



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 PŮLSPOJKY PROUDNICE

MANUFACTURING OF A JET HALF COUPLING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Ostřížek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Řiháček, Ph.D.

Zadání bakalářské práce

| | |
|-------------------|--------------------------------|
| Ústav: | Ústav strojírenské technologie |
| Student: | Jan Ostřížek |
| Studijní program: | Strojírenství |
| Studijní obor: | Strojírenská technologie |
| Vedoucí práce: | Ing. Jan Řiháček, 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 půlspojky proudnice

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o výrobu dílce pomocí technologie objemového tváření za tepla. Na tuto oblast bude rovněž vypracována literární rešerše. Dále bude práce obsahovat návrh technologického postupu výroby součásti, technicko – ekonomické hodnocení a závěry se zhodnocením navrhované technologie.

Cíle bakalářské práce:

- vypracování aktuální literární rešerše,
- zhodnocení možností výroby,
- návrh výroby součásti,
- provedení technologických a kontrolních výpočtů,
- návrh nástroje včetně nezbytné výkresové dokumentace.

Seznam doporučené literatury:

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

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

HOSFORD, William a Robert CADDELL. Metal forming: mechanics and metallurgy. Cambridge: Cambridge University Press, 2011, 331 s. ISBN 978-1-107-00452-8.

SCHULER GMBH. Metal forming handbook. New York: Springer-Verlag, 1998, 563 s. ISBN 3-540-1185-1.

TSCHATSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: SpringerVerlag, 2006. ISBN 978-3-540-33216-9.

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 výroby půlspojky proudnice ze slitiny hliníku AlMg1Si1Mn. V úvodu práce je provedena analýza možných způsobů výroby, ze které je nejvhodnější metoda zápusťkového kování. Na základě zhodnocení technologičnosti jsou provedeny úpravy tvarů, zvoleny přídavky a mezní úchytky rozměrů. Z objemu výkovku je určen polotovar ø50 x 108 mm. Pro kování je zvolen klikový lis LZK 1600 P/SH. Podle norem jsou pro výkovek zkonstruovány 2 předkovací a 1 dokovací zápusťka. V závěru práce je též uveden rozbor ostřížení, na jehož základě je zvolen lis LKOA 200.

Klíčová slova

Zápusťkové kování, kovací lis, zápusťka, výkovek, hliník.

ABSTRACT

The work deals with the design of the production of a jet half coupling made of aluminum alloy AlMg1Si1Mn. At the beginning of the work is an analysis of possible production methods, of which the most suitable method of die forging. Based on the evaluation of technological technology, shape adjustments are made, additions and dimensional deviations are selected. A semi-finished product ø50 x 108 mm is determined from the forging volume. The crank press LZK 1600 P / SH is chosen for forging. According to the standards, 2 forging and 1 finishing dies are designed for the forging. At the end of the work is also given an analysis of cutting, on the basis of which the press LKOA 200 is chosen.

Key words

Die forging, forging press, die, forging, aluminium.

Bibliografická citace

OSTŘÍŽEK, Jan. *Návrh výroby pŕlspojky proudnice* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139370>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jan Řiháček.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh výroby púlspojky proudnice vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením Ing. Jana Řiháčka, Ph.D.

V Brně dne 20.5. 2022

Jan Ostřížek

Poděkování

Děkuji panu Ing. Janu Řiháčkovi, Ph.D., za cenné rady a připomínky, týkající se postupu při tvorbě bakalářské práce, a celkově za skvělý přístup. Velký dík náleží i celé mé rodině, přátelům a Lenu za obrovskou podporu během studia.

OBSAH

| | |
|---|----|
| ÚVOD | 7 |
| 1 ROZBOR ZADÁNÍ..... | 8 |
| 1.1 Výrobní možnosti | 9 |
| 2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ | 12 |
| 2.1 Přípravné operace | 12 |
| 2.2 Kovací stroje..... | 14 |
| 2.3 Návrh výkovku | 15 |
| 2.4 Kovací síla | 17 |
| 2.5 Zápustky | 18 |
| 2.6 Výronková drážka | 19 |
| 3 NÁVRH VÝROBY | 21 |
| 3.1 Tolerance výkovku | 22 |
| 3.2 Výronková drážka | 24 |
| 3.3 Polotovar | 25 |
| 3.4 Simulace | 27 |
| 3.5 Konstrukce zápustek..... | 29 |
| 3.6 Výpočet kovací síly | 30 |
| 3.7 Volba kovacího lisu..... | 33 |
| 3.8 Dokončovací operace | 34 |
| ZÁVĚR..... | 35 |
| SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 36 |
| SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 39 |
| SEZNAM PŘÍLOH | 41 |

ÚVOD

Jednou z nejrozšířenějších výrobních metod ve strojírenství je technologie tváření, kde materiál získává jiný tvar a odlišné mechanické vlastnosti na základě jeho přetvoření. Oproti obrábění je materiál tvarován silou, nedochází tak k jeho porušení s výjimkou stříhání, kde je to žádoucí. Technologii tváření lze rozdělit na plošné a objemové. Mezi plošné metody patří ohýbání, tažení, stříhání atd. Mezi objemové lze zařadit např. kování, válcování nebo protlačování. Pro zvýšení efektivity je možné využít prvky automatizace. [6]

Důležitým faktorem je rekrystalizační teplota, která ovlivňuje proces rekrystalizace. Pod hranicí rekrystalizace se tváří za studena. Pokud je ale materiál ohříván nad rekrystalizační teplotu, obnovuje se krystalická mřížka kovu deformovaného za studena a tváří se za tepla. Do tváření za tepla patří především kování. Mezi přednosti kování patří snadná obsluha stroje, velká produktivita, přesnost výkovek a možnost relativně snadné automatizace. Při tomto způsobu výroby se polotovar tváří působením dvojice nástrojů, a to na lisu nebo bucharu. [6]

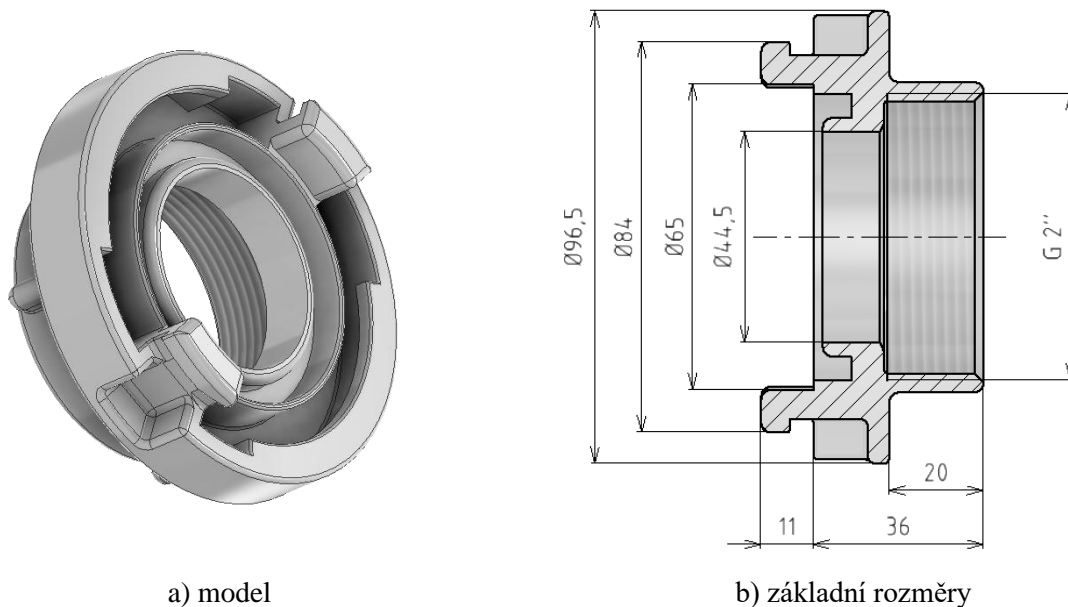
V praxi se používá řada metod kování. Zjednodušeně lze rozdělit na volné a zápustkové kování. Při volném kování se působí opakovanými údery pouze na část povrchu materiálu, zatímco u zápustkového kování se působí jedním nebo více údery na celý nebo téměř celý vnější povrch tvářeného polotovaru. Zhotovené součásti disponují širokou škálou tvarů a hmotností. Příklady vyrobených výkovek lze vidět na obr. 1. [6]



Obr. 1 Součásti zhotovené zápustkovým kovááním. [12]

1 ROZBOR ZADÁNÍ

Práce se zabývá výrobou půlspojky proudnice (pevné spojky), kterou lze vidět na obr. 2. Základní rozměry roztečí a závitu jsou vyobrazeny níže. Závity plášťů pevných spojek musí odpovídat normě ČSN 38 9427 Hasičské armatury - spojky, zároveň musí spojka vydržet pracovní tlak 1,6 MPa, průměry mají povolenou úchylku $\pm 0,4$. Pro následně obráběné plochy je běžně dosažitelná drsnost Ra 3,2 plně dostačující. Povrch nesmí mít ostré hrany, které by mohly způsobit zranění osob nebo poškození (např. hadice), proto je většina hran zaoblena na poloměr 2 mm. [35]

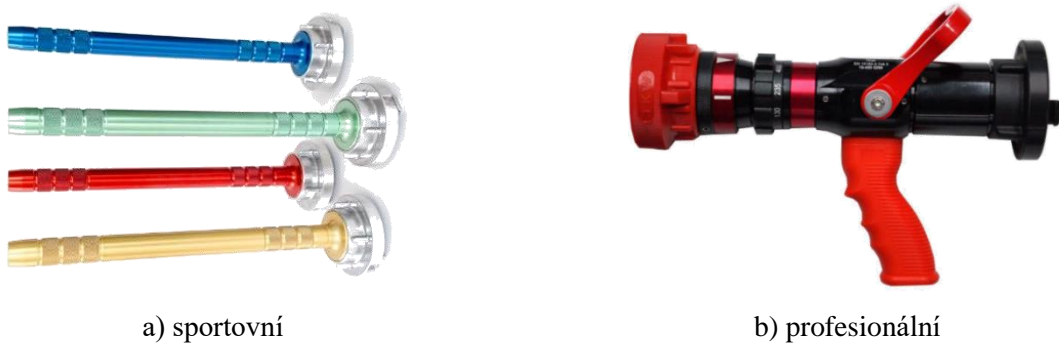


a) model

b) základní rozměry

Obr. 2 Geometrie půlspojky proudnice.

Sériovost výroby je zvolena na 150 000 ks, neboť se součást používá především v hasičském odvětví (obr. 3), kde slouží k propojení hadice, v tomto případě typu C, s proudnicí. Spojení proudnice se spojkou zajišťuje vnitřní závit G2. Aby se zamezilo nežádoucímu úniku proudící vody, je v místě spojů těsnění NBR. Právě těsnění v místě kontaktu dvou půlspojek čelí častému tření při zapojování a vypojování, musí se tedy často měnit, aby nedošlo k náhlému prasknutí při provozu. Hadicová a pevná spojka jsou téměř identické protikusy. Rozdíl je v uchycení hadice a proudnice, kdy proudnice je uchycena právě vnitřním závitem G2, naopak hadice je navázaná k hadicové spojce ocelovým drátem. [26; 35]



a) sportovní

b) profesionální

Obr. 3 Příklady sestav půlspojka – proudnice. [13; 14]

Při používání spojky bude její materiál čelit častému styku s vodou, tření a nadměrným teplotám. Pro její výrobu je tedy za potřebí zvolit takový materiál, který bude vyhovovat všem požadavkům. Obecně se pro výrobu takovýchto typů výrobků používají hliníkové slitiny. Nejvyšší korozní odolnost má vysokočistý hliník. Příměsi v technicky čistém hliníku snižují jeho korozní odolnost s výjimkou Mn. V tab. 1 jsou pro ilustraci uvedené rychlosti koroze hliníku různé technické čistoty žíhaného při teplotě 300°C. [1]

Tab. 1 Rychlosti koroze hliníku [1].

| | | | | | |
|--|--------|--------|-------|-------|-------|
| Čistota [%] | 99,998 | 99,990 | 99,97 | 99,57 | 99,20 |
| Rychlost koroze [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$] | 7,7 | 28,6 | 36,3 | 53,3 | 664,4 |

Pro korozní odolnost technicky významných hliníkových slitin je rozhodující, zda jde o slitiny s Cu, nebo bez. Slitiny hliníku bez Cu mají prakticky stejné korozní vlastnosti jako čistý hliník Al 99,5. Patří sem např. slitiny Al Mn, Al MgMn, Al MgSi. Jako vhodná se jeví slitina hliníku AlMg1Si1Mn dle ČSN 42 4400, mezinárodní značení EN AW-6106. Kde Mg je běžným legujícím prvkem u slitin typu Al MgSi, u kterých se podílí především na zvýšení pevnostních vlastností, Si při přítomnosti Mg je schopen vytvrzení a Mn je legován za účelem zvýšení pevnostních vlastností a zvýšení odolnosti vůči korozi. Slitina se tedy vyznačuje dobrou odolností vůči korozi, je velmi dobře tvářitelná jak za tepla, tak za studena a obrobitelnost je také dobrá. Z těchto důvodů bude použita pro výrobu zadané součásti. [1; 39]

Tab. 2 Chemické složení slitiny AlMg1Si1Mn. [39]

| | | | | | | | | | |
|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Mg | Si | Mn | Fe | Ti | Zn | Cu | ostatní | celkem | Al |
| 0,7÷1,2 | 0,7÷1,2 | 0,4÷1,0 | max. 0,5 | max. 0,05 | max. 0,2 | max. 0,1 | max. 0,1 | max. 0,8 | zbytek |

Tab.3 Mechanické vlastnosti zápusťkových výkoveků tvářených za tepla. [39]

| | | | |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------------|
| Mez kluzu $R_p 0,2$ [MPa] | Mez pevnosti R_m [MPa] | Tažnost A_5 [%] | Modul pružnosti E [GPa] |
| min. 215 | min. 290 | min. 8 | 70 |

Tab. 4 Fyzikální vlastnosti. [39]

| | | | |
|---|--|--|--|
| Hustota ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] | Součinitel roztažnosti α [K^{-1}] | Tepelná vodivost λ_t [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] | Odolnost proti únavě σ_{C10^8} [MPa] |
| 2 700 | $24,1\cdot 10^{-6}$ ($20 \div 200$ °C) | $167 \div 209$ | 100 |

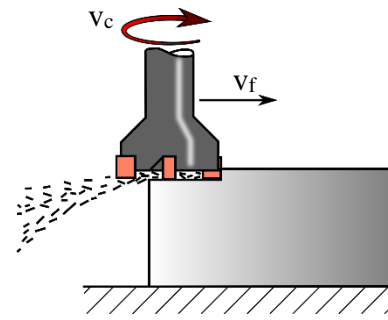
1.1 Výrobní možnosti

Pro zhotovení dané součásti lze použít více technologií. Mezi důležité faktory při výrobě patří požadované mechanické vlastnosti, tvar součásti a roční produkce 150 000 ks. Pro výrobu připadají v úvahu následující varianty.

- Třískové obrábění – je technologický proces, při kterém dochází k odebrání materiálu z polotovaru ve formě třísky za účelem dosažení požadovaného rozměru, tvaru a jakosti povrchu (obr. 4). Možnost mnohostranné aplikace a přesnost obrábění jsou hlavní příčinou jeho širokého uplatnění v praxi. Čistý hliník je velmi měkký a houževnatý, a proto velmi špatně obrobitelný. Obrobitelnost slitin hliníku závisí na jejich chemickém složení a technologickém zpracování. Z hlediska dosažení kvalitní obrobene plochy a přesnosti rozměrů jsou výhodnější tepelně zpracované slitiny. Vzhledem k požadavkům na geometrické a rozměrové tolerance bude nutné pro získání konečného tvaru půlspojky součást dokončit pomocí třískového obrábění. [3]



a) frézování v praxi



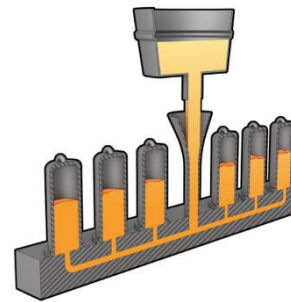
b) princip frézování

Obr. 4 Třískové obrábění. [15; 16]

- Odlévání – způsob výroby, při níž se vyplňuje dutina ve formě roztaveným kovem nebo slitinou – taveninou (obr. 5). Ztuhnutím taveniny ve formě vzniká vlastní surový odlitek. Tímto způsobem je možné získávat různé, tenkostěnné a tlustostěnné, tvarové složité součásti malých i velkých rozměrů. Nevýhodou však je značné smršťování materiálu při tuhnutí. Právě během chladnutí vznikají také vady přímo uvnitř odlitku (bubliny, trhliny, praskliny nebo špatné zaběhnutí tekutého kovu) způsobené převážně rozličnou tloušťkou stěn. Hliník a jeho slitiny mají sklon k oxidaci a pohlcování plynů, a proto se mají tavit rychle a bez přebytného přehřívání. Hliníkové slitiny je zapotřebí podrobit rafinaci a modifikaci nebo očkování. [2]



a) v praxi



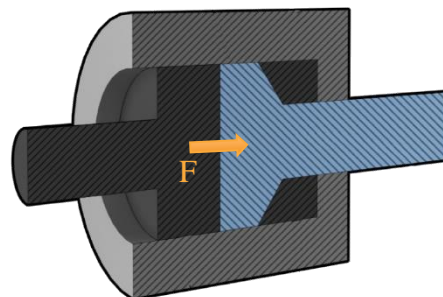
b) princip

Obr. 5 Odlévání. [18; 17]

- Protlačování za studena – jedná se o progresivní technologii, při které se dosahuje minimálního odpadu výchozího polotovaru, zvýšení mechanických vlastností tvářené součásti, vyšší meze kluzu a pevnosti, nepřerušného průběhu vláken. Obecně se protlačování dělí na zpětné a dopředné (obr. 6). Nejčastěji se protlačují dutá nebo plná symetrická tělesa podle osy. Hliník je nejčastěji protlačovaným materiálem za studena. Součástky z něj mají čistý a lesklý povrch dobré jakosti. [7]



a) v praxi



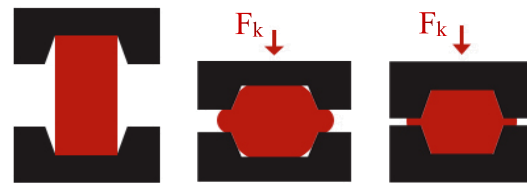
b) princip

Obr. 6 Dopředné protlačování za studena. [19; 44]

- Zápustkové kování – řadí se mezi metody objemového tváření za tepla. Při kování v zápustce je ohřátý materiál deformován v uzavřené vícedílné zápustce tak dlouho, dokud zcela nevyplní zápustku (obr. 7). V případě běžných zápustek se přebytečný materiál dostává v dělicí rovině do výronku. Výkovky kované v zápustkách lze rozdělit podle rozměrových tolerancí a dosažitelných tloušťek stěn a poloměrů. Čím přesnější požadavky na toleranci, tloušťky stěn a velikosti poloměrů, tím dražší je výroba. Slitiny hliníku mohou být velmi dobře kované v různých tvarech a typech. Právě hliníkové výkovky jsou lépe tvarově přizpůsobeny budoucímu účelu, než je tomu např. u ocelových výkovků. Zásadní parametry, které ovlivňují průběh kování, jsou teplota a rychlost deformace. Mezi výhody patří snadná obsluha stroje a příznivý průběh vláken. Nevýhodou kování je však energetická náročnost, protože se tváří celý objem výkovku najednou, a pořizovací cena stroje, který je jednoúčelový. [10]



a) v praxi



b) princip

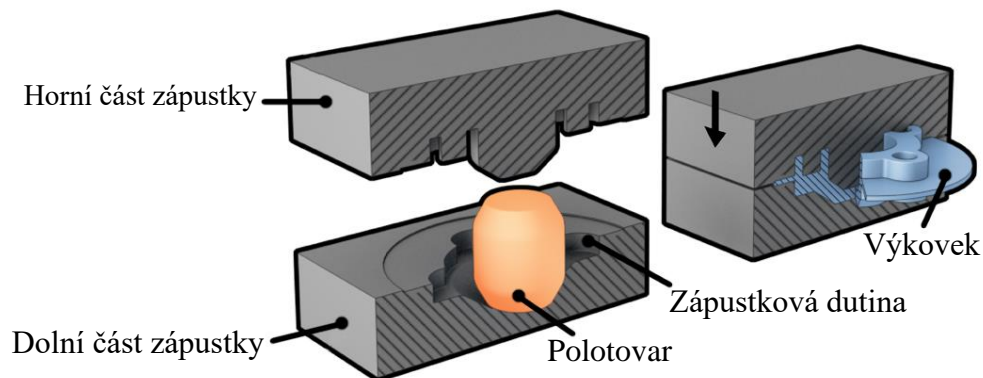
Obr. 7 Zápustkové kování [20; 21].

Z uvažovaných výrobních možností se jako nejvhodnější jeví zápustkové kování, které zajistí plynulý průběh vláken a vyžadovanou pevnost materiálu. Ostatní technologie nevyhovují z hlediska velkého množství odpadu, složitosti součástí, a hlavně nezajištění požadovaných mechanických vlastností součástí. Kovat se bude na klikovém kovací lisu kvůli vysokému počtu ks/rok a následné možnosti automatizace. Na tento způsob výroby se zaměří teoretická i praktická část práce.

