odporu v oblasti žebířů a tenkých stěn, u kterých může dojít k nedostatečnému zaplnění dutiny kovem. [1; 33]
- Zařazení výkovku dle složitosti tvaru – provádí se podle normy ČSN 42 9002. Výkovky se označují pěti číslicemi ve tvaru XXXX.X. Číslice vyjadřují tvarový druh, třídu, skupinu, podskupinu a technologické hledisko. Podrobný popis zařazení je popsán v příloze č. 1. [31; 34]
- Stupeň přesnosti a hodnoty mezních úchylek – určují se podle zařazení výkovku dle složitosti tvaru. Pokud by byla přesnost příliš vysoká, byly by také vysoké náklady na výrobu. [33]
- Hodnoty dovoleného přesazení, sestřižení, otřepu – jsou rovny minusové mezní úchylce pro rozměry kolmo k rázu a jsou zobrazeny na obrázku 15. [31]

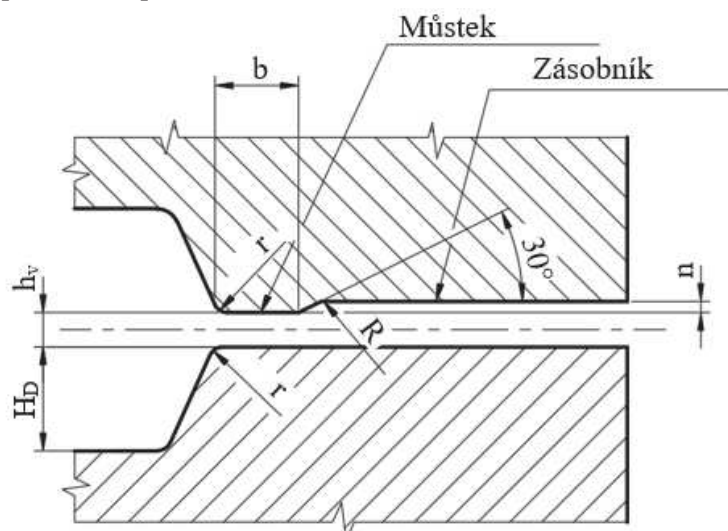


Obr. 15 Přesazení, sestřižení a otřep [31].

2.2 Zápustka

Zápustka u lisu je většinou dvoudílný ocelový nástroj, zhotoven samostatně pro každou operaci. Všechny rozměry dutiny, které jsou větší než 10 mm, musí být zvětšeny o hodnotu smrštění kovu, které je 1 až 1,3 %. Podle druhu operace mohou být dutiny přípravné, předkovací a dokončovací. [1; 36]

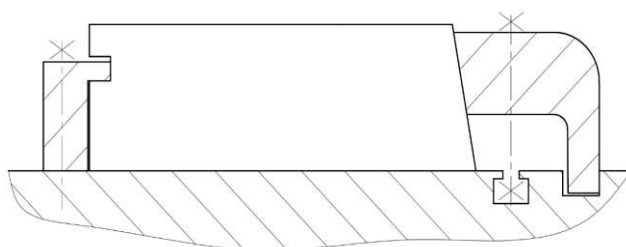
Předkovací dutina slouží k zhotovení tvaru vhodného pro založení do dutiny dokončovací, čímž se výrazně sníží její opotřebení. Kolem dokončovací je výronková drážka, nacházející se v dělicí rovině a sloužící k vytékání přebytečného kovu. Drážka se skládá z můstku a zásobníku. Můstek pomáhá k dokonalému zaplnění dutiny zápustky a usnadňuje odstřižení výronku. Při kování na lisech je dán konstantní zdvih, horní a spodní díl zápustky nedosedají na sebe, a proto je výronková drážka otevřená. Nejpoužívanější tvar je na obrázku 16 a jeho rozměry se navrhuje dle ČSN 22 8306. [25; 31; 32]



Obr. 16 Tvar výronkové drážky pro kování na klikovém lisu [36].

Zápustky pro práci na lisech mohou mít tělesa vyrobeny z oceli konstrukční a v nich zalisované funkční části z nástrojové, nazývané vložky, které musí mít vysokou tvrdost, mez kluzu, houževnatost, tvarovou stálost a tažnost. Protože kování probíhá za vysokých teplot, musí mít materiál dobrou pevnost za tepla a necitlivost proti krátkodobému kolísání teplot. Dutiny v zápustce se vyrábí nejčastěji třískovým obráběním, tudíž je také důležitá dobrá obrobiteľnost. Tepelné zpracování zápustky by mělo být jednoduché a při kalení nesmí vznikat trhliny. Nejčastěji používané materiály jsou oceli chromniklové 55NiCrMoV7, které jsou vhodné pro střední a velké zápustky. Pro malé a složité nástroje a vložky se používají wolframové X30WCrV9-3. [29; 32]

Zápustky mohou být kruhové nebo obdélníkové. Na obrázku 17 je znázorněno upínání zápustky. V zadní části se nachází drážka, za kterou je pomocí osazené lišty upnuta. Na přední straně je úkos 5°, o který se opře upínka, která je dále přitažena pomocí šroubů a T-drážky. Vedení zápustek je zajištěno pomocí beranu lisu a vodících sloupků v držáku zápustek. Pro další zpřesnění se používá kruhové vedení nebo zámky pro zachycení posouvajících sil. [32]



Obr. 17 Upínání zápustek [31].

Pro ochranu zápustky před opotřebáváním, zmenšení tření mezi zápustkou a výkovkem, zamezení ulpívání okují v zápustce a zlepšení toku materiálu se zápustky mažou. Z důvodu nedostatečné odolnosti proti tlaku a možnosti odpařování anebo rozkladu za vysokých teplot není vhodné používat jako maziva samotné oleje. Mohou se používat hlinitá mýdla, grafit nebo lůj, zvyšující mazivost a stabilizující disperzi maziva v oleji. Při nižších teplotách a vhodném materiálu zápustky se jako disperzní prostředí používá voda nebo těkavé látky, případně i roztoky solí. [2; 3]

Při kování dochází k ulpívání výkovku v zápustce, které je ovlivněno třením, hloubkou dutiny, úkosy a nedostatečným odstraňováním okují. Pro snadnější vyjímání se používají vyhazovače, které mohou být prstencové, pro výkovky se zahluobením ve středu a kolíkové, které lze umístit na blánu a výronek. Pohybují se pomocí vyhazovače v držáku zápustky. [32; 36]

2.3 Kovací síla

Působením tlaku se postupně vyplňuje dutina zápustky a v poslední fázi i výronková drážka. Velikost kovací síly závisí na tvaru a hmotnosti výkovku, rozměrech výronku, materiálu a jeho tření s povrchem zápustky. Z důvodu nehomogenního stavu napjatosti a deformace je obtížné snadno vypočítat sílu, a proto různé metody vycházejí ze zjednodušených úvah. [1; 37; 38] Pro stanovení velikosti síly pro kruhové výkovky se používají následující metody:

- Brjuchanov-Rebelského – vychází z průměru výkovku a velikosti přetvárného odporu při dolní kovací teplotě [32]:

$$F_k = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_v) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_v}\right)^2 \cdot \sigma_p \cdot S_v, \quad (2.1)$$

kde: D_v – průměr výkovku [mm]

σ_p – přetvárná pevnost oceli při dolní kovací teplotě [MPa]

S_v – plocha průmětu výkovku do dělicí roviny [mm²]

- Stroževa – kovací sílu určuje jako součet síly pro přetvoření výronku a síly pro přetvoření kovu v zápustce [1]:

$$F_k = \sigma_p \cdot \left\{ \left(1,5 + \frac{b}{2 \cdot h_v} \right) \cdot S_{výr} + \left[1,25 \cdot \left(\ln \frac{D_v}{h_v} + 2 \cdot \frac{h_v}{D_v} \right) + \frac{b}{h_v} - 0,375 \right] \cdot S_v \right\}, \quad (2.2)$$

kde: b – šířka můstku výronku [mm]

h_v – tloušťka výronku [mm]

$S_{výr}$ – plocha výronku [mm²]

- Tomlenova – ve výronkové drážce je odpor proti přetvoření větší v důsledku malé výšky a poklesu teploty. Výsledná kovací síla je součet normálové F_N a tečné složky F_T [1]:

$$F_k = F_N + F_T. \quad (2.3)$$

Pro výpočet jednotlivých složek síly je potřeba sestavit průběh deformačního odporu v jednotlivých řezech výkovku, ze kterého se odečte poloha těžišť jednotlivých dílčích ploch, viz příloha 2. Složky síly se pak vypočtou [1]:

$$F_N = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^n S_j \cdot r_j, \quad (2.4)$$

kde: S_j – obsah dílčí plochy pod průběhem deformačních odporů [mm²]

r_j – poloha těžiště dílčí plochy pod průběhem deformačních odporů [mm]

$$F_T = \pi \cdot f \cdot \sigma_p \sum_{j=1}^n D_j \cdot \Delta z_j, \quad (2.5)$$

kde: f – součinitel tření (0,35 až 0,45) [-]

D_j – jednotlivé průměry na výkovku [mm]

Δz_j – výška plochy výkovku v pohybujícím se dílu zápustky [mm]

Deformační odpor v jednotlivých řezech výkovku se vypočte následovně [1]:

$$\sigma_{dn} = \sigma_{d(n-1)} + \sigma_p \cdot \frac{\Delta r_n}{z_n}, \quad (2.6)$$

kde: $\sigma_{d(n-1)}$ – deformační odpor předchozího průřezu [MPa]

Δr_n – délka konstantního průřezu výkovku [mm]

z_n – tloušťka průřezu výkovku [mm]

Výjimkou je deformační odpor v nultém průřezu, jež se vypočte následovně:

$$\sigma_{d0} = (1 + 0,73 \cdot f) \cdot \sigma_p', \quad (2.7)$$

kde: σ_p' – přirozený přetvárný odpor s vlivem poklesu teploty ve výronku [MPa]

$$\sigma_p' = \sigma_p \cdot C_o, \quad (2.8)$$

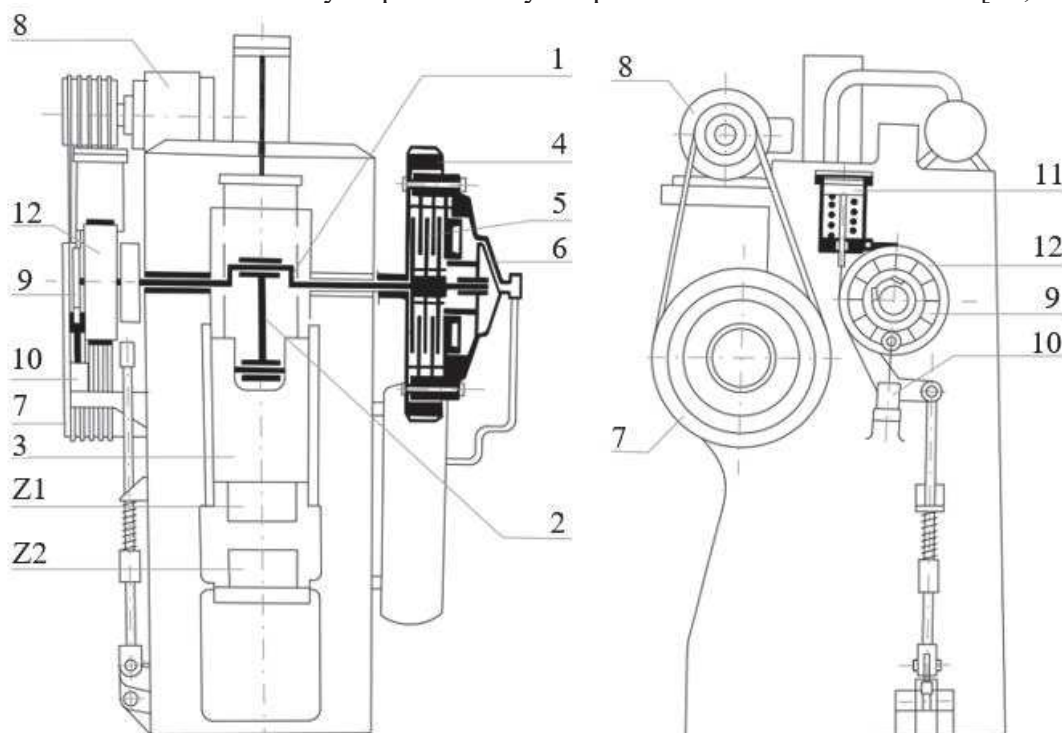
kde: C_o – koeficient udávající kolikrát je přirozený přetvárný odpor ve výronku větší než uvnitř výkovku [-]

2.4 Lisy

Kovací lisy mohou být podle pohonu buď hydraulické nebo mechanické, které se díky jednodušší konstrukci, údržbě a rychlejšímu chodu beranu využívají častěji. Jejich nevýhodou je však omezená maximální síla, které dosáhnou až těsně u dolní úvrati. Lze je rozdělit na vřetenové a svislé kovací, které pracují klidným tlakem. Podle převodového systému se dělí na lisy výstředníkové a klikové, které jsou nejvyužívanější. Základním principem je převod rotačního pohybu na přímočarý zdvih beranu. [25; 39]

Svislé kovací lisy (LZK) působí na materiál klidnou silou, což má příznivý vliv na životnost nástrojů. Používají se především k výrobě přesných zápustkových výkovků a jejich kalibraci. Přesnosti se dosahuje zejména díky spolehlivému vedení beranu v pevných a stavitelných lištách upevněných na stojanu. Na jeden zdvih, který je konstantní, se provede pouze jedna operace, pro kterou je zhotovena dutina v zápustce. Jejich složitost postupně roste a dochází

k rovnoměrnému prokování. Při použití se využívají vyhazovače, díky kterým mohou být úkosity na výkovku menší. Za účelem vyšší produktivity lze proces snadno automatizovat. [25; 40]



Obr. 18 Schéma klikového lisu [27].

