



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

BEZVÝRONKOVÉ KOVÁNÍ VÝKOVKU TALÍŘE

FLASHLESS FORGING OF THE SHALLOW PLATE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PETER LEŽOVIČ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ZDENĚK LIDMILA, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Peter Ležovič

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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 diplomové práce:

Bezvýronkové kování výkovku talíře

v anglickém jazyce:

Flashless forging of the shallow plate

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výkovek talíře je v současné době kován klasickým zápustkovým kovááním ve třech operacích na klikovém kovacím lise LZK 4000. Výronek na výkovku je následně ostříhován v nástroji na ostříhovacím lise LDO 500. Protože se jedná o relativně jednoduchý, rotační tvar výkovku, bylo ve výrobním závodě rozhodnuto prověřit možnost zhotovení výkovku v uzavřeném nástroji, bez výronku.

Cíle diplomové práce:

Práce bude obsahovat popis stávající technologie kování součásti talíř, literární studii věnovanou zápustkovému kováání se zaměřením na technologii kování v uzavřeném nástroji. Následovat bude návrh technologie kování talíře v uzavřeném nástroji, včetně potřebných technologických výpočtů a úplné výkresové dokumentace kovacího nástroje. Práce bude obsahovat i technicko-ekonomické zhodnocení navrženého řešení a závěry.

Seznam odborné literatury:

1. ASM-Metals Handbook: Forming and Forging. Vol.14. USA ASM International, 2004. S.978. ISBN 0-87170-020-4
2. 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.
3. 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.
4. SAMEK, Radko, Zdeněk LIDMILA a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. Speciální technologie tváření. Část II. 1. vyd. Brno: CERM, 2011. 155s. ISBN 978-80-214-4406-5
5. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 21.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

LEŽOVIČ Peter: Bezvýronkové kování výkovku talíře

Projekt vypracovaný v rámci inžinierskeho štúdia predkladá návrh zmeny v technológii výroby výkovku taniera. Na základe literárnej štúdie problematiky tvárnenia, konkrétne zápusťkového kovania, boli za účelom úspory materiálu navrhnuté zápusťky pre kovanie v postupovom uzavretom nástroji. Súčasť bude vyrábaná stávajúcim strojným vybavením iba so zmenou nástroja a vynechaním operácie ostrihovania výronku. Sčast'ou práce je výkresová dokumentácia navrhnutého nástroja a ekonomické zhodnotenie návrhu.

Kľúčové slová: bezvýronkové kovanie, výkovok, objemové tvárnenie, kovací lis

ABSTRACT

LEŽOVIČ Peter: Flashless forging of the shallow plate

The project elaborated in frame of engineering studies submits suggestion for changes on technology of production of shallow plate forging. Based on literary pursuit of a problem of metalforming, specifically die forging, in order to save material, closed forging dies were designed for application in precise forging. Plate will be forged without changing machines, except changing dies and skipping flash cutting operation. Project contains drawings of designed dies and technical-economical estimation.

Keywords: flashless forging, forging, metalforming, forging press

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

LEŽOVIČ, Peter: *Bezvýronkové kování vykovku talíře*. Brno, 2014. 46s, 11 výkresov, 3 přílohy, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Týmto prehlasujem, že predkladanú diplomovú prácu som vypracoval samostatne, s využitím uvedenej literatúry a podkladov, na základe konzultácií a pod vedením vedúceho diplomovej práce.

V Brne dňa

.....
Podpis

POĎAKOVANIE

Týmto ďakujem pánovi doc. Ing. Zdeňkovi Lidmilovi, CSc. za cenné pripomienky a rady týkajúce sa spracovania diplomovej práce. Tiež chcem poďakovať pánovi Ing. Bohuslavovi Kočimu za možnosť nadobudnúť nové poznatky a praktické skúsenosti v priemyselnom prostredí firmy HKS Forge, s.r.o.

OBSAH

Abstrakt

Bibliografická citácia

Čestné prehlásenie

Pod'akovanie

Obsah

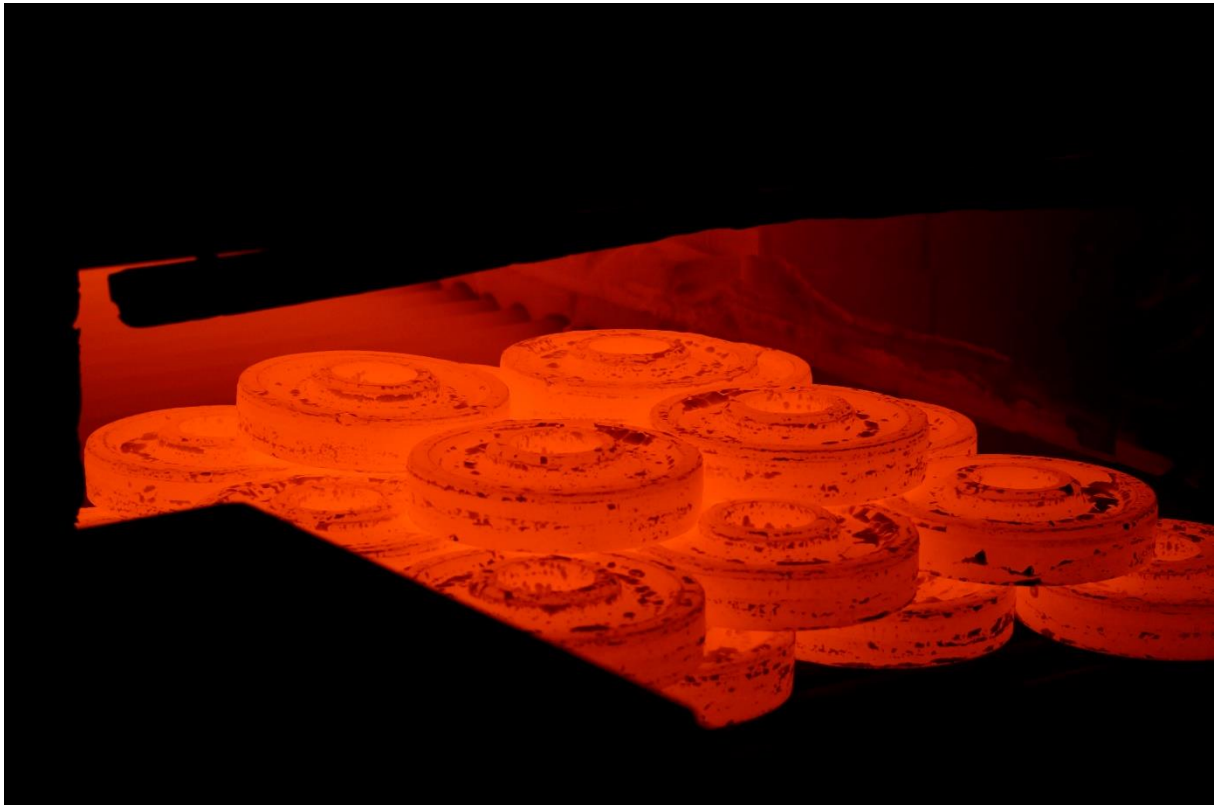
Úvod.....	11
1 Rozbor problému a stávajúca situácia.....	12
1.1 Funkcia výrobku.....	12
2 Literárna štúdia	13
2.1 Rozdelenie tvárnenia.....	13
2.2 Technológia kovania.....	14
2.3 Voľné kovanie.....	14
2.4 Zápustkové kovanie.....	15
2.5 Stroje pre zápustkové kovanie	15
2.6 Polotovary pre zápustkové kovanie	16
2.7 Delenie polotovaru.....	17
2.8 Konštrukcia zápustiek.....	18
2.9 Upínanie zápustiek	18
2.10 Vedenie zápustiek	19
2.11 Vložkovanie zápustiek	20
2.12 Materiály používané na výrobu zápustiek, zápustkových vložiek a vyhadzovačov	21
2.13 Kovacia dutina	21
2.14 Výronková drážka	22
2.15 Ohrev a kovacie teploty.....	22
2.16 Vplyv na štruktúru materiálu.....	24
2.17 Prídavky na obrábanie.....	25
2.18 Technologické prídavky.....	25
2.19 Funkčné plochy.....	27
3 Výrobný cyklus súčasti.....	28
3.1 Charakteristika materiálu	29
3.2 Spôsob delenia materiálu.....	29
3.3 Voľba výšky prírezu	30
3.4 Využitie materiálu	31