2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ

Zápustkové kování se řadí mezi technologie objemového tváření za tepla. Jedná se o energeticky náročnou metodu, neboť kovaný materiál musí být ohřátý na kovací teplotu. U zápustkového kování dochází k přesunu materiálu ve všech třech rozměrech, tedy po šířce, výšce i délce. Výhodou zápustkového kování je, že lze vyrábět téměř čisté tvary, které vyžadují minimální konečnou úpravu. V zápustce se mohou tvářet nejen nejmenší kusy, ale i velké o váze více než 1000 kg. Hliník je cenově dostupný a oblíbený materiál používaný v zápustkovém kování díky své tažnosti, relativně vysokému poměru pevnosti k hmotnosti, dobré adaptabilitě na legující prvky a nízké teplotě tavení. Většinu hliníkových slitin lze vykovat v jakémkoli typu zařízení, které se používá pro jiné kovy. [6; 20]

Právě pod pojmem zápustkového kování se rozumí tváření ohřátého materiálu v zápustkách. Ty jsou jednodílné, dvoudílné nebo vícedílné dutiny, ve kterých je polotovar tvářen dle jejich tvaru (obr. 8). Většinou se používají dvoudílné. Dále je možnost dělení na otevřené, polootevřené a uzavřené. Zápustky musí mít dobré vedení. Proto je důležité, aby byl lis nebo buchar dobře veden na stojanu, neboť bez takového vedení se hodí jen pro volné kování. [8]

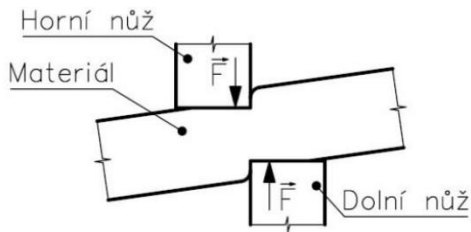


Obr. 8 Zápustkové kování. [22]

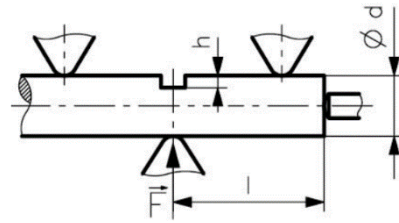
2.1 Přípravné operace

Před samotným kováním je nezbytné provést přípravu polotovaru. Materiál je většinou dodáván ve formě tyčí, které je zapotřebí dělit na špalíky. K dělení polotovaru mohou být použity následující metody: [1; 40; 41]

- Řezání pilami – z hlediska nižší produktivity se volí tam, kde se požaduje vyšší kvalita řezné plochy. Dále je využívána při dělení materiálu o velkých rozměrech, dutých profilů či trubek. Nejčastěji se používají pásové, kotoučové nebo rámové pily.
- Řezání kyslíkem – je hospodárný a rychlý způsob dělení materiálu. Využívá se především k řezání tlustých trubek. Podstatou je ohřátí na teplotu spalování a jeho následné spálení v proudu kyslíku. K ohřívání se používá kyslík-acetylenový plamen. Řezy jsou úzké a řezné plochy zůstávají hladké.
- Lámání – jde o nejméně používanou metodu dělení. Materiál lze lámat pouze za studena a vesměs by měl mít vyšší mez pevnosti, neboť v opačném případě se materiál plasticky zdeformuje (ohne). Před samotným lámáním je nezbytné vytvořit vrub v místě budoucího lomu do hloubky zhruba $0,1d$ (obr. 9).
- Stříhání – vzhledem k možnosti automatizace se jedná o nejčastější metodu. V první fázi je oblast pružných deformací, kdy se nože vtlačují do materiálu. Druhou fází je plastická deformace. Následně dochází k překročení meze pevnosti a začíná dělení materiálu (obr. 10).

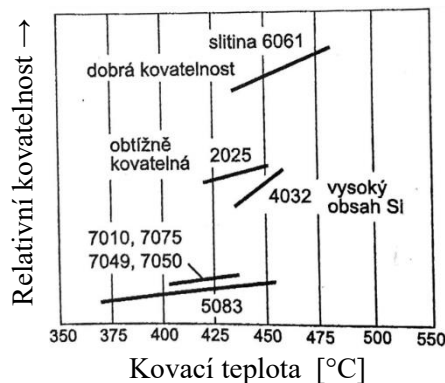


Obr. 9 Stříhání. [41]



Obr. 10 Lámání. [41]

Většina hliníkových výkovků je vyráběna kovááním za tepla. Z tohoto důvodu se před kovááním v důsledku pozitivních vlivů, mezi které patří lepší tvárnost, menší deformační odpor, zvýšení životnosti zápusťek, provádí již zmiňovaný ohřev na kovací teplotu. Při kováání hliníku je kritickým faktorem použitá teplota, která by měla být přísně kontrolována, neboť nižší nebo vyšší teplota snadno způsobí vady kováání. Protože kujnost každé hliníkové slitiny je odlišná, liší se také teplota ohřevu požadovaná během celého procesu. Níže uvedený obrázek (obr. 11) představuje kujnost různých hliníkových slitin s ohledem na teplotní změny. Z tohoto obrázku lze vidět, že s rostoucí teplotou se zvyšuje kujnost. [29; 30]



Obr. 11 Index relativní kovatelnosti. [10]

Převážná část slitin je kována při teplotě přibližně 55 °C pod odpovídající teplotou solidu. Vzhledem k relativně úzkým teplotním rozsahům kováání různých slitin hliníku (tab. 5), by měla být zvolena vhodná teplota kvůli dodatečnému teplu generovanému během kováání, které může vést k roztavení hliníkové slitiny. Čas ohřevu se liší v závislosti na tloušťce materiálu a účinnosti ohřívacího zařízení. Hliník má vysokou tepelnou vodivost (oproti železu bezmála trojnásobnou). To zajišťuje kratší předehřívací časy, obecně 10 ÷ 20 minut na 25 mm. Pro ohřev polotovaru se používají následující pece: [29; 30; 32]

- Plynové – teplo pro ohřev vzniká spalováním paliv, při kterém probíhá oxidační reakce. Mezi nejčastější paliva patří zemní, koksárenský nebo vysokopecní plyn. Nejvyšší teplota v peci dosahuje 1200 ÷ 1300 °C.
- Odporové – polotovar se zahřívá odporem vzniklým průchodem proudu. Proud prochází přes topně spirály, tyče či pásy nebo rovnou ohříváním polotovarem. Výhodou je velká rychlost.
- Indukční – teplo vzniká přímo v ohřívaném tělese vlivem vířivých indukovaných proudů. Polotovar se vloží do dutiny cívky, kterou prochází střídavý proud s vhodně volenou frekvencí. Vířivé proudy nepostupují materiálem stejnosměrně, ale jejich intenzita směrem ke středu slábne. Předností indukčního ohřevu je možnost automatizace a tím zajištění stabilních podmínek celého procesu.

Tab. 5 Teplotní rozsahy doporučené pro kováání hliníkových slitin [29].

| | | | | |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Slitina hliníku (EN) | 3003 | 4032 | 6106 | 7010 |
| Kovací teplota [°C] | 315 ÷ 405 | 415 ÷ 460 | 360 ÷ 460 | 370 ÷ 440 |

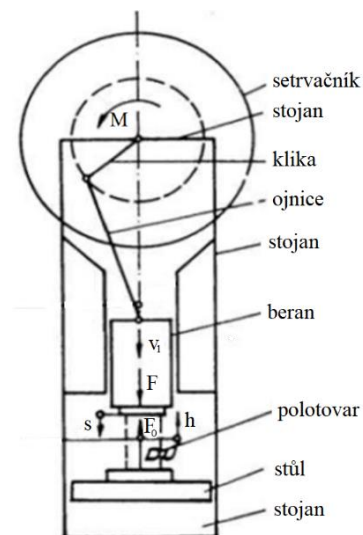
2.2 Kovací stroje

Základní kovací stroje se dělí na buchary a lisy. Buchary jsou vhodné pro členité ocelové výkovky s žebry či výstupky. Lisy jsou především určeny pro kování jednoduchých i tvarově složitých součástí. U kovacích lisů je účinek nástroje na deformovaný materiál tlakový. Doba styku horní poloviny zápustky s tvářeným kovem je relativně dlouhá. To přispívá k rovnoměrnější deformaci v celém tvářeném objemu a vyváženějšímu zaplnění horní i spodní poloviny zápustky. Na lisu lze kovat neželezné kovy za tepla v jedné, nebo několika zápustkách s vodorovnou dělicí rovinou. Jsou velmi vhodné pro kování výkovků s průchozími otvory a prohlubeninami. Lisy se uplatňují především v hromadné a sériové výrobě menších výkovků v průmyslu dopravních prostředků, zemědělských strojů, valivých ložisek a spotřebního zboží. Dělení lisů pro zápustkové kování je zmíněno níže: [23; 42; 43]

- Svislé klikové kovací lisy – pohyb je tvořen rotující klikovou hřídelí, která pomocí ojnice přeměňuje rotační pohyb na přímočarý pohyb beranu. Při tomto způsobu nelze tvářet velkou silou po dlouhé dráze, neboť maximální tvářecí síla je těsně před dolní úvratí. Je nutno zohlednit, že u horní a dolní části zápustek nesmí docházet ke styku. Výhodou klikových lisů je konstantní zdvih beranu. Používají se pro výrobu přesných zápustkových výkovků s využitím v automobilovém průmyslu, pro kování za tepla i za poloohřevu s tvářecími silami $10 \div 65$ MN.
- Vřetenové lisy – pracují stejně jako buchary rázem, ale s výrazně nižší rychlostí. Na vřetenových lisech se zhotovují zejména výkovky o hmotnosti do 50 kg v malosériové výrobě. Vyznačují se dlouhým zdvihem, nejsou vhodné pro kování tvarově členitých výkovků. Kove se především v jednodutinové zápustce.
- Vodorovné kovací lisy – jsou určeny k pěchovacím operacím z tyčí nebo špalíků za tepla (jednostranných přírubových součástí, speciálních dutých výkovků či armatur). Lisy jsou vybaveny hlavním a svěřacím beranem, za jejichž současného působení v postupovém nástroji je zhotoven výkovek.



a) v praxi



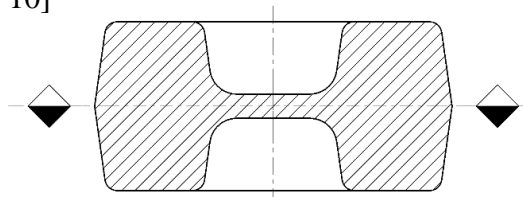
b) princip

Obr. 12 Svislý klikový lis [23; 45].

2.3 Návrh výkovku

Před samotnou konstrukcí zápustek je nutné vypracovat návrh výkovku. Vychází se z výkresu hotové součásti, typu tvářecího stroje a materiálu polotovaru, požadované přesnosti součásti atd. Při návrhu je nezbytné stanovit optimální parametry pro kování, mezi které náleží:

- Dělicí rovina – rozděluje výkovek na část kovanou v horní a dolní zápustce. Musí zaručit především snadné vyjmutí výkovku ze zápustkové dutiny. Běžně se umísťuje do roviny souměrnosti výkovku. Není-li to však možné, bývá umístěna do roviny dvou největších a vzájemně kolmých rozměrů výkovku. Na poloze dělicí roviny závisí i výsledný průběh vláken ve výkovku. Dělicí rovina by měla být, pokud možno rovná, jen v ojedinělých případech může být lomená. U součásti s otvory musí umožnit jejich předkování. Měla by být volena tak, aby odpor proti zatékání kovu do dutiny nástroje byl co nejmenší a aby nedocházelo k vyplňování dutiny pýchováním, a ne protlačováním. [6; 9; 10]



Obr. 13 Přímá dělicí rovina.

- Úkosity – jsou nutné na takových plochách výkovku, které jsou kolmé k dělicí rovině, kvůli snadnějšímu vyjímání výkovku ze zápustkové dutiny. Kvůli ochlazování a následnému smršťování výkovku jsou na vnitřních plochách voleny větší úkosity oproti plochám vnějším. Úkosity zápustkových výkovků doporučené normou ČSN 42 9240 jsou zaznamenány v tab. 6. [6; 9; 10]

Tab. 6 Úkosity zápustkových výkovků. [38]

| Úkosity zápustkových výkovků na plochách | vnitřních | vnějších |
|--|-----------|----------|
| Běžně zhotovované výkovky s úkosity | 7° | 3° |
| Lisy s vyhazovačem | 3° ÷ 5° | 2° ÷ 3° |

- Přídavky na obrábění – jsou nutné na plochách součásti, na nichž je předepsané obrábění. V závislosti na používané normě se stanovuje velikost přídavků (tab. 7). U obrábění neželezných kovů se podle ČSN 42 9240 přídavky na obrábění určují podle největšího rozměru hotového výrobku, kolmo ke směru rázu a podle největší výšky hotového výrobku. [6; 9; 10]

Tab. 7 Přídavky na obrábění. [38]

| Střední hodnota šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu [mm] | | Největší výška součásti H [mm] | | | | | | |
|--|-----|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | přes | 18 | 32 | 50 | 80 | 125 | 180 |
| do 18 | | 32 | 50 | 80 | 125 | 180 | 250 | |
| přes | do | Přídavky na obrábění ploch | | | | | | |
| | 18 | 1,25 | 1,5 | | | | | |
| 18 | 32 | 1,25 | 1,5 | 1,5 | | | | |
| 32 | 50 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 2,0 | | | |
| 50 | 80 | 1,5 | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | | |
| 80 | 125 | 2,0 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | |
| 125 | 180 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 3,0 | 3,0 | 3,5 | 4,0 |
| 180 | 250 | 2,5 | 2,5 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,5 | 4,0 |

- Technologické přídatky – používají se pro zjednodušení tvaru výkovku na tvar vhodný ke kování. Nejčastěji jde o úkosity na stěnách výkovku, zaoblení hran a zvětšení tloušťky tenkých stěn a žeber na tloušťku, kterou lze kvalitně vykovat. Typickým problémem je též průchozí díra, která se nedá zhotovit, proto je nahrazena tzv. blánou. Mezi technologické se řadí i ty, které v některých případech zjednoduší příliš komplikovaný tvar a také případné přídatky pro odběr vzorků na mechanické zkoušky materiálu. Určují se podle normy ČSN 42 9240. [6; 9; 10]

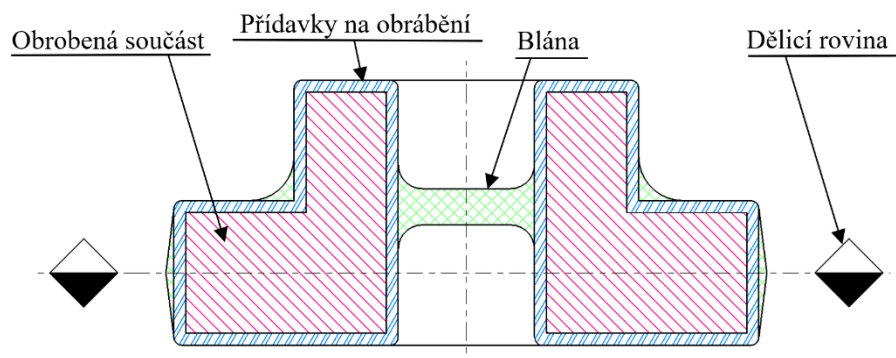
Tab. 8 Technologické přídatky. [38]

| Střední hodnota šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu [mm] | | Největší výška součásti H [mm] | | | | | | |
|--|-----|--------------------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|
| | | přes | 10 | 25 | 40 | 63 | 100 | 160 |
| | | do 10 | 25 | 40 | 63 | 100 | 160 | 250 |
| přes | do | Minimální tloušťka blány a stěn [mm] | | | | | | |
| | 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 |

- Zaoblení hran a přechodů – je nezbytné v důsledku lepšího zatékání kovu. Ostré hrany by následně mohly způsobit rychle opotřebení a prasknutí zápustky. Velikost zaoblení (tab. 9) lze určit z normy či tabulek. Tak jako u úkosů se vnitřní poloměry volí zhruba 2,5 krát větší než vnější. [6; 9; 10]

Tab. 9 Velikost zaoblení hran a přechodů. [38]

| Zaoblení hran a přechodů výkovku | | Největší výška součásti H [mm] | | | | | | |
|----------------------------------|---|--------------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|
| | | přes | 25 | 40 | 63 | 100 | 160 | 250 |
| | | do 25 | 40 | 63 | 100 | 160 | 250 | 400 |
| $\frac{h}{f} \leq 2$ | r | 2 | 3 | 4 | 5 | 8 | 12 | 20 |
| | R | 6 | 8 | 10 | 12 | 20 | 30 | 50 |
| $2 \leq \frac{h}{f} \leq 4$ | r | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 | 16 | 25 |
| | R | 8 | 14 | 12 | 20 | 25 | 45 | 75 |
| $\frac{h}{f} > 4$ | r | 3 | 4 | 5 | 8 | 16 | 25 | 40 |
| | R | 10 | 12 | 20 | 25 | 40 | 65 | 100 |



Obr. 14 Přidavky na výkovku.

2.4 Kovací síla

Pro výběr vhodného lisu je nutné znát kovací sílu, která je zapotřebí pro přetvoření polotovaru na výkovek. Velikost kovací síly je závislá především na velikosti (hmotnosti) výkovku, na jeho tvaru a rozměrech, na rozměrech výronku, na poměrech tření mezi kovaným materiálem a povrchem zápustky a také na přirozeném přetvárném odporu kovu za kovací teploty. Pro její stanovení slouží následující analytické metody rozdělené dle jejich autorů:

- Brjuchanov-Rebelský – jde o přibližný výpočet, kde je zapotřebí znát přirozený přetvárný odpor materiálu za kovací teploty dle normy ČSN 22 8306. Kovací síla se následně stanoví podle vztahu: [6]

$$F_{\text{kov}} = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_v) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_v}\right)^2 \cdot \sigma_p \cdot S_{\text{výk}} \quad [\text{N}], \quad (2.1)$$

kde: D_v - průměr výkovku [mm],
 σ_p - přirozený přetvárný odpor při kovací teplotě [MPa],
 $S_{\text{výk}}$ - plocha výkovku k dělicí rovině [mm²].

- Storožev – určuje velikost kovací síly jako součet síly potřebné pro přetvoření výronku a síly potřebné pro přetvoření kovu v zápustce. Pro kruhové výkovky platí následující vztah: [6]

$$F_{\text{kov}} = \sigma_p \cdot \left\{ \left(1,5 + \frac{b}{2 \cdot h}\right) \cdot S_{\text{výr}} + \left[1,25 \cdot \left(\ln \cdot \frac{D_v}{h} + 2 \cdot D_v\right) + \frac{b}{h} - 0,375 \right] \cdot S_{\text{výk}} \right\} \quad [\text{N}], \quad (2.2)$$

kde: b - délka můstku výronkové drážky [mm].
 h - výška můstku výronkové drážky [mm].

- Tomlenov a ČSN 22 8306 – při dokování vytéká přebytečný kov do výronkové drážky, kde je odpor proti přetvoření větší v důsledku malé výšky a poklesu teploty. Celková kovací síla je dána součtem tečné a normálové složky. [6]

$$F_C = F_N + F_T \quad [\text{N}]. \quad (2.3)$$

Normálová síla, působící ve směru pohybu zápustky, je dána integrací průběhu deformačního odporu po ploše půdorysu výkovku a lze ji vyjádřit:

$$F_N = \int_S \sigma_d \cdot ds = 2 \cdot \pi \cdot \int_0^{\frac{D}{2}} \sigma_d \cdot r \cdot dr = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^n S_j \cdot r_j \quad [\text{N}], \quad (2.4)$$

kde: S_j - dílčí plochy v úsecích Δr_j pod křivkou deformačních odporů [mm²],
 r_j - vzdálenost těžiště jednotlivých ploch [mm].

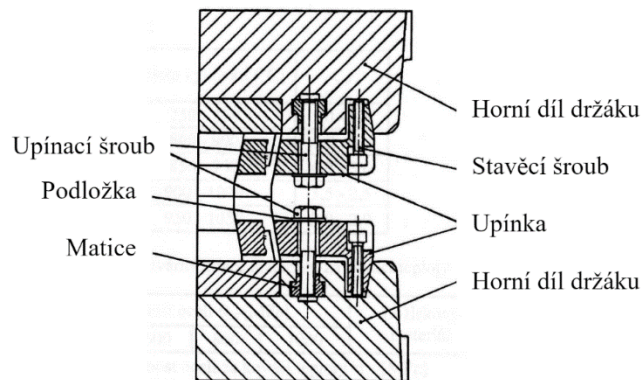
Tečná složka je dána vztahem:

$$F_T = \sum_{j=1}^n \tau_{fj} \cdot \pi \cdot D_j \cdot \Delta z_j = \pi \cdot f \cdot R_{mt} \cdot \sum_{j=1}^n D_j \cdot \Delta z_j \quad [\text{N}], \quad (2.5)$$

kde: f - součinitel tření (volen v rozmezí 0,35 ÷ 0,45) [-],
 R_{mt} - pevnost hliníku za dané kovací teploty [MPa],
 D_j - vzdálenost těžiště jednotlivých ploch [mm],
 Δz_j - výška plochy výkovku v pohybujícím se dílu zápustky [mm].