Schéma klikového lisu je na obrázku 18. Jednou z hlavních součástí je klikový hřídel **1**, na který je pomocí ojnice **2** připevněn beran **3**. Do něj se upíná horní díl zápustky **Z1**. Spodní díl je upevněn na stojanu. Na klikovém hřídeli je volně uložené ozubené kolo **4**, které lze pomocí lamelové spojky **5** a stlačeného vzduchu, vedeného kanálem **6**, připojit, čímž se stroj rozpohybuje. Jakmile klesne přívod tlaku, je pohyb hřídele zastaven pomocí brzdy **12**. Přetvárná práce, potřebná ke kování, vznikne přeměnou energie nahromaděné v setrvačnicku **7**, který je poháněn elektromotorem **8**. Stroj se ovládá pomocí tlačítek na panelu **11**. Po spuštění se začne otáčet mimo jiné i výstředník **9**, který je spojen se šoupátkem **10**. Po jedné otáčce hřídele uzavře šoupátko přívod vzduchu, čímž dojde k zastavení v horní poloze. [27; 41]

2.5 Dokončující operace

Po zhotovení výkovku je potřeba odstranit výronek a blány na ostříhovacím klikovém nebo hydraulickém lisu. Ostříhování se obvykle provádí za tepla, zejména u ocelí s obsahem uhlíku větším než 0,5 %, protože za studena je potřeba větší síla a hrozí nebezpečí vzniku trhlin [25; 27; 32]. Ostříhovací lis se volí podle největší potřebné síly z následujících [25; 32]:

- Síla na ostřížení výronku:

$$F_{sv} = 1,7 \cdot \tau_s \cdot o_v \cdot 2 \cdot h_v, \quad (2.9)$$

kde: o_v – obvod výkovku v dělicí rovině [mm]

τ_s – napětí ve stříhu [MPa]

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m, \quad (2.10)$$

kde: R_m – mez pevnosti v tahu

- Síla na prostřížení blány:

$$F_{sb} = 1,7 \cdot \tau_s \cdot o_b \cdot b_v, \quad (2.11)$$

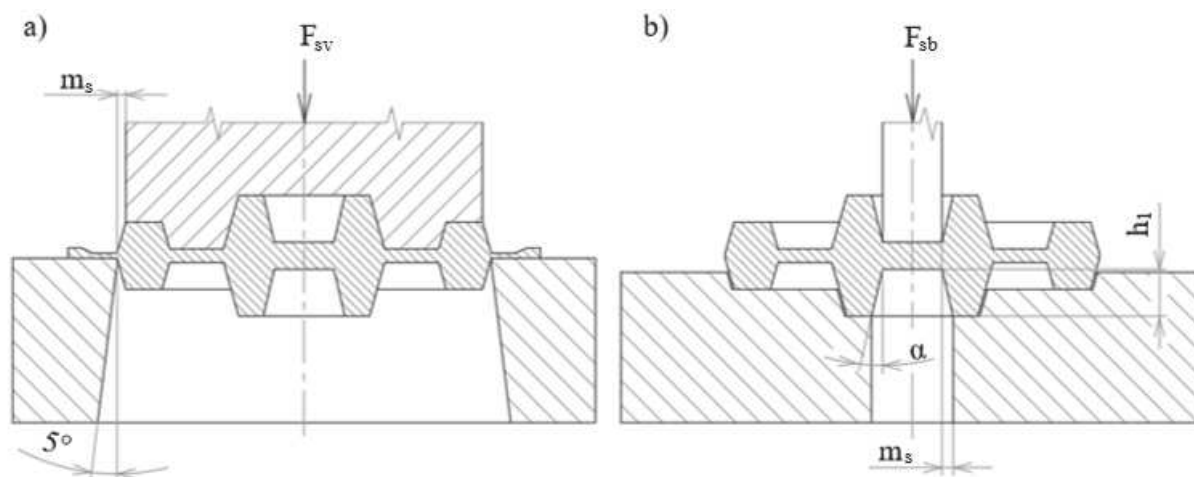
kde: o_b – obvod blány [mm]

b_v – tloušťka blány [mm]

Střížnice pro ostřihování výronku bývají celistvé, ale pro velké a tvarově složité výkovky se používají i dělené. Střížná mezera m_s se v závislosti na rozměrech výkovku pohybuje v rozmezí 0,3 až 1,5 mm. Výkovek je protlačen skrz střížnici pomocí střížníku, který má tvarovaný povrch, aby nedocházelo k deformacím (obr. 19 a). Jestliže je vůle malá, je potřeba použít stírač. Otvory se ostřihují na děrovadle (obr. 19 b), jehož konstrukce závisí na tvaru blány. Pokud se nachází uprostřed výkovku, vůle je v rozmezí 0,5 až 3 mm a vypočte se [27; 32]:

$$m_s = h_i \cdot \operatorname{tg} \alpha - 0,5, \quad (2.12)$$

kde: h_i – určitá výška na výkovku [mm]
 α – úhel zkosení [°]



Obr. 19 Ostřihování výronku a děrování blány [27; 32].

Do konečné úpravy výkovků se řadí také odstranění okují. Může probíhat chemicky mořením ve 20 % roztoku kyseliny sírové ohřáté na 60 °C nebo mechanicky, které probíhá otłoukáním v bubnech nebo tryskáním křemičitým pískem či ocelovými broky. Jakmile je povrch čistý, lze výkovek tepelně zpracovat. Obvykle se provádí žihání na odstranění pnutí, normalizační nebo na měkko, případně zušlechťování. Následuje kalibrování a rovnání a tím se zpřesňují rozměry a zlepšuje kvalita povrchu. [3; 24]

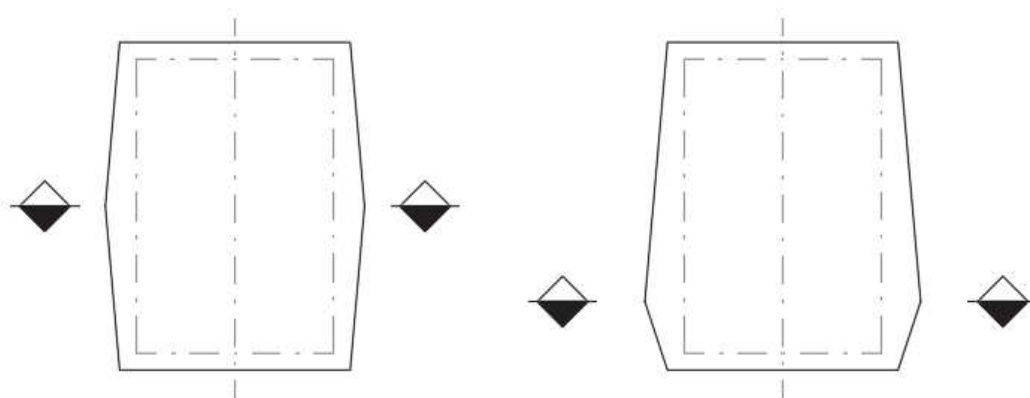
2.6 Technologičnost

Při návrhu tvaru výkovku se musí brát ohled na požadavky funkční (tvar a vlastnosti, požadavky odběratele), výrobní (sériovost, technologické možnosti kovárny) a ekonomické (cena). Součástku, která splňuje podmínky technologičnosti, lze vyrobit bez vad. Mezi základní pravidla technologičnosti patří [29; 42; 43]:

- správná volba materiálu – ocel by měla mít velkou tvárnost a kontrakci za tepla a obsah uhlíku do 1,7 %,
- vhodná volba tvaru polotovaru nebo předkovku – má vliv na směr vláken,
- polotovar má být pokud možno pčhován a ne protlačován,
- předkovávají se pouze otvory větší než 10 mm,
- omezení počtu výstupků,
- plynulé přechody mezi tenkými a silnými průřezy a mezi stěnami zápusťky,
- malý počet blízko umístěných žeber,
- nutno zohlednit smršťování delších a kratších částí výkovku,
- technologické roviny – dostatečně velké, aby umožňovaly stabilní upnutí při následujících obráběcích operacích,
- dosažení přesných a hladkých ploch – zařazení operace kalibrování.

Nejdůležitějším bodem při posuzování technologičnosti je tvar a poloha dělicí roviny. Její umístění má vliv na spotřebu materiálu a velikost bloku zápustek. Správně navržená dělicí rovina by měla splňovat následující body [3; 43]:

- pokud možno být přímá a dělit výkovek na dvě výškově stejné části – menší úkosy a tím i menší spotřeba materiálu (obr. 20),
- zajistit snadné vyjímání výkovku,
- umožnit dokonalé ostřížení výronku,
- kladně ovlivnit průběh vláken,
- zabezpečit tok materiálu, aby nedocházelo ke vzniku přeložek a zákovků a byla minimální spotřeba materiálu,
- být umístěna, v případě hlubokých dutin, v dolní části,
- usnadňovat upnutí výkovku pro následné obrábění.



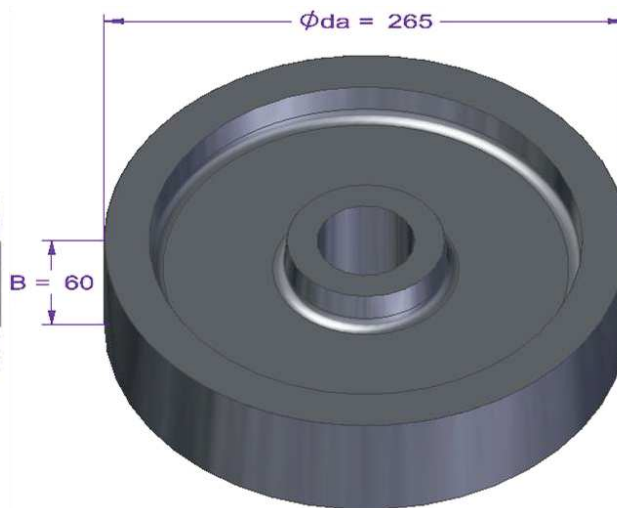
Obr. 20 Vliv polohy dělicí plochy na velikost úkosů [43].

3 NÁVRH VÝROBY

Zadanou součástí je ozubené kolo (obr. 21). Bude zhotoveno v sérii 10 000 ks za rok z oceli 12 061 kování na klikovém kovací lise. Při návrhu se bude vycházet ze zjednodušeného modelu (obr. 22). Protože ozubení má malý modul, nelze ho vykovat a bude potřeba ho vytvořit obráběním stejně jako drážkování pro hřídel.



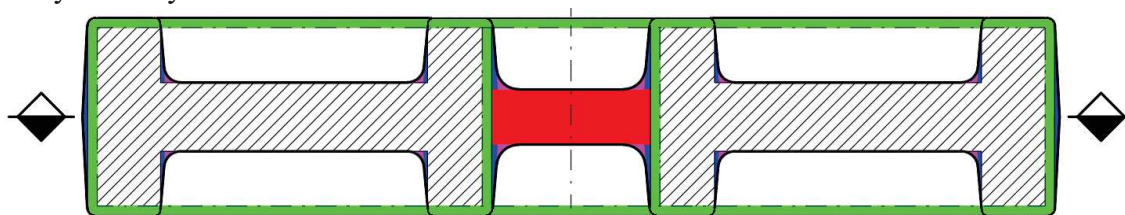
Obr. 21 Model ozubeného kola [44].



Obr. 22 Zjednodušený model kola.

Při návrhu výkovku se vychází z výkresu součásti 2022-BP-217586-01 a z normy ČSN 42 9030. Před tvorbou výkresu se musí určit [45]:

- Dělicí rovina – bude přímá a umístěná v polovině výšky výkovku (obr. 23), který je podle ní symetrický.

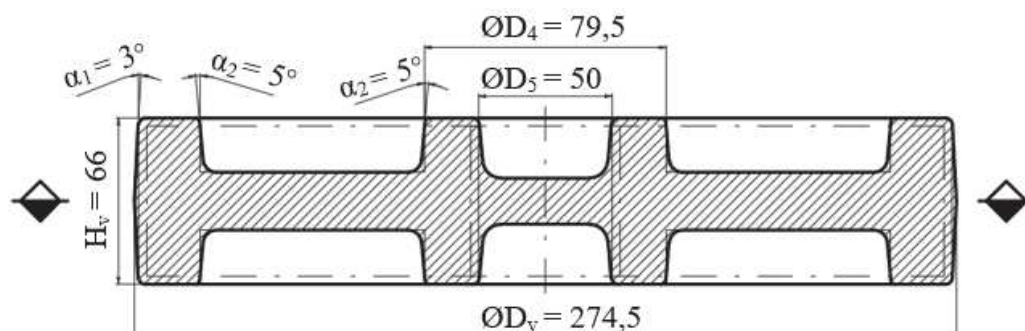


Obr. 23 Dělicí rovina a přídavky na výkovku.

- Přídavky – upravují tvar součásti tak, aby šla zhotovit. Patří mezi ně [33]:
 - Přídavky na obrábění – předepisují se na všechny plochy součásti, které se budou třískově opracovávat (obr. 23 zelená). Určují se z tabulky 5 podle největší výšky, která je 60 mm a největšího průměru, kterým je hlavová kružnice ozubeného kola, jež má 265 mm. Pro tyto rozměry byla odečtena hodnota přídavku $p_o = 3$ mm.
 - Úkosy – jelikož kování proběhne na klikovém lisu s vyhazovačem, mohou být menší než obvyklá hodnota (obr. 23 modrá). Při návrhu byly zvoleny vnější $\alpha_1 = 3^\circ$ a vnitřní $\alpha_2 = 5^\circ$.
 - Blána – bude umístěna ve středu výšky v místě otvoru (obr. 23 červená). Její tloušťka je závislá na výšce výkovku, jež má po přičtení přídavků na obrábění $H_v = 66$ mm a jeho největším rozměru kolmo k rázu, kterým je průměr hlavové kružnice ozubeného kola zvětšený o přídavky na obrábění a šířku úkosů. Z obrázku 24 byl odvozen vzorec:

$$\begin{aligned}
 D_v &= d_a + 2 \cdot p_o + 2 \cdot \frac{H_v}{2} \cdot \operatorname{tg} \alpha_1, \\
 &= 265 + 2 \cdot 3 + 2 \cdot \frac{66}{2} \cdot \operatorname{tg} 3 = 274,459 \text{ mm}
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Hodnota průměru výkovku bude pro další výpočty zaokrouhlena na $D_v = 274,5$ mm. Pro tyto hodnoty byla z tabulky 7 odečtena hodnota tloušťky blány a zároveň také nejmenší tloušťky stěny $b_v = 20$ mm.



Obr. 24 Označení rozměrů na výkovku.

Je potřeba provést kontrolu nejmenší tloušťky, která je mezi otvorem pro drážkový hřídel D_5 a osazením D_4 (obr. 24). Otvor má dle normy ČSN 01 4933 nejmenší průměr 50 mm. Po připočítání přídavek na obrobení se zmenší na $D_5 = 44$ mm. Průměr D_4 má 79,5 mm. Musí být splněna následující podmínka:

$$\frac{D_4 - D_5}{2} \geq b_v, \quad (3.2)$$

$$\frac{79,5 - 44}{2} \geq 20 \text{ mm}$$

$17,75 \not\geq 20 \rightarrow$ podmínka nevyhovuje.

Aby byla podmínka splněna, je potřeba zmenšit velikost otvoru. Upravením vztahu (3.2) se získá vzorec pro výpočet jeho nejmenší velikosti:

$$D_5 \leq D_4 - b_v \cdot 2, \quad (3.3)$$

$$D_5 \leq 79,5 - 20 \cdot 2$$

$$D_5 \leq 39,5 \text{ mm}$$

Aby byla dodržena nejmenší tloušťka stěny, musí být průměr D_5 menší nebo roven 39,5 mm. Při návrhu byla zvolena jeho velikost $D_5 = 39$ mm.

- Zaoblení – předepisuje se na všechny ostré hrany a rohy (obr. 23 fialová). Jeho velikost, odečtená z tabulky 6, závisí na rozměrech výkovku, vyznačených na obrázku 25. Jednotlivé hodnoty jsou zapsány v tabulce 8.

Tab. 8 Hodnoty zaoblení hran výkovku.