3.5	Ohrev materiálu	31
3.6	Návrh tvaru zápustiek	32
3.6.1	Prvá operácia	32
3.6.2	Výpočet sily potrebnej v prvej operácii	33
3.6.3	Návrh zápustiek druhej operácie	34
3.6.5	Tvar kovacej dutiny zápustkových vložiek.....	34
3.6.6	Návrh zápustiek dokončovacej operácie	35
3.6.7	Výpočet kovacej sily	35
3.7	Riešenie vyhadzovania	37
3.8.1	Vyhadzovač pre druhú operáciu.....	37
3.8.2	Vyhadzovač pre tretiu operáciu	38
4	Simulácia kovania v navrhnutých tvaroch zápustiek.....	39
4.1	Simulácia prvej operácie	39
4.2	Simulácie kovania v druhej zápustke.....	39
4.3	Simulácia dokončovacej operácie	40
5	Technicko-ekonomické zhodnotenie návrhu	43
5.1	Náklady na materiál.....	43
5.2	Náklady na energie ostrihovacieho zariadenia	43
5.3	Náklady na obsluhu ostrihovacieho zariadenia.....	44
6	Závery	46
	Zoznam použitej literatúry.....	47
	Zoznam použitých skratiek a symbolov	48
	Zoznam príloh	49

ÚVOD [3]

Automobilový priemysel je postavený na sériovej výrobe súčastí. Základnou požiadavkou kupujúceho zákazníka je popri kvalite a schopnosti rýchleho dodania cena výrobku, či súčasti. Z týchto požiadaviek vyplýva hlavný motivátor inovácie a zmien vo výrobnom procese, a to minimalizácia nákladov pri zachovaní konkurencieschopnosti predajcu.

Na produkcii automobilového priemyslu, ale aj iných odvetví sa významne podieľa kovárenský priemysel. Súčasné trendy v odvetví kladú na výrobcu stále väčšie nároky. Je požadovaná vyššia produktivita, lepšia kvalita výrobkov a to často pri zachovaní, alebo dokonca znížení nákladov. To vedie k inováciám vo výrobnom procese, ktoré aj napriek počiatočným investíciám pri malých čiastkových zmenách môžu v konečnom dôsledku podstatne ovplyvniť bilanciu veľkých sérií.



obr. 1 Výkovky vychádzajúce z priebežnej pece po tepelnom spracovaní

1 ROZBOR PROBLÉMU A STÁVAJÚCA SITUÁCIA

Výkovok je v súčasnosti kovaný konvenčným spôsobom na zápustkovom kovacom lise LZK 4000 od firmy Šmeral Brno a.s. (obr. 2) na tri operácie. Po vykúti je na ostrihovacom lise LDO 500 zbavený výronku. Ročne firma HKS Forge, s.r.o. dostane objednávky na tento výkovok v celkovom množstve približne 60 000 ks. Takáto sériovosť s možnosťou predpokladať opakovanie objednávok vedie k zváženiu efektivity výroby a dáva dobré predpoklady na návrat investícií do zmien a inovácií vo výrobnom procese. Úspory sú obvykle najsilnejším motivátorom k zmenám. Výrobné náklady, predovšetkým platy zamestnancov, spotrebovaná energia a materiál, významne ovplyvňujú koncovú predajnú cenu výrobku a tým zisk výrobcu a jeho konkurencieschopnosť.

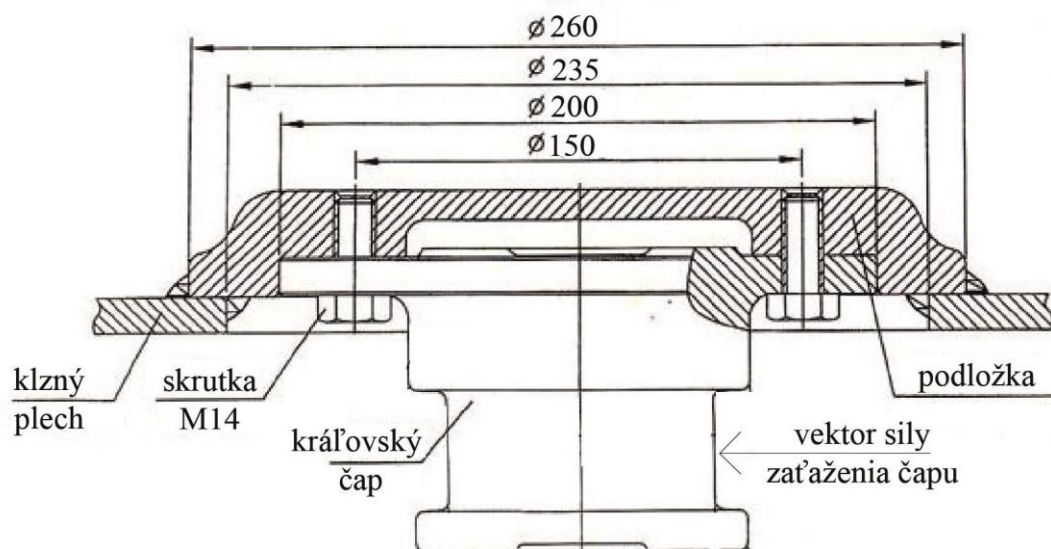


obr. 2 LZK 4000 [13]

Cieľom práce je navrhnúť zápustky pre postupové kovanie za tepla bez výronku. Po tejto zmene sú očakávané predovšetkým úspory na spotrebe materiálu. Tiež však bude skrátený výrobný čas výkovku o operáciu ostrihovania výronku a tým vzniknú ďalšie úspory na prevádzke stroja a náklady na obsluhu. Za predpokladu, že aktuálne strojné vybavenie bude postačovať zvýšeným nárokom na presnosť delenia materiálu, silu kovania a malé výkyvy teplôt ohrevu na indukčnom ohrievači, investície budú minimalizované na náklady na nové nástroje. Budú tiež zvýšené požiadavky na presnosť obsluhy pri zakladaní materiálu, dôslednosť pri mazaní zápustiek a ich čistení od okují.

1.1 Funkcia výrobku

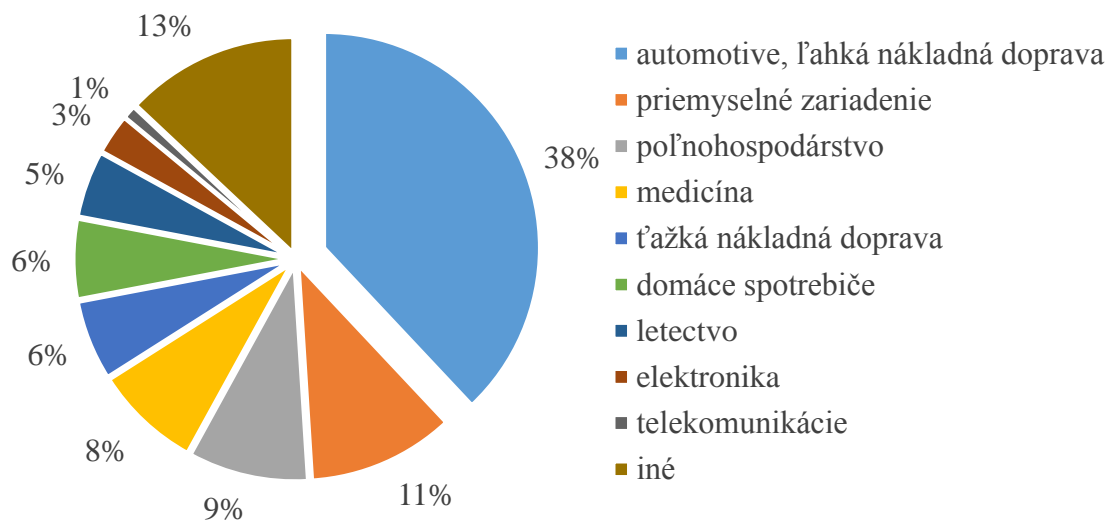
Výkovok je využitý v nákladnom automobilovom priemysle ako nosná podložka pre čap návesu kamiónu. K rámu návesu je privarený a čap je v ňom držaný skrutkami M14, usadený v dutine s priemerom $\varnothing 200$ mm po obrobení. Čap je namáhaný na ohyb a toto zaťaženie je prenesené na podložku. Schéma uloženia a zaťaženia čapu a podložky na návese je na obr. 3.



obr. 3 Schéma upevnenia podložky a čapu na náves [16]

2 LITERÁRNA ŠTÚDIA [3], [1]

Tvárnenie je jedným z najstarších spôsobov práce s kovovými materiálmi. S postupom času sa vyvíjalo až do dnešnej podoby, keď má veľký podiel v sériovej výrobe prevažne automobilového priemyslu, ako vyplýva z prieskumu Precision Metalforming Association z roku 2013, viď obr. 4. Súčasnú pokročilú technológiu výroby strojov, nástrojov, automatizácie výrobného procesu a v neposlednom rade počítačová podpora v podobe simulácií procesov a plánovania, dávajú podnikom nebývalý výber z možností spôsobov výroby. Technológie tvárenia sú využívané predovšetkým kvôli efektívnosti práce s materiálom a opakovateľnosti procesu, čiže vhodnosti pre sériovú výrobu. Pozitívnu vlastnosťou výkonnosti je tiež ich presnosť a dobré mechanické charakteristiky.



obr. 4 Percentuálne zastúpenie tvárenia tvárenia v jednotlivých odvetviach [3]

2.1 Rozdelenie tvárenia [11], [12]

Podľa formy vstupného polotovaru, s ktorým sa pracuje, rozdeľujeme tvárenie na plošné a objemové.