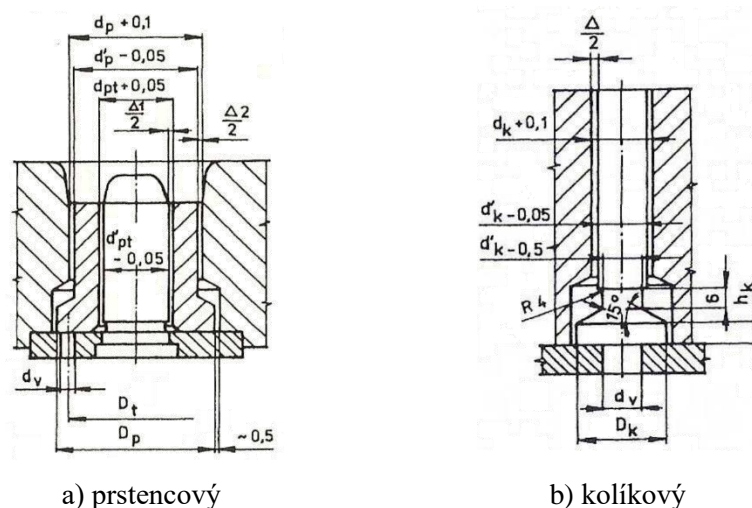
2.5 Zápustky

Konstrukce zápustek je nezbytným krokem při návrhu výroby výkovku. Vychází se z tvářecího stroje, sériovosti výroby, výkresu výkovku, jakosti, hmotnosti a rozměrů polotovaru. Tlakový charakter kování na kovacíh lisech má vliv i na konstrukci zápustek. Každá zápustka je v samostatné vložce, které bývají hranaté nebo kruhové. Upínají se pomocí tzv. držáků, které mají upínací drážku na zadní straně a na přední straně úkos pod úhlem 10° , o který se opírá upínka přitažená šrouby a T drážkou k pracovnímu stolu stroje (obr. 15). Při tváření za tepla je zápustka namáhána jak mechanicky, tak i tepelně. Musí být tedy zvolen materiál, který zajistí optimální životnost nástroje. Nejčastěji je volena ocel s různou kombinací legujících prvků. Nelze vyrobiť dokonalou zápustku, neboť při výrobě oceli existují protiklady mezi požadovanými a dosažitelnými vlastnostmi. Například s růstem pevnosti klesá houževnatost atd. Proto se vždy volí co nejlepší kompromis v závislosti na kovaném materiálu. [9; 10; 34; 46]



Obr. 15 Upínání zápustek na svislých lisech. [34]

Konstrukce kovacíh lisů umožňuje použití vyhazovače, který je situován ve spodní části nástroje. Vyhazovač má za úkol usnadnit vyjmutí výkovku z kovací dutiny. Vyhazovače se dle normy ČSN 22 8306 dělí na prstencové a kolíkové (obr. 16). Prstencové se používají pro výkovky s otvorem v ose. Při návrhu je nutné dbát na vůli mezi vyhazovačem a zápustkou. Při malé vůli dochází k jeho zadírání. V opačném případě se do velké mezery zatlačuje kovaný materiál. [9; 10; 34]

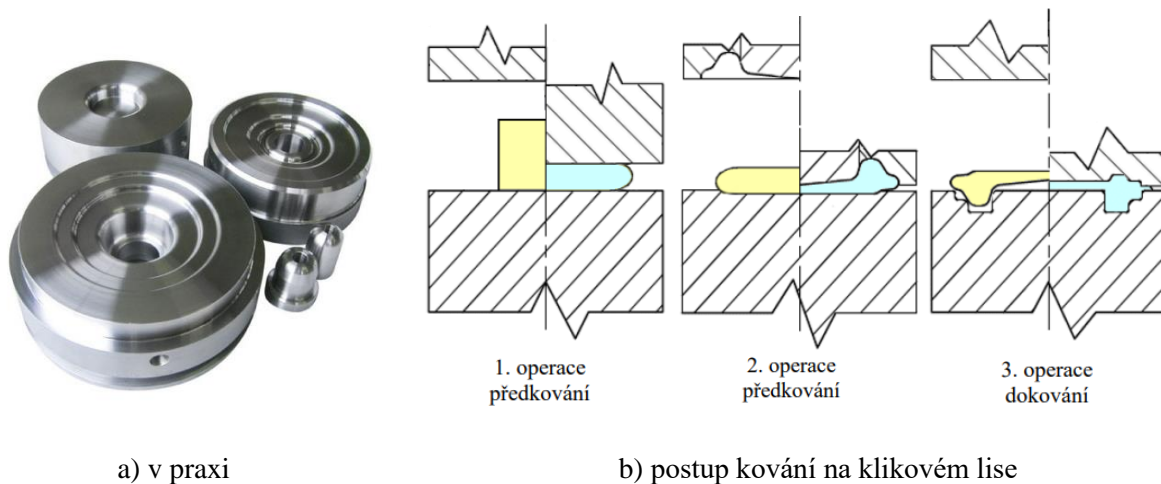


Obr. 16 Vyhazovače pro klikový lis. [34]

Značný vliv na celkovou konstrukci má sériovost výroby, neboť čím je větší, tím je ekonomicky výhodnější kovat na více operací. Na klikovém lise se mohou využít až tři dutiny, a to maximálně dvě předkovací a jedna dokovací. V předkovacích dutinách dostává výkovek

přibližný tvar, jaký je v dutině dokovací, přičemž snahou je, aby byl polotovar pěchován, nikoli prodlužován. Při pěchování musí být dodržen poměr, kdy by neměla pěchovaná délka překročit trojnásobný průměr a mohlo by vzniknout riziko ohnutí polotovaru. Obvykle platí zásada, že tvar předkovku musí zajistit jednoznačné zakládání do dokončovací dutiny. Vzhledem k tomu se dělá vyšší a užší, než je konečný výkovek. Tloušťka výronku bývá větší o $30 \div 60 \%$ a velikost můstku o $60 \div 80 \%$, než je tomu u zápustek dokončovacích. [9; 10; 34]

Při konstrukci dokončovacích dutin se vychází z výkresu hotového výkovku zvětšeného o velikost smrštění, kdy je vhodné řídit se normou ČSN 22 8306. Při kování na klikovém lisu může nastat problém se stlačeným vzduchem ve spodní části zápustky, který by následně bránil správnému zatékání kovu. Z toho důvodu se v nejhlubší části spodní dokončovací dutiny vyvrtávají díry, aby měl vzduch kam unikat. [9; 10; 34]



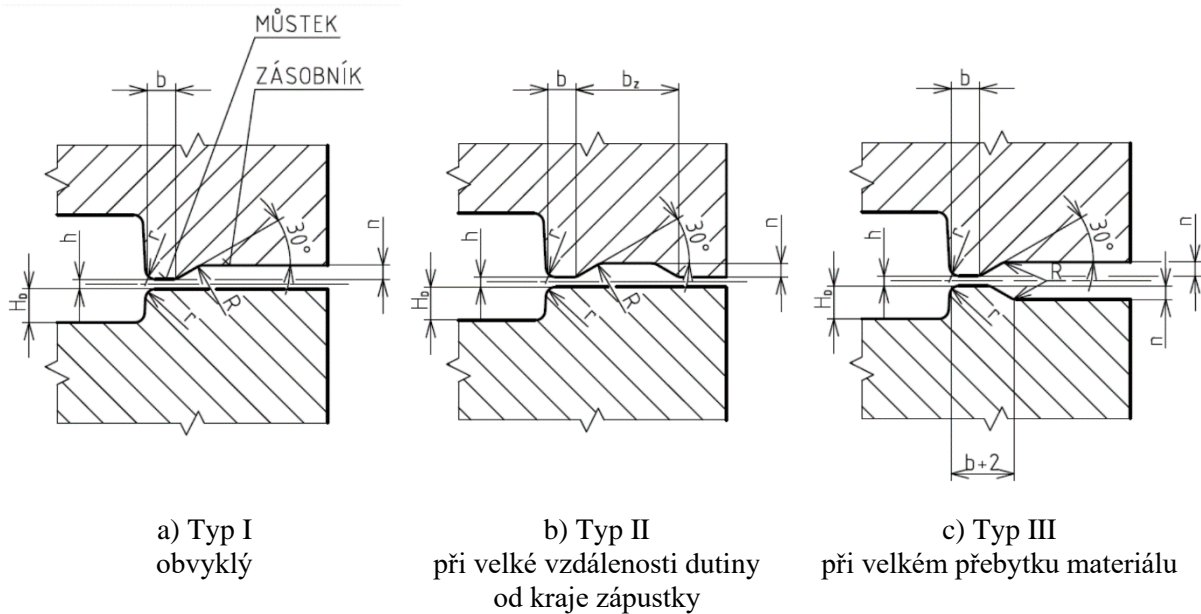
Obr. 17 Příklady zápustek. [24; 46]

2.6 Výronková drážka

Pro lisu se používají otevřené výronkové drážky. Je to technologická mezera mezi horním a spodním dílem zápustky v oblasti dělicí roviny. Skládá se ze zásobníku a můstku a přiléhá k celému obvodu výkovku. Podstatným předpokladem pro správné zaplnění zápustek je, že výronek je tvořen jako poslední, až po vyplnění celé kovací dutiny. Zápustky na sebe nesmí dosedat, protože vzdálenost mezi zápustkami v dolní úvrati tvoří výšku můstku h . Tvary výronkových drážek (obr. 18) se liší v závislosti na typu lisu, rozměrech zápustkové vložky, rozměru výkovku či jakosti kovaného materiálu. Typ I je volen nejčastěji, typ II se používá v případě velké vzdálenosti dutiny od kraje zápustky. Typ III se používá při velkém přebytku materiálu, kde by jednostranná drážka nestačila materiál zachytit. Rozměry (tab. 10) a tvar výronkové drážky se volí dle normy ČSN 22 8306, která vychází z velikosti tvářecí síly lisu. [9; 34; 46]

Tab. 10 Velikost výronkové drážky. [34]

| Síla lisu (MN) | h (mm) | b (mm) | b_z (mm) | r (mm) |
|----------------|------------|----------|------------|-----------|
| 2,5 | 1,0 ÷ 1,5 | 3 ÷ 5 | 25 | 1,0 ÷ 1,5 |
| 6,3 | 1,05 ÷ 2,0 | 3 ÷ 7 | 25 | 1,0 ÷ 1,5 |
| 10 | 1,5 ÷ 2,5 | 4 ÷ 7,5 | 30 | 1,0 ÷ 1,5 |
| 16 | 2,0 ÷ 3,0 | 5 ÷ 8 | 32 | 1,5 ÷ 2,5 |
| 25 | 2,5 ÷ 4,0 | 6 ÷ 10 | 38 | 1,5 ÷ 2,5 |
| 31,5 | 2,5 ÷ 4,5 | 6 ÷ 11 | 30 | 2,0 ÷ 3,0 |



Obr. 18 Používané typy výronkových drážek [11].

K určení rozměrů výronkové drážky lze dospět taktéž pomocí následujících vztahů. Výška můstku h :

$$h = 0,1725 \cdot G_0^{0,16} \cdot D_v^{0,5} \quad [\text{mm}], \quad (2.6)$$

kde: G_0 - hmotnost polotovaru [kg],
 D_v - průměr výkovku v dělicí rovině [mm].

Výpočet šířky můstku b :

$$b = 3 \cdot h \quad [\text{mm}], \quad (2.7)$$

Velikost zásobníku n lze stanovit z rovnice:

$$n = 0,4 \cdot h + 2 \quad [\text{mm}], \quad (2.8)$$

Poloměr přechodu z dutiny do můstku r je definován:

$$r = \sqrt{\frac{S_{\text{výk}}}{200}} + 0,004 \cdot H_D \quad [\text{mm}], \quad (2.9)$$

kde: H_D - hloubka dutiny zápusťky [mm],
 $S_{\text{výk}}$ - plocha výkovku v dělicí rovině [mm²]

Poloměr zaoblení přechodu do dělicí plochy R se volí podle vztahu:

$$R = \frac{h}{2} \quad [\text{mm}]. \quad (2.10)$$

3 NÁVRH VÝROBY

Vyráběnou součástí je půlspojka proudnice ze slitiny hliníku AlMg1Si1Mn. S roční sérií 150 000 ks byla jako nejvhodnější zvolena metoda výroby technologie zápustkového kování. Vzhledem k sérii a materiálu se bude kovat na svislém klikovém kovacím lisu s vyhazovačem. Zvolený typ stroje má vliv na celkový návrh výroby (návrh výkovku, konstrukce zápustek atd.). Jelikož zápustkovým kováním nelze dosáhnout požadovaných přesností a kvality ploch dle ČSN 38 9427, bude nutné po vykování celkové obrobení. Kvůli této skutečnosti se musí všechny plochy zvětšit o předepsané přídávky na obrábění. Pro zajištění spolehlivého procesu výroby a požadované kvality výsledného produktu je nezbytné provést návrh výkovku, který musí splňovat jasná kritéria. Podle normy ČSN 42 9240 se určuje: [38; 9; 10]

- Dělicí rovina – je umístěna v rovině největšího průměru kolmo na osu půlspojky proudnice. Jedná se o dělicí rovinu přímou. Při volbě se bral ohled na snadné vyjmutí z dutiny zápustky i na snadné ostřížení výronku.
- Úkosity – jsou nutné na takových plochách výkovku, které jsou kolmé k dělicí rovině, kvůli snadnějšímu vyjímání výkovku ze zápustkové dutiny. Jejich velikost se určí z tabulky 6. Vzhledem ke zvolenému typu stroje budou úkosity následující:
 - vnitřní úkosity: 3° ,
 - vnější úkosity: 2° .
- Přídávky na obrábění – pro všechny obráběné plochy součásti jsou stejné a vychází z rozměrů hotové půlspojky proudnice dle tabulky 7.
 - největší průměr ve směru rázu: $x_{výr} = 96,5$ mm,
 - celková výška výrobku: $y_{výr} = 47$ mm.

Na základě těchto rozměrů byla zvolena velikost přídávků pro obvyklou přesnost, a to 2,5 mm.

- Technologické přídávky – upraví tvar půlspojky proudnice tak, aby bylo možné ji vyrobít metodou zápustkového kování. Vzhledem k tomu, že nelze zhotovit průchozí otvor, je nutné umístit blánu do díry ve středu součásti. Její tloušťka se stanoví na základě největšího průměru a výšky výkovku dle tabulky
 - největší průměr: $x_{výk} = 99$ mm,
 - největší výška: $y_{výk} = 52,5$ mm.

Minimální tloušťka blány, zvolena dle tabulky 8, je 11 mm.

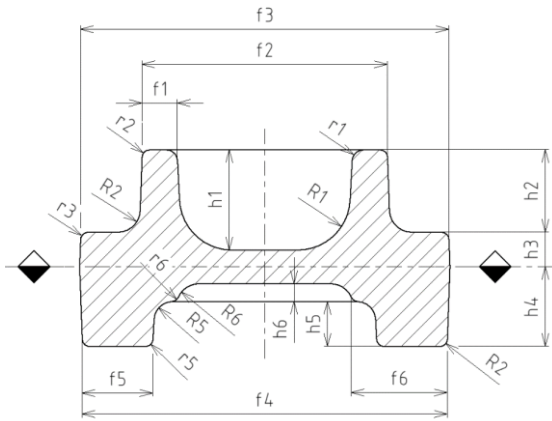
- Zaoblení hran a přechodů – zlepšuje zatékání kovu a prodlužuje životnost zápustek. Stanoví se z poměru přilehlých stran. Ty jsou znázorněny na obr. 19. Níže je uveden vzorový výpočet pro zaoblení r_1 , R_1 .

$$\text{Poměr} - \frac{h_1}{f_1} = \frac{26,750}{9,25} = 2,89 \xrightarrow{\text{z tab.9}} r_1 = 3 \text{ mm}; R_1 = 14 \text{ mm}, \quad (3.1)$$

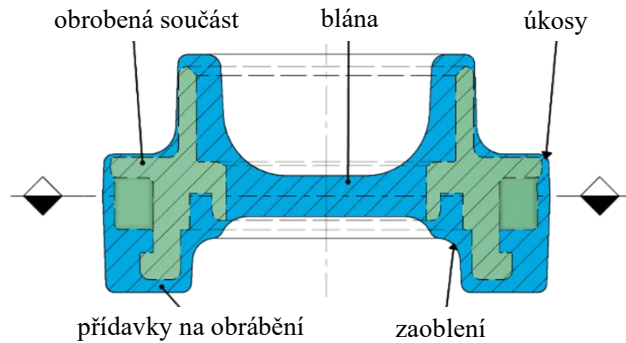
kde: h_1 – hloubka dutiny výkovku, výšky výkovku od dělicí plochy, výška osazení nebo výstupku,

f_1 – šířka příslušné části výkovku a šířka osazení nebo výstupku u uvažovaného poloměru zaoblení.

Zbýlá zaoblení hran vyšla dle výše uvedeného výpočtu: $r = 2$ mm a $R = 6$ mm.



Obr. 19 Zaoblení hran a přechodů.



Obr. 20 Schéma výkovku s přidávkou.

3.1 Tolerance výkovku

Nezbytnou součástí návrhu výroby je stanovení přípustných odchylek od jmenovitých rozměrů výkovku. Ty se určují podle tvarové složitosti výkovku, která vychází z normy ČSN 42 9002. Výsledný kód výkovku je zaznačen v tabulce 11.

Tab. 11 Zařazení výkovku dle tvarové složitosti [37].

| Pořadí č. | Číslo | Význam |
|-----------|-------|---|
| 1. | 5 | výkovek kruhového průřezu dutý |
| 2. | 3 | jednostranně osazený |
| 3. | 6 | výkovek s osou kolmou na dělicí rovinu dutý, $H^1 < D^2$ a $H > 2H^3$ |
| 4. | 0 | bez přesahu |
| 5. | 3 | výkovky s dělicí rovinou kolmou na hlavní osu souměrné |

1) – největší výška výkovku [mm],

2) – největší průměr výkovku [mm],

3) – nejmenší výška výkovku ve směru rázu (dno, blána) [mm].

Na základě tvarové složitosti výkovku 5360.3 lze určit stupeň přesnosti. Pro velkosériovou výrobu a tam, kde to vyžaduje technologický postup dalšího zpracování nebo použití, se doporučují výkovky v přesném provedení. Při volbě se také vychází ze zvoleného typu kovacího stroje. Stupeň přesnosti, doporučený normou ČSN 42 9240, bude tedy IT 16. [37]

- Mezní úchytky rozměrů – definují maximální dovolenou nepřesnost výroby součásti. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tab. 12. Vychází z největších rozměrů ve směru rázu a ve směru roviny kolmé na směr rázu a volí se podle normy ČSN 42 9240. [37]
 - největší průměr: $x_{výk} = 99$ mm,
 - největší výška: $y_{výk} = 52,5$ mm.

Tab. 12 Mezní úchytky a toleranční pole pro stupeň přesnosti IT 16. [37]

| Největší průměr (D) ve směru kolmém k rázu | Rozměr výkovku ve směru rázu (H) | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | přes | 18 | | 32 | | 50 | | 80 | | 125 | | | |
| | | do 18 | 32 | 50 | 80 | 125 | 180 | | | | | | |
| | $ú^{1)}$ | $t^{2)}$ | $ú$ | t | $ú$ | t | $ú$ | t | $ú$ | t | $ú$ | t | |
| přes 80 | + | 0,9 | 1,4 | 1,0 | 1,5 | 1,1 | 1,6 | 1,1 | 1,7 | 1,2 | 1,8 | 1,3 | 1,9 |
| do 125 | - | 0,5 | | 0,5 | | 0,5 | | 0,6 | | 0,6 | | 0,6 | |

1) $ú$ = úchytky, 2) t = toleranční pole.