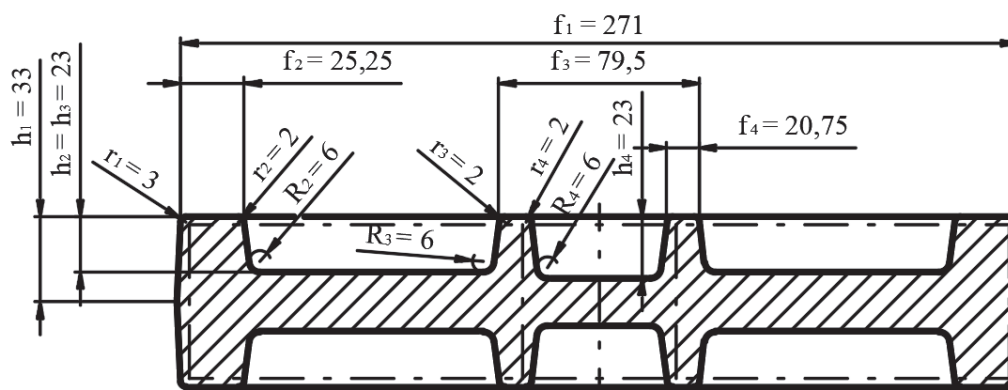
i	h_i [mm]	f_i [mm]	h_i/f_i [-]	r_i [mm]	R_i [mm]
1	33	271	0,12	3	8
2	23	25,25	0,91	2	6
3	23	79,5	0,29	2	6
4	23	20,75	1,11	2	6

Příklad určení poloměrů r_3 a R_3 :

Z výkresu výkovku 2022-BP-217586-02 byly odečteny hodnoty $h_3 = 23$ mm a $f_3 = 79,5$ mm. Vypočítá se poměr h_3/f_3 :

$$\frac{h_3}{f_3} = \frac{23}{79,5} = 0,29$$

Hloubka h_3 je menší než 25 a poměr h_3/f_3 vyšel do 2. Z tabulky 6 byly pro tyto hodnoty odečteny velikosti poloměrů $r_3 = 2$ mm a $R_3 = 6$ mm.



Obr. 25 Označení rozměrů a zaoblení na výkovku.

- Mezní úchytky zaoblení – závisí na velikosti poloměru a získají se vynásobením jejich rozměru s hodnotami, uvedenými v tabulce 9. Jelikož jsou na výkovku všechna zaoblení do 10 mm, vypočtou se podle stejných vzorců [31]:

$$R_i = \begin{pmatrix} +0,50 \\ -0,25 \end{pmatrix} \cdot R_i, \quad (3.4)$$

kde: R_i – velikost poloměru zaoblení hrany [mm]

$$r_i = \begin{pmatrix} +0,25 \\ -0,50 \end{pmatrix} \cdot r_i, \quad (3.5)$$

kde: r_i – velikost poloměru zaoblení přechodu [mm]

Tab. 9 Mezní úchytky zaoblení hran a přechodů [26].

Poloměr zaoblení		Mezní úchytky			
přes	do				
	10	+0,50 -0,25	$\cdot R_i$	+0,25 -0,50	$\cdot r_i$
10	32	+0,40 -0,20		+0,20 -0,40	
32	100	+0,30 -0,15		+0,15 -0,30	

Rozměry jednotlivých zaoblení na výkovku včetně jejich mezních úchylek (obr. 25) jsou zapsány v tabulce 10.

Tab. 10 Hodnoty zaoblení hran a přechodů na výkovku včetně mezních úchylek.

r_1	R_2	r_2	R_3	r_3	R_4	r_4
$3 \begin{matrix} +0,75 \\ -1,5 \end{matrix}$	$6 \begin{matrix} +3 \\ -1,5 \end{matrix}$	$2 \begin{matrix} +0,5 \\ -1 \end{matrix}$	$6 \begin{matrix} +3 \\ -1,5 \end{matrix}$	$2 \begin{matrix} +0,5 \\ -1 \end{matrix}$	$6 \begin{matrix} +3 \\ -1,5 \end{matrix}$	$2 \begin{matrix} +0,5 \\ -1 \end{matrix}$

Příklad výpočtu pro poloměry R_2 a r_2 :

$$R_2 = \begin{pmatrix} +0,50 \\ -0,25 \end{pmatrix} \cdot R_2 = \begin{pmatrix} +0,50 \\ -0,25 \end{pmatrix} \cdot 6 = \begin{matrix} +3 \\ -1,5 \end{matrix} \text{ mm}$$

$$r_2 = \begin{pmatrix} +0,25 \\ -0,50 \end{pmatrix} \cdot r_2 = \begin{pmatrix} +0,25 \\ -0,50 \end{pmatrix} \cdot 2 = \begin{matrix} +0,5 \\ -1 \end{matrix} \text{ mm}$$

- Zařazení výkovku dle složitosti tvaru – provádí se dle normy ČSN 42 9002, viz příloha 1:
 - Tvarový druh – 5 – výkovek je kruhového průřezu dutý.
 - Tvarová třída – 1 – má konstantní průřez.
 - Tvarová skupina – 2 – výkovek je dutý, kdy $H_v \leq D_v$ a $H_v > 2b_v$. Ověření poměrů:
 - $H_v \leq D_v,$
 - $66 \leq 274,5$

(3.6)

$$\begin{aligned} \circ H_v &> 2 \cdot b_v, \\ 66 &> 2 \cdot 20 \\ 66 &> 40 \end{aligned} \quad (3.7)$$

Výkovek vyhovuje tvarové skupině 2.

- Tvarová podskupina – 0 – Výkovek je bez přesahů. Vychází se z mezních hodnot:
 - $\circ H_{max} = 5 \cdot D_v,$ (3.8)
 $= 5 \cdot 274,5 = 1\,372,5 \text{ mm}$

Největší výška na výkovku H_v je 66 mm a výkovek tuto hodnotu nepřesahuje.

$$\begin{aligned} \circ H_{max} &= 10 \cdot b_v, \\ &= 10 \cdot 20 = 200 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Výkovek nepřekračuje ani tuto hodnotu. Je tedy bez přesahů.

- Technologické hledisko – 3 – výkovek má dělicí plochou kolmou na hlavní osu a je souměrný.

Po určení jednotlivých bodů bylo zjištěno číselné označení zadaného výkovku dle složitosti tvaru 5120.3.

- Stupeň přesnosti – určuje se podle zařazení výkovku dle složitosti tvaru. Z tabulky 11 lze vyčíst, že stupně přesnosti zadaného ozubeného kola jsou ve směru rázu IT 6 a kolmo k němu IT5. [31]

Tab. 11 Stupně přesnosti [31].

Rozdělení podle ČSN 42 9002					Stupeň přesnosti	
tvarový druh	tvarová třída	tvarová skupina	tvarová podsk.	technol. hledisko	kolmo k rázu	ve směru rázu
4; 6; 7	1 až 9	1; 5	0 až 9	1 až 2	5	5
		2; 3; 6; 7			5	6
		4; 8			6	7
4; 5; 6; 7	1 až 5; 9	1; 5	0 až 9	3; 4; 5	5	5
		2; 3; 4			5	6
		6; 7; 8			6	7
4; 5; 6; 7	1 až 5; 9	1 až 8	0 až 9	6; 7; 8; 9	6	7
4; 5; 6; 7	6 až 8	1 až 8	0 až 9	6; 7; 8; 9	7	7
8	1 až 8	1; 2; 3; 4	0 až 9	1 až 9	6	7
		5; 6			7	7
8	9	1; 2	0 až 9	1 až 9	6	7
		3; 4; 5; 6; 7			7	7
9; 0	1 až 9	1; 2; 3; 4	0 až 9	1 až 9	6	6
		5; 6; 7; 8			7	7

- Mezní úchytky rozměrů – jsou uvedeny v tabulkách 12 a 13 a stanovují se podle stupně přesnosti, největší výšky a největšího průměru. Vnější rozměry výkovku budou mít úchytky vyznačené v tabulce, vnitřní budou mít přehozená znaménka. [31]

Tab. 12 Mezní úchyly rozměrů výkovků pro stupeň přesnosti 5 [31].

Největší průměr výkovku D_v	Rozměr výkovku ve směru rázu H_v							
	přes 0	25	40	63	100	160	250	400
	do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes 40 do 63	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,1 -0,5	+1,2 -0,6	+1,4 -0,6	-	-
přes 63 do 100	+1,0 -0,5	+1,1 -0,5	+1,1 -0,6	+1,2 -0,6	+1,4 -0,6	+1,5 -0,7	+1,7 -0,8	-
přes 100 do 160	+1,1 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,6	+1,4 -0,6	+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,8 -0,9	-
přes 160 do 250	+1,4 -0,6	+1,4 -0,7	+1,5 -0,7	+1,5 -0,8	+1,7 -0,8	+1,8 -0,9	+2,0 -1,0	+2,3 -1,2
přes 250 do 400	+1,6 -0,8	+1,7 -0,8	+1,8 -0,8	+1,8 -0,9	+1,9 -1,0	+2,1 -1,0	+2,3 -1,1	+2,6 -1,3
přes 400 do 630	+1,9 -1,0	+2,0 -1,0	+2,1 -1,0	-2,1 -1,1	+2,3 -1,1	+2,4 -1,2	+2,6 -1,3	+3,0 -1,4

Tab. 13 Mezní úchyly rozměrů výkovků pro stupeň přesnosti 6 [31].

Největší průměr výkovku D_v	Rozměr výkovku ve směru rázu H_v							
	přes 0	25	40	63	100	160	250	400
	do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes 40 do 63	+1,4 -0,6	+1,4 -0,7	+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,8 -0,8	+1,9 -1,0	-	-
přes 63 do 100	+1,6 -0,8	+1,7 -0,8	+1,8 -0,8	+1,9 -0,9	+2,0 -1,0	+2,2 -1,1	+2,5 -1,2	-
přes 100 do 160	+1,9 -0,9	+1,9 -1,0	+2,0 -1,0	+2,1 -1,1	+2,3 -1,1	+2,5 -1,2	+2,7 -1,4	-
přes 160 do 250	+2,1 -1,1	+2,2 -1,1	+2,3 -1,1	+2,4 -1,2	+2,5 -1,3	+2,7 -1,4	+3,0 -1,5	+3,4 -1,7
přes 250 do 400	+2,5 -1,3	+2,6 -1,3	+2,7 -1,3	+2,8 -1,4	+2,9 -1,5	+3,1 -1,6	+3,4 -1,7	+3,8 -1,9
přes 400 do 630	+3,1 -1,5	+3,1 -1,6	+3,2 -1,6	+3,3 -1,7	+3,5 -1,7	+3,7 -1,8	+3,9 -2,2	+4,3 -2,2

- Hodnota dovoleného přesazení, sestřižení a ořepu **p**, **g** – je rovna mínusové mezní úchylyce pro rozměry ve směru kolmo k rázu. Přesazení vzniká, když zápustky nedosednou přesně na sebe, sestřižení je stopa po ostříhování a ořep je zbytek materiálu vytečeného mezi dělené části nástroje. V případě navrhovaného výkovku platí [30]:

$$p, g \leq 0,9 \text{ mm.}$$

Dále je potřeba posoudit technologičnost, která úzce souvisí s návrhem výkovku. Ocel 12 061 má nejvýše 0,65 % uhlíku a je vhodná ke kování. Nejmenší otvor má průměr 39 mm. Jelikož je jeho hodnota větší než 10 mm, lze ho předkovat. Na výkovku se nenacházejí žádná žebra. Při návrhu je dodržena nejmenší tloušťka stěny, která se nachází mezi otvorem pro drážkový hřídel a jeho osazením. Umístění dělicí roviny je z pohledu technologičnosti také vyhovující. Součást vyhovuje podmínkám technologičnosti. [42; 43]

3.1 Výronková drážka

Pro klikový kovací lis se používá otevřená výronková drážka, protože zápustky na sebe díky konstantnímu zdvihu stroje nedosedají. Rozměry jsou dle normy ČSN 22 8306 závislé na síle lisu (tabulka 14). Při návrhu je potřeba určit [31; 36]:

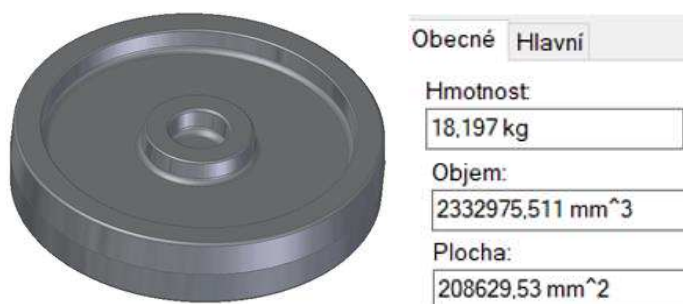
- Výšku můstku – dle vzorce odvozeného z nomogramu firmou ŠMERAL [46]:

$$h_v = 0,1725 \cdot m_0^{0,16} \cdot D_v^{0,5}, \quad (3.10)$$

$$= 0,1725 \cdot 18,197^{0,16} \cdot 274,5^{0,5} = 4,546 \text{ mm}$$

kde: m_0 – hmotnost polotovaru = 18,197 kg, z důvodu přesnějších výpočtů byl v programu SolidEdge vytvořen model výkovku (obr. 26) a vypočítána jeho hmotnost.

Vypočítaná výška můstku se zaokrouhlí na $h_v = 4,6 \text{ mm}$.



Obr. 26 Model výkovku [44].

- Šířku můstku:

$$b \leq 3 \cdot h_v, \quad (3.11)$$

$$b \leq 3 \cdot 4,6$$

$$b \leq 13,8 \text{ mm}$$

Výpočtem vychází, že by šířka můstku měla být rovna nebo menší než 13,8 mm. Podle tabulky 14 by měla mít 7 až 15 mm. V návrhu byla zvolena hodnota $b = 13 \text{ mm}$.

- Hloubku zásobníku:

$$n = 0,4 \cdot h_v + 2, \quad (3.12)$$

$$= 0,4 \cdot 4,6 + 2 = 3,84 \text{ mm}$$

Vypočítaná hloubka zásobníku bude zaokrouhlena na $n = 3,9 \text{ mm}$.

- Šířku zásobníku – dle tabulky 14 byl zvolena $b_z = 50 \text{ mm}$.

- Hloubku prvního odsazení dutiny od výronku:

$$H_D = \frac{H_v - h_v}{2}, \quad (3.13)$$

$$= \frac{66 - 4,6}{2} = 30,7 \text{ mm}$$

Dělicí rovina se nachází uprostřed výšky výkovku. Dosazením do vzorce vyšla $H_D = 30,7 \text{ mm}$.