Plošné tvárenie ako vstupný polotovár využíva tabule plechu, zvitky plechu, alebo rondely, či výstrižky z plechu. Ich tvárenie obvykle prebieha za studena, prípadne za nízkych teplôt, vzniknutých premenou energie na teplo trením. Z dvojrozmerného polotovaru vzniká trojrozmerný výrobok, pričom hrúbka jeho steny sa môže stenčiť, ale často je zachovaná pôvodná. V plošne tvárnom materiáli vzniká prevažne ťahové napätie, vedúce k deformácii elastickej a pri dostatočnom zaťažení aj plastickej. Elastická deformácia je v tomto prípade nežiaduca a pri niektorých výrobkoch je nutné počítať s vyšším odpružením, teda so snahou materiálu vrátiť sa do pôvodného tvaru.

Objemové tvárenie pracuje s polotovarmi väčších hrúbok, a teda aj objemov. Hlavným rozdielom medzi objemovým a plošným tvárením je v spôsobe zaťaženia formovaného materiálu. Zatiaľ čo plechy sú pri tvárnení zaťažené ťahovým napätím, v materiáloch pri objemovom tvárnení zväčša prevláda tlakové napätie. Polotovár podlieha veľkým plastickým deformáciám, zmenám tvaru a elastickej deformácie sú zanedbateľné. Procesy objemového tvárenia sú rozdeľované podľa teploty materiálu a podľa spôsobu akým je menený jeho tvar. Špecifickými procesmi objemového tvárenia sú valcovanie, pretláčanie, ťahanie drôtov a profilov a kovanie.

2.2 Technológia kovania [11], [12]

Kovanie je progresívna technológia spadajúca do kategórie objemového tvárnenia. Vyvíja sa už tisíce rokov od dôb kovania kladivom na nákove až do dnešnej podoby, keď je vďaka moderným technológiám možné mať veľmi presné a kvalitné výkovky. Dnes dosahuje vysokej efektivity produkcie kovových výrobkov v priemysle. Výkovky sú produkty kovania, vyrábané s pomerne dobrou presnosťou a dobrými mechanickými vlastnosťami. Mnohé pozitíva kovania sú dnes kľúčovým faktorom výberu technológie pre výrobu. Počiatočné vysoké náklady na stroj a nástroje sú vyvážené rýchlosťou a kvalitnou produkciou výrobkov vysokej kvality.

Technológie fungujúce na princípe kovania sa líšia svojím využitím, používanými nástrojmi a vlastnosťami výrobku po procese. Kovanie je možné rozdeliť podľa viacerých faktorov. Podľa charakteru toku materiálu a typu zápustiek či nástroja je kovanie delené na:

- voľné kovanie,
- zápustkové kovanie,
- rotačné kovanie.

Podľa teplôt, za akých dochádza k deformácii materiálu sa delí na:

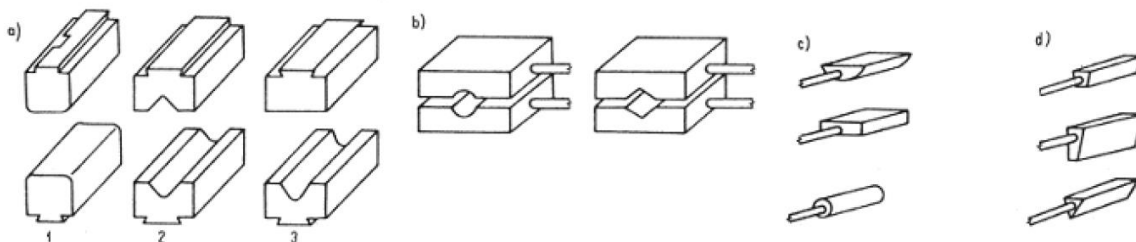
- kovanie za tepla,
- kovanie za polohrevu,
- kovanie za studena.

Podľa použitého stroja rozlišujeme:

- kovanie na bucharoch,
- kovanie na zvislých kovacích lisoch,
- kovanie na vodorovných kovacích lisoch,
- a kovanie na vretenových lisoch.

2.3 Voľné kovanie [1], [10], [12]

Voľné strojné kovanie prebieha väčšinou na lisoch alebo bucharoch. Polotovarom bývajú predhriaté ingoty, alebo predvalky, ktoré môžu byť veľkých rozmerov a hmotností až do desiatok, či dokonca stoviek ton. Umiestňované sú potom strojnými manipulátormi. Kovacie nástroje majú jednoduchý tvar, vid' obr. 5. Obvykle sú nimi kovadlá rovinné, tvarové, alebo kombinované. Výkovky sú často zhotovené na viacero úderov so zmenou polohy, aby bol dosiahnutý požadovaný tvar. Výrobok zhotovený voľným kovaním môže byť predkovkom pre zápustkové kovanie, častejšie sú však produktom rozmerné súčasti.



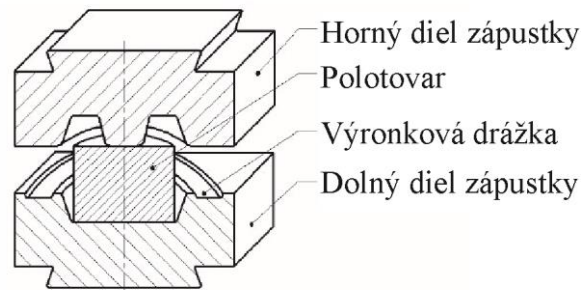
obr. 5 Nástroje voľného strojného kovania [15]

- a) kovadlá
 - 1 rovné
 - 2 tvarové
 - 3 kombinované
- b) hladiace podložky
- c) naznačovacie príložky
- d) sekáče

Ručné kovanie je využívané prevažne v umeleckej oblasti. Kováč pracuje vlastnou silou na kovadline s rôznymi nástrojmi, obvykle kladivom. Proces môže byť zdĺhavý a náročný a preto nie je vhodný pre veľkovýrobu.

2.4 Zápustkové kovanie [1], [12],

Je mladším spôsobom kovania. Tok materiálu je riadený tvarom zápustiek, a tak je v porovnaní s voľným kovaním presnejšie a lepšie uplatniteľné v sériovej výrobe. Nástrojom je dvojdielna oceľová forma, ktorá tvarom zodpovedá požadovanému výkovku, vid' obr. 6. Zápustky sú na konci zdvihu ideálne úplne zaplnené materiálom, prebytok vyteká do výronkovej drážky. V porovnaní s voľným kovaním sú dosahované rozmery výrobku presnejšie a povrch je kvalitnejší, s menšou drsnosťou. Akosť výkovkov zhotovených zápustkovým kovaním je teda proti voľnému kovaní lepšia, ale nie vždy vyhovuje požiadavkám kladeným na výsledný produkt a povrch je treba ďalej opracovať. S ohľadom na ďalšie takéto spracovanie tovaru sú k rozmerom pridávané prídavky na obrábanie.



obr. 6 Schéma zápustiek bucharu [4]

Kuje sa na bucharoch alebo na lisoch. Podľa potreby je na bucharoch prevedený jeden, alebo viac zdvihov, prípadne na lisoch jedna a viac operácií. Pri viacoperačnom kutí na lise je pre každú operáciu vyhotovená zápustka pre daný tvar. Kovanie v zápustkách je použiteľné pre polotovary až do hmotností v stovkách kilogramov. Pri menších hmotnostiach a jednoduchých tvaroch výkovku z dobre tvárnych materiálov je možné kuť aj bez predohrevu. Pri návrhu nástroja pre zápustkové kovanie je potrebné vopred zvážiť, alebo poznať stroj, na ktorom sa bude kovať, pretože zápustky lisov a bucharov sa od seba odlišujú.

2.5 Stroje pre zápustkové kovanie

Kovanie v zápustkách prebieha na bucharoch, alebo lisoch.