- Mezní úchytky zaoblení hran – volí se podle normy ČSN 42 9240. Hodnoty v tab. 13 se vynásobí skutečnými hodnotami poloměrů. Velikost tolerancí pro vnější a vnitřní rozměry jsou odlišné. Pro poloměry menší jak 2 mm se záporné úchytky nepředepisují. [37]

Tab. 13 Mezní úchytky poloměrů zaoblení. [37]

| Poloměr zaoblení | | Mezní úchytky | | | |
|------------------|----|---------------|----|-------|----|
| přes | do | | | | |
| | 10 | +0,50 | ·R | +0,25 | ·r |
| | | -0,25 | | -0,50 | |
| 10 | 32 | +0,40 | | +0,20 | |
| | | -0,20 | | -0,40 | |

Po dosažení do jednotlivých poloměrů zaoblení platí:

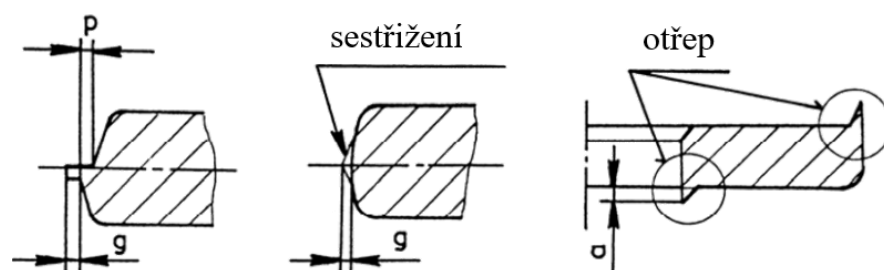
$$r_1 = r_{-0,50}^{0,25 \cdot r} = 3_{-1,5}^{+0,75} \text{ mm}, \quad (3.2)$$

$$R_1 = R_{-0,20}^{0,40 \cdot R} = 14_{-2,8}^{+5,6} \text{ mm},$$

$$r_2 = r_3 = r_4 = r_5 = r_6 = 2_{-0}^{+0,5} \text{ mm},$$

$$R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = 6_{-1,5}^{+3,0} \text{ mm}.$$

- Odchylky tvaru – se rozumí nežádoucí tvarové prvky, které vznikají při výrobě vlivem nepřesností (velké vůle ve vedení beranu, špatná konstrukce nástroje atd.) Dělí se na:
 - Přesazení ‚p‘ – vzniká opotřebeným vedením beranu nebo nepřesným vedením zápustek proti sobě. Jde o rozměr, o který mohou být body výkovku přesazeny oproti odpovídajícím bodům na druhé straně dělicí roviny ve směru rovnoběžném s dělicí rovinou. Dovolené přesazení stanovené normou ČSN 42 9240 je $p = 0,8 \text{ mm}$. [11]
 - Otřep a sestřižení ‚g‘ – zbytek materiálu vytečeného mezi dělené části nástroje. Sestřižení znamená stopa po ostříhovacím nástroji, která vzniká odebráním části technologického přídatku, případně přídatku na obrábění. Dovolžený přesah otřepu stanovený normou ČSN 42 9240 je $g = 0,6 \text{ mm}$. [11]
 - Otřep ‚a‘ – je ostří na střižné ploše, která může vzniknout na okraji střižné plochy. Nejčastějším důvodem je špatná střižná vůle. Hodnota dovolené jehly je rovna plusové mezní úchylce rozměru daného výkovku ve směru rázu. [11]


 a) přesazení výkovku
 ‚p‘ a otřep ‚g‘

b) sestřižení

c) otřep

Obr. 21 Úchytky tvaru výkovků. [11]

3.2 Výronková drážka

Pro zápusťkové kování púlspojky proudnice byla zvolena výronková drážka typu a) (obvyklá). V praxi se jedná o nejpoužívanější provedení pro kovací lisy. Vyniká umístěním můstku v horní dutině, díky čemuž se prodlužuje životnost zápusťky. Pro stanovení rozměrů výronkové drážky bez známé tvářecí síly bude použitý analytický přístup. [34; 11]

Pro výpočet velikosti můstku je použita hmotnost výkovku, která byla vypočítána pomocí softwaru Autodesk Inventor Professional 2022 a je rovna $G_o = 0,502$ kg. Dále je nutné znát průměr výkovku v úrovni dělicí roviny, a to $D_v = 99$ mm.

Velikost můstku h je dána vztahem:

$$h = 0,1725 \cdot G_o^{0,16} \cdot D_v^{0,5} = 0,1725 \cdot 0,502^{0,16} \cdot 99^{0,5} = 1,54 \text{ mm.}$$

Konečná velikost byla zvolena na 1,6 mm vzhledem k nomogramu dle normy ČSN 22 8306 a možnosti zvětšení můstku při případné renovaci nástroje. [34]

Šířka můstku b se stanovuje ze vztahu:

$$b = 3 \cdot h = 3 \cdot 1,6 = 4,8 \text{ mm.}$$

Hloubka zásobníku n lze vypočítat vztahem:

$$n = 0,4 \cdot h + 2 = 0,4 \cdot 1,6 + 2 = 2,64 \text{ mm}$$

Konečná hodnota byla zaokrouhlena vzhledem k otevřené výronkové drážce na 2,6 mm.

Poloměr přechodu z dutiny je dán vztahem:

$$r = \frac{\sqrt{S_{\text{výk}}}}{200} + 0,004 \cdot H_D = \frac{\sqrt{7697,69}}{200} + 0,004 \cdot 9,25 = 0,48 \text{ mm,}$$

kde: H_D - hloubka dutiny je 9,25 mm,

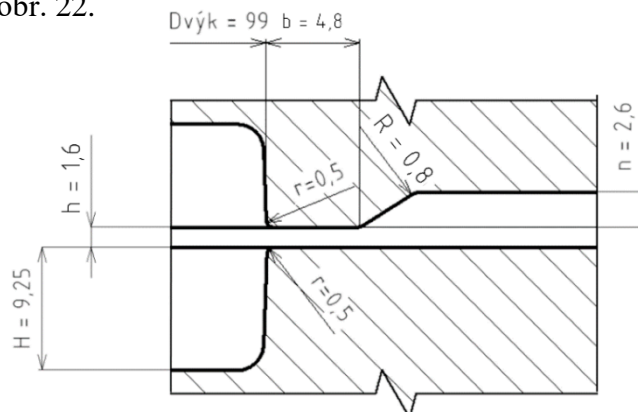
$$S_{\text{výk}} - \frac{\pi \cdot D_v^2}{4} = \frac{\pi \cdot 99^2}{4} = 7\,697,69 \text{ mm}^2.$$

Pro kování neželezných kovů se přechod tvaru do dělicí roviny provádí zpravidla nejvíce s $r = 0,5$ mm. Bude tedy uvažováno s touto hodnotou. [9]

Na závěr se zpravidla volí poloměr zaoblení přechodů tvaru zásobníku dle vztahu:

$$R = \frac{h}{2} = \frac{1,6}{2} = 0,8 \text{ mm}$$

Pro lepší přehlednost jsou všechny výše vypočtené hodnoty pro určení geometrie výronkové drážky vyobrazeny na obr. 22.



Obr. 22 Geometrie výronkové drážky.

3.3 Polotovar

Velikost polotovaru se stanoví z objemu výkovku, ke kterému je nutno přičíst objem výronku a objem opalu. Objem výkovku byl určen pomocí softwaru Autodesk Inventor Professional 2022 a je roven $V_{\text{výk}} = 186\,031,773 \text{ mm}^3$. Koefficient zaplnění výronkové drážky se běžně volí 10 %, ale u hliníku je asi o 30 % větší, proto se objem výronku stanoví následujícím vztahem: [10]

$$V_{\text{výr}} = V_{\text{výk}} \cdot 0,13 = 186031,773 \cdot 0,13 = 24\,184,13 \text{ mm}^3. \quad (3.3)$$

V poslední řadě je zapotřebí určit objem opalu. Volí se z důvodu vzniku okují během ohřevu, kdy dochází ke ztrátě materiálu při jejich odstraňování. U hliníkových slitin se počítá zhruba se ztrátou 0,6 %, tedy: [9]

$$V_{\text{op}} = 0,006 \cdot (V_{\text{výk}} + V_{\text{výr}}) = 0,06 \cdot (186031,773 + 24184,13) = 1\,261,295 \text{ mm}^3. \quad (3.4)$$

Nyní lze vypočítat celkový objem polotovaru:

$$\begin{aligned} V_{\text{pol}} &= V_{\text{výk}} + V_{\text{výr}} + V_{\text{op}} \\ V_{\text{pol}} &= 186031,773 + 24184,13 + 1261,294 = 211\,477,197 \text{ mm}^3. \end{aligned} \quad (3.5)$$

Objem výchozího polotovaru je stanoven na $211\,477,2 \text{ mm}^3$. Celkové rozměry se musí přizpůsobit pravidlu pěchování. Aby se zamezilo vybočení polotovaru při prvotní operaci, je nutno dodržet štíhlostní poměr λ mezi jeho průměrem a výškou: [11]

$$\lambda = \frac{H_0}{D_0} = 1,5 \div 2,8 \rightarrow \text{zvoleno } 2,1 \quad (3.6)$$

kde: H_0 - výška polotovaru,
 D_0 - průměr polotovaru.

Poloměr polotovaru se potom vypočte:

$$D_0 = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_{\text{pol}}}{\lambda}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{211477,197}{2,1}} = 50,25 \text{ mm} \quad (3.7)$$

Při volbě polotovaru se vychází z vypočítaného průměru, který by měl být shodný s průměry běžně vyráběnými dle rozměrových norem. Po zvážení možností byla zvolena tyč kruhového průřezu tažená za studena o průměru 50 mm. Údaje o polotovaru jsou uvedeny v tab. 15.

Tab. 15 Tyč kruhová tažená za studena. [32]

| | | |
|---------------------------|---------------|-----------------|
| Materiál | AlMg1Si1Mn | [-] |
| Norma | EN AW-6106 T6 | [-] |
| Mez pevnosti (T6) | 250 | MPa |
| Tolerance | ±0,40 | [mm] |
| Jmenovitý průměr | 50 | [mm] |
| Plocha průřezu | 19,6 | cm ² |
| Běžně dodávaná délka tyčí | 6 | m |
| Hmotnost | 33 | kg |

Délka polotovaru je dána vztahem:

$$H_0 = \frac{4 \cdot V_{\text{pol}}}{\pi \cdot D_0^2} = \frac{4 \cdot 211477,197}{\pi \cdot 50^2} = 107,7 \text{ mm} \rightarrow \text{zvolena výška } 108 \text{ mm}. \quad (3.8)$$

Jako polotovar byla zvolena kruhová tyč o průměru 50 mm a délce 108 mm. Je běžně k zakoupení o délce 6 m. Následně bude dělena na požadovaný rozměr. [33]

Aby mohl být zajištěn správný proces technologie zápusťkového kování, je nezbytné provést úpravu polotovaru. Nejprve je zapotřebí nakoupený materiál rozdělit na požadované špalíky. Následně bude materiál ohříván na kovací teplotu.

- Dělení materiálu – s ohledem na velikost výrobní série bylo zvolení stříhání. Pro správnost této technologie musí být dodržena následující podmínka:

$$H_0 \geq 0,8 \cdot D_0, \quad (3.9)$$

$$108 \geq 0,8 \cdot 50,$$

$$108 \geq 40 \rightarrow \text{podmínka je splněna.}$$

Podmínka je splněna. Stříhání může být zvoleno jako dělicí operace. Dále je zapotřebí určit velikost střížné síly potřebné k dělení materiálu:

$$F_D = n_0 \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot \frac{\pi \cdot D_0^2}{4}, \quad (3.10)$$

$$F_D = 1,4 \cdot 0,8 \cdot 250 \cdot \frac{\pi \cdot 50^2}{4} = 549\,779 \text{ N,}$$

kde: n_0 - součinitel otupení (volen $1,2 \div 1,5$), zvolen $1,4$ [-]
 R_m - mez pevnosti slitiny hliníku 6106 byla zvolena dle tabulky 15, a je 250 MPa .

Výsledná střížná síla, na které závisí volba stroje, vyšla 550 kN . Pro dělení materiálu byla zvolena dělička hutních polotovarů TNS od firmy Metalpres. [47]

- Ohřev – tak jako u dělení bylo uvažováno zařízení s ohledem na velikost roční série. Nejčastěji při velkosériové výrobě je používán indukční ohřev. Neboť hliník není feromagnetický, je tento způsob ohřevu nepraktický. Zbývají tedy dvě možnosti, a to plynový nebo elektrický ohřev. Vzhledem k dnešním cenám plynu a situaci ve světě se jako nejvhodnější zařízení jeví elektrická průběžná pec od české firmy BVD PECE spol. s r. o. (obr. 23). Pece disponují čtyřmi stupnicemi dosažitelné provozní teploty. Pro ohřev hliníku je dostačující rozsah do $600 \text{ }^\circ\text{C}$. Důležitou vlastností je taktéž vysoká automatizace procesu. Pece jsou dodávány ve třech rozměrových řadách. Pro nízké rozměry polotovaru byla zvolena nejmenší varianta pece TKRX 06.6.03-6 o výkonu 60 kW . [25]



Obr. 23 El. pec s pásovým dopravníkem. [25]

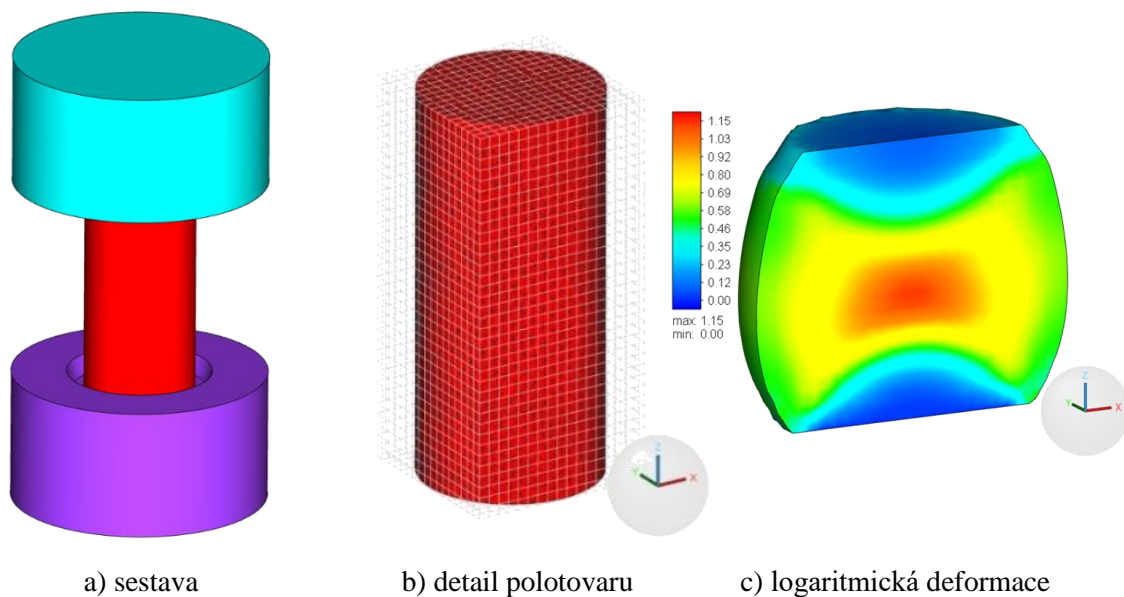
3.4 Simulace

S ohledem na složitost výkovku je zvolen tříoperační proces kování. Pro volbu správných tvarů zápusťkových dutin byla použita simulace v softwaru Simufact forming 16.0. Vzhledem k náročnosti výpočtu metodou konečných prvků, byla použita metoda konečných objemů. Materiál byl vybrán z databáze. Nástroje jsou uvažovány jako tuhé s vedením tepla. Při simulaci byly použity zjednodušené modely nástrojů, kde jsou klíčové pouze funkční plochy, které jsou v kontaktu s výkovkem. Předehřev zápusťky byl nastaven na 200 °C, třecí poměry byly popsány pomocí modelu adhezního tření (třecí faktor $m = 0,4$). Pro optimalizaci tvaru polotovaru při předkování byly uvažovány tři varianty (obr 24.)



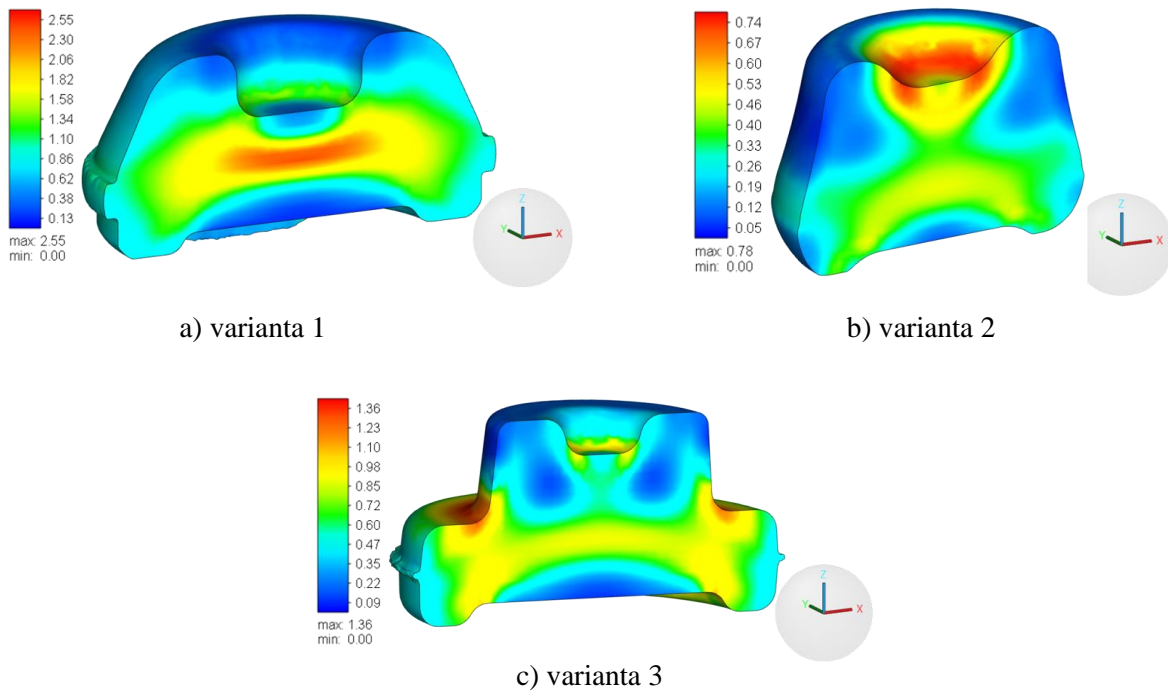
Obr. 24 Geometrie 2. operace.

V první operaci dochází pouze k napěchování materiálu. Pro všechny varianty návrhů je stejná. Na níže uvedeném obrázku 25. lze vidět průběh logaritmické deformace v řezu. Kovací síla se pohybuje na hranici 400 kN. Průběh vláken a síly je zaznamenán v příloze 2.



Obr. 25 Operace pěchování.

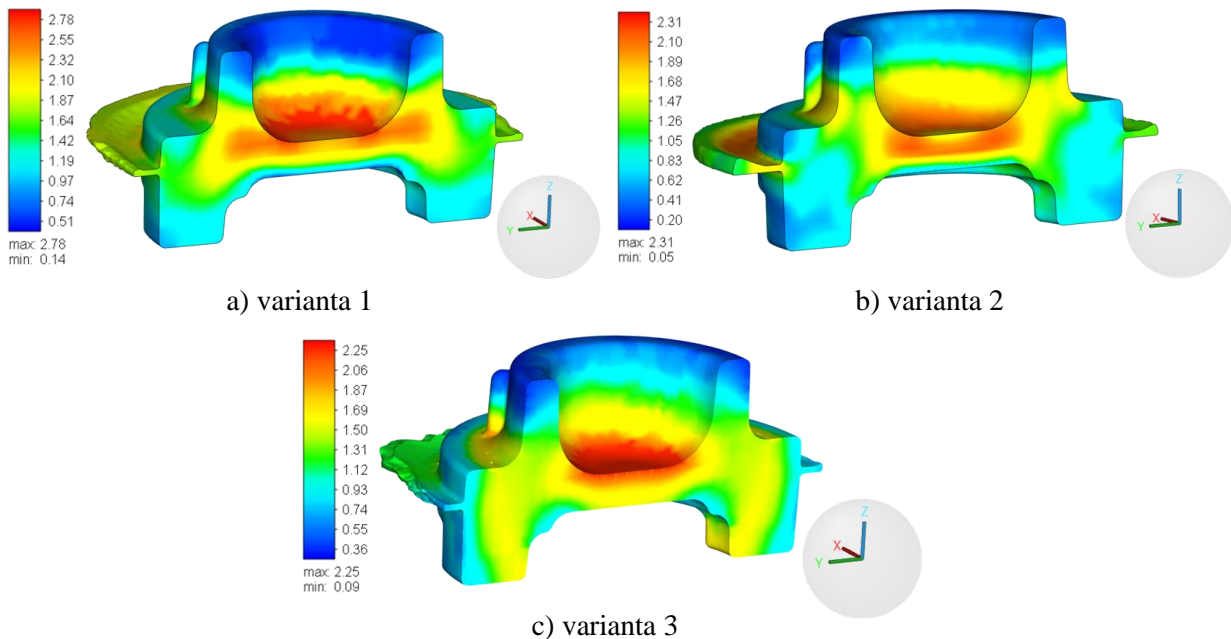
Druhá zápusťka má napěchovaný polotovar vytvarovat tak, aby v poslední operaci došlo k jednoznačnému a plynulému zatečení kovu do zápusťkové dutiny. Zde už bylo počítáno se všemi navrženými variantami. Ve dvou návrzích (obr. 26a; 26b) byly předpřipraveny hadicové přechody a v posledním (obr. 26c) bylo zhotoveno osazení pláště závitu G2. Ve všech třech modelech byl lehce předkován průchozí otvor. Průběh logaritmické deformace je vyznačen ve všech variantách na obr. 26.



Obr. 26 Průběh logaritmické deformace druhé předkovací operace.

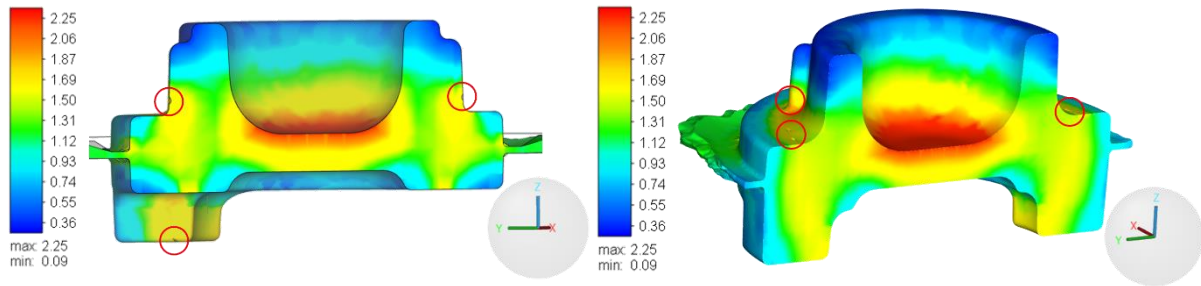
Z obr. 26 je patrné, že u var. 1 a 3 vznikly nepříliš příznivé výronky, které by v poslední operaci mohly způsobit přeložení materiálu. Kovací síla se pohybuje, po sobě počínaje variantou 1, na hranici 1500 kN, 940 kN a 3400 kN. Průběhy vláken, teplot a sil jsou zaznamenány v příloze 3, 4 a 5.