- Poloměr zaoblení přechodů tvaru zásobníku:

$$R = \frac{h_v}{2}, \quad (3.14)$$

$$= \frac{4,6}{2} = 2,3 \text{ mm}$$

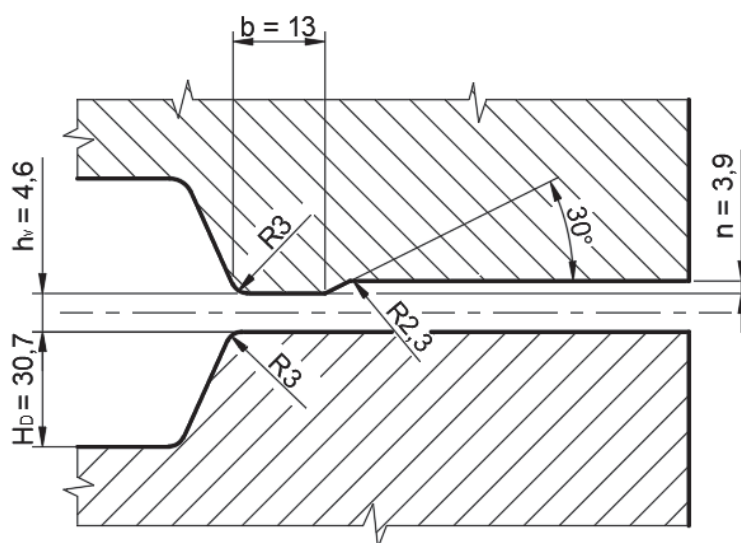
Poloměr zaoblení přechodů tvaru zásobníku je 2,3 mm.

- Poloměr zaoblení mezi zápustkou a můstkem – dle tabulky 14 byl zvolen $r = 3 \text{ mm}$.

Navržená a okótovaná výronková drážka je na obrázku 27.

Tab. 14 Rozměry výronkových drážek [36].

Síla lisu [kN]	h_v [mm]	b [mm]	b_z [mm]	r [mm]
10 000	1,5 až 2,5	4 až 7,5	30	1 až 1,5
16 000	2 až 3	5 až 8	32	1,5 až 2,5
25 000	2,5 až 4	6 až 10	38	
31 500	2,5 až 4,5	6 až 11	40	2 až 3
40 000	3,5 až 5,5	7 až 12	42	
63 000	4,5 až 8	9 až 15	50	2 až 5



Obr. 27 Navržená výronková drážka [35].

3.2 Polotovár

Při kování platí zákon zachování objemu, proto polotovár bude stejně velký jako hotový výkovek zvětšený o ztráty, kterými se rozumí materiál potřebný na výronek a opal. Je potřeba určit následující objemy:

- Výkovek – spočítán programem SolidEdge (obr. 26) $V_{\text{výk}} = 2\,332\,975,5 \text{ mm}^3$.
- Výronek [26; 32]:

$$V_{\text{výr}} = o_v \cdot \left[b \cdot h_v + \left(N + \frac{h_v}{2} \right) \cdot B_z \right], \quad (3.15)$$

$$= 862,37 \cdot \left[13 \cdot 4,6 + \left(8,5 + \frac{4,6}{2} \right) \cdot 30 \right] = 330\,977,606 \text{ mm}^3$$

kde: B_z – délka zatečení kovu = 30 mm

o_v – obvod výkovku v dělicí rovině [mm]

$$o_v = \pi \cdot D_v, \quad (3.16)$$

$$= \pi \cdot 274,5 = 862,37 \text{ mm}$$

N – výška zásobníku [mm]

$$N = h_v + n, \quad (3.17)$$

$$= 4,6 + 3,9 = 8,5 \text{ mm}$$

Objem výronku vyšel $330\,977,606 \text{ mm}^3$. Do následujících vzorců bude dosazována hodnota zaokrouhlená na jedno desetinné místo $V_{\text{výr}} = 330\,977,6 \text{ mm}^3$.

- Opal – je závislý na použité peci. Jelikož při kování na klikovém kovací lisu je problém s opadáváním okují, je vhodné použít indukční ohřev, při kterém jich vzniká nejmenší množství [5; 44]:

$$V_{op} = k \cdot (V_{výk} + V_{výr}), \quad (3.18)$$

$$= 0,01 \cdot (2\,332\,975,5 + 330\,977,6) = 26\,639,531 \text{ mm}^3$$

kde: k – propal – vzhledem k použití indukčního ohřevu zvolen 1%, tj. 0,01

Objem opalu vyšel $26\,639,531 \text{ mm}^3$. Do následujících vzorců bude dosazována hodnota v zaokrouhlená na jedno desetinné místo $V_{op} = 330\,977,6 \text{ mm}^3$.

- Polotovár [26]:

$$V_0 = V_{výk} + V_{výr} + V_{op}, \quad (3.19)$$

$$= 2\,332\,975,5 + 330\,977,6 + 26\,639,5 = 2\,690\,592,6 \text{ mm}^3$$

Objem polotovaru vyšel $2\,690\,592,6 \text{ mm}^3$.

Zvolené rozměry polotovaru musí splňovat pravidlo přechování a mít štíhlostní poměr λ v rozmezí 1,5 až 2,8. Pro výpočet byla zvolena $\lambda = 1,8$. Pro průměr polotovaru platí [25]:

$$\begin{aligned} D'_0 &= 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_0}{\lambda}}, \\ &= 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{2\,690\,592,6}{1,8}} = 123,485 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.20)$$

Dle normy ČSN 42 5510 je zvolen nejbližší skutečný průměr $D_0 = 125 \text{ mm}$, který je nejvhodnější k založení do zápustky pro operaci přechování.

Délka polotovaru je [26]:

$$\begin{aligned} L'_0 &= \frac{4 \cdot V_0}{\pi \cdot D_0^2}, \\ L'_0 &= \frac{4 \cdot 2\,690\,592,6}{\pi \cdot 125^2} = 219,249 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.21)$$

Vzhledem k počtu kusů a technologii dělení řezáním je zvolena délka polotovaru 219 mm.

Jelikož při volbě rozměrů polotovaru docházelo k zaokrouhlování, je potřeba ověřit, zda je splněna podmínka štíhlostního poměru [26]:

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{L_0}{D_0}, \\ &= \frac{219}{125} = 1,752 \end{aligned} \quad (3.22)$$

Štíhlostní poměr $\lambda = 1,752$ je v rozmezí 1,5 až 2,8, takže bude splněna podmínka přechování.

Polotovarem bude kruhová tyč o průměru $D_0 = 125 \text{ mm}$, která se dodává v délce 6 m. Následně bude dělena řezáním na délku $L_0 = 219 \text{ mm}$.

3.3 Síla a potřebný stroj

Síla nabývá největší hodnoty v poslední kovací operaci. Pro výpočet je potřeba znát rozměry výronkové drážky, výkovku a přirozený přetvárný odpor, který se mění s teplotou (tabulka 15). Rozsah kovacích teplot oceli 12 061 je 1 100 až 800 °C, ale vzhledem ke složitosti a velikosti výkovku bylo předepsáno $1\,050 \pm 50 \text{ °C}$. Při výpočtu se počítá s přetvárným odporem při dolní kovací teplotě, který má dle tabulky 15 hodnotu 102 MPa. [11; 36]

Tab. 15 Přirozený přetvárný odpor pro ocel 12 061 [36].

Kovací teplota [°C]	900	950	1 000	1 050	1 100
σ_p [MPa]	148	118	102	90	82

Kovací sílu lze určit několika způsoby. Při návrhu byla počítána podle následujících autorů:

- Brjuchanov – Rebelského – určí se dosazením do vzorce (2.1):

$$\begin{aligned}
 F_k &= 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_v) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_v}\right)^2 \cdot \sigma_p \cdot S_v, \\
 &= 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 274,5) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{274,5}\right)^2 \cdot 102 \cdot 59\,179,9 = 48\,194\,109,91 \text{ N} \\
 &\text{kde: } S_v - \text{plocha průmětu výkovku do dělicí roviny [mm}^2\text{]} \\
 S_v &= \frac{\pi \cdot D_v^2}{4}, \\
 &= \frac{\pi \cdot 274,5^2}{4} = 59\,179,948 \text{ mm}^2
 \end{aligned} \tag{3.23}$$

Pro další výpočty bude hodnota plochy S_v zaokrouhlena na 59 179,9 mm².

Kovací síla dle Brjuchanov – Rebelského vyšla 48,19 MN.

- Stroževa – určí se dosazením do (2.2):

$$\begin{aligned}
 F_k &= \sigma_p \cdot \left\{ \left(1,5 + \frac{b}{2 \cdot h_v}\right) \cdot S_{v\dot{y}r} + \left[1,25 \cdot \left(\ln \frac{D_v}{h_v} + 2 \cdot \frac{h_v}{D_v}\right) + \frac{b}{h_v} - 0,375\right] \cdot S_v \right\}, \\
 &= 102 \cdot \left\{ \left(1,5 + \frac{13}{2 \cdot 4,6}\right) \cdot 42\,890,2 + \left[1,25 \cdot \left(\ln \frac{274,5}{4,6} + 2 \cdot \frac{4,6}{274,5}\right) + \frac{13}{4,6} - 0,375\right] \cdot \right. \\
 &\quad \left. \cdot 59\,179,9 \right\} = 58\,645\,110,18 \text{ N} \\
 &\text{kde: } S_{v\dot{y}r} - \text{plocha výronku [mm}^2\text{]} \\
 S_{v\dot{y}r} &= \frac{\pi \cdot (D_{v\dot{y}r}^2 - D_v^2)}{4}, \\
 &= \frac{\pi \cdot (360,5^2 - 274,5^2)}{4} = 42\,890,5937 \text{ mm}^2
 \end{aligned} \tag{3.24}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{kde: } D_{v\dot{y}r} - \text{průměr výronku [mm]} \\
 D_{v\dot{y}r} &= D_v + 2 \cdot (b + B_z),
 \end{aligned} \tag{3.25}$$

$$= 274,5 + 2 \cdot (13 + 30) = 360,5 \text{ mm}$$

Pro další výpočty bude hodnota plochy $S_{v\dot{y}r}$ zaokrouhlena na 42 890,6 mm².

Kovací síla dle Stroževa vyšla 58,65 MN.

- Tomlenova – výsledná kovací síla je součtem tečné a normálové složky síly:

$$\begin{aligned}
 F_k &= F_N + F_T, \\
 &= 59\,949\,008,9 + 3\,208\,559,8 = 63\,157\,569,7 \text{ N} \\
 &\text{kde: } F_N - \text{normálová složka síly [N]} \\
 F_N &= 2 \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^n S_j \cdot r_j, \\
 &= 2 \cdot \pi \cdot 9\,541\,181,1 = 59\,949\,008,901 \text{ N} \\
 &\text{kde: } \sum S_j \cdot r_j - \text{tabulka 17} \\
 F_T - \text{tečná složka síly [N]} \\
 F_T &= \pi \cdot f \cdot \sigma_p \cdot \sum_{j=1}^n D_j \cdot \Delta z_j, \\
 &= \pi \cdot 0,45 \cdot 102 \cdot 22\,250,9 = 3\,208\,559,816 \text{ N} \\
 &\text{kde: } \sum D_j \cdot \Delta z_j - \text{tabulka 16}
 \end{aligned}$$

Tečná i normálová složka síly jsou pro další výpočty zaokrouhleny na
 $F_N = 59\,949\,008,9\text{ N}$ a $F_T = 3\,208\,559,8\text{ N}$.

Kovací síla dle Tomlenova vyšla 63,16 MN.

Tab. 16 Rozměry výkovku potřebné k výpočtu z přílohy 3.

	z [mm]	Δz [mm]	Δr [mm]	D [mm]	$D \cdot \Delta z$ [mm ²]
1	4,6	30,7	13	297	9 117,9
2	66	23	25,25	271	6 233
3	20	23	70,5	220,5	5 071,5
4	66	23	20,75	795	1 828,5
5	20	-	19	38	-
Σ	-	-	-	-	22 250,9

Deformační odpor v jednotlivých řezech výkovku se vypočte následovně:

$$\begin{aligned}
 - \sigma_{d0} &= (1 + 0,73 \cdot f) \cdot \sigma_p', \\
 &= (1 + 0,73 \cdot 0,45) \cdot 357 = 474,3 \text{ MPa} \\
 &\text{kde: } f - \text{součinitel tření (0,35 až 0,45) = 0,45} \\
 &\sigma_p' - \text{přirozený přetvárný odpor s vlivem poklesu teploty [MPa]} \\
 &\sigma_p' = \sigma_p \cdot C_o = 102 \cdot 3,5 = 357 \text{ MPa} \\
 &\text{kde: } C_o - \text{koeficient, dle normy ČSN 22 8306 = 3,5} \\
 - \sigma_{d1} &= \sigma_{d0} + \sigma_p \cdot \frac{\Delta r_1}{z_1} = 474,27 + 102 \cdot \frac{13}{4,6} = 762,6 \text{ MPa} \\
 - \sigma_{d2} &= \sigma_{d1} + \sigma_p \cdot \frac{\Delta r_2}{z_2} = 762,53 + 102 \cdot \frac{25,25}{66} = 801,6 \text{ MPa} \\
 - \sigma_{d3} &= \sigma_{d2} + \sigma_p \cdot \frac{\Delta r_3}{z_3} = 801,55 + 102 \cdot \frac{70,5}{20} = 1\,161,2 \text{ MPa} \\
 - \sigma_{d4} &= \sigma_{d3} + \sigma_p \cdot \frac{\Delta r_4}{z_4} = 1\,161,1 + 102 \cdot \frac{20,75}{66} = 1\,193,3 \text{ MPa} \\
 - \sigma_{d5} &= \sigma_{d4} + \sigma_p \cdot \frac{\Delta r_5}{z_5} = 1\,193,17 + 102 \cdot \frac{19}{20} = 1\,290,2 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tab. 17 Obsah a poloha těžišť dílčích ploch pod průběhem deformačního odporu.

j	σ_{Lj} [MPa]	σ_{Rj} [MPa]	Δr_j [mm]	S_j [mm ²]	r_j [mm]	$S_j \cdot r_j$ [mm ³]
1	474,3	762,6	13	6 165,5	142,0	875 557,8
2	474,3	762,6	13	1 873,7	139,8	261 985,2
3	762,6	801,6	25,25	19 253,9	122,9	2 366 140,4
4	762,6	801,6	25,25	492,6	118,7	58 447,9
5	801,6	1 161,2	70,5	56 509,3	75,0	4 238 460,0
6	801,6	1 161,2	70,5	12 674,1	63,3	802 384,5
7	1 161,2	1 193,3	20,75	24 092,8	29,4	708 390,1
8	1 161,2	1 193,3	20,75	332,7	25,9	8 624,7
9	1 193,3	1 290,2	19	22 670,2	9,5	215 390,7
10	1 193,3	1 290,2	19	920,6	6,3	5 799,8
Σ	-	-	-	-	-	9 541 181,1

Vzorový výpočet dle přílohy 3 pro řádky 2 a 3:

- Trojúhelníková plocha (řádek 2):

$$S_j = \frac{\sigma_{Rj} - \sigma_{Lj}}{2} \cdot \Delta r_j, \quad (3.26)$$

$$S_2 = \frac{762,6 - 474,3}{2} \cdot 13 = 1\,873,95 \text{ mm}^2$$

kde: σ_{Lj} – deformační odpor v příloze 3 nejbližší vlevo od těžiště [MPa]

σ_{Rj} – deformační odpor v příloze 3 nejbližší vpravo od těžiště [MPa]

$$r_j = \frac{\Delta r_j}{3} + \sum \Delta r_R, \quad (3.27)$$

$$r_2 = \frac{13}{3} + 25,25 + 70,5 + 20,75 + 19 = 139,83 \text{ mm}$$

kde: Δr_R – délka konstantních průřezů výkovků na pravé straně [mm]

Pro další výpočty jsou obsahy ploch pod průběhem deformačního odporu a polohy těžišť zaokrouhleny na jedno desetinné místo. Plocha S_2 bude mít obsah 1 874,0 mm² a těžiště vzdálené 139,8 mm od středu výkovku.