Buchary sú využívané pri potrebe kusového, malosériového a stredne sériového kovania, obvykle v situácii, keď je výkovok príliš veľký na lis. Výkovky môžu byť tvarovo zložené, nesúmerné a obvykle sú kuté na viacero zdvihov v otvorených zápustkách. Rýchlosti barana dosahujú 4 až 8 ms⁻¹. Baran bucharu často využíva iba kinetickú energiu voľného pádu a na výkovok pôsobí rázom. Radí sa medzi energetické stroje. Jeden výkovok môže byť zhotovený na jeden zdvih, ale aj na niekoľko zdvihov. Jeho tvarovanie môže prebiehať v jednodutinovej zápustke, alebo v postupovej zápustke s viacerými dutinami. Typy bucharov:

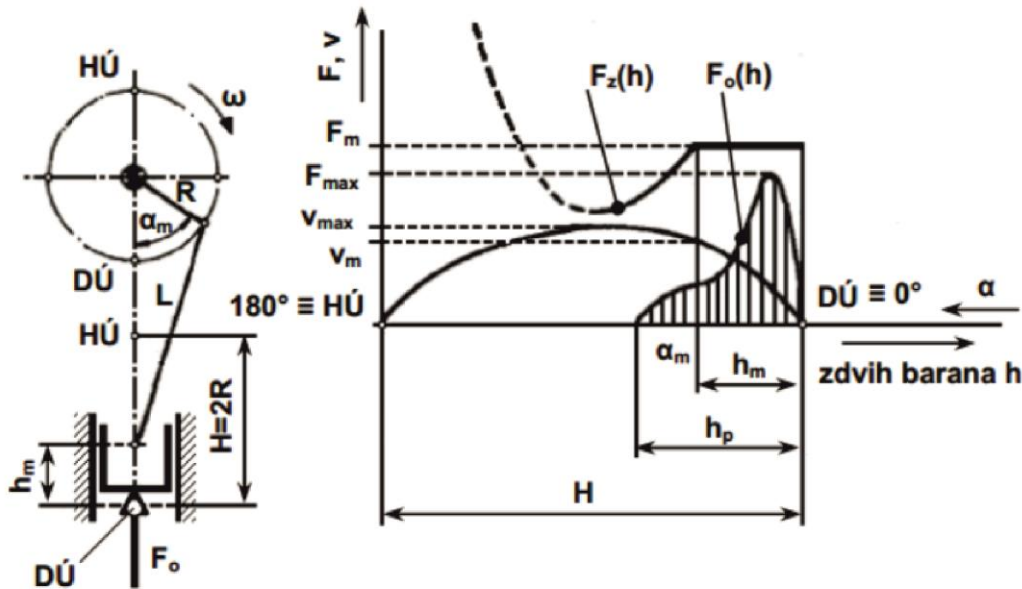
- Padacie
- Parovzdušné
- Protibežné

Lisy pôsobia na materiál relatívne pomalým zaťažením, kludným tlakom. Radia sa medzi silové alebo zdvihové, podľa charakteru pôsobiacej sily. Rýchlosti barana sú oproti bucharom nízke. Výhodou lisov je vyššia presnosť výsledného výkovku a potreba nižšej sily. Tie sú kuté v zápustkách vždy na jeden zdvih. Možnosť automatického vyhadzovania výkovku z dutiny zápustky uľahčuje jeho vyberanie a je možné zmenšiť technologické úkosy. Pri veľmi pomalej deformácii výkovku je nevýhodou, že neopadnú prípadné vzniknuté okuje. Priebeh rýchlosti a sily pri pracovnom zdvihu kľukového lisu je na obr. 7.

Lisy sú častejšie použité v sériovej výrobe, výroba na nich je čiastočne automatizovateľná a v prostredí nevznikajú také veľké otrasy ako pri kovaní na buchare.

Používané typy lisov:

- Vretenové
- Vodorovné
- Hydraulické
- Zvislé kovacie lisy



obr. 7 Priebeh sily a rýchlosti v závislosti na zdvihu a uhla otočenia kľuky lisu [19]

2.6 Polotovary pre zápustkové kovanie [1], [12]

Polotovary sú volené podľa tvaru výkovku. Materiál je volený tak, aby výkovok spĺňal požiadavky na materiálové charakteristiky. Tvary polotovaru podľa výkovkou môžu byť nasledovné:

- Kruhové tyče v obvyklom prevedení
- Kruhové tyče v presnom prevedení
- Tyče štvorcové alebo obdĺžnikové
- Sochory kruhové
- Sochory štvorcové
- Oceľové bloky

Kruhové tyče sú zväčša využívané pri kovaní rotačných výkovkov. Dodávajú sa podľa požiadavky zákazníka v rôznych priemeroch a dĺžkach. Priemery tyčí sa pohybujú rádovo od jednotiek milimetrov až do priemerov v stovkách milimetrov. Zaužívané dĺžky tyčí sú potom v rozmedzí 2 až 12 metrov. Obvyklé prevedenie za tepla valcovaných tyčí je bežne postačujúce pre požiadavky na presnosť pri výronkovom kovaní. Pri bezvýronkovom kovaní je niekedy potrebné objednať tyče s presným prevedením, napríklad lúpané. Rozhodnutie závisí na tom, s akými odchýlkami je dodávaný materiál bežného prevedenia a objemovú toleranciu samotného výkovku. V špeciálnych prípadoch môže byť polotovarom výkovok voľného kovania.

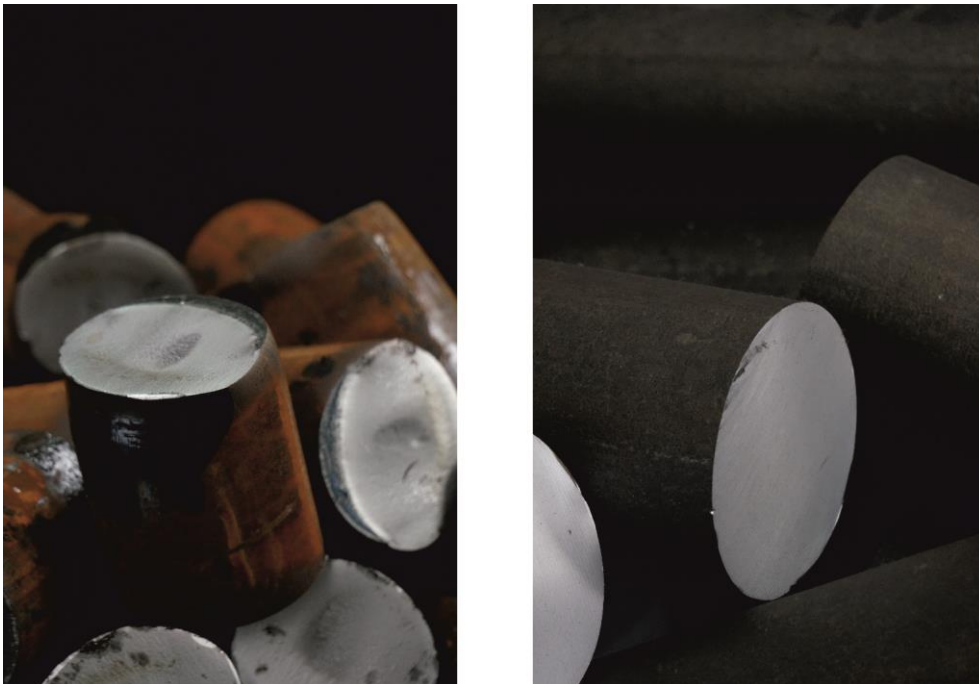
2.7 Delenie polotovaru [6], [7]

Dodaný materiál je potrebné pred kovaním deliť na prírezy, prístrihy o hmotnosti výkovku so zarátaním potrebných materiálových prídavkov. Najčastejším polotovarom sú tyče rôznych rozmerov a tvarov. Najpoužívanejšie spôsoby delenia materiálu pre zápustkové kovanie sú:

- Rezanie.
- Strihanie
- Lámanie

Rezanie sa používa často na polotovary z neželezných kovov a zliatin s nižšou pevnosťou, ale aj pri bežných ocelových materiáloch väčších priemerov. Rezanie je jednou z drahších metód, pretože dochádza k častému opotrebovaniu rezných nástrojov, produktivita strojov je nízka kvôli malej rýchlosti rezania a vzniká odpad v podobe triesok. Ten vyžaduje uskladnenie, manipuláciu a v neposlednom rade zvyšuje celkovú spotrebu materiálu. Naopak je rezanie výhodným spôsobom delenia materiálu tam, kde je požadovaná vyššia presnosť delenia materiálu a tiež akosť rezaného povrchu. Rezná plocha polotovaru nie je deformovaná, má malé odchýlky kolmosti voči ose tyče a dĺžka prírezu tiež dosahuje len malých odchýlok. Pre tieto fakty je delenie polotovaru rezaním využívané predovšetkým pri presnom kovaní, pechovaní a kovaní bez výronku v uzavretých zápustkách.