V poslední záпустce bude vznikat konečný výkovek s výronkem. Nyní bude zjištěno, který tvar předkovací záпустky je správný a zajistí správné zatečené kovu do dokončovací dutiny. Na obr. 27 je vyobrazen průběh logaritmické deformace v řezu pro jednotlivé varianty ve třetí operaci.



Obr. 27 Průběh logaritmické deformace dokončovací operace.

Průběh logaritmické deformace u var. 2 dosahuje nejnižších hodnot ze všech tří návrhů. Zatečení kovu je u var. 1 a 2 dobré. U var. 3 vznikla místa kde kov nezatekl a její průběh napětí, konkrétně v místě dělicí roviny, není zcela ideální. Tyto chyby jsou vyznačeny na obr. 28.

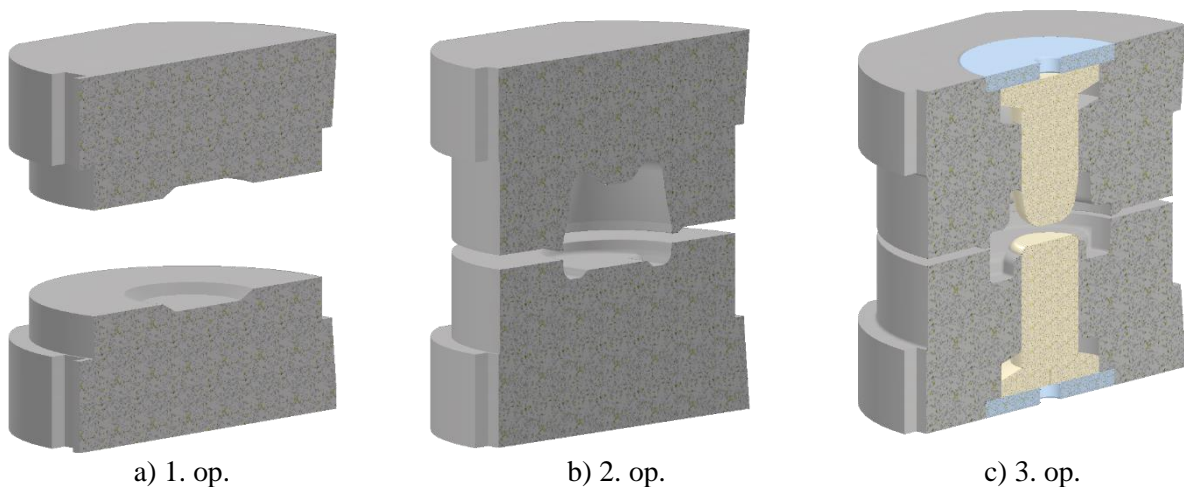


Obr. 28 Chyby u varianty 3.

Z tohoto důvodu, je 3. var. zcela vyloučena a bude voleno mezi 1. a 2. návrhem. Průběh vláken (příloha 7) je téměř totožný, teplota výkovku po 2. operaci (příloha 8) je lepší u varianty 2 a rovnoměrnost vytečení výronku je zde také lepší. Vzhledem k riziku vzniku přeložení materiálu a výše zmíněných faktorech je var. 1 také vyloučena. Jako nejvhodnější se tedy jeví varianta 2. Průběhy napětí a logaritmické deformace byly vždy rovnoměrné, teplota po předkovacích operacích byla ze všech tří nejvyšší a zatečení kovu bylo bezproblémové. Její tvar bude použit při výrobě zápustkových dutin. Nejvyšší hodnota kovací síly u této varianty se pohybuje na hranici 6 600 kN a její průběh je zaznačen v příloze 6.

3.5 Konstrukce zápustek

Na zápustky pro svislé kovací lisy je zapotřebí použít materiál o vysoké pevnosti, tvrdosti a velké odolnosti proti popouštění. Byl zvolen dle normy ČSN 22 8306, konkrétně nástrojová ocel 19 552 o tvrdosti 410 ÷ 485, která je vhodná pro vysoce výkonné, zejména členitější zápustky pro velkosériovou výrobu. Zápustky budou kaleny a popouštěny na 50 ± 1 HRC. Vzhledem k pozitivnímu průběhu při simulaci budou zápustky předehřívány na 200 °C. Při kování se budou zápustky mazat olejem s grafitem. Pro lepší vyjmutí z dutiny zápustky bude použit předkovací trn (vločka). Při návrhu nelze jednoznačně stanovit, ve které části se bude výkovek přilepovat, proto jsou navrženy jak do horní, tak do spodní zápustky. Vložka bude z oceli 19 552, která má velkou houževnatost, pronikatelnost a lze ji chladit vodou. Na obr. 29 je řez 3D modelem všech zápustek. [34]



Obr. 29 Schéma zápustek.

Jelikož je kována rotační součást, budou použity zápustky kruhového tvaru – válcové zápustky. Jejich minimální vnější průměry byly vypočítány dle normy ČSN 22 8306:

- Předkovací zápustky:

$$D_{Pmin} \geq D_{Dp} + 0,2 \cdot (D_{Dp} + H_{Dp}) + 5 \quad [\text{mm}], \quad (3.11)$$

$$D_{Pmin} \geq 81,7 + 0,2 \cdot (81,7 + 40,5) + 5 \quad [\text{mm}],$$

$$D_{Pmin} \geq 111,1 \text{ mm.}$$

- Dokončovací zápustky:

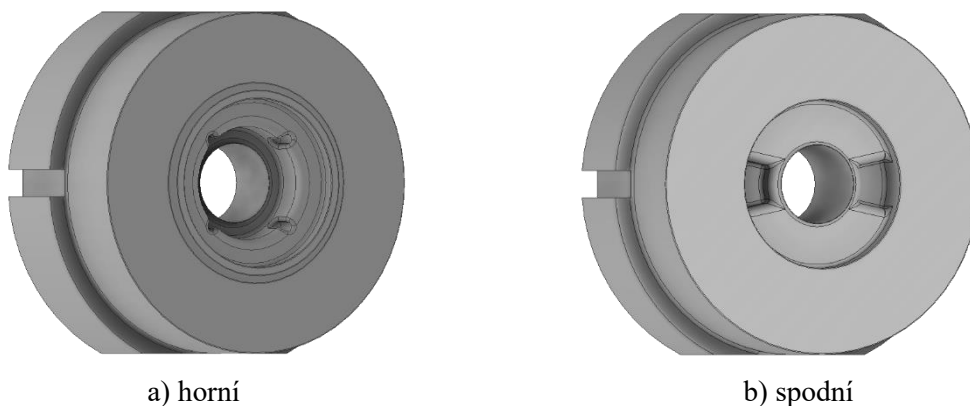
$$D_{Dmin} \geq D_{Da} + 0,4 \cdot (D_{Da} + H_{Da}) + 10 \quad [\text{mm}], \quad (3.12)$$

$$D_{Dmin} \geq 99 + 0,4 \cdot (99 + 40,5) + 10 \quad [\text{mm}],$$

$$D_{Dmin} \geq 156,8 \text{ mm.}$$

Rozměry jsou stanoveny na vyšší doporučenou hodnotu, dle přílohy 9, $\varnothing 175$ mm pro předkovací zápustky a $\varnothing 200$ mm pro dokončovací. Výšky a způsob upínání byly zvoleny na základě vybraných průměrů ze stejné tabulky.

Při stanovení rozměrů dutiny se vychází z hodnot smršťování ohřátého materiálu, z mezních úchylek a tolerance výkovku dle normy ČSN 22 8306. Mezní úchytky rozměrů předkovacích dutin jsou přibližně dvojnásobné vůči mezním rozměrům dokončovacích dutin. Drsnost povrchu funkční plochy předkovací dutiny je stanovena na Ra 1,6 μm . V poslední zápustce (obr. 30) bude vznikat konečný výkovek s výronkem. Všechny rozměry dokončovací dutiny přesahující 10 mm se zvětší vůči jmenovitým rozměrům o hodnotu smrštění. Ta se stanoví ze součinitelů tepelné délkové roztažnosti a teploty kování pro konkrétní materiál. Pro slitiny hliníku se hodnoty smrštění pohybují mezi 0,6 ÷ 1,0 %. Pro výkovky o jmenovitém průměru 99 mm jsou mezní úchytky $\pm 0,1$ kolmo k rázu a $\pm 0,15$ ve směru rázu. Drsnost povrchu dokončovací dutiny je stanovena na Ra 0,8 μm . [34]



Obr. 30 Geometrie dokončovací zápustky.

3.6 Výpočet kovací síly

Pro stanovení velikosti kovacího lisu je potřeba znát velikost tvářecí síly. Ta se stanoví pouze přibližně, a to v poslední dokončovací operaci, kde je potřebná síla největší. Pro její určení je nezbytné znát přetvárný odpor materiálu, který je závislý na aktuální teplotě výkovku při kování. Pro slitinu hliníku 6106 je doporučený interval kovacích teplot 360 ÷ 460 °C. Vzhledem k víceoperačnímu kování a členitosti výkovku byla teplota zvolena na 450 °C. Vede k zajištění delší životnosti nástroje a lepšího zatékání materiálu do dutin zápustek: [29]

- Brjuchanov-Rebelský – výpočet kovací síly dle vztahu.

$$F_{\text{kov}} = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_v) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_v}\right)^2 \cdot \sigma_p \cdot S_{\text{výk}},$$

$$F_{\text{kov}} = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 99) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{99}\right)^2 \cdot 35 \cdot 7\,697,7 =$$

$$F_{\text{kov}} = 3\,292\,147,23 \text{ N.}$$

Výsledná kovací síla podle této metody vyšla 3,29 MN.

- Storožev – určuje velikost kovací síly podle vzorce:

$$F_{\text{kov}} = \sigma_p \cdot \left\{ \left(1,5 + \frac{b}{2 \cdot h}\right) \cdot S_{\text{výr}} + \left[1,25 \cdot \left(\ln \cdot \frac{D_v}{h} + 2 \cdot \frac{h}{D_v}\right) + \frac{b}{h} - 0,375\right] \cdot S_{\text{výk}} \right\} \quad [\text{N}],$$

$$F_{\text{kov}} = 35 \cdot \left\{ \left(1,5 + \frac{4,8}{2 \cdot 1,6}\right) \cdot 1\,565,3 + \left[1,25 \cdot \left(\ln \cdot \frac{99}{1,6} + 2 \cdot \frac{1,6}{99}\right) + \frac{4,8}{1,6} - 0,375\right] \cdot 7\,697,7 \right\}$$

$$F_{\text{kov}} = 2\,271\,701,76 \text{ N.}$$

$$S_{\text{výr}} = \frac{\pi \cdot (D_{\text{výr}}^2 - D_v^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (108,6^2 - 99^2)}{4} = 1\,565,3 \text{ mm}^2,$$

$$\text{kde - } D_{\text{výr}} = 2 \cdot b + D_v = 2 \cdot 4,8 + 99 = 108,6 \text{ mm.}$$

Podle Storoževa vyšla kovací síla 2,27 MN.

- Tomlenov – před samotným výpočtem napětí pro jednotlivé průřezy výkovku je nezbytné stanovit přirozený přetvárný odpor s vlivem teploty kovu ve výronku dle vztahu:

$$\sigma_p^* = R_{\text{mt}} \cdot C_0 = 30 \cdot 5 = 150 \quad [\text{MPa}],$$

$$\begin{aligned} \text{kde: } R_{\text{mt}} & - \text{pevnost materiálu za kovací teploty } [\text{MPa}], \\ C_0 & - \text{součinitel snížení plasticity materiálu v oblasti výronku} \\ & \text{vlivem poklesu teplot byl zvolen 5.} \end{aligned}$$

Přirozený přetvárný odpor ve výronku za kovací teploty 450 °C je 150 MPa.

Dále je zapotřebí vypočítat napětí pro takzvaný nulový průřez výkovku, který se vypočítá pomocí vztahu:

$$\sigma_{d0} = (1 + 0,73 \cdot f) \cdot \sigma_p^* = (1 + 0,73 \cdot 0,4) \cdot 150 = 193,8 \text{ MPa}, \quad (3.13)$$

$$\text{kde: } f \quad - \quad \text{součinitel tření zvolen na 0,4 [-].}$$

Napětí pro nulový průřez je rovno 193,8 MPa. Následně hodnoty deformačních odporů pro jednotlivé průřezy výkovku jsou definovány vztahy:

$$\sigma_{d1} = \sigma_{d(n-1)} + \sigma_p^* \cdot \frac{\Delta r_n}{z_n} = \sigma_{d0} + \sigma_p^* \cdot \frac{\Delta r_1}{z_1} \quad [\text{MPa}] \quad (3.14)$$

$$\sigma_{d1} = 193,8 + 150 \cdot \frac{19,8}{4,2} = 900,94 \text{ MPa,}$$

$$\sigma_{d2} = \sigma_{d1} + \sigma_p^* \cdot \frac{\Delta r_2}{z_2} = 900,94 + 150 \cdot \frac{16,2}{30,5} = 980,61 \text{ MPa,}$$

$$\sigma_{d3} = \sigma_{d2} + \sigma_p^* \cdot \frac{\Delta r_3}{z_3} = 980,61 + 150 \cdot \frac{3,7}{52,5} = 991,18 \text{ MPa,}$$

$$\sigma_{d4} = \sigma_{d3} + \sigma_p^* \cdot \frac{\Delta r_4}{z_4} = 991,18 + 150 \cdot \frac{6,8}{40,5} = 1\,016,37 \text{ MPa,}$$

$$\sigma_{d5} = \sigma_{d4} + \sigma_p^* \cdot \frac{\Delta r_5}{z_5} = 1\,016,37 + 150 \cdot \frac{22,8}{9} = 1\,396,37 \text{ MPa.}$$

Průběh všech průřezů a jeho hodnoty jsou zaznamenány v příloze 10.

Pro stanovení normálové složky kovací síly je zapotřebí určit velikosti dílčí plochy deformačních odporů pod křivkou napětí. Velikost trojúhelníkové plochy S_{j+1} se stanoví podle vztahu:

$$S_{j+1} = \frac{\Delta r_n}{2} \cdot (\sigma_{n+1} - \sigma_n) \text{ [N} \cdot \text{mm}^{-1}\text{]}. \quad (3.15)$$

Velikost obdélníkové plochy S_j je dána vztahem:

$$S_j = \sigma_n \cdot \Delta r_n \text{ [N} \cdot \text{mm}^{-1}\text{]}. \quad (3.16)$$

Dílčí plochy pro výpočet normálové složky kovací síly jsou zaznamenány v tab. 16.

Tab. 16 Výpočty dílčích ploch pod křivkou napětí.

| Plocha | $S_j \text{ [N} \cdot \text{mm}^{-1}\text{]}$ | $r_j \text{ [mm]}$ | $S_j \cdot r_j \text{ [N]}$ |
|--------|--|--------------------|-----------------------------|
| 1 | $S_1 = 193,8 \cdot 19,8 = 3\,837,24$ | 59,4 | 227\,932,1 |
| 2 | $S_2 = \frac{19,8}{2} \cdot (900,94 - 193,8) = 7\,000,67$ | 56,1 | 392\,737,6 |
| 3 | $S_3 = 900,94 \cdot 16,2 = 14\,595,23$ | 41,4 | 604\,242,5 |
| 4 | $S_4 = \frac{16,2}{2} \cdot (980,61 - 900,94) = 645,33$ | 38,7 | 24\,974,3 |
| 5 | $S_5 = 980,61 \cdot 3,7 = 3\,628,26$ | 31,5 | 114\,290,2 |
| 6 | $S_6 = \frac{3,7}{2} \cdot (991,18 - 980,61) = 19,55$ | 30,8 | 602,1 |
| 7 | $S_7 = 991,18 \cdot 6,8 = 6\,740,02$ | 26,2 | 176\,588,5 |
| 8 | $S_8 = \frac{6,8}{2} \cdot (1\,016,37 - 991,18) = 85,65$ | 25,1 | 2\,149,8 |
| 9 | $S_9 = 1\,016,37 \cdot 22,8 = 23\,173,24$ | 11,4 | 264\,174,9 |
| 10 | $S_{10} = \frac{22,8}{2} \cdot (1\,396,37 - 1\,016,37) = 4\,332$ | 7,6 | 32\,923,2 |
| | $\sum_{i=1}^n S_j \cdot r_j$ | | 1\,840\,615,2 |

Součet dílčích ploch potřebných pro výpočet F_N je roven 1,84 MN.

Velikost normálové složky je:

$$F_N = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^n S_j \cdot r_j = 2 \cdot \pi \cdot 1\,840\,615,2 = 11\,564\,926,4 \text{ N.}$$

Velikost tečné složky je:

$$F_T = \pi \cdot f \cdot R_{mt} \cdot \sum_{j=1}^n D_j \cdot \Delta z_j$$

$$F_T = \pi \cdot 0,4 \cdot 30 \cdot ((99 \cdot 8,5) + (66,6 \cdot 22) + (45,6 \cdot 26,8))$$

$$F_T = 133\,031,9 \text{ N}$$

Výsledná velikost kovací síly je rovna součtu tečné a normálové složky.

$$F_{kov} = F_N + F_T = 11\,564\,926,4 + 133\,031,9 = 11\,697\,958,3 \text{ N.}$$

Z uvedeného grafického řešení v příloze 10 a výpočtů vyplývá, že velikost kovací síly podle Tomlenova je 11,70 MN.

Hodnoty získány podle výše uvedených metod jsou zaznačeny v tab. 17. Výhodou je, že vypočítané výsledky lze porovnat s hodnotou získanou díky simulaci. Obecně je známo, že metoda podle Tomlenova vychází ve většině případů ze všech největší. První dvě metody se navzájem od sebe tolik neliší. Výsledek simulace je však někde mezi všemi hodnotami. Lze jej tedy považovat za relevantní. Kvůli bezpečnosti je však zvolena taková kovací síla, aby vyhovovala všem výsledkům – tedy 11,70 MN.

Tab. 17 Velikosti kovacích sil

| Metoda | [MN] |
|------------------------|-------|
| Brjuchanov-Rebelský | 3,29 |
| Storožev | 2,27 |
| Tomlenov a ČSN 22 8306 | 11,70 |
| Simulace | 6,80 |

3.7 Volba kovacího lisu

Pro výrobu půlspojky proudnice byl zvolen svislý kovací lis LZK 1600 P/SH (obr. 31) o jmenovité tvářecí síle 16 MN. Disponuje sevřením o velikosti 760 mm a průchodu 1 230 mm. bude dodáván od českého výrobce Šmeral Brno, a. s. Jedná se o lis s horním pohonem, je určen pro práci za tepla při hromadné výrobě přesných zápustkových výkovek. Beran je veden ve vedení tvaru „O“. Lis je vybaven přestavováním a vyvažováním beranu a lze u něj volit různé druhy vyhazovačů, upínačů, zápustek atd. Podrobné technické parametry jsou uvedeny v příloze 11.



Obr. 31 LZK 1600 P/SH. [23]

3.8 Dokončovací operace

Po vykování je standardně prováděno ostřížení výronku a blány v otvoru, které zajišťuje ostříhovací lis. Jeho velikost se stanoví na základě velikosti střížné síly. Ta je určena mezí pevnosti materiálu, délkou stříhu a výšky stříhaného materiálu. Z hlediska bezproblémového oddělení se při výpočtu uvažuje dvojnásobná výška. Ostřížení se provádí jak za studena, tak i za tepla. Jelikož hliník dobře vede teplo, tudíž rychle chladne, bude pro výpočet střížné síly z bezpečnostního hlediska použita mez pevnosti materiálu za studena. Vychází se ze vztahu:

$$F_{sv} = 1,7 \cdot L_s \cdot 2 \cdot h \cdot R_m \cdot 0,8 \quad [\text{N}], \quad (3.17)$$

$$F_{sv} = 1,7 \cdot 310,842 \cdot 2 \cdot 1,6 \cdot 300 \cdot 0,8,$$

$$F_{sv} = 405\,835,32 \text{ N.}$$

kde: R_m - mez pevnosti dle mat. listu pro zápustkové výkovky je zvolena na 300 MPa,

L_s - je délka střížné hrany vypočtena softwarem Autodesk Inventor Professional 2022 (310,842 mm).

Největší síla potřebná k ostřížení výronku je zhruba 406 kN. Pro získání velikosti síly potřebné k oddělení blány se předchozí vztah upraví o délku střížné hrany a o výšku stříhaného materiálu.

$$F_{sb} = 1,7 \cdot L_s \cdot 2 \cdot h_b \cdot R_m \cdot 0,8 \quad [\text{N}], \quad (3.18)$$

$$F_{sb} = 1,7 \cdot 143,215 \cdot 2 \cdot 11 \cdot 300 \cdot 0,8,$$

$$F_{sb} = 1\,285\,497,84 \text{ N.}$$

kde: L_s - je délka střížné hrany vypočtena softwarem Autodesk Inventor Professional 2022 (143,215 mm),

h_b - tloušťka blány je 11 mm.