- Obdélníková plocha (řádek 3):

$$S_j = \sigma_{Lj} \cdot \Delta r_j, \quad (3.28)$$

$$S_3 = 762,6 \cdot 25,25 = 19\,255,65 \text{ mm}^2$$

Obsah plochy S_3 bude zaokrouhlen na 19 255,7 mm².

$$r_j = \frac{\Delta r_j}{2} + \sum \Delta r_R, \quad (3.29)$$

$$r_3 = \frac{25,25}{2} + 70,5 + 20,75 + 19 = 122,875 \text{ mm}$$

Pro další výpočty bude mít plocha S_3 těžiště ve vzdálenosti 122,9 mm od středu výkovku.

Kovací síla vyšla při použití zmíněných metod velmi odlišně, viz tabulka 18. Příčinou mohou být rozdílné přístupy autorů, kdy Tomlenov vychází z průběhu deformačních odporů, kdežto Bruchanov – Rebelski a Strožev z průmětů průřezů výkovku do dělicí roviny.

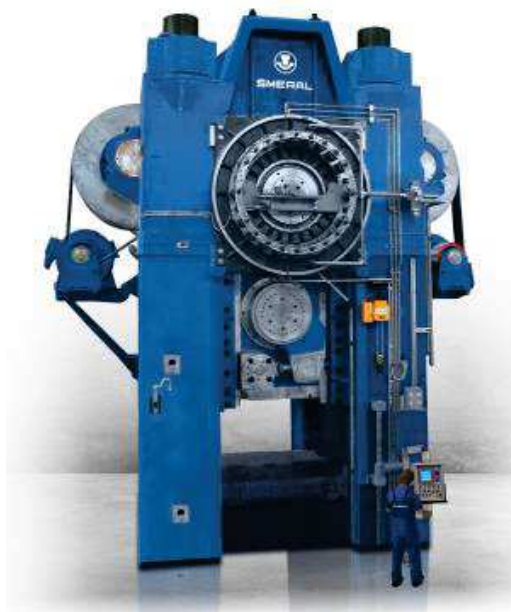
Tab. 18 Porovnání kovací síly.

Bruchanov – Rebelski [MN]	Strožev [MN]	Tomlenov [MN]
48,19	58,65	63,16

Z důvodu zaručení dokonalého zaplnění zápustky, je potřeba při volbě stroje uvažovat největší vypočítanou sílu, která je dle Tomlenova 63,16 MN. Pro zhotovení výkovku je potřeba lis, který bude mít hodnotu jmenovité síly vyšší. Parametry vyhovuje LZK 6500 (obr. 28), který má 65 MN. Údaje o stroji jsou uvedeny v tabulce 19.

Tab. 19 Svislý kovací lis LZK 6500 [47]

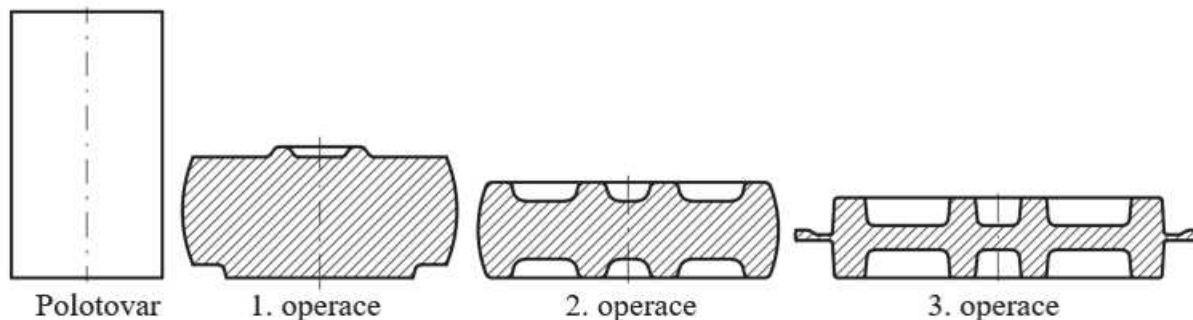
Jmenovitá tvářecí síla [kN]	65 000
Sevření [mm]	1 150
Průchod [mm]	2 100
Upínací plocha stolu [mm]	1 950 x 1 900
Hydraulické přestavení beranu [mm]	15
Zdvih [mm] / Počet zdvihů [min ⁻¹]	450 / 40
Rozměry stroje d x š x v [m]	7,7 x 7,3 x 6,3



Obr. 28 LK 6500 [47]

3.4 Návrh kovacích operací

Výkovek bude zhotoven ve třech operacích, kdy v první bude polotovár spěchován, čímž se zajistí odstranění okují, v druhé bude předkován na tvar přibližný konečnému, aby se snížilo opotřebení dokončovací dutiny a usnadnilo se její dokonalé zaplnění a ve třetí bude dokončen (obr. 29). Následovat bude odstranění výronku a blány na ostřihovacím lisu. [1; 8; 25]



Obr. 29 Postup kování.

Při návrhu předkovků je uvažováno, že všechny vnitřní průměry jsou o 5 mm větší než budou mít v následné operaci a vnější jsou o 5 mm menší. Jejich hodnoty jsou sepsány v tabulce 20. Při určování hodnot výšek se vychází ze zákona zachování objemu.

V první operaci bude polotovár založen do otvoru spodní zápustky a na horní straně výkovku bude vytvořen prstenec, který bude sloužit ke středění výkovku v druhé operaci (obr. 30). Během přechování dochází ke vzniku soudečkovitosti. Je zvolen největší průměr soudečku D_{1opmax} , který má 220 mm a je potřeba dopočítat:

- Nejmenší průměr soudečku:

$$D_{1opmin} = \sqrt{D_{1opmax}^2 \cdot f}, \quad (3.30)$$

$$= \sqrt{220^2 \cdot 0,45} = 147,58 \text{ mm}$$

Pro další výpočet je D_{1opmin} zaokrouhlen na 148 mm.

- Střední průměr soudečku:

$$D_{stř} = \frac{D_{1opmin} + D_{1opmax}}{2}, \quad (3.31)$$

$$= \frac{148 + 220}{2} = 184 \text{ mm}$$

- Výšku soudečku:

$$H_{1op} = \frac{4 \cdot V_s}{\pi \cdot D_{stř}^2} \quad (3.32)$$

$$= \frac{4 \cdot 2\,614\,305,9}{\pi \cdot 184^2} = 98,318 \text{ mm}$$

kde: V_s – objem soudečku [mm^3]

$$V_s = V_0 - V_p - V_{zo}, \quad (3.33)$$

$$= 2\,690\,592,6 - 9\,920,6 - 66\,366,1 = 2\,614\,305,9 \text{ mm}^3$$

kde: V_p – objem prstence [mm^3]

$$V_p = \frac{\pi \cdot (D_{p14}^2 - D_{p15}^2)}{4} \cdot h_{p11}, \quad (3.34)$$

$$= \frac{\pi \cdot (69,5^2 - 48^2)}{4} \cdot 5 = 9\,920,56 \text{ mm}^3$$

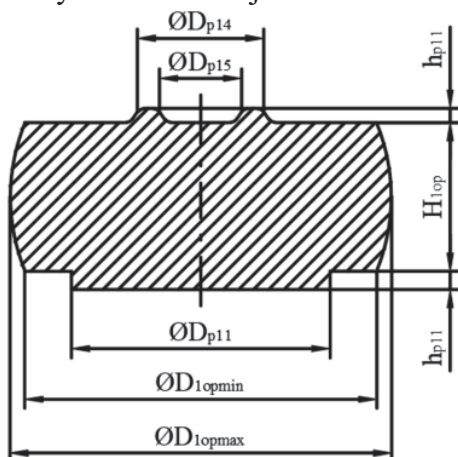
V_{zo} – objem základacího otvoru [mm^3]

$$V_{zo} = \frac{\pi \cdot D_{p11}^2}{4} \cdot h_{p11}, \quad (3.35)$$

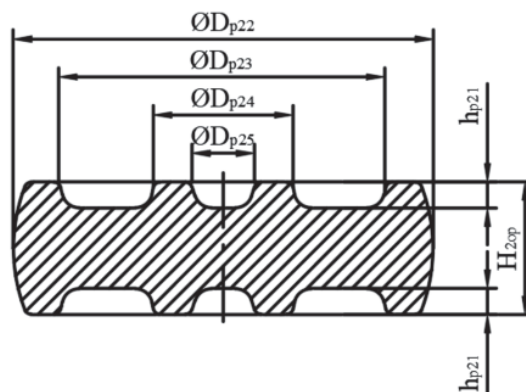
$$= \frac{\pi \cdot 130^2}{54} \cdot 5 = 66\,366,14 \text{ mm}^3$$

Pro další výpočet jsou objemy zaokrouhleny
 $V_p = 9\,920,6 \text{ mm}^3$ a $V_{zo} = 66\,366,1 \text{ mm}^3$.

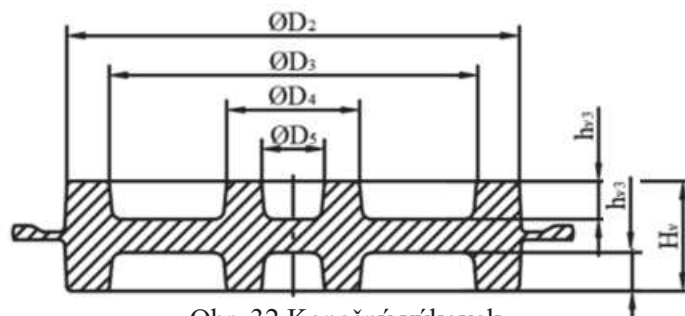
Výška soudečku je zaokrouhlena na $H_{1op} = 98,3 \text{ mm}$.



Obr. 30 Polotovar po 1. operaci.



Obr. 31 Předkovek po 2. operaci.



Obr. 32 Konečný výkovek.

Při určování rozměrů druhé operace h_{p21} a H_{2op} je počítáno s tím, že tloušťka blány bude rovna polovině výšky předkovku po druhé operaci (obr. 31). Ze zákona o zachování objemu je odvozen vzorec:

$$h_{p21} = \frac{V_0}{2 \cdot (2 \cdot S_{p2} - S_{b2} - S_{m2})} \quad (3.36)$$

$$= \frac{2\,690\,592,6}{2 \cdot (2 \cdot 55\,571,6 - 1\,452,2 - 35\,578,5)} = 18,152 \text{ mm}$$

kde: S_{p2} – plocha průřezu předkovku do dělicí roviny [mm^2]

$$S_{p2} = \frac{\pi \cdot D_{p22}^2}{4}, \quad (3.37)$$

$$= \frac{\pi \cdot 266^2}{4} = 55\,571,632 \text{ mm}^2$$

S_{b2} – kruhová plocha blány předkovku po 2. operaci [mm^2]

$$S_{b2} = \frac{\pi \cdot D_{p25}^2}{4}, \quad (3.38)$$

$$= \frac{\pi \cdot 43^2}{4} = 1\,452,201 \text{ mm}^2$$

S_{m2} – plocha mezikruží po 2. operaci [mm^2]

$$S_{m2} = \frac{\pi \cdot (D_{p23}^2 - D_{p24}^2)}{4}, \quad (3.39)$$

$$= \frac{\pi \cdot (225,5^2 - 74,5^2)}{4} = 35\,578,537 \text{ mm}^2$$

Pro další výpočet jsou jednotlivé plochy zaokrouhleny na $S_{p2} = 55\,571,6 \text{ mm}^2$, $S_{b2} = 1\,452,2 \text{ mm}^2$ a $S_{m2} = 35\,578,5 \text{ mm}^2$.

Rozměr h_{p21} je zaokrouhlen na 18,2 mm.

Výška předkovku po druhé operaci se vypočte:

$$H_{2op} = 4 \cdot h_{p21}, \quad (3.40)$$

$$= 4 \cdot 18,2 = 72,8 \text{ mm}$$

Po druhé operaci bude výška předkovku 72,8 mm.

Ve třetí operaci bude výkovek zhotoven dle výkresu 2022-BP-217586-02.

Tab. 20 Průměry výkovku po jednotlivých operacích, rozměry v mm.

1. operace		2. operace		3. operace	
D_{1opmax}	220	D_{p22}	266	D_2	271
D_{p11}	130	D_{p23}	225,5	D_3	220,5
D_{p14}	69,5	D_{p24}	74,5	D_4	79,5
D_{p15}	48	D_{p25}	43	D_5	38
h_{p11}	5	h_{p21}	18,2	h_{v3}	23
H_{1op}	98,3	H_{2op}	72,8	H_v	66

3.5 Návrh zápustky

Protože je výkovek kruhový, bude kruhová také zápustka. Při návrhu nástroje se vychází z normy ČSN 22 8306 a je potřeba určit [36]:

- Rozměry nástroje – závisí na rozměrech výkovku a použitém upínači, kterým bude vzhledem k použitému stroji QLZK 6500 (příloha 4).

- Průměr předkovací zápustky [36]:

$$D_{zp} \geq D_v + 0,2 \cdot (D_v + H_D) + 5, \quad (3.41)$$

$$D_{zp} \geq 274,5 + 0,2 \cdot (274,5 + 30,7) + 5$$

$$D_{zp} \geq 340,54 \text{ mm}$$

Průměr předkovacích zápustek (obr. 33) má být větší než 340,54 mm. Při použití upínače QLZK 6500 má být průměr $D_{zp} = 390$ mm, což vyhovuje.

- Výška předkovací zápustky od dělicí roviny H_{zp} – vzhledem k použitému upínači má mít 190 mm a mezní úchytky $\pm 0,2$ mm.

- Průměr dokončovací zápustky [36]:

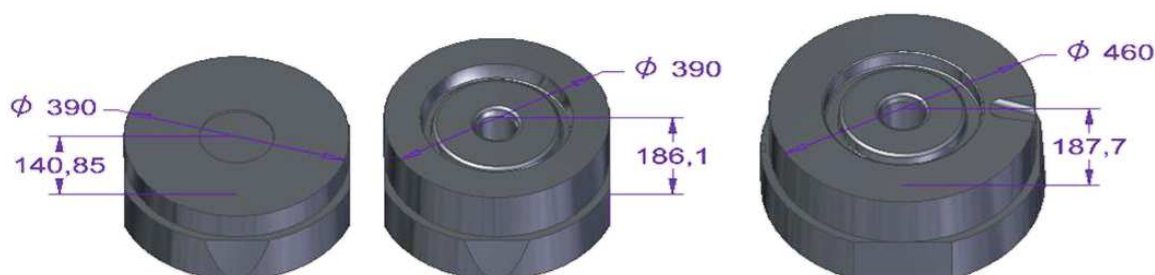
$$D_{zd} \geq D_v + 0,4 \cdot (D_v + H_D) + 10, \quad (3.42)$$

$$D_{zd} \geq 274,5 + 0,4 \cdot (274,5 + 30,7) + 10$$

$$D_{zd} \geq 406,58 \text{ mm}$$

Průměr dokončovací zápustky (obr. 34) má být větší než 406,58 mm, což při použití upínače QLZK 6500, který má mít průměr $D_{zd} = 460$ mm, vyhovuje.