Strihanie je vhodné pre veľkosériovú výrobu s malými požiadavkami na kvalitu plochy po delení. Je to veľmi rýchly spôsob delenia, oproti pílam je možné dosiahnuť až trojnásobne kratšie časy. Zo strihania nevzniká odpad, plocha je však deformovaná a nie je zaručená dostatočná kolmosť strižnej plochy k ose prístrihu, vid' obr. 8. Akosť strižnej plochy ovplyvňuje vôľa medzi strižnými nástrojmi a tiež priemer polotovaru a jeho materiálové charakteristiky. Materiály s pevnosťou $R_m > 600$ MPa je vhodné pred strihaním ohriať na 300 – 400 °C. zníži sa tak strižná sila, opotrebovanie nástroja a zamedzí sa vzniku trhlin. Strihanie obvykle prebieha na lisoch so strižným nástrojom.



obr. 8 Porovnanie akosti polotovaru po delení. Vľavo prístrihy delené nožnicami a vpravo prírezy rezané na píle.

Lámanie je používané pri delení obzvlášť pevných materiálov s pevnosťou $R_m > 700$ MPa. Využíva princíp koncentrácie napätia vo vrube a následné šírenie trhlín pri zaťažení ohybom. Výhodou je nízka energetická náročnosť, vysoká produktivita, ale plocha po lámaní je nie veľmi dobrej akosti. Vruby je nutné vopred narezat', napríklad na píle.

2.8 Konštrukcia zápustiek [1], [2], [12]

Kovacie zápustky sú bloky obvykle nástrojovej ocele a pozostávajú z hornej a dolnej časti. Podľa stroja sú kovacie zápustky všeobecne rozlišované na:

- Zápustky pre buchary
- Zápustky pre vretenové lisy
- Zápustky pre vodorovné kovacie lisy
- Zápustky pre zvislé kovacie lisy

Odlišujú sa spôsobom upínania a tiež spôsobom uzavretia zdvihu. Na bucharoch môžu byť použité jednodutinové, alebo postupové zápustky. Postupová zápustka má miesto jednej viac kovacích dutín v jednom bloku kovu. Výkovok môže byť zhotovený na jeden, alebo viac zdvihov a horná časť zápustky s dolnou sa v deliacej rovine môžu dotknúť.

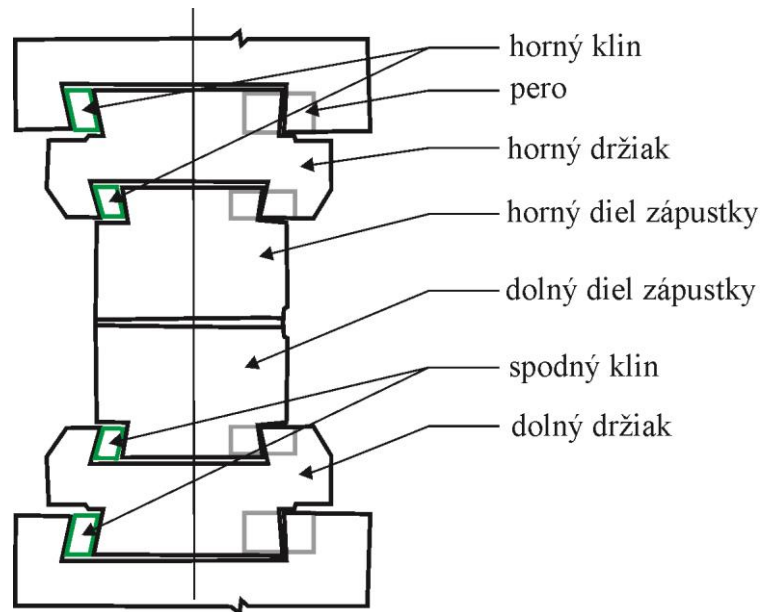
Zvislé kovacie lisy používajú jednodutinové zápustky. Sú to valcové, alebo kvádrové bloky nástrojovej ocele s jednou kovacou dutinou, ktorá je zaplnená na jeden zdvih. Môže byť otvorená, alebo uzavretá, bez výronku. Časti zápustky sa na konci zdvihu nesmú dotknúť, pretože by mohlo dôjsť k zaseknutiu lisu a poškodeniu nástroja, či v horšom prípade celého stroja. Pre zvýšenie presnosti a zabránenie kolízie a tým opotrebovaniu zápustiek sa používajú zápustky s vedením. Zápustky musia mať vždy vyššiu tvrdosť a pevnosť ako tvárnený materiál. Vyrábajú sa z nástrojových ocelí a sú povrchovo alebo tepelne upravené. Povrchové a tepelné úpravy materiálu sú časovo náročné a drahé, preto sa z dôvodu ušetrenia materiálu využíva vložkovanie zápustiek.

2.9 Upínanie zápustiek [12], [14]

Zápustky pre kovacie lisy a buchary sa významne líšia aj spôsobom upínania na stroj. Upnutie by malo byť pevné, tuhé, v prípade potreby ľahko rozoberateľné. Podľa možností je tiež vhodné navrhnuť uchytenie tak, aby pred dotiahnutím umožnilo pohyb so zápustkou a jej ľahké a presné napolohovanie, vycentrovanie. Tiež však dostatočne odolné, aby nedošlo k samovoľnému uvoľneniu počas kovania. Náhodné povolenie môže spôsobiť kolíziu nástrojov a tým ich poškodenie, v horšom prípade môže tiež dôjsť k poškodeniu stroja.

Zvislý kovací lis pracuje s menšími rýchlosťami, nevznikajú rázy ako na buchare a upnutie nie je tak namáhané. Nie je preto problém používať na uchytenie zápustky sa k doske a barana lisu upínkami, stopkami, skrutkami, alebo príložkami.

Veľké rázy pri práci bucharu majú tendenciu uvoľňovať upnutie. Rozoberateľné spoje pomocou skrutiek a upínok by takéto zaťaženie zle znášali. Osvedčeným spôsobom je uchytenie zápustky do rybinovej drážky, viď obr. 9, avšak aj toto uchytenie je potrebné v určitých intervaloch kontrolovať a prípadne utiahnuť. Zápustka sa vsunie do upínacej drážky držiaku a proti pohybu po dĺžke drážky sa zaistí perom. Následne je zaistená klinom, ktorý ju zafixuje a znemožní akýkoľvek pohyb.



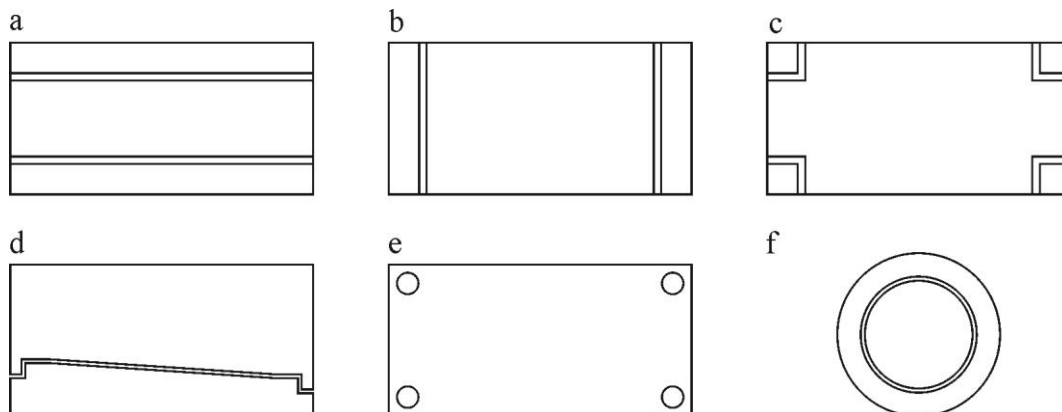
obr. 9 Upínanie zápustky bucharu [12]

2.10 Vedenie zápustiek [2], [14]

Pre zvýšenie presnosti, prípadne elimináciu nepresností stroja a pre zabránenie vzájomnému posunutiu sa na zápustkách bucharov aj lisov používa vedenie, vid' obr. 10.