Největší síla potřebná k oddělení blány je přibližně 1 286 kN. Pro zajištění bezproblémového oddělení výronku a blány je nutno zvolit nástroj o minimální střížné síle 1 286 kN. Ostříhovací lis, stejně jako kovací, bude dodáván firmou Šmeral Brno, a. s. Pro dané kritérium vyrábí stroje LKOA 200 (obr. 32) o jmenovité tvářecí síle 2000 kN. Podrobná technická data jsou uvedena v příloze 12.



Obr. 32 LKOA 200. [48]

ZÁVĚR

Účelem práce bylo provést návrh výroby púlspojky proudnice. Jako materiál polotovaru byla zvolena slitina hliníku AlMg1Si1Mn, která byla vybrána na základě požadovaných mechanických vlastností a doporučení normou ČSN 38 9427. Vzhledem k sérii 150 000 ks ročně, požadovanému provoznímu tlaku 1,6 MPa, tvarové složitosti a využití materiálu byla zvolena metoda zápusťkového kování s následným obrobením.

Dělicí rovina byla umístěna v rovině největšího průměru kolmo na osu púlspojky proudnice. Pro zajištění správného procesu kování byly dle normy ČSN 42 9240 stanoveny technologické přídavky. Konkrétně vnitřní úkosy 3°, vnější 2°, zaoblení hran $r_1 = 3$ mm, $R_1 = 14$ mm, $r_{2-6} = 2$ mm, $R_{2-6} = 6$ mm a průchozí otvor byl nahrazen blánou o minimální tloušťce 11 mm. Vzhledem k dokončení součásti obráběním, byly doplněny přídavky na obrábění 2,5 mm.

Při tvorbě zápusťky bylo zapotřebí nejdříve stanovit tvar a rozměry výronkové drážky. Byla zvolena, v praxi nejpoužívanější, drážka pro kovací lis typu I. Výška můstku byla stanovena dle výpočtu a nomogramu na 1,6 mm, šířka 4,8 mm, hloubka 2,6 mm, zaoblení přechodu z dutiny 0,5 mm a zaoblení přechodů tvaru zásobníku 0,8 mm. Poté byly z objemu 211 477,2 mm³ stanoveny rozměry polotovaru o průměru 50 mm a délce 108 mm.

Pro zajištění správného tvaru zápusťkové dutiny, a tedy bezproblémového zatékání kovu, byla použita simulace metodou konečných objemů v softwaru Simufact forming 16.0. Byly navrženy 3 tvary předkovacích dutin, ze které byla vybrána ta nejvhodnější. Všechny rozměry vyhovující varianty přesahující 10 mm byly zvětšeny o hodnotu smrštění. Mezní úchytky jsou $\pm 0,1$ kolmo k rázu a $\pm 0,15$ ve směru rázu. Drsnosti povrchu předkovacích dutin byly stanoveny na Ra 1,6 μ m, a dokovacích Ra 0,8 μ m. Materiál zápusťek, zvolen dle normy ČSN 22 8306, je ocel 19 552. Na základě vypočtených sil a dat ze simulace byl zvolen klikový kovací lis LZK 1600 P/SH, se jmenovitou tvářecí silou 16 MN, dodáván českým výrobcem tvářecích strojů, firmou Šmeral Brno, a. s.

Na závěr byl proveden výpočet pro zjištění velikosti ostříhovací síly, na jejímž základě byl zvolen ostříhovací lis LKOA 200 o jmenovité tvářecí síle 2 MN. Kovací i ostříhovací lis budou dodávány českou firmou Šmeral Brno, a. s.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. MICHNA, Štefan. 2005. Encyklopedie hliníku. 1. Děčín: Alcan Děčín Extrusions.
 2. VETIŠKA, Aleš. 1974. Teoretické základy slévárenské technologie: učebnice pro strojní fakulty. 2., upr. vyd. Praha: SNTL. Řada strojírenské literatury.
 3. VIGNER, Miloslav and Zdeněk PŘIKRYL. 1984. Obrábění. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 800 s.
 4. SOLFRONK, Pavel, Iva NOVÁ and Iva NOVÁKOVÁ. 2012. Tvařitelnost slitin hliníku. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci.
 5. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS and Jiří DVOŘÁČEK. 2015. Základy konstruování. Vydání šesté. Brno: Akademické nakladatelství CERM.
 6. FOREJT, Milan and Miroslav PÍŠKA. 2006. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM.
 7. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ and Karel NOVOTNÝ. 2013. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM.
 8. FUCHS, Otto. 1954. Kování a zařízení v kovárně: příručka pro provoz, konstrukci a vyučování. 1. Praha: Práce. Knihnice Svazu zaměstnanců strojírenství.
 9. LIDMILA, Zdeněk. 2008. Teorie a technologie tváření. 1. Brno: Univerzita obrany.
 10. SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ and Zdeněk LIDMILA. 2011. Speciální technologie tváření. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM.
 11. ČADA, Radek, Jakub MACHÁLEK and Barbora FRODLOVÁ. 2012. Týmová cvičení předmětu Technologie tváření a slévání: návody do cvičení předmětu "Technologie tváření a slévání". 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
 12. UNEX, Zápustkové výkovky [online]. Dostupné z: <https://www.unex.cz/cs/odlitky-a-vykovky/zapustkove-vykovky>
 13. Proudnice C52 [online]. Dostupné z: <https://www.vyzbrojna.cz/cz/2905/2897/proudnice-c52-new-sport.html>
 14. Stimax.cz, Proudnice C52 kombinovaná TKW SF 400 [online]. Dostupné z: <https://www.stimax.cz/35404-1-Proudnice-C52-kombinovana-TKW-SF-400.html>
 15. Solidvision, 3D frézování [online]. Dostupné z: <https://www.solidvision.cz/cam-reseni/cnc-frezovani/solidcam-3d-frezovani>
 16. Wikipedia, princip frézování [online]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Milling_\(machining\)#/media/File:Fraisage_surfacage.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Milling_(machining)#/media/File:Fraisage_surfacage.svg)
 17. Národní památkový ústav, odlévání zvonu na Švihově pohledem fotografa [online]. Dostupné z: <https://www.npu.cz/cs/ups-ceske-budejovice/zpravy/11651-odlevani-zvonu-na-svihove-pohledem-fotografa>
 18. Manufacturing guide, princip odlévání ingotů [online]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/ingot-casting>
 19. Manufacturing guide, přímé protlačování [online]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/direct-extrusion>
 20. FeRRALLOY, Charakteristiky zápustkového kování [online]. Dostupné z: <https://ferralloy.com/open-die-forging-characteristics/>
-

-
21. Canton drop forge, Rozdíly mezi otevřeným a zavřeným zápustkovým kovááním. [online]. Dostupné z: <https://cantondropforge.com/open-vs-closed-die-forging/>
 22. Manufacturing guide, princip zápustkového kováání [online]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/closed-die-forging>
 23. Šmeral Brno, a. s., Svislé kovací lisy [online]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/category/11/svisle-kovaci-lisy-svisle-kovaci-lisy>
 24. Loman, hotové zápustky [online]. Dostupné z: <https://www.loman.sk/vyroby/>
 25. BDC Pece, automatizované pece pro velkosériovou výrobu [online]. Dostupné z: <https://www.bvd.cz/realizace-strojirenstvi>
 26. BRIOL spojovací materiály, trubkový závit G2 [online]. Dostupné z: <https://www.briol.cz/technicke-informace/trubkovy-zavit-g>
 27. Anchor harvey, zápustkové kováání hliníku [online]. Dostupné z: <https://www.anchorharvey.com/services/closed-die-aluminum-forging/>
 28. Aluminium alloys applications [online]. Dostupné z: <https://www.almet-marine.com/wp-content/uploads/2021/07/Ch03-aluminium-alloys-in-marine-applications.pdf>
 29. Drop forging, kovací teploty hliníku [online]. Dostupné z: <https://www.dropforging.net/aluminum-forging-temperature.html>
 30. Queen city forging company, Rapid IR Aluminum Hot Forging [online]. Dostupné z: <https://www.qcforge.com/innovative-solutions/rapid-ir-aluminum-hot-forging/>
 31. Forging, Aluminium alloys [online]. Dostupné z: <https://www.forging.org/forging/design/43-aluminum-alloys.html>
 32. Alloy data sheet, EN AW-6106 [online]. Dostupné z: <https://www.nedal.com/wp-content/uploads/2016/11/Nedal-alloy-Datasheet-EN-AW-6106.pdf>
 33. Alu Děčín, polotovary ze slitin hliníku [online]. Dostupné z: <https://www.aludecin.cz/25410/kulate/>
 34. ZÁPUSTKY PRO SVISLÉ KOVACÍ LISY: Technické požadavky na konstrukci. 1990. Praha: ČESKÁ NORMALIZAČNÍ INSTITUT.
 35. Požární armatury - Spojky. 2003. Praha: ČESKÁ NORMALIZAČNÍ INSTITUT.
 36. Hliník a slitiny hliníku - Výkovky: Část 3: Mezní úchytky rozměrů a tvarů. 2002. Praha: ČESKÁ NORMALIZAČNÍ INSTITUT.
 37. ROZDĚLENÍ ZÁPUSTKOVÝCH VÝKOVKŮ: PODLE SLOŽITOSTI TVARU. 1968. Praha: ČESKÁ NORMALIZAČNÍ INSTITUT.
 38. VÝKOVKY ZÁPUSTKOVÉ Z NEŽELEZNÝCH KOVŮ: Rozměry. 1982. Praha: ČESKÁ NORMALIZAČNÍ INSTITUT.
 39. Slitina hliníku tváření pro všeobecné účely: Materiálové listy. 1981. Praha: ČESKÁ NORMALIZAČNÍ INSTITUT.
 40. HLUCHÝ, Miroslav, Rudolf PAŇÁK a Jan KOLOUCH. Strojírenská technologie 2. Praha: Scientia, 1998.
 41. HAŠEK, Vladimír. Kování: Pomůcka pro studenty vysokých a odborných škol. Praha 1: Státní nakladatelství technické literatury, 1965.
 42. DVOŘÁK, Milan. Tvářecí nástroje a stroje. Vojenská akademie v Brně, Fakulta vojenskotechnická druhů vojsk, 1994.
-

43. Zařízení pro zápusťkové kování: Hydraulické vřetenové lisy. In: ZDAS [online]. Žďár nad Sázavou. Dostupné z: <https://www.zdas.com/cs/produkce/zarizeni-zapustkove-kovani/>
44. Protlačování hliníku v praxi [online]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=iiGlq7408ME>
45. Mechanické lisy, princip [online]. Dostupné z: <http://techstroj.g6.cz/S/S19.pdf>
46. LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření II. 1. Brno: Univerzita obrany, 2008.
47. Zařízení pro kování: Dělička tyčí pro kování TNS. METALPRES s.r.o. [online]. Brno Dostupné z: http://www.metalpres.cz/zarizeni_pro_kovarny.html
48. Šmeral Brno, a. s., ostříhovací lis [online]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/35/lkoa-200>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbols

| Označení | Legenda | Jednotka |
|--------------------|---|--------------------|
| a | Otřep | [mm] |
| A ₅ | Tažnost | [%] |
| b | Délka můstku výronkové drážky | [mm] |
| b _z | Délka zásobníku | [mm] |
| C ₀ | součinitel snížení plasticity materiálu v oblasti výronku | [-] |
| D ₀ | Průměr polotovaru | [mm] |
| D _{Dmin} | Minimální průměr dokovací zápustky | [mm] |
| D _{Dd} | Průměr dokovací dutiny zápustky | [mm] |
| D _{Pmin} | Minimální průměr předkovací zápustky zápustky | [mm] |
| D _{Pd} | Průměr předkovací dutiny | [mm] |
| D _j | Vzdálenost těžiště jednotlivých ploch | [mm] |
| D _v | Průměr výkovku | [mm] |
| E | Modul pružnosti | [GPa] |
| f | Součinitel tření | [-] |
| f ₁ | Šířka příslušné části výkovku, osazení nebo výstupku | [mm] |
| F _C | Celková kovací síla podle Tomlenova | [N] |
| F _D | Síla potřebná k dělení materiálu | [N] |
| F _{kov} | Kovací síla | [N] |
| F _N | Normálová složka kovací síly | [N] |
| F _{sv} | Střížná síla pro ostřížení výronku | [N] |
| F _{sb} | Střížná síla pro ostřížení blány | [N] |
| F _T | Tečná složka kovací síly | [N] |
| g | Sestřížení | [mm] |
| G ₀ | Hmotnost výkovku | [kg] |
| h | Výška můstku výronkové drážky | [mm] |
| h _b | tloušťka blány | [mm] |
| h ₁ | Hloubka dutiny výkovku | [mm] |
| H | Výška součásti | [mm] |
| H ₀ | Výška polotovaru | [mm] |
| H _D | Hloubka dutiny zápustky | [mm] |
| H _{Dd} | Hloubka dokovací dutiny zápustky | [mm] |
| H _{Dp} | Hloubka předkovací dutiny zápustky | [mm] |
| L _S | Délka střížné hrany | [mm] |
| n | Velikost zásobníku | [mm] |
| n ₀ | Součinitel otupení | [-] |
| p | Přesazení | [mm] |
| r | Poloměr zaoblení | [mm] |
| R | Poloměr zaoblení | [mm] |
| r _j | Vzdálenost těžiště jednotlivých ploch | [mm] |
| R _{p 0,2} | Mez kluzu | [MPa] |
| R _m | Mez pevnosti | [MPa] |
| R _{mt} | Pevnost za dané kovací teploty | [MPa] |
| S _j | Dílčí plochy pod křivkou deformačních odporů | [mm ²] |
| S _{j+1} | Velikost trojúhelníkové plochy pod křivkou def. odp. | [mm ²] |
| S _{výr} | Plocha průmětu výronkové drážky | [mm ²] |

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbole

| | | |
|------------------|---|---------------------------------------|
| $S_{výk}$ | Plocha výkovku k dělicí rovině | [mm ²] |
| t | Toleranční pole | [mm] |
| $ú$ | Úchylka | [mm] |
| $V_{výk}$ | Objem výkovku | [mm ³] |
| $V_{výr}$ | Objem výronku | [mm ³] |
| V_{op} | Objem opalu | [mm ³] |
| V_{pol} | Objem polotovaru | [mm ³] |
| $x_{výr}$ | Největší průměr ve směru rázu | [mm] |
| $x_{výk}$ | Největší průměr | [mm] |
| $y_{výr}$ | Celková výšky výrobku | [mm] |
| $y_{výk}$ | Největší výška | [mm] |
| Δz_j | Výšky plochy výkovku v pohybujícím se dílu zápustky | [mm] |
| α | Součinitel roztažnosti | [K ⁻¹] |
| ρ | Hustota | [kg·m ⁻³] |
| λ | Štíhlostní poměr | [-] |
| λ_t | Tepelná vodivost | [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹] |
| σ_{C10^8} | Odolnost proti únavě | [MPa] |
| σ_d | Napětí pro jednotlivé průřezy výkovku | [MPa] |
| σ_p | Přirozený přetvárný odpor při kovací teplotě | [MPa] |
| σ_p^* | Přirozený přetvárný odpor s vlivem teploty ve výronku | [MPa] |

Zkratky

| | |
|----------|---|
| Označení | Legenda |
| ČSN | Česká technická norma |
| HRC | Zkouška tvrdosti podle Rockwella prováděná indentorem ve tvaru kužele |

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Materiálový list slitiny hliníku AlMg1Si1Mn
- Příloha 2 Průběh teploty, vláken a síly u op. 1.
- Příloha 3 Průběh teploty, vláken a síly u op. 2. var. 1.
- Příloha 4 Průběh teploty, vláken a síly u op. 2. var. 2.
- Příloha 5 Průběh teploty, vláken a síly u op. 2. var. 3.
- Příloha 6 Průběh kovací síly u op. 3. var. 2.
- Příloha 7 Průběhy vláken v op. 3. u var. 1 a var. 2.
- Příloha 8 Průběhy teplot v op. 3. u var. 1 a var. 2.
- Příloha 9 Doporučené rozměry zápuštěk pro kovací linky.
- Příloha 10 Průběhy napětí v jednotlivých průřezech výkovku
- Příloha 11 Podrobné technické specifikace kovacího lisu LZK 1600 P/SH
- Příloha 12 Podrobné technické specifikace ostřihovacího lisu LKOA 200

Seznam výkresů

- PŮLSPOJKA PROUDNICE; 2022-BP-217507-01
- VÝKOVEK PŮLSPOJKY PROUDNICE; 2022-BP-217507-02
- ZÁPUSTKA SPODNÍ 3. op.; 2022-BP-217507-03
- ZÁPUSTKA HORNÍ 3. op.; 2022-BP-217507-04
- ZÁPUSTKA 3. op.; 2022-BP-217507-05
- PŘEDKOVACÍ TRN HORNÍ; 2022-BP-217507-06
- PŘEDKOVACÍ TRN SPODNÍ; 2022-BP-217507-07

| ČSN 42 4400 | | Slitina hliníku tvářená | | | | SLITINA | | | |
|---|--|-----------------------------------|---|--|---|-------------------|------------------|----------|--------|
| STN 42 4400 | | pro všeobecné účely | | | | AlMg1Si1Mn | | | |
| Chemické složení [hm. %] | | | | | | | | | |
| Mg | Si | Mn | Fe | Ti | Zn | Cu | ostatní jednotl. | celkem | Al |
| 0,70-1,20 | 0,70-1,40 | 0,40-1,00 | max 0,50 | max 0,05 | max 0,20 | max 0,10 | max 0,10 | max 0,80 | zbytek |
| Polotovary | | | | | | | | | |
| [1] plechy, pásy, pruhy válcované za studena | | | | | [5] trubky kruhové tažené za studena | | | | |
| [2] tyče kruhové, čtvercové, ploché a šestihranné lisované za tepla | | | | | [6] profily lisované za tepla | | | | |
| [3] tyče kruhové, čtvercové, ploché a šestihranné tažené za studena | | | | | [7] výkovky zápusťkové tvářené za tepla | | | | |
| [4] trubky kruhové lisované za tepla | | | | | | | | | |
| Mechanické vlastnosti | | | | | | | | | |
| Polotovary | [1] | | | [2] | | | [3] | | |
| Rozměr t, d [mm] | t = 0,2-10,0 | t = 0,2-10,0 | ČSN 42 7510-30 | d = 10-22 | ČSN 42 7610-30 | | | | |
| Stav | měkký | vytvrzený ¹⁾ | tvářený | vytvrzený ²⁾ | měkký | | | | |
| Mez kluzu R _p 0,2 [MPa] | 50-80 | min 110 | min 70 | min 240 | 60-90 | | | | |
| Mez pevnosti R _m [MPa] | 110-150 | min 180 | min 130 | min 290 | 120-170 | | | | |
| Tažnost A ₅ [%] | min 18 | min 15 | min 12 | min 10 | min 16 | | | | |
| Tvrдость HB 2,5/62,5/30 | 30-40 | 55-65 | min 35 | min 85 | 50-60 | | | | |
| Modul pružnosti E [GPa] | inf. 64 | inf. 68 | inf. 66 | inf. 70 | inf. 64 | | | | |
| Polotovary | [3] | [4] | [5] | [6] | [6] | [7] | | | |
| Rozměr t, d [mm] | d = 10-22 | ČSN 42 7714 | d < 150, t = 1-10 | ČSN 42 7805 | t = 2-10 | ONZ 42 9240 | | | |
| Stav | vytvrzený ²⁾ | tvářený | vytvrzený ¹⁾ | tvářený | vytvrzený ^{1) 2)} | vytvrzený | | | |
| Mez kluzu R _p 0,2 [MPa] | min 230 | min 70 | min 100 | min 70 | min 100/255 | min 215 | | | |
| Mez pevnosti R _m [MPa] | min 280 | min 130 | min 200 | min 130 | min 200/290 | min 290 | | | |
| Tažnost A ₅ [%] | min 10 | min 12 | min 17 | min 12 | min 12/10 | min 8 | | | |
| Tvrдость HB 2,5/62,5/30 | min 85 | min 35 | min 55 | min 35 | min 65/85 | min 80 | | | |
| Modul pružnosti E [GPa] | inf. 70 | inf. 66 | inf. 68 | inf. 66 | inf. 68/70 | inf. 70 | | | |
| 1) za studena, 2) za tepla | | | | | | | | | |
| Fyzikální vlastnosti | | | | | | | | | |
| Hustota | Měrná tepelná kapacita | Tepelný součinitel roztažnosti | Tepelná vodivost | Konduktivita | | | | | |
| ρ [kg . m ⁻³] | c _p [J . kg ⁻¹ . K ⁻¹] | α [K ⁻¹] | λ _t [W . m ⁻¹ . K ⁻¹] | λ _g [MS . m ⁻¹] | | | | | |
| 2 700 | 895 | 24,1.10 ⁻⁶ (20-200 °C) | 167-209 | 30-32 (měkký) 26-28,5 (vytvrzený) | | | | | |
| Odolnost proti degračním procesům | | | | | | | | | |
| ODOLNOST PRO KOROZI | | | | | | | | | |
| velmi dobrá odolnost proti atmosférické korozi a koroznímu praskání | | | | | | | | | |
| ODOLNOST PROTI ÚNAVĚ | | | | | | | | | |
| σ _{C10⁶} [MPa] | 60 (měkký stav) | 100 (vytvrz. stav) | | | | | | | |