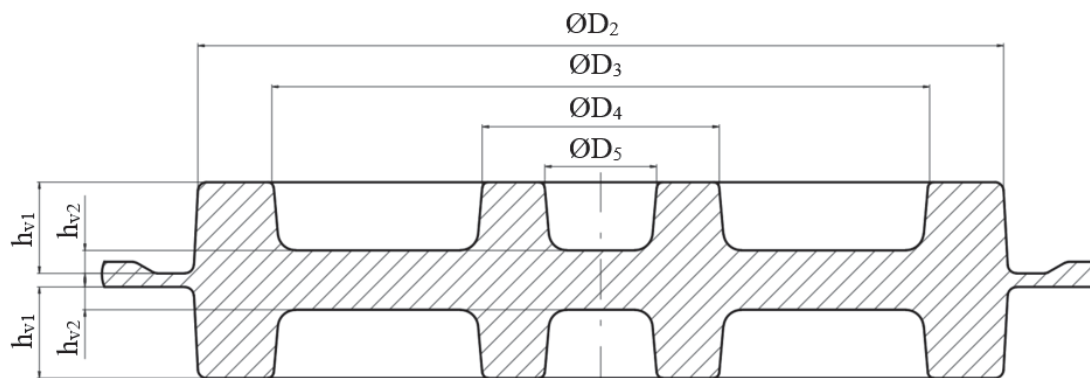
- Výška dokončovací zápustky od dělicí roviny H_{zd} – vzhledem k použitému upínači má mít 190 mm a mezní úchytky $\pm 0,1$ mm.



Obr. 33 První a druhá předkovací dolní zápustka.

Obr. 34 Dolní dokončovací zápustka.

- Rozměry dutiny dokončovací zápustky – větší než 10 mm se zvětšují o hodnotu smrštění, které je u běžné oceli 1,0 až 1,3 %. Spojovací poloměry zůstávají stejné. Změny velikosti jednotlivých rozměrů (obr. 35) jsou uvedeny v tabulce 21.



Obr. 35 Označení rozměrů na výkovku

Tab. 21 Změna velikosti rozměrů dutiny zápustky, rozměry jsou uvedeny v mm.

	ØD ₅	ØD ₄	ØD ₃	ØD ₂	h _{V1}	h _{V2}
Výkovek	Ø38	Ø79,5	Ø220,5	Ø271	30,7	7,7
Zápustka	Ø38,5	Ø80,5	Ø223,4	Ø274,5	31,1	7,7

Příklad výpočtu pro $\text{Ø}D_3 = 220,5 \text{ mm}$:

$$L_{zx} = L_{vx} \cdot \left(1 + \frac{s}{100}\right), \quad (3.43)$$

$$L_{zD3} = 220,5 \cdot \left(1 + \frac{1,3}{100}\right) = 223,3665 \text{ mm}$$

kde: L_{zx} – x-tý rozměr zápustky [mm]

L_{vx} – x-tý rozměr výkovku [mm]

s – smrštění kovu = 1,3 %

Vypočtené hodnoty se zaokrouhlí na jedno desetinné místo. Průměr D_3 v zápustce bude mít 223,4 mm. Výška h_{v2} je menší než 10 mm, a proto bude mít stejnou hodnotu 7,7 mm.

- Mezní úchytky dutiny – závisí na jmenovitém rozměru a zda je ve směru nebo kolmo k rázu. Určují se z tabulky 22. Pro vnější rozměry se používají minusové hodnoty úchylek a pro vnitřní se využívají kladné. Jejich přiřazení ke konkrétním průměrům a výškám dokončovací dutiny je v tabulce 23. Mezní hodnoty rozměrů předkovací dutiny jsou dvojnásobné oproti hodnotám uvedených v tabulce 22.

Tab. 22 Mezní úchytky rozměrů dokončovací dutiny zápustky [36].

Jmenovitý rozměr		Mezní úchytky	
přes	do	$\perp$	$\parallel$
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

Tab. 23 Mezní úchytky rozměrů dutiny zápustky, rozměry jsou uvedeny v mm.

	$\text{Ø}D_5$	$\text{Ø}D_4$	$\text{Ø}D_3$	$\text{Ø}D_2$	h_{v1}	h_{v2}
Rozměr	Ø38,5	Ø80,5	Ø223,4	Ø274,5	31,1	7,7
Úchylka	+ 0,07	- 0,1	+ 0,15	- 0,2	- 0,1	- 0,07

- Materiál zápustky – běžně se velké zápustky vyrábí z chromniklové oceli. Pro obě dutiny bude použita 19 662, která se využívá pro výkonné zápustky s pevností do 1 300 MPa pro malé až střední série výkovků.
- Vyhazovač – pro snadnější vyjímání výkovku ze zápustky. V horní dutině bude umístěn kolíkový vyhazovač (obr. 36) působící na blánu a ve spodní bude prstencový (obr. 37) s předkovacím trnem (obr. 38). Vyhazovače i předkovací trn budou vyrobeny z nástrojové oceli 19 554, která má zvýšenou tvrdost a ořezuvzdornost.



Obr. 36 Kolíkový vyhazovač.

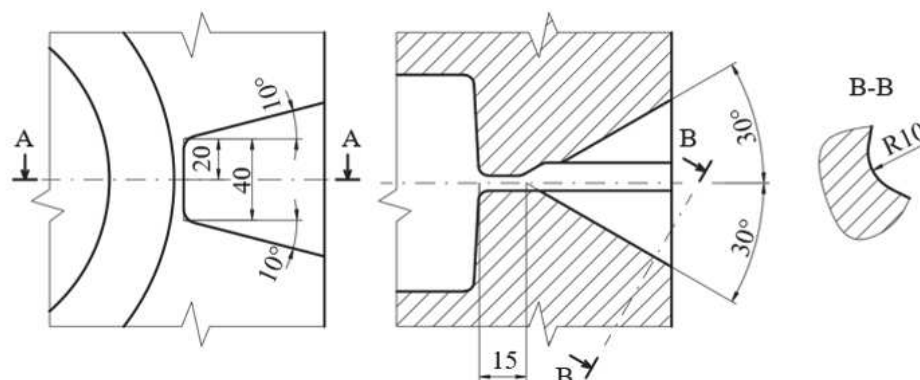


Obr. 37 Prstencový vyhazovač.



Obr. 38 Předkovací trn.

- Vybrání pro kleště – jsou nutné pro vyjmutí výkovku. Jeho rozměry jsou znázorněny na obrázku 39.



Obr. 39 Vybrání pro kleště [48]

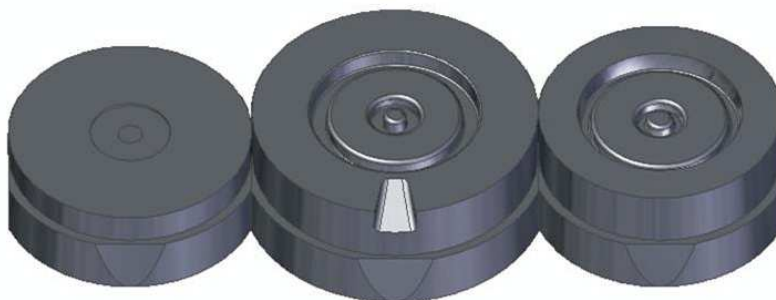
- Opracování – dutiny zápustky a plochy musí mít drsnosti uvedené v tabulce 24. Činnou část předkovacího trnu a místa, kde nastává intenzivní tečení materiálu je, potřeba leštit.

Tab. 24 Opracování zápustky a vyhazovačů

	Opracování R_a [μm]
Dutina dokončovací zápustky	0,8 - 3,2
Dutina předkovací zápustky	1,6 - 3,2
Můstek	0,8 - 3,2
Zásobník	12,5
Dosedací plochy zápustky	3,2
Otvory pro vyhazovače	1,6
Činná část předkovacího trnu	0,8 - 1,6
Vodící plocha vyhazovače	0,8 - 1,6
Činná část vyhazovače	0,8 - 1,6
Dosedací plocha vyhazovače	1,6 - 3,2

3.5.1 Popis nástroje a kování

Na čelní straně zápustek se nachází zkosení 5° a na zadní straně vybrání, které slouží spolu s osazením k upnutí do držáku. Dokončovací dutina musí být umístěna uprostřed, protože tam působí lis největší silou. Pořadí, v jakém budou umístěny zápustky v držáku je na obrázku 40. Dutiny je potřeba před kováním namazat olejnatou grafitovou suspenzí.

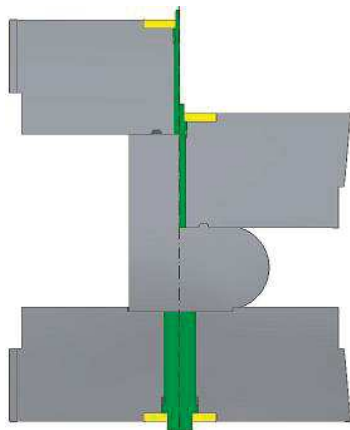


Obr. 40 Pořadí umístění zápustek v držáku.

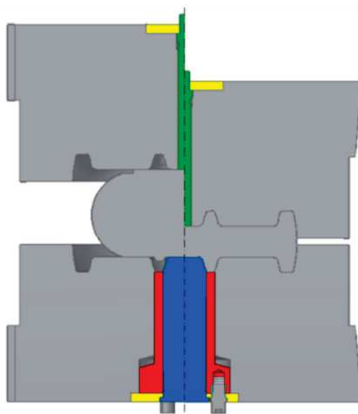
Na obrázku 41 je znázorněna první operace. Ve spodní polovině první zápustky je dutina sloužící k založení polotovaru, který bude spěchován kvůli odstranění okují a získání tvaru vhodného pro založení do druhé dutiny. Po přechování bude předkovek kleštěmi vyjmut, otočen

o 180° tak, aby vzniklý středící prstenec směřoval dolů, a přenesen do další zápustky. Pro snadnější vyjímání jsou pomocí středících vložek (žlutá) v horní i spodní části umístěny kolíkové vyhazovače (zelená). Sestava zápustky je na výkrese 2022 - BP - 217586 - 07.

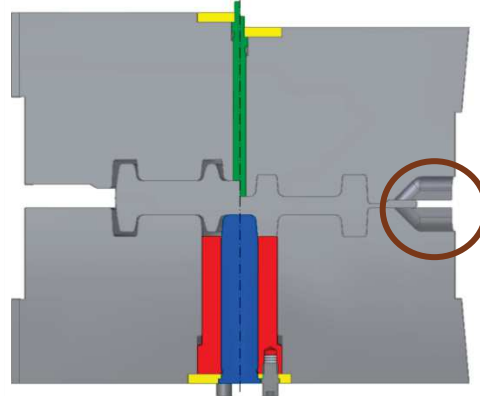
V druhé operaci, která je znázorněna na obrázku 42, dojde ke kování zpěchovaného polotovaru. Pro lepší vyjímání předkovku se v horní polovině zápustky nachází kolíkový vyhazovač (zelený) a ve spodní prstencový (červený) s předkovacím trnem (modrý). Vyhazovače jsou v zápustce středěny pomocí středících vložek (žlutá). Sestava zápustky pro druhou operaci je na výkrese 2022 - BP - 217586 - 06.



Obr. 41 První operace.



Obr. 42 Druhá operace.



Obr. 43 Třetí operace.

Na obrázku 43 je znázorněna poslední operace, ve které bude vykován konečný tvar. Pro lepší vyjímání ze zápustky slouží kolíkový (zelený) a prstencový vyhazovač (červený). Protože okolo výkovku bude výronek, nelze ho uchopit kleštěmi za vnější průměr a musí být v zápustce vybrání pro kleště, vyznačeno na obr. 43 hnědým kroužkem. Sestava zápustky je na výkrese 2022 - BP - 217586 - 05.

3.6 Ostřížení a dokončení

Po zhotovení výkovku je potřeba odstranit výronek a blánu. Ostříhování proběhne ve dvou operacích na ostříhovacím lisu. Jelikož ocel 12 061 má až 0,65 % uhlíku, bude proces probíhat za tepla při 800 až 750 °C. Oproti kování teplota klesne a mez pevnosti R_m se zvýší na 118 MPa. Je potřeba vypočítat:

- Sílu na ostřížení výronku:

$$\begin{aligned} F_{sv} &= 1,7 \cdot \tau_s \cdot o_v \cdot 2 \cdot h_v, \\ &= 1,7 \cdot 94,4 \cdot 862,37 \cdot 2 \cdot 4,6 = 1\,273\,216,866 \text{ N} \\ &\text{kde: } \tau_s - \text{napětí ve stříhu [MPa]} \\ &\quad \tau_s = 0,8 \cdot R_m, \\ &\quad = 0,8 \cdot 118 = 94,4 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Pro další výpočty je síla na ostřížení výronku F_{sv} zaokrouhlena na 1,27 MN.

- Sílu na prostřížení blány:

$$\begin{aligned} F_{sb} &= 1,7 \cdot \tau_s \cdot o_b \cdot b_v, \\ &= 1,7 \cdot 94,4 \cdot 119,38 \cdot 20 = 383\,162,048 \text{ N} \\ &\text{kde: } o_b - \text{obvod blány [mm]} \\ &\quad o_b = \pi \cdot d_b, \\ &\quad = \pi \cdot 38 = 119,38 \text{ mm} \end{aligned} \tag{3.44}$$

Pro další výpočty je síla potřebná k prostřížení blány zaokrouhlena na F_{sb} 0,38 MN.

Protože stříhání nebude probíhat najednou, je potřeba při volbě stroje počítat s větší z vypočtených sil, kterou je síla na ostřížení výronku. Dále je potřeba brát ohled na to, že časem dohází k opotřebovávání zápustek a tím ke zvětšování tloušťek. Výsledná střížná síla bude tedy zvětšena o 25 % [25]:

$$\begin{aligned} F_s &= 1,25 \cdot F_v, \\ &= 1,25 \cdot 1,27 = 1,59 \text{ MN} \end{aligned} \quad (3.45)$$

Nejvhodnějším strojem je lis LDO 315 A/S (obr. 44) se jmenovitou tvářecí silou 3,15 MN a dalšími technickými daty uvedenými v tabulce 25.



Obr. 44 LDO 315 A/S [49]

Tab. 25 Ostříhovací lis LDO 315 A/S [49].