Na bucharoch sa podľa tvaru výkovku a zápustky používa:

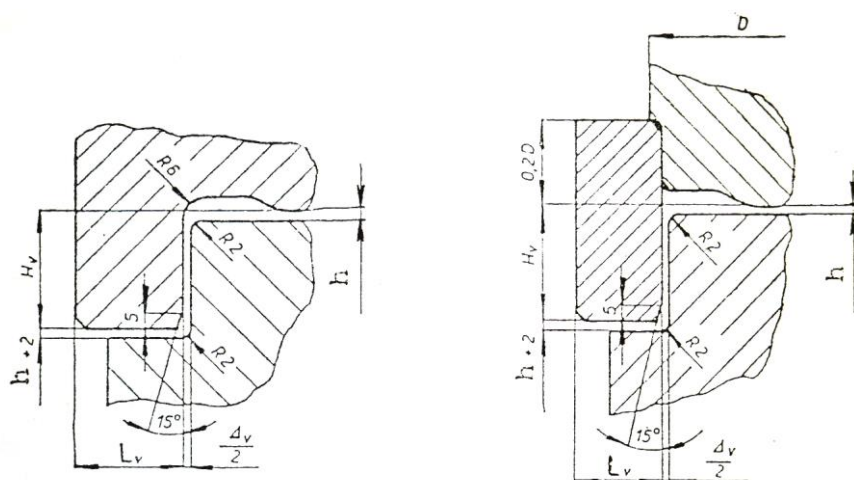
- Kruhové vedenie pre rotačné výkovky a výkovky osovo symetrické
- Pozdĺžne, priečne a krížové vedenie proti presadeniu pre obdĺžnikové zápustky
- Zámky na zápustkách s lomenou deliacou rovinou pre zachytenie posúvajúcich síl
- Vodiace kolíky



obr. 10 Vedenie zápustiek a) pozdĺžne, b) priečne, c) krížové, d) zámok proti posúvajúcim silám, e) kolíkové vedenie, f) kruhové vedenie

Lisy majú vedenie zabezpečené vodiacimi stĺpkami a šmýkadlom lisu. Pokiaľ presnosť nie je dostačujúca, volíme podľa tvaru zápustky a deliacej roviny vedenie kruhové, alebo zámok proti posúvajúcim silám. Zámok bráni posuvu zápustky mimo do boku v prípadoch, keď naklonená deliaca rovina rozkladá vektor sily stroja na zložku kolmú k rovine deliacej roviny a zložku rovnobežnú s deliacou rovinou. Čím viac je deliaca rovina odklonená od roviny stola, tým vyššia posúvajúca sila vzniká. Geometria tak zároveň znižuje efektivitu kovacej sily a zvyšuje namáhanie nástroja.

Bežnejšie je kruhové vedenie na zápustkách prevažne pre rotačné výkovky. Vonkajšia časť kruhového vedenia býva zhotovená priamo na hornej zápustke, alebo na nej môže byť nalisovaná vodiaca skruž, ako je znázornené na obr. 11.



obr. 11 kruhové vedenie zápustiek zhotovené priamo na zápustke (vľavo) a vodiaca skruž (vpravo) [2]

Normou doporučené vôle a rozmery pre intervaly priemerov zápustiek sú v tab. 1:

tab. 1 Doporučené rozmerové hodnoty a tolerancie pre zápustkové vedenie

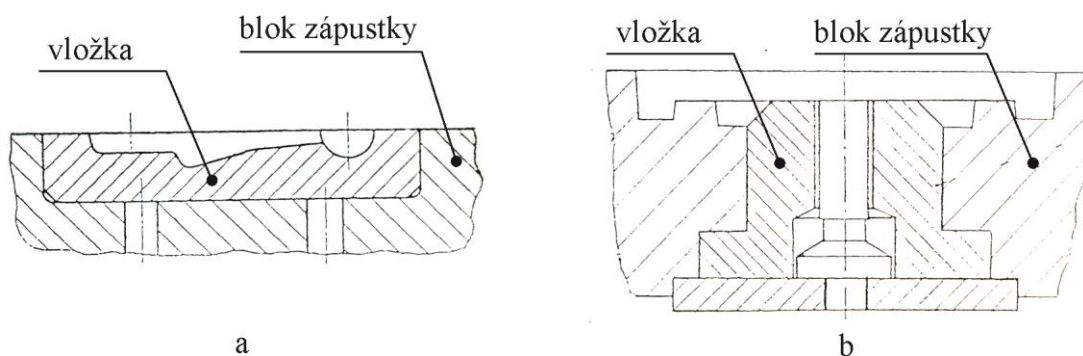
Vonkajší priemer zápustky $\varnothing D_z$		L_v	H_v	Δv	Výrobné tolerancie
Od	Do				
	100	20	20	0,2	+0,1
100	160	25	20	0,2	+0,2
160	200	28	20	0,2	+0,2
200	250	28	20	0,3	+0,2
250	320	33	25	0,4	+0,3
320	400	36	25	0,4	+0,3
400	500	41	30	0,5	+0,4
500		50	35	0,6	+0,4

2.11 Vložkovanie zápustiek [2]

Vložkovanie zápustiek (obr. 12) nahrádza čiastočne, alebo úplne tvar kovacej dutiny zápustky. Používa sa za účelom ušetrenia drahej nástrojovej ocele a povrchových a tepelných úprav, ktoré sa na zápustkách aplikujú kvôli jej skvalitneniu. Povrchové úpravy a renovácie sú drahou operáciou a zmenšením objemu materiálu, ktorý je takto potrebné upraviť šetrí náklady. Taktiež tepelné úpravy na zápustkách sú pri menšom objeme materiálu lepšie prevediteľné.

Pri vložkovaní celého tvaru zápustky je vložka vyrobená z akostnej zápustkovej ocele a samotný blok zápustky môže byť zhotovený zo zápustkovej ocele, alebo akostnejšej konštrukčnej ocele.

Čiastočné vložkovanie je využívané v prípade nadmerného zaťažovania určitej časti tvaru, ktorý sa opotrebováva rýchlejšie než zvyšok dutiny. Vložka je vymeniteľná a jej výmena, prípadne renovácia je lacnejšia a jednoduchšia ako renovácia či výmena celej zápustky.



obr. 12 Vložkovanie zápusťiek a) celého tvaru dutiny, b) čiastočné

Vložky sú do zápusťiek vložené s presahom. Nalisované môžu byť podľa potreby za tepla, ale aj za studena, podľa vôle. Horné zápusťky by mali byť zabezpečené proti vypadnutiu, čo však nemusí byť v praxi nutné a dostatočná pevnosť uloženia sa dá dosiahnuť zväčšením presahu.

2.12 Materiály používané na výrobu zápusťiek, zápusťkových vložiek a vyhadzovačov [2]

Zápusťky kovacích lisov musia odolávať vysokým tlakom, mechanickému a tepelnému namáhaniu a preto sú kladené vysoké požiadavky na kvalitu a mechanické vlastnosti zápusťkového materiálu. Ten musí byť tvrdý, pevný, oteruvzdorný a húževnatý. Pri tepelnom namáhaní musí mať tiež vysokú odolnosť proti popusteniu. Používajú sa rôzne nástrojové ocele s prihliadnutím na zložitosť výkovku, materiál, kovaciu teplotu a sériovosť. Pokiaľ má zápusťka vložkovaný celý tvar, sú nároky na materiál zápusťky nižšie a je možné použiť lacnejší materiál nižšej akosti. Vložka je potom zhotovená z akostnej zápusťkovej ocele a samotný blok zápusťky sa zhotoví zo zápusťkovej, ale akostnej konštrukčnej ocele. Vyhadzovače musia odolávať rovnakým podmienkam ako zápusťka, či vložka, ich povrch je tiež v kontakte s horúcim materiálom a je namáhaný vysokými tlakmi.

V súčasnom stave sú vložky konštruované z nástrojovej ocele 19 552.9, ktorá podľa normy ČSN 22 8306 spĺňa požiadavky pre vysoko výkonné zápusťky vhodné pre členitejšie výkovky vo veľkých sériách. Vložky sú tepelne upravené, zušľachtené na 1600 MPa.

Blok zápusťky je zhotovený z ocele 19 663.9. norma ČSN 22 8306 tento materiál popisuje ako vhodný pre vysoko výkonné zápusťky s pevnosťou cez 1300 MPa pre stredné série výkovkov. Sú zušľachtené na pevnosť 1250 MPa, čo postačuje potrebám.

Vyhadzovače budú vyhotovené z rovnakého materiálu ako zápusťkové vložky. Aby pri vzájomnom styku vložky a vyhadzovača dochádzalo k opotrebovaniu lacnejšej a ľahšie nahraditeľnej časti, bude vyhadzovač zušľachtený na nižšiu pevnosť ako vložka. Zušľachtený bude na 1500 MPa.

2.13 Kovacia dutina

Kovacia dutina zápusťky zodpovedá tvaru výkovku, ktorý v nej má byť zhotovený. V závislosti na teplote kovania a teplotnej rozťažnosti kovaného materiálu sú rozmery zápusťky zväčšené o zmrštenie, ku ktorému dochádza pri chladnutí výkovku z kovacej teploty. Pri kovaní za studena k zmršteniu nedochádza a výsledné výkovky sú aj vďaka tomu presnejšie.