Technologické údaje

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

| | | |
|-------------------|---------------|---|
| žihání na měkko | 380 °C, 1-6 h | ochlazení 60-100 °C.h ⁻¹ do 200 °C, potom na vzduchu |
| rozpuštěcí žihání | 520–535 °C | ochlazení ve vodě 20-30 °C |
| umělé stárnutí | 155–160 °C | 4-8 h / vzduch |

TVAŘITELNOST

velmi dobrá za tepla (360-460 °C) i za studena (v měkkém stavu)

SVAŘITELNOST

velmi dobrá při odporovém svařování (bodovém a na tupo); dobrá při svařování MIG, TIG a uhlík. elektrodou; dobrá - podmíněná při svařování plamenem; předehřev 100–180 °C podle tloušťky materiálu

OBROBITELNOST

| | | | | |
|-------------------------------------|------|------|------|-------------|
| tvrdost HB max | 50 | 65 | 95 | ČSN 42 4380 |
| třída obrobitelnosti | 12d | 11d | 10d | 10d |
| koef. obrobitelnosti k _v | 1,59 | 1,26 | 1,00 | 1,00 |

TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY

zkouška lámavosti podle ČSN 42 0401 pro polotovary [1] a [2]

zkouška hloubením podle Erichsena (ČSN 42 0427) pro polotovary [1] v měkkém stavu

zkouška rozválcování podle ČSN 42 0416 pro polotovary [4] a [5]

Použití

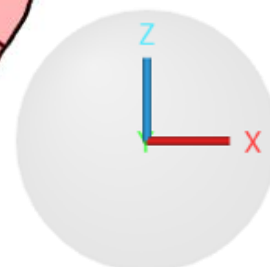
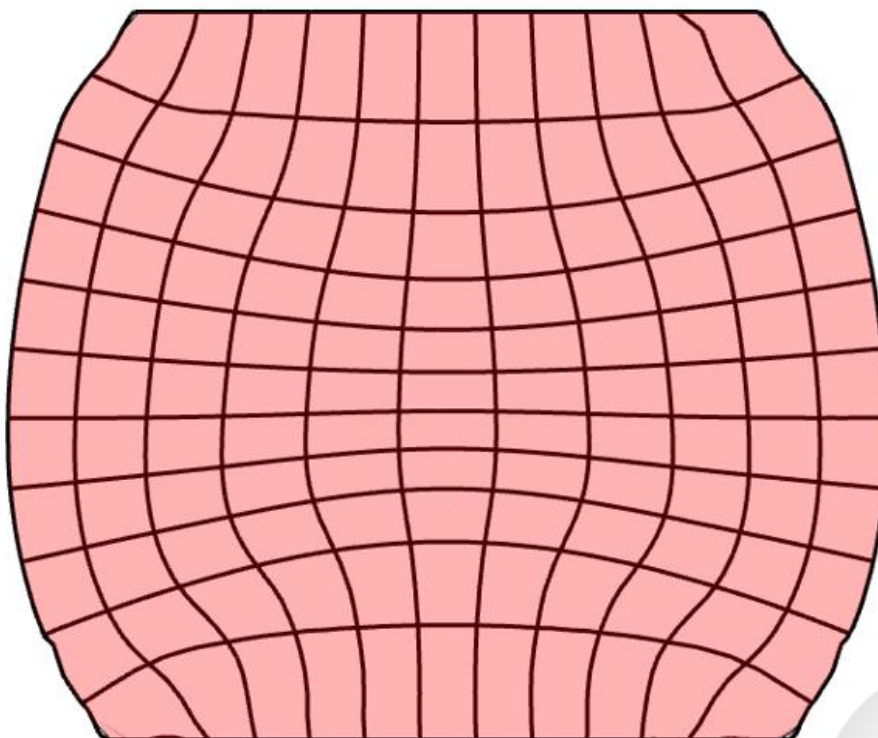
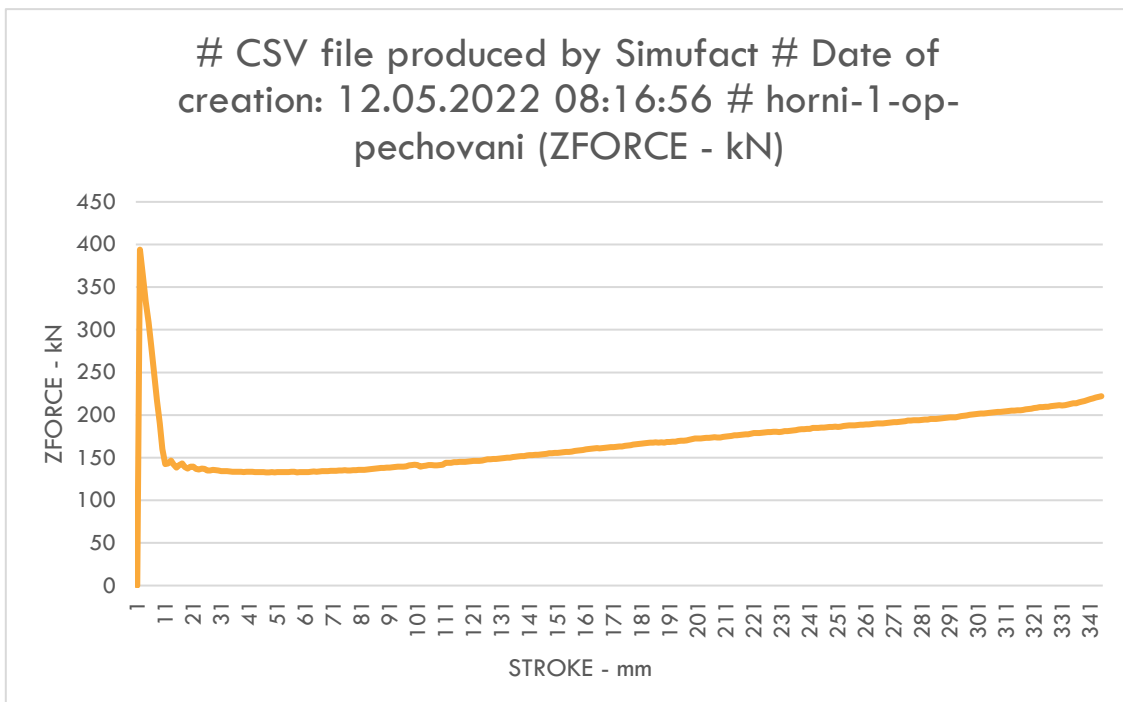
Středně namáhané konstrukce letadel a vozidel a součásti pro jemnou mechaniku a optiku.

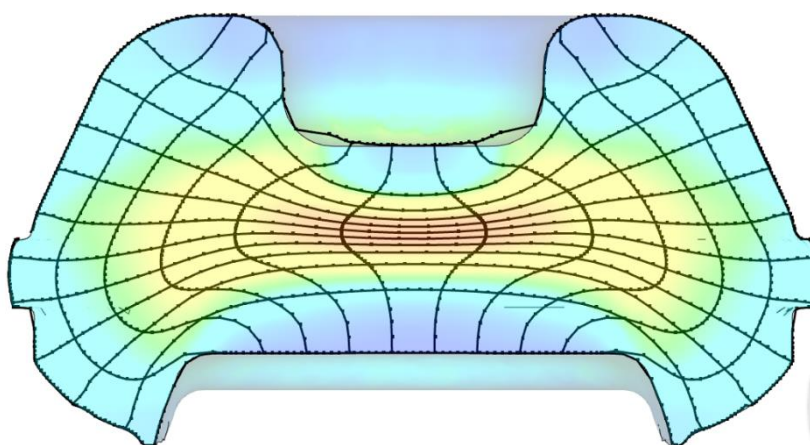
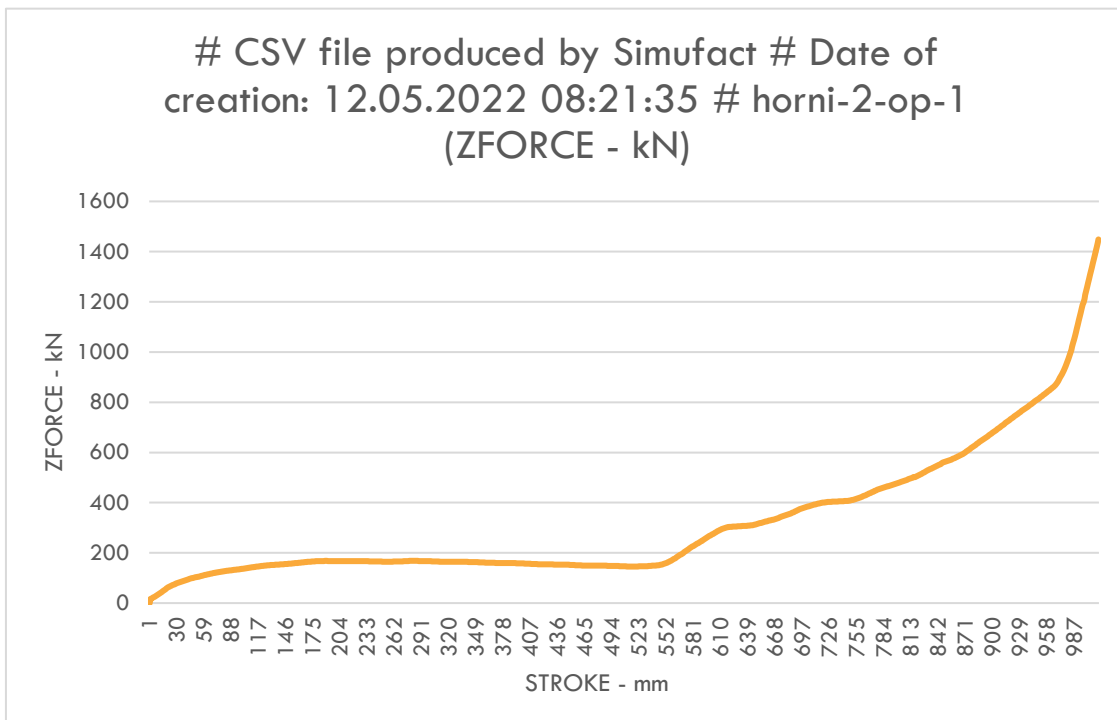
Ostatní vlastnosti

| | | |
|-----------------------------------|------------------|--------------------------------|
| Barevné značení podle ČSN 42 1407 | | Třída odpadu podle ČSN 42 1331 |
| základní – bílá | vedlejší – modrá | 818 |

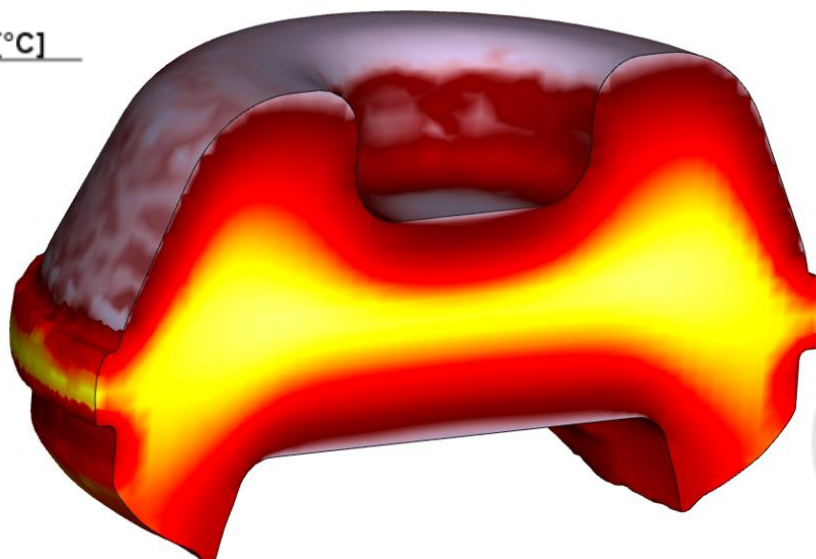
Porovnání se zahraničními materiály

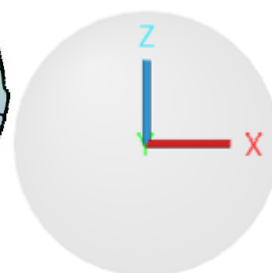
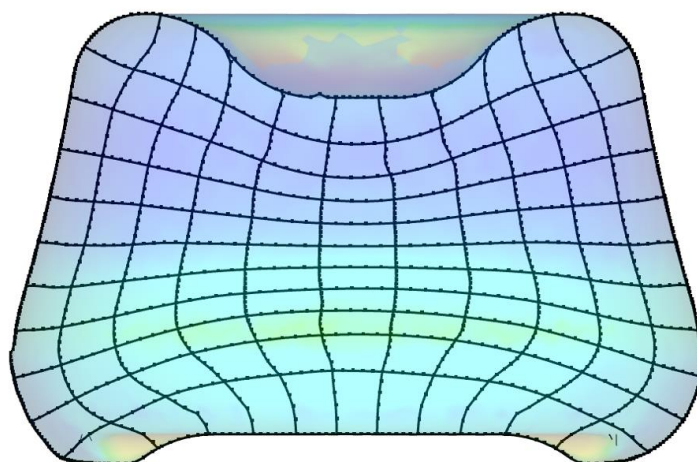
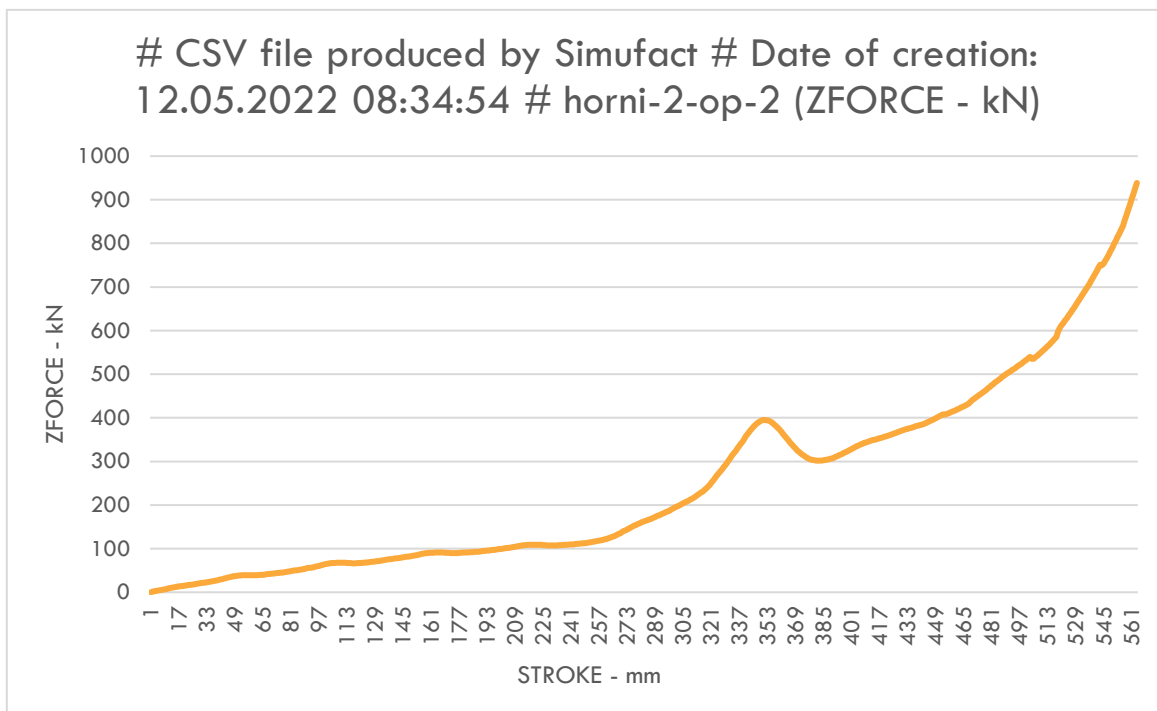
| ISO | | EURO | | Německo | |
|--------------|------------|--------------------|-------------|------------|--------------|
| AlSi1MgMn | ISO 209-1 | AL-P6082 | EN 2326 | AlMgSi1 | DIN 1725 T.1 |
| AlSi1Mg0,5Mn | ISO 209-1 | AW-AlSi1Mg0,5Mn | EN 573-3 | | |
| | | AW-AlSi1Mg0,5Mn(A) | EN 573-3 | | |
| | | AW-AlSi1MgMn | EN 573-3 | | |
| | | AW-AlSi1MgMn(A) | EN 573-3 | | |
| Francie | | Velká Británie | | Rusko | |
| 6082 | NF A50-451 | 6082 | BS 1474 | AD35 | GOST 4784-74 |
| USA | | Japonsko | | Kanada | |
| A96061 | ASTM B209M | 6061 | JIS H4000 | 6351 | CSA HA.5 |
| A96351 | ASTM B221M | | | | |
| Itálie | | Rakousko | | Švédsko | |
| P-AlSi1MgMn | UNI 9006/4 | AlMgSi1 | ÖNORM M3430 | AlSi1MgMn | SS 144212 |
| Polsko | | Maďarsko | | Norsko | |
| AlMgSi1Mn | PN H88026 | AlMgSi1 | MSZ 3714/1 | AlSi1Mg | NS 17305 |
| AlMg1SiCu | PN H88026 | | | | |
| Finsko | | Švýcarsko | | Španělsko | |
| AlSi1Mg | SFS 2593 | AlMgSi1Mn | SN 210900 | Al-1SiMg | UNE 38334 |
| | | | | Al-1SiMgMn | UNE 38348 |



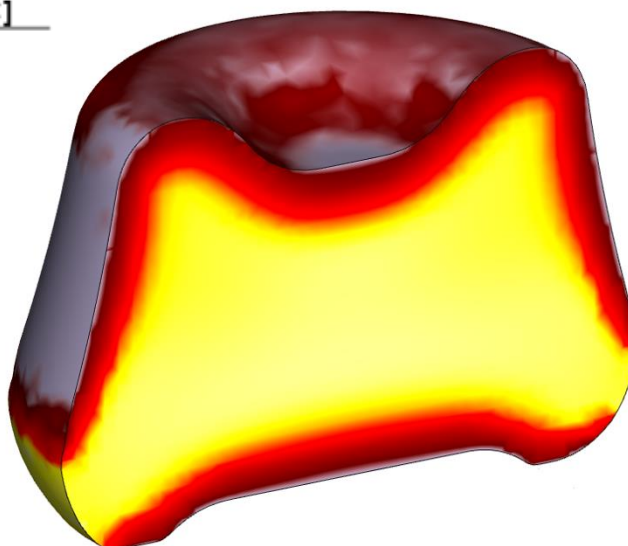


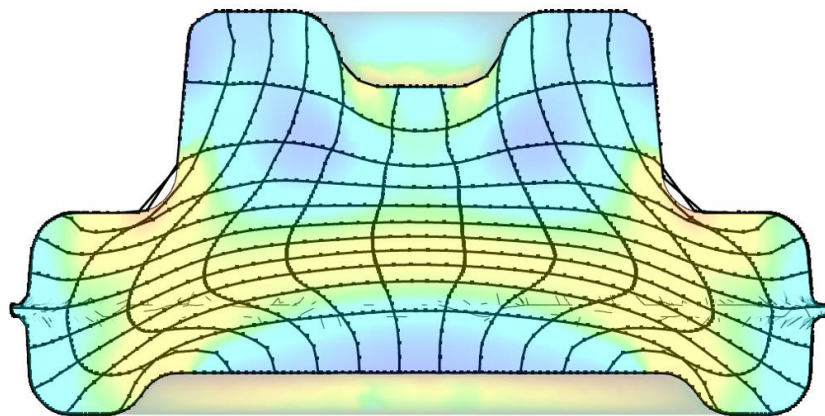
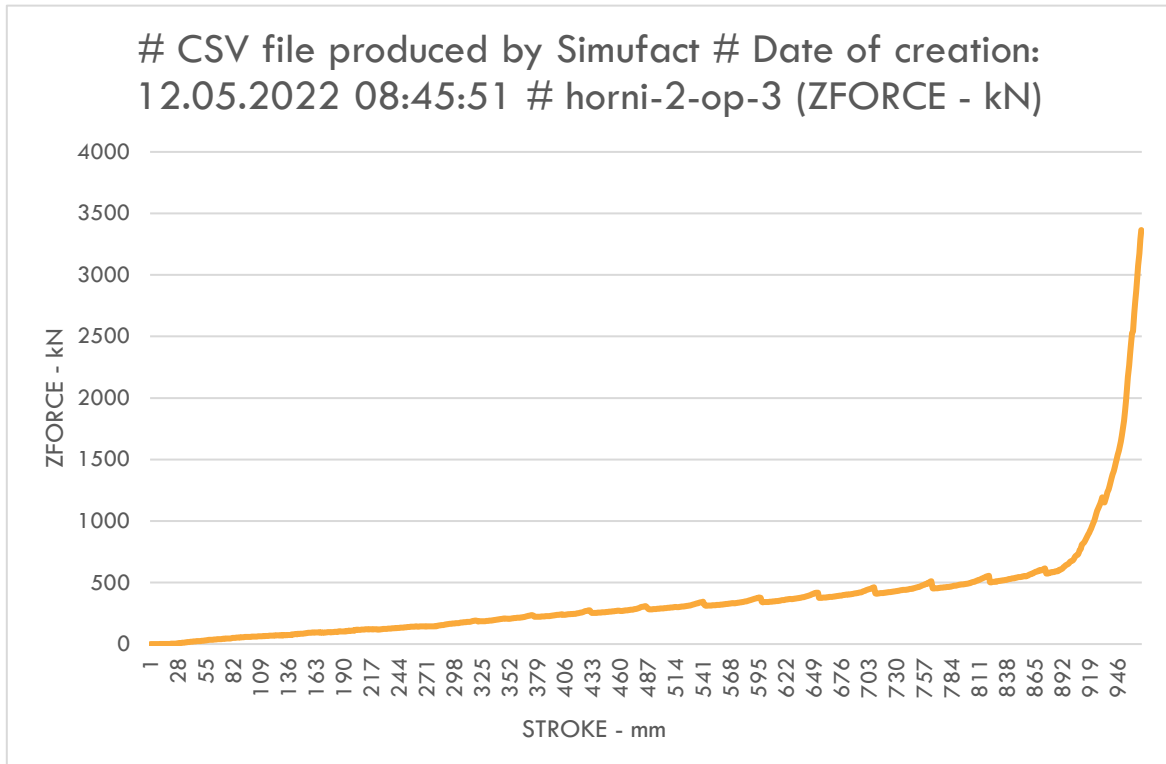
Temperature [°C]