Tvářecí síla [kN]	3 150
Sevření [mm]	600
Průchod [mm]	1 400
Upínací plocha stolu [mm]	1 380 x 950
Upínací plocha beranu [mm]	1 380 x 950
Přestavování beranu	140
Zdvih [mm] / Počet zdvihů [min ⁻¹]	200 / 44
Rozměry stroje v x š x h	5,0 x 2,6 x 2,5

Po odstřížení výronku a blány bude následovat otloukání v bubnech pro odstranění okují na povrchu výkovku. Následně bude potřeba žiháním zlepšit obrobiteľnosť a odsoustružit přídavky na obrábění. Dále se vyfrézují zuby kola a protahováním se vytvoří jemné drážkování. Po třískovém obrábění budou zuby zakaleny na 58 ± 1 HRC.

ZÁVĚR

Zadanou součástí je ozubené kolo umístěné na zadní polonápravě traktoru z oceli 12 061. S ohledem na sériovost 10 000 kusů za rok, složitost součástky, přesnost a požadované vlastnosti bylo zvoleno zápusťkové kování na svislém kovací lisu.

Byl zpracován návrh výkovku, při kterém se vycházelo z výkresu součásti a normy ČSN 42 9030. Na základě největších rozměrů součásti byly stanoveny přídavky na obrábění 3 mm a dále zaoblení hran, velikost blány 20 mm a úkosy vnitřní 5° a vnější 3°. Podle normy ČSN 42 9002 bylo zjištěno číselné zařazení zadaného výkovku dle složitosti tvaru 5160.3, na základě kterého byly určeny stupně přesnosti a mezní úchyly. Navržený výkovek splňuje podmínky technologičnosti.

Z hmotnosti výkovku, spočítané v programu SolidEdge, byla vypočtená výška můstku výronkové drážky, která se zaokrouhlila na 4,6 mm. Z normy ČSN 22 8306 byly odečteny zbylé rozměry.

Byly určeny objemy výkovku, výronku a opalu, z nich stanoven objem polotovaru 2,69 dm³ a vypočítány rozměry polotovaru. Dle normy ČSN 42 5510 byla zvolena tyč o průměru 125 mm, která bude dělena řezáním na délku 219 mm.

Pro poslední operaci byla počítána dle Brjuchanov-Rebelského, Střoževa a Tomlenova. Byla uvažována největší síla 63,16 MN. Nejvhodnější lis je LZK 6500. Kování proběhne ve třech operacích.

Po zhotovení výkovku je třeba odstranit výronek a blánu. Ostřihování proběhne za tepla. Potřebná síla vyšla 1,59 MN, a z tohoto důvodu byl zvolen lis LDO 315 A/S. Následně se otloukáním v bubnech odstraní okuje, výkovek se vyžihá a obráběním opracuje na konečný tvar.

Před zavedením do výroby je potřeba navržený postup otestovat vhodnými simulacemi a zhotovit ověřovací sérii.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [50]

1. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
2. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. Vydání čtvrté. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.
3. ČADA, Radek. *Technologie I: studijní opora* [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007 [cit. 2021-10-28]. ISBN 978-80-261-0449-0. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/TECH1/Technologie-I.pdf>
4. FABÍK, Richard. *Tváření kovů: učební text* [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012 [cit. 2021-10-28]. ISBN 978-80-248-2572-4. Dostupné z: <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/TVKB/Tvareni%20kovu.pdf>
5. EKFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1991. ISBN 80-03-00651-1
6. Výroba výkovků. *SWR Jihlava, spol. s r.o.* [online]. [cit. 2021-11-03]. Dostupné z: <https://www.swrjihlava.cz/vyroba-vykovku>
7. *TraktorPartner.sk* [online]. [cit. 2021-11-13]. Dostupné z: <http://www.traktorpartner.sk/Zadna-polonaprava-2630>
8. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. Páté upravené vydání. Úvaly: ALBRA, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
9. ROUČKA, František. Podvozky kolových a pásových traktorů, jejich odpružení a řízení. *Agroportal24h.cz: Vše ze světa agro* [online]. 2019 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://www.agroportal24h.cz/clanky/podvozky-kolovych-a-pasovych-traktoru-jejich-odpruzeni-a-rizeni>
10. SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Základy konstruování*. Vydání sedmé, přepracované a doplněné. Brno: CERM, 2019. ISBN 978-80-7623-009-5.
11. *Tumlikovo Metal cutting Technologies: Ušlechtilé uhlíkové konstrukční oceli třídy 12, jejich složení a tepelné zpracování* [online]. [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/uslechtile-uhlikove-konstrukcni-oceli-tridy-12-jejich-slozeni-a-tepelne-zpracovani/>
12. ČSN 41 2061. *Ocel 12 061*. Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1989.
13. HOMOLA, Jan. Selective Laser Sintering. *3D-tisk.cz* [online]. 2013 [cit. 2021-12-26]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/selective-laser-sintering/>
14. MIHULKA, Stanislav. Nová technologie umožňuje laserový 3D tisk z více kovových materiálů. *EkonTech.cz* [online]. 2020 [cit. 2021-12-26]. Dostupné z: <https://www.ekontech.cz/clanek/nova-technologie-umoznuje-laserovy-3d-tisk-vice-kovovych-materialu>
15. Druhy technologií 3D tisku. *Svět 3D* [online]. [cit. 2021-12-26]. Dostupné z: <http://svet-3d.cz/druhy-technologii.html>
16. Drsnost povrchu. *E-konstrukter* [online]. [cit. 2021-12-26]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/drsnost-povrchu>
17. Revoluce v oblasti soustružení. *TECHMAGAZÍN: Nejrychlejší spojení se světem průmyslové techniky* [online]. 2019 [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/47687>
18. HOZA, Jiří. *Obrobitelnost materiálů: oceli třídy 11 až 19*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1994.

19. ROUČKA, Jaromír. *O slévárenství* [online]. Vysoké učení technické v Brně [cit. 2021-12-24]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/uvod/o-slevarenstvi>
20. HORÁČEK, Milan a Ladislav ZEMČÍK. *Slévárenská technologie* [online]. [cit. 2021-12-26]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/sites/default/files/clanky/slevarenska-technologie/slevtech.pdf>
21. Gravitační liti. *SPOJENÉ SLÉVÁRNY, spol. s r. o.: Member of Vitkovice machinery group* [online]. Krnov [cit. 2022-01-21]. Dostupné z: <https://www.spojeneslevarny.cz/vyroba/gravitacni-liti>
22. *OpenLearn: Forming our gearwheel* [online]. [cit. 2022-03-09]. Dostupné z: <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/design-innovation/manufacturing/content-section-3.8>
23. *Ringworld* [online]. [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: <http://cz.eamachine.com/forgings/drop-forgings/closed-die-forging.html>
24. BENEŠOVÁ, Soňa a Vladimír BERNÁŠEK. *Technologie tváření* [online]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2014 [cit. 2021-11-18]. ISBN 978-80-261-0449-0. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/16833/1/TechnologietvareniTTSS.pdf>
25. DVOŘÁK, Milan a kolektiv. *Technologie II*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-2032-4.
26. GAJDOŠ, František. *Technologie tváření kovů* [online]. Vysoké učení technické v Brně [cit. 2021-12-27]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/5te_tecnologie_vyroby_I_tvareni_gajdos.pdf
27. DRASTÍK, František. *Kovářství*. 3. doplněné vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1971.
28. Technologie objemového tváření – kování. *Technologie II*. [online]. Technická univerzita Liberec [cit. 2021-11-18]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm
29. FUCHS, Otto. *Kování a zařízení v kovárně: Příručka pro provoz, konstrukci a vyučování*. Praha: ROH – PRÁCE – vydavatelství knih v knižnici svazu zaměstnanců strojírenství, 1954.
30. HAŠEK, Vladimír. *Kování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 730 s. TISK. ISBN 04-233-65
31. ČADA, Radek, Jakub MACHÁLEK a Barbora FRODOVÁ. *Týmová cvičení předmětu Technologie tváření a slévání: Návod do cvičení předmětu „Technologie tváření a slévání“* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2012 [cit. 2021-11-17]. ISBN 978-80-248-2718-6. Dostupné z: <https://projekty.fs.vsb.cz/147/ucebniopory/978-80-248-2718-6.pdf>
32. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Nakladatelství VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
33. ČERMÁK, Jan. *Podklady pro předmět Projekt I – část kování* [online]. Praha: ČVUT, 2004 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/assets/Uploads/vykovek-zadani.pdf>
34. ČSN 42 9002. *Rozdělení zápusťkových výkovků podle složitosti tvaru*. Praha: Český normalizační institut, 1971.
35. HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. *Metal Forming: Mechanics and Metalurgy*. 4th ed. New York: Cambridge University Press, 2011. 331 s. ISBN 978-1-107-00452-8

-
36. ČSN 22 8306. *Zápusťky pro svislé kovací lisy: Technické požadavky na konstrukci*. Praha: Český normalizační institut, 1990.
 37. GAJDOŠ, František a kolektiv. *Teorie tváření: Návod do cvičení*. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1989. ISBN 80-214-1032-9.
 38. PRIMUS, František. *Teorie objemového tváření*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1979. s. 196
 39. Mechanické hydraulické lisy. *Technologie stroje a zařízení: stroje a zařízení* [online]. 2012 [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://techstroj.g6.cz/S/S19.pdf>
 40. HÝSEK, Rudolf. *Tvářecí stroje*. Praha: Šmeralovy závody, n. p., Brno, 1962. ISBN 06-081-62.
 41. RUDOLF, Bedřich a Miloslav KOPECKÝ. *Tvářecí stroje: Základy výpočtů a konstrukce*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1979.
 42. HLAVATÝ, Ivo a Jiří HRUBÝ. *Technologičnost konstrukcí: učební text* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2012 [cit. 2022-01-27]. ISBN 978-80-248-2772-8. Dostupné z: https://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/Technologicnost_konstrukci.pdf
 43. BEDNÁŘ, Bohumír, Jan ŠANOVEC a Ladislav MICHÁLEK. *Technologičnost konstrukce I*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03268-X.
 44. SIEMENS. *Solid Edge 2022: student edition* [software]. [přístup 2021-03-11]. Dostupné z: https://www.plm.automation.siemens.com/plmapp/education/solid-edge/en_us/free-software/student.
 45. ČSN 42 9030. *Výkovky ocelové zápusťkové. Přídavky na obrábění, mezní úchylky rozměrů a tvarů*. Praha: Český normalizační institut, 1987.
 46. ČERMÁK, Jan. *Podklady pro předmět projekt 2 - část kování* [online]. Praha: ČVUT, 2004 [cit. 2022-02-11]. Dostupné z: https://members.marticonet.sk/jkuba/Prierezoblas%C5%A5ou/zaklady_konstrukce_zapustek.pdf
 47. Šmeral: *svislé kovací lisy* [online]. Brno [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/12/lzk-6500>
 48. KOTOUČ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Luděk MÁDLE. *Tvářecí nástroje*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993, 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
 49. Šmeral: *ostříhovací lisy* [online]. Brno [cit. 2022-03-09]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/36/lko-315-a-s>
 50. CITACE.PRO [online]. 2015 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/>
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
B	Šířka ozubení	[mm]
B _z	Šířka kovu v zásobníku	[mm]
b	Šířka můstku výronku	[mm]
b _v	Nejmenší výška výkovku ve směru rázu	[mm]
C _o	souhrnný koeficient udávající kolikrát je přirozený přetvárný odpor ve výronku větší než uvnitř výkovku	[-]
D ₀	Průměr polotovaru	[mm]
D ₁ až D ₅	Průměry na výkovku	[mm]
D _{1opmax}	Největší průměr soudečku	[mm]
D _{1opmin}	Nejmenší průměr soudečku	[mm]
D _j	Jednotlivé průměry na výkovku	[mm]
D _{p11} , D _{p14} a D _{p15}	Průměry předkovku po 1. operaci	[mm]
D _{p22} až D _{p25}	Průměry předkovku po 2. operaci	[mm]
D _{stř}	Střední průměr soudečku	[mm]
D _v	Největší průměr výkovku	[mm]
D _{zd}	Průměr dokončovací zápustky	[mm]
D _{zp}	Průměr předkovací zápustky	[mm]
d _a	Průměr hlavové kružnice ozubeného kola	[mm]
F _k	Kovací síla	[N]
F _N	Normálová složka síly	[N]
F _s	Ostřihovací síla	[N]
F _{sb}	Síla na prostřížení blány	[N]
F _{sv}	Síla na ostřížení výronku	[N]
F _T	Tečná složka síly	[N]
f	Součinitel tření	[-]
f _i	Délkový rozměr na výkovku	[mm]
g	Dovolený otřep a sestřížení	[mm]
H ₀	Výška polotovaru	[mm]
H _{1op}	Výška soudečku	[mm]
H _{2op}	Výška předkovku po 2. operaci	[mm]
H _D	Hloubka prvního odsazení dutiny od výronku	[mm]
H _v	Největší výška výkovku	[mm]
H _{zd}	Výška dokončovací zápustky	[mm]
H _{zp}	Výška předkovací zápustky	[mm]
h _i	Výška na výkovku	[mm]
h _{p11}	Výška na předkovku po 1. operaci	[mm]
h _{p21}	Výška na předkovku po 2. operaci	[mm]
h _v	Tloušťka výronku	[mm]
h _{v1} a h _{v2}	Výšky na výkovku	[mm]
k	Propal	[-]
L _{vx}	x-tý rozměr výkovku	[mm]
L _{zx}	x-tý rozměr zápustky	[mm]
m ₀	Hmotnost polotovaru	[kg]
m _s	Střížná mezera	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
m_v	Hmotnost výkovku	[kg]
N	Výška zásobníku	[mm]
n	Hloubka zásobníku	[mm]
o	Obvod výronku	[mm]
o_b	Obvod blány	[mm]
o_v	Obvod výkovku v dělicí rovině	[mm]
p	Dovolené přesazení	[mm]
p_o	Přídavek na obrábění	[mm]
R	Poloměr zaoblení přechodů tvaru zásobníku	[mm]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_m'	Mez pevnosti v tahu při zvýšené teplotě	[MPa]
r	Poloměr zaoblení mezi zápusťkou a můstkem	[mm]
r_i	Velikost poloměru zaoblení přechodu	[mm]
r_j	Poloha těžiště dílčí plochy pod průběhem deformačních odporů	[mm]
S_{b2}	Kruhová plocha blány předkovku po 2. operaci	[mm ²]
S_j	Obsah dílčí plochy pod průběhem deformačních odporů	[mm ²]
S_{m2}	Plocha mezikružní po 2. operaci	[mm ²]
S_{p2}	Plocha průmětu předkovku do dělicí roviny	[mm ²]
S_v	Plocha průmětu výkovku do dělicí roviny	[mm ²]
$S_{výr}$	Plocha výronku	[mm ²]
s	Smrštění kovu	[%]
V_0	Objem polotovaru	[mm ³]
V_{op}	Objem opalu	[mm ³]
V_p	Objem prstence	[mm ³]
V_s	Objem soudečku	[mm ³]
$V_{výk}$	Objem výkovku	[mm ³]
$V_{výr}$	Objem výronku	[mm ³]
V_{zo}	Objem zakládacího otvoru	[mm ³]
z_n	Tloušťka průřezu výkovku	[mm]
α	Úhel zkosení	[°]
α_1	Velikost vnějšího úkosu	[°]
α_2	Velikost vnitřního úkosu	[°]
Δr_n	Délka konstantního průřezu výkovku	[mm]
Δz_j	Výška plochy výkovku v pohybujícím se dílu zápusťky	[mm]
σ_{d0}	Přirozený přetvárný odpor nultého průřezu	[MPa]
σ_{dn}	Přirozený přetvárný odpor n-tého průřezu	[MPa]
$\sigma_{d(n-1)}$	Přirozený přetvárný odpor předchozího průřezu	[MPa]
σ_p	Přetvárná pevnost oceli při dolní kovací teplotě	[MPa]
σ_p'	Přirozený přetvárný odpor s vlivem poklesu teploty ve výronku	[MPa]
τ_s	Napětí ve střihu	[MPa]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Zařazení výkovku dle složitosti tvaru