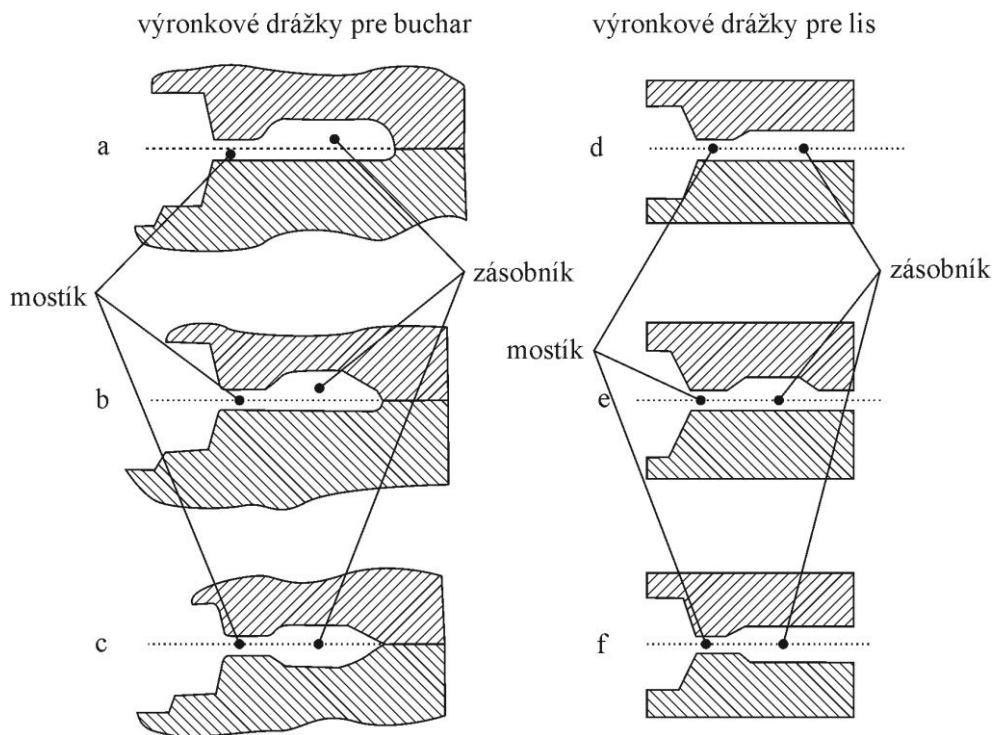
Pri návrhu kovacej dutiny je dôležité, aby bola umiestnená uprostred zápusťky. Nebude tak dochádzať k nerovnomernému zaťažovaniu okrajov. Pri postupovom kovaní má vplyv na zaťaženie zápusťiek, stroja a tým aj na výslednú kvalitu výkovku tiež umiestnenie jednotlivých zápusťiek. Za ideálnych podmienok je ťažisko kovacej dutiny v ose so zaťažujúcou silou stroja. Pri postupovom kovaní samozrejme nemôžu byť všetky zápusťky v ose, preto je vhodné aby boli zápusťky aspoň čo najbližšie pri sebe a dutina, v ktorej je potrebná najvyššia sila bude

umiestnená uprostred. V ose pôsobenia sily stroja je tiež výkovok najpresnejší, pretože nástroj má minimálnu tendenciu uhýbať a materiál je tak zaťažovaný rovnomerne.

2.14 Výronková drážka [2], [12]

Výronková drážka slúži na zachytenie prebytočného materiálu a reguláciu tlaku v zápustke. Je tvorená užšou časťou – mostíkom a zásobníkom. Mostík slúži ako regulátor tlaku a ovplyvňuje tak úroveň zaplnenia dutiny. So znižujúcou sa výškou mostíka a s jeho predlžovaním je tlak zvyšovaný a naopak. Zásobník plní funkciu kompenzátora objemu a jeho rozmery by mali byť dostatočné, aby poňal možný prebytok.

Zápustky pre buchar majú uzavreté výronkové drážky. Zápustky teda pri dokončení zdvihu, či operácie dosadajú na seba. Výronkové drážky zápustiek pre lisy musia byť otvorené. Pri kontakte by mohlo dôjsť k zaseknutiu stroja a jeho poškodeniu. Porovnanie výronkových drážok pre buchar a pre lis je na obr. 13. Na jednotlivých variantoch sú bežne používané (a, b, d, e) a výronkové drážky so zásobníkom pre väčšie množstvo prebytočného materiálu (c, f).



obr. 13 Druhy výronkových drážok [12]

2.15 Ohrev a kovacie teploty [1], [17]

Teplota, pri ktorej prebieha zápustkové kovanie významne ovplyvňuje kvalitu výsledného výkovku aj priebeh samotného procesu. Pri nedostatočnom predohreve sa zvýši pretvárný odpor materiálu, zníži sa jeho tvárnosť. Materiál bude zle zatekať do komplikovanejších dutín zápustiek a tie budú viac mechanicky namáhané a opotrebované. Naopak pri prehriatí polotovaru nad plánovanú teplotu sa kvôli tepelnej rozťažnosti zväčší objem materiálu a mazanie, ktoré je obvykle určené na malé rozmedzie teplôt bude mať nižšiu, prípadne úplne stratí svoju účinnosť. Vysoká teplota ďalej zvyšuje tepelné zaťaženie kovacieho nástroja, čo má tiež nepriaznivé účinky na jeho životnosť. Môže tiež dôjsť k nežiaducemu zatekaniu materiálu do technologických medzier, napríklad medzi vyhadzovač a dutinu vyhadzovača v zápustke.

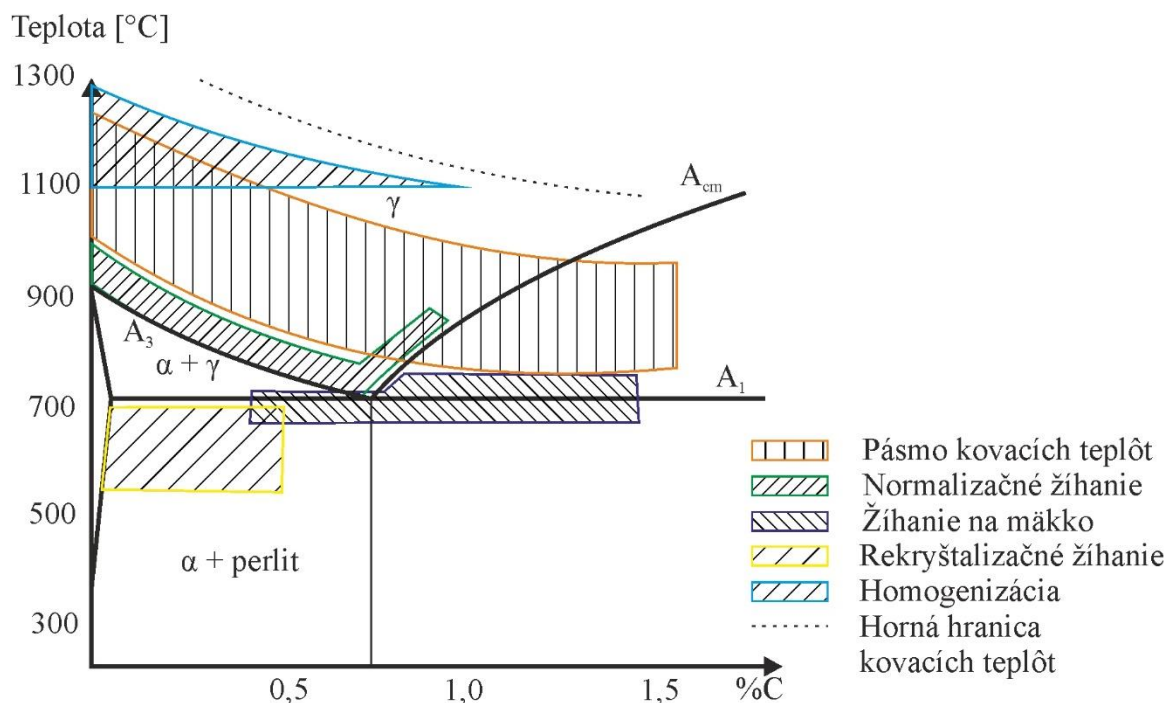
Kovanie je rozdelené podľa teplôt, za ktorých je materiál spracúvaný na:

- Kovanie za studena
- Kovanie za poloohrevu
- Kovanie za tepla

Kovanie za studena je využiteľné predovšetkým pri jednoduchých tvaroch ľahkých výkovkov. Materiálom sú obvykle nízkouhlíkové ocele, hliník, farebné kovy a zliatiny s nižším deformačným odporom. Materiál pri kovaní za studena spevňuje a predlžujúce sa zrná vytvárajú typickú textúru. Vplyvom deformácií klesá ťažnosť materiálu, zatiaľ čo medza pevnosti a medza klzu rastie. Teploty pri ktorých sa proces považuje za kovanie za studena sú nižšie ako 30% teploty tavenia spracovávaného materiálu. Všeobecne sú to teploty nižšie ako teplota rekryštalizácie. Výhodou kovania za studena je dobrá akosť povrchu a presnosť. Zmena mechanických vlastností nemusí byť vždy vyhovujúca. Materiál totiž spevňuje nerovnomerne. Proces je tiež náročný na silu stroja a kvalitu zápustiek, pretože tvárnosť materiálu je za týchto teplôt nízka.