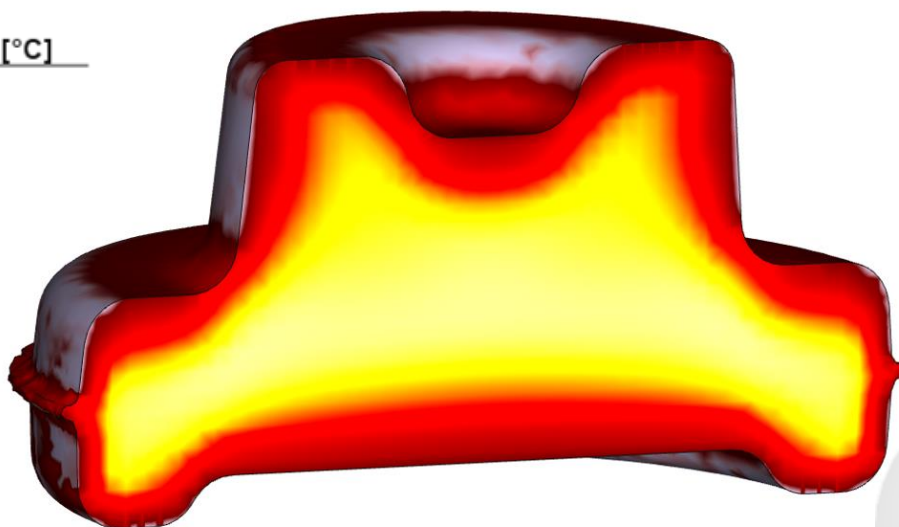


Temperature [°C]

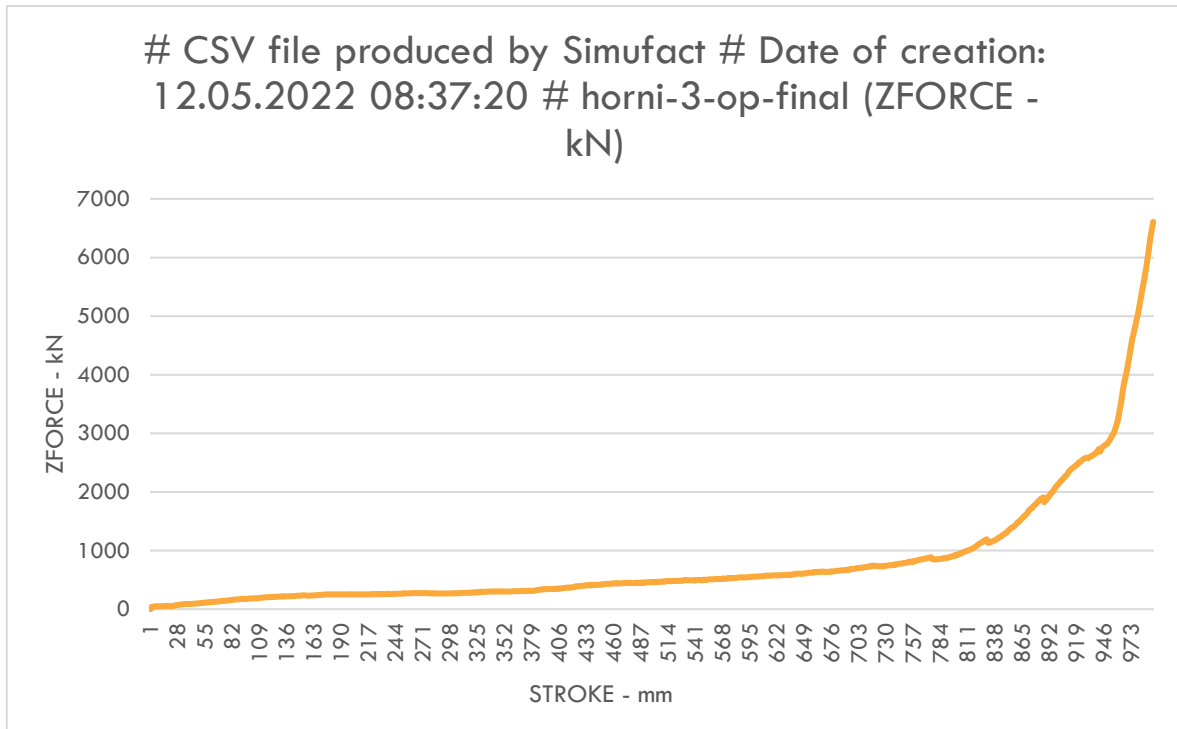




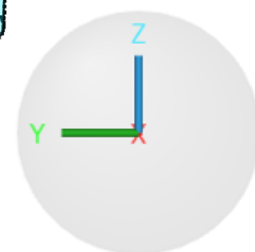
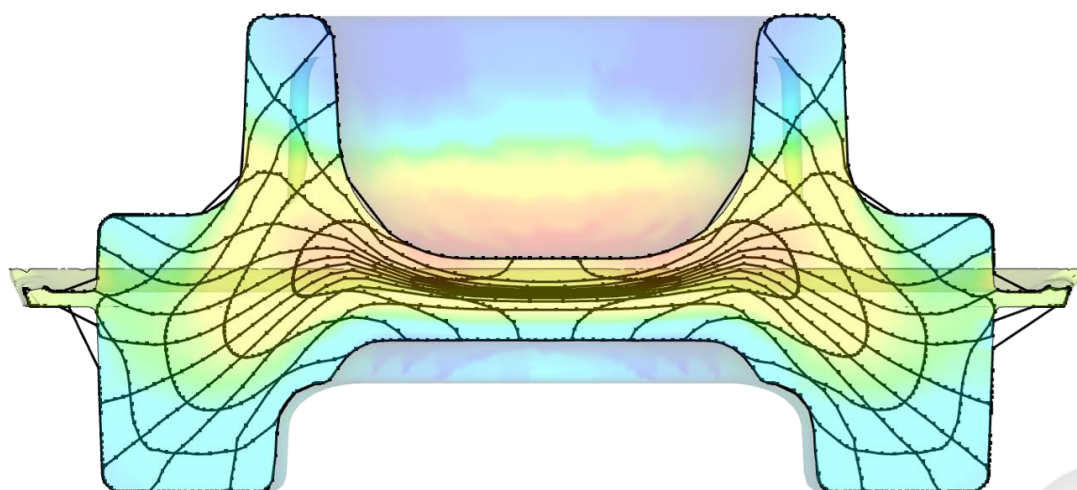
Temperature [°C]



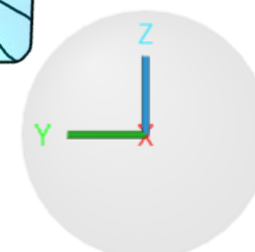
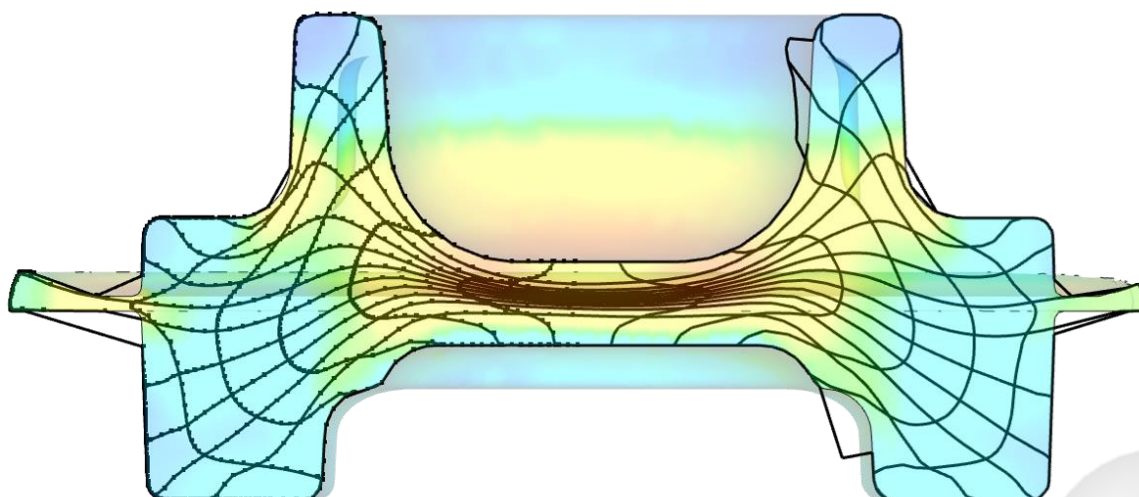
Průběh kovací síly u op. 3. var. 2.



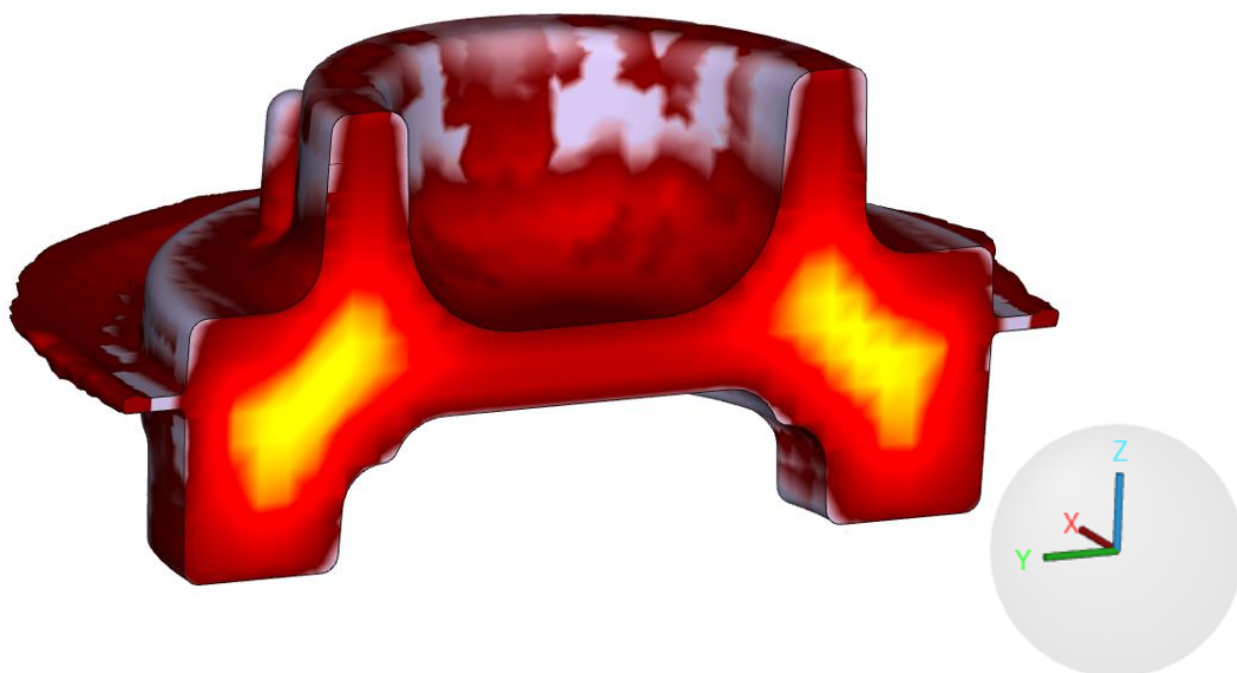
Var. 1.



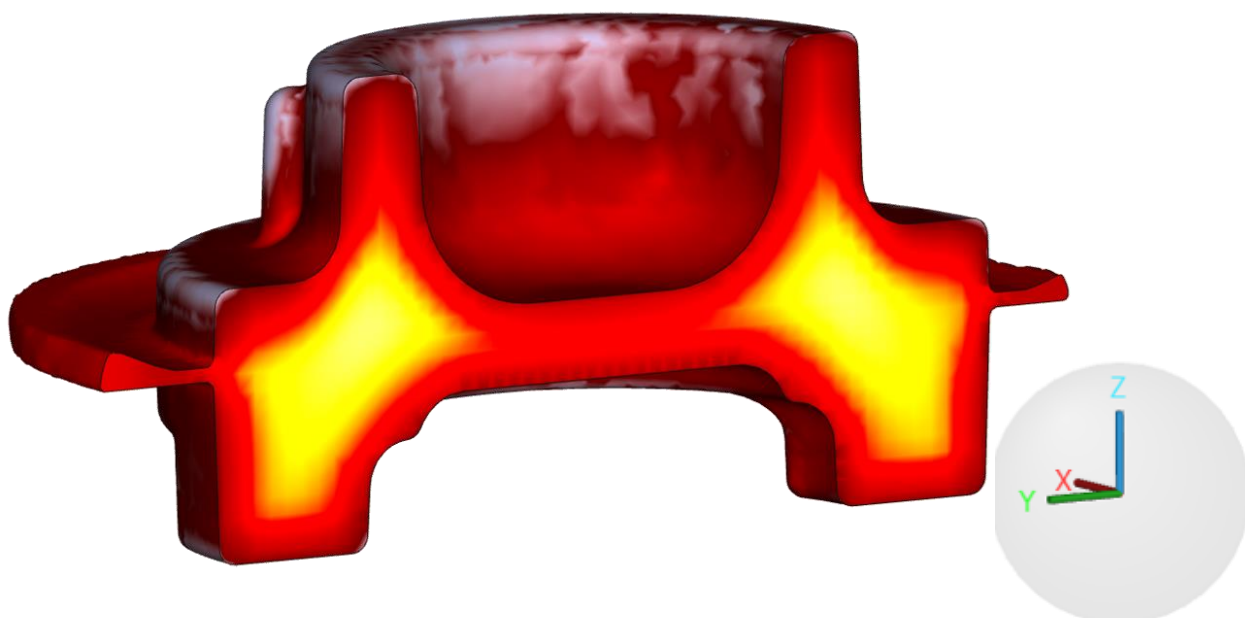
Var. 2



Var. 1.

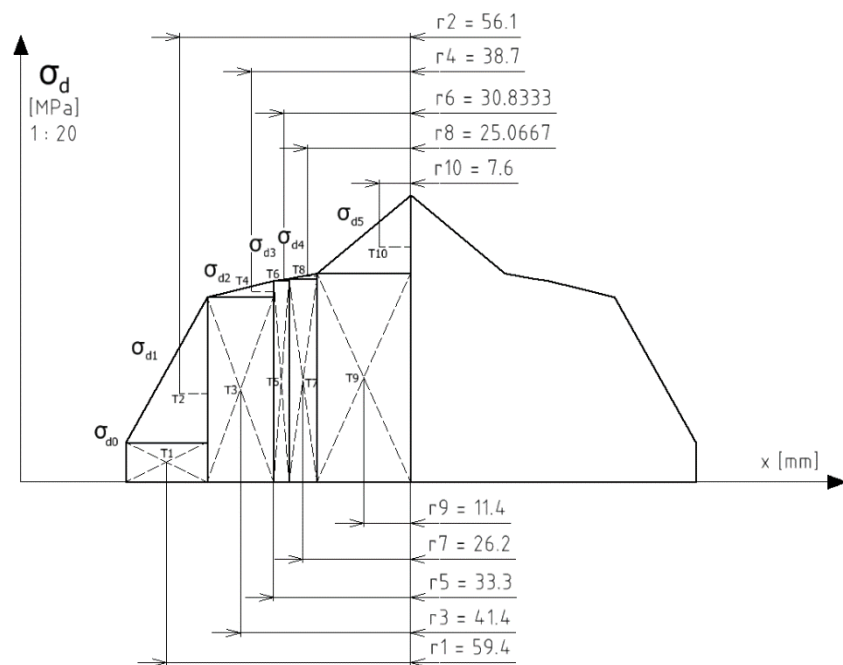
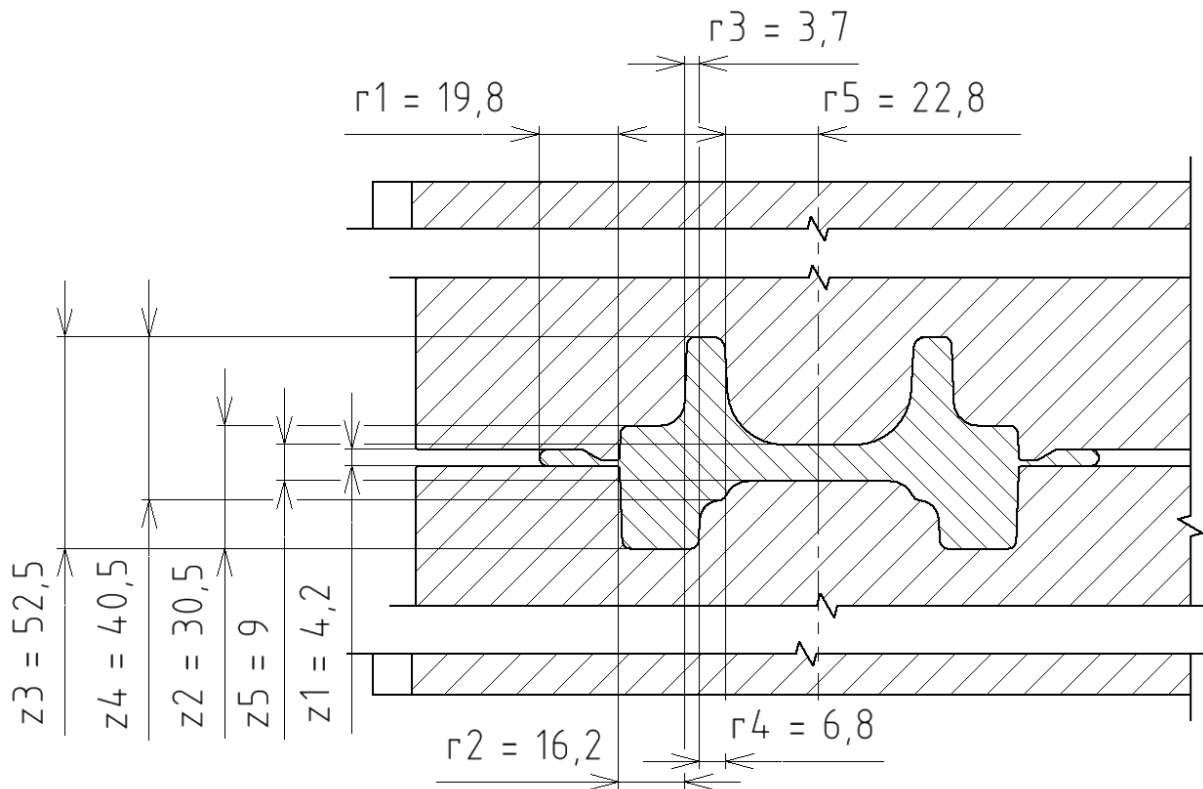


Var. 2



Doporučené rozměry zápustek pro kovací linky.





TECHNICKÁ DATA

| | | LZK 1600 P/SH |
|-------------------------------|----------|---|
| Jmenovitá tvářecí síla | kN | 16000 |
| Sevření | mm | 760 |
| Průchod | mm | 1230 |
| Upínací plocha stolu | mm | 1180x1120 |
| Upínací plocha beranu | mm | 1138x920 |
| Hydraulické přestavení beranu | mm | 10 |
| Zdvih/Počet zdvihů | mm/min-1 | 280/85 |
| Instalovaný výkon | kW | 75 |
| Rozměry stroje d*š*v | m | 2,0*3,0*5,5 |
| Přestavování beranu | - | ruční |
| Uvolňování beranu | - | ručním hydraulickým čerpadlem a hydraulickým pístem |

S - provedení se svařovaným stojanem

H - hydraulické přestavení a uvolnění beranu

TECHNICKÁ DATA

| | | LKOA 200 |
|---------------------------|----------|-------------|
| Tvářecí síla | kN | 2000 |
| Sevření | mm | 585 |
| Průchod | mm | 1420 |
| Upínací plocha stolu | mm | 1415x1000 |
| Upínací plocha beranu | mm | 1200x800 |
| Přestavování beranu | mm | 100 |
| Zdvih/Počet zdvihů | mm/min-1 | 210/55 |
| Celkový instalovaný výkon | kW | 18 |
| Rozměry stroje v*š*h | m | 4,1*2,3*2,2 |