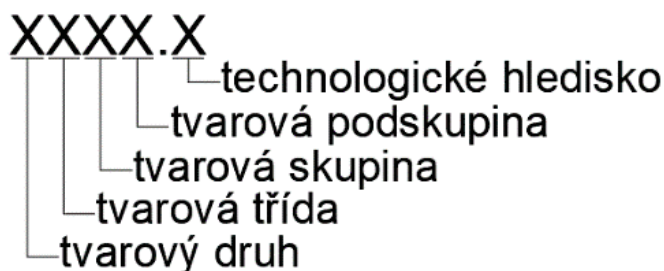
Příloha 2 Rozložení deformačního odporu na výkovku

Příloha 3 Rozložení přetvárného odporu na zadaném výkovku

Příloha 4 Upínače válcových zápustek

Seznam výkresů

Ozubené kolo	2022-BP-217586-01
Výkovek	2022-BP-217586-02
Spodní díl zápustky	2022-BP-217586-03
Horní díl zápustky	2022-BP-217586-04
Sestava zápustky 3. op.	2022-BP-217586-05
Kusovník sestavy zápustky 3. op.	2022-BP-217586-K05
Sestava zápustky 2. op.	2022-BP-217586-06
Kusovník sestavy zápustky 2. op	2022-BP-217586-K06
Sestava zápustky 1. op.	2022-BP-217586-07
Kusovník sestavy zápustky 3. op	2022-BP-217586-K07



Tvarový druh

- 4 – výkovky kruhového průřezu plné
- 5 – výkovky kruhového průřezu duté
- 6 – výkovky hranolovitých průřezů 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

Výkovky tvarového druhu 4 až 8:

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

Tvarová skupina

Výkovky tvarového druhu 5 a třídy 1:

- 1 – $H_v \leq D_v$ a $H_v \leq 2b_v$
- 2 – $H_v \leq D_v$ a $H_v > 2b_v$
- 3 – $H_v > D_v$
- 5 – D_v – koule

kde: H_v – největší výška výkovku ve směru rázu [mm]

D_v – největší šířka výkovku ve směru kolmo k rázu [mm]

b_v – nejmenší výška výkovku ve směru rázu, nejmenší tloušťka blány nebo dna výkovku [mm]

Tvarová podskupina

- 1 – přesah v poměru $L:B$ (D_v) nebo $H:B$ (D_v)
- 2 – přesah v poměru $H:H_I$ ($D_v:D_I$)
- 3 – přesah v poměru $B:B_I$
- 4 – přesah v poměru $F:F_I$
- 5 – přesah v hloubce dutiny $h:d$ nebo úhlu listů lopatek β
- 6 – přesah v tloušťce dna nebo blány H_I
- 7 – přesah v tloušťce stěny s nebo velikosti rozvidlení $l:b$
- 8 – přesah zaoblení přechodů a hran R, r
- 9 – kombinace několika přesahů
- 0 – bez přesahu**

kde: D_v – největší průměr výkovku [mm]

D_I – nejmenší průměr výkovku, průměr výchozího materiálu u výkovků zhotovených na vodorovném kovací lisu [mm]

F – největší plocha průřezu výkovku ($B \times H$) [mm]

F_I – nejmenší plocha průřezu výkovku ($B_I \times H_I$) [mm]

h – největší hloubka dutiny výkovku [mm]

d – největší průměr dutiny výkovku [mm]

l – největší délka rozvidlení [mm]

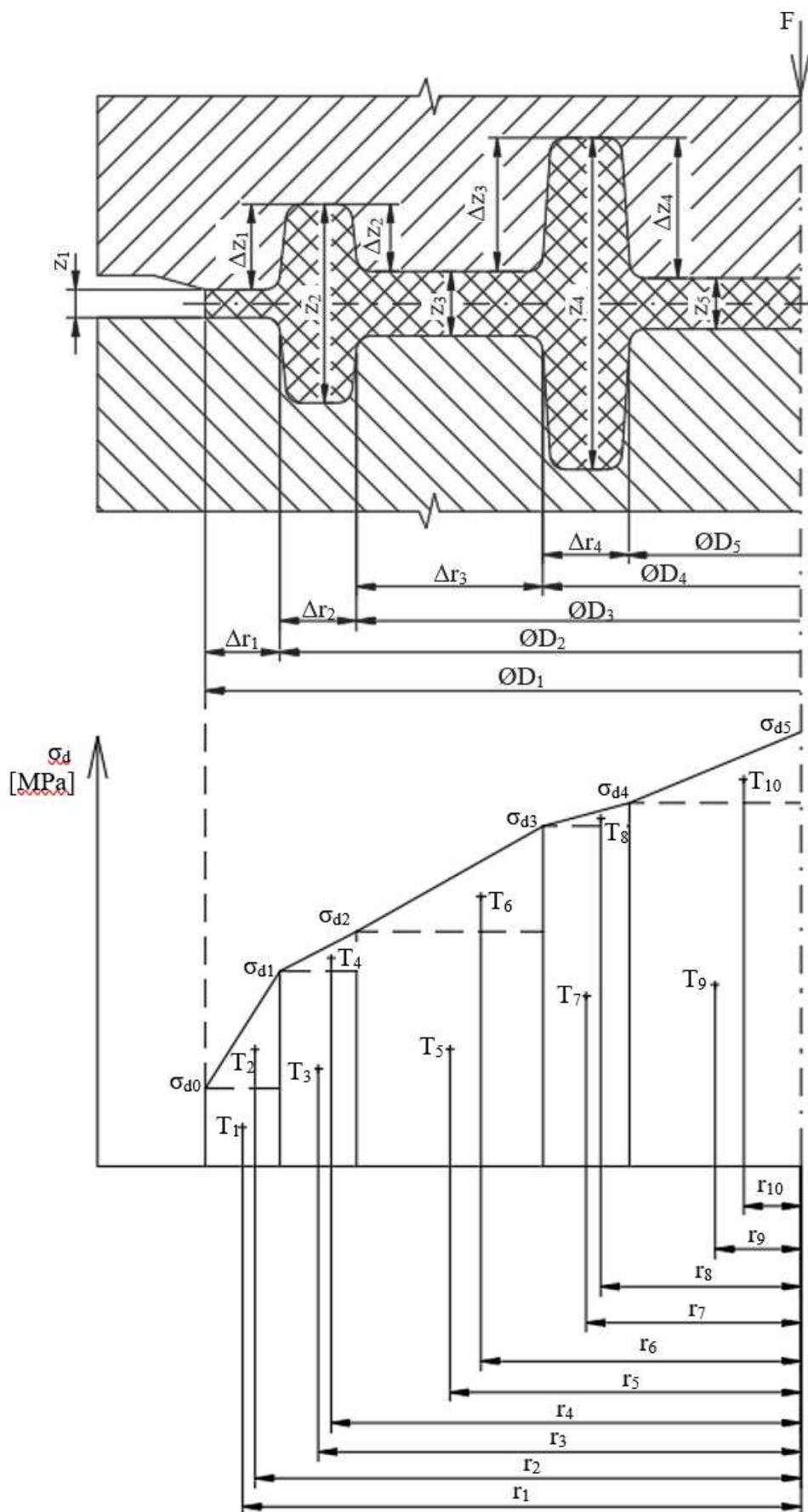
b – největší šířka rozvidlení [mm]

R – poloměr zaoblení přechodů [mm]

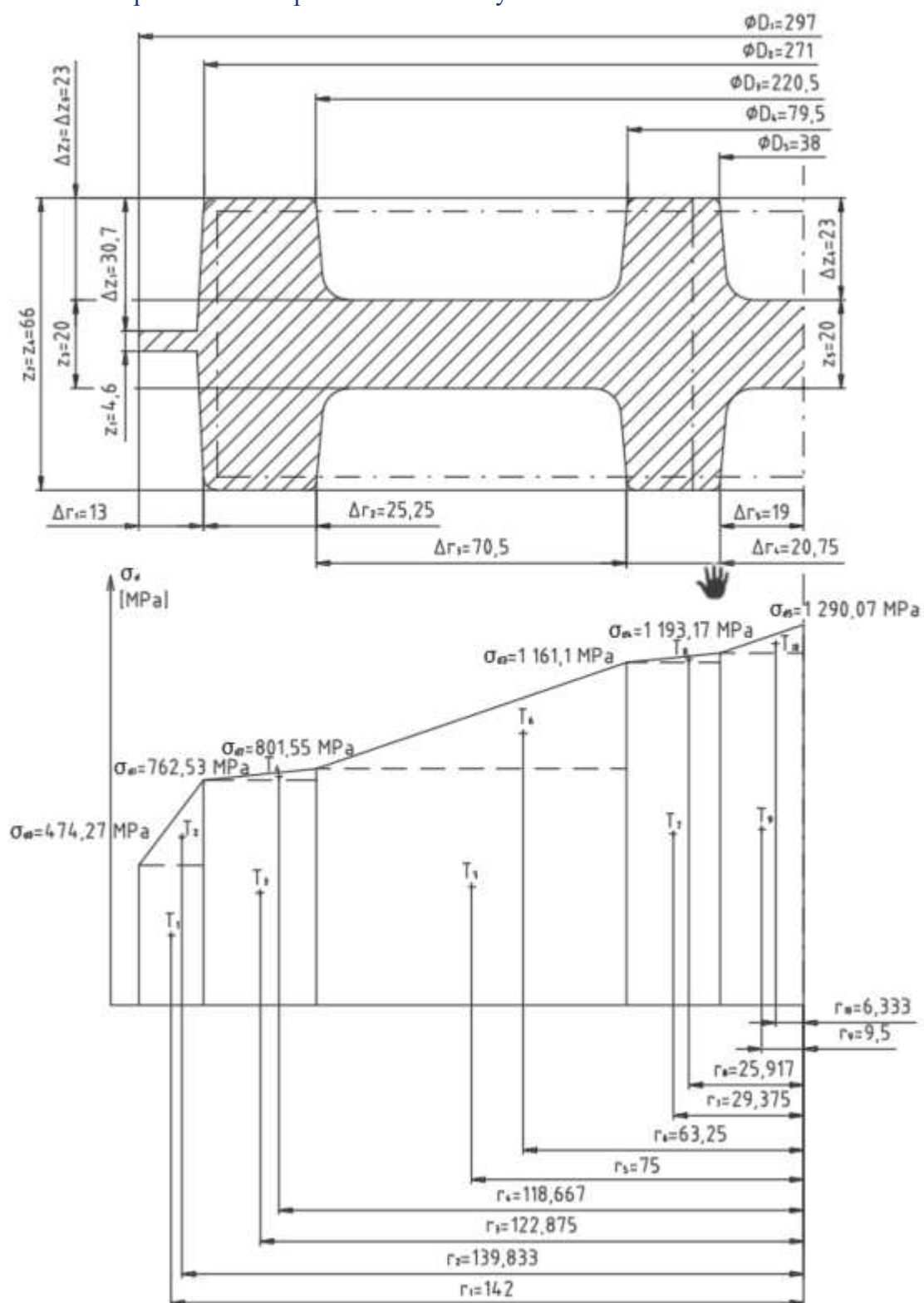
r – poloměr zaoblení hran [mm]

Technologické hledisko

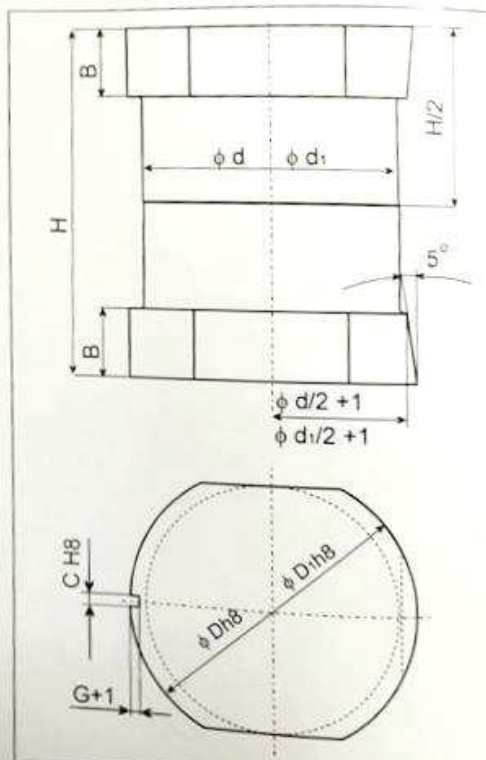
- 1 – výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy souměrné
- 2 – výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy nesouměrné
- 3 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu souměrné**
- 4 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu nesouměrné
- 5 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu s 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



Rozložení přetvárného odporu na zadaném výkovku



**Kovací linky,
upínače
válcových
zápustek,
válcové
zápustky**



Ohřev [kg/hod]		1 200	1 400	1 500	2 000	2 500	3 500
L	Předkovací stroj	UL 35	UL 35	UL 35	UL 35	UL 35	UL 35
I	Kovací stroj	LZK 1000	LZK 1600	LZK 2500	LZK 3150	LZK 4000	LZK 6500
N	Ostříhvací stroj	LE 160	LE 250	LDO 315	LDO 500	LDO 500	LDO 800
K	Stř. hmot. výk. [kg]	1	1,5	3,5	7	12	22
A	Ø polotov. (mm)	20 až 50	30 až 70	40 až 100	50 až 120	60 až 140	90 až 160
Označení		QLZK 1000	QLZK 1600	QLZK 2500	QLZK 3150	QLZK 4000	QLZK 6500
U	Dokovací	D ₁	222	275	343	390	430
P	zápustka	d ₁	200	250	315	360	400
I	Předkovací	D	197	245	303	340	380
N	zápustka	d	175	220	275	310	350
A	H		200	250	300	340	380
Č	B		50	60	70	80	90
	C		16	16	16	16	16
	G		9	9	9	9	9

Poznámky:

1. Kovací síly strojů v kN se určí tak, že se číslo uvedené u typu stroje násobí deseti
2. Rozměry uvedené u upínačů jsou v mm