Poloohrevom sa rozumie pásmo teplôt medzi 450 °C až do 800 °C, v závislosti od zloženia a typu materiálu. Materiál má oproti stavu za izbovej teploty nižší pretvárný odpor, sú kladené nižšie požiadavky na silu stroja. Teploty ale ešte nie sú veľmi vysoké a tak nedochádza ani k veľkému teplotnému namáhaniu nástroja.

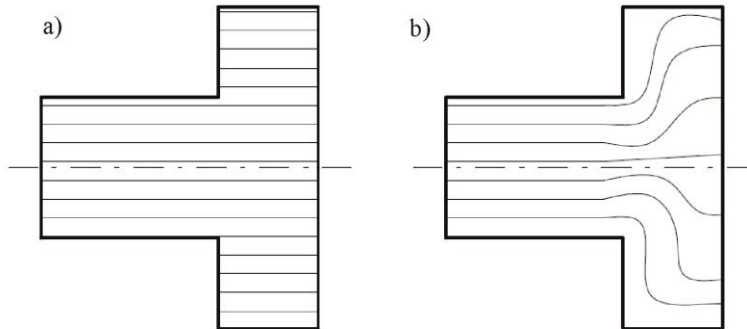
Pre výkovky kované za tepla sa polotovar v závislosti na materiáli predohrieva na teploty v pásme 900 °C až 1250 °C vid' obr. 14. Stroj vďaka vysokému poklesu deformačného odporu dokáže kovať vyššie hmotnosti materiálu na zložitejšie tvary. Nástroje sú ale viac tepelne zaťažované, materiál podlieha oxidácii a výroba je náročnejšia na čas a náklady. Materiál kovaný za tepla nespevňuje, ale mení svoju štruktúru.



obr. 14 Znáznornenie pásma kovacích teplôt [18]

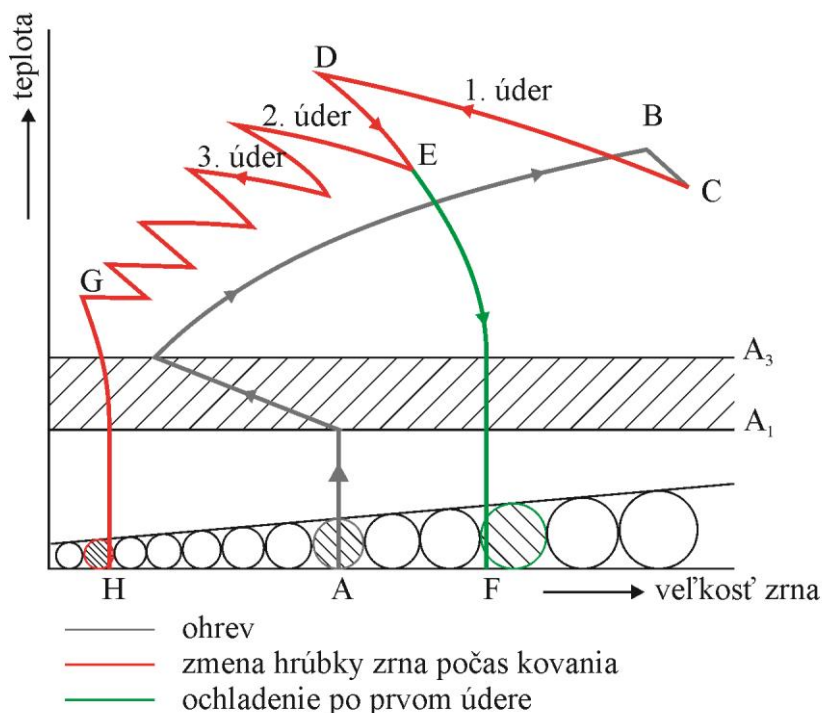
2.16 Vplyv na štruktúru materiálu [1], [7], [11]

Makroskopickým pozorovaním je možné odlišiť výkovok od inak vyhotoveného výrobku. Na priereze súčasti je možné pozorovať vlákna (obr. 15), tvárnením pretiahnuté kryštály materiálu, popisujúce tok materiálu v jednotlivých oblastiach výkovku. Mechanické vlastnosti naprieč vlákien sú lepšie ako pozdĺž vlákien, čo sa využíva napríklad pri konštrukcii ohýbaných súčastí.



obr. 15 Priebeh vlákien v a) obrábanej súčasti
b) kovanej súčasti

Výkovky počas kovania podliehajú vysokým tlakom. Tie pozitívne ovplyvňujú výslednú štruktúru materiálu. Pokiaľ je materiál kovaný za tepla, kde sa teploty pohybujú v austenitizačnom pásme, vplyvom teploty zrno hrubne. Tento jav má pre nás nepriaznivé účinky na materiálové charakteristiky, ako obrábateľnosť a tvárnosť. Počas pôsobenia sily stroja dochádza k zjemneniu zrna, čím sa naopak mechanické vlastnosti materiálu zlepšujú. Úroveň zlepšenia mechanických vlastností nazývame aj stupeň prekovania. Zmena hrúbky zrna počas predohrevu, kovania a chladnutia je znázornená v kovacom diagrame na obr. 16.



obr. 16 Zmena hrúbky zrna počas ohrevu a kovania [11]

Na kovacom diagrame je znázornený vplyv teploty a kovania na hrúbku zrna materiálu. Hrúbka zrna sa pri ohreve z počiatočného bodu A na eutektoidnú teplotu A_1 nemení. Počas prekryštalizácie na austenit sa zrno značne zjemní, následne počas ohrevu nad teplotou A_3 už len rastie. V bode B dochádza k poklesu teploty. Tu je polotovar ohriaty na kovaciu teplotu a k ochladeniu dochádza po vypadnutí z indukčného ohrievača a pri manipulácii pred vložením do zápustky. V bode C sa začína kovací cyklus a pôsobením tlaku dochádza k zjemneniu zrna a zvýšeniu teploty. Cieľom je dosiahnuť jemnozrnnú štruktúru s hrúbkou zrna menšou, ako na počiatku procesu.

2.17 Prídavky na obrábanie [2], [12]

Sú prebytočným materiálom pridaným na plochách určených pre dodatočné obrábacie operácie, ktorými je možné dosiahnuť vyššej presnosti a akosti povrchu súčasti ako pri kovaní. Nemusia byť nutne na každom výkovku, ani na každej ploche výkovku. Záleží to od jeho ďalšieho použitia a požiadaviek zákazníka.

2.18 Technologické prídavky [2], [12]

S cieľom zjednodušiť tvar výkovku sú pridávané k požadovaným rozmerom hotového výrobku tam, kde by kovanie pôvodných rozmerov bolo príliš obtiažne, alebo neekonomické. Pri riešení rozmerov výkovku s prídavkami navrhujeme:

- **Zápustkové úkosy**, ktoré uľahčujú tok materiálu v zápustke a vytiahnutie výkovku zo zápustky po vykovaní. Volia sa dostatočne veľké, aby splnili účel a dostatočne malé, aby zbytočne nezvyšovali náklady na materiál. Používané úkosy sú v tab. 2.
- **Polomery zaoblenia** hrán potrebné na zlepšenie toku materiálu v dutine zápustky a na elimináciu napätia a vrubových účinkov. Nedostatočné polomery zaoblenia zvyšujú napätie v týchto miestach pri toku materiálu a zhoršujú tok materiálu. Tiež zvyšujú opotrebovanie nástroja. Odporúčané polomery zaoblenia podľa príslušných rozmerov sú v **Error! Reference source not found.**
- **Presnosť kovania**. Výkovky sú vyrábané s toleranciami v závislosti na technológii kovania. Ráta sa tiež s toleranciami výrobku a postupným opotrebovaním zápustiek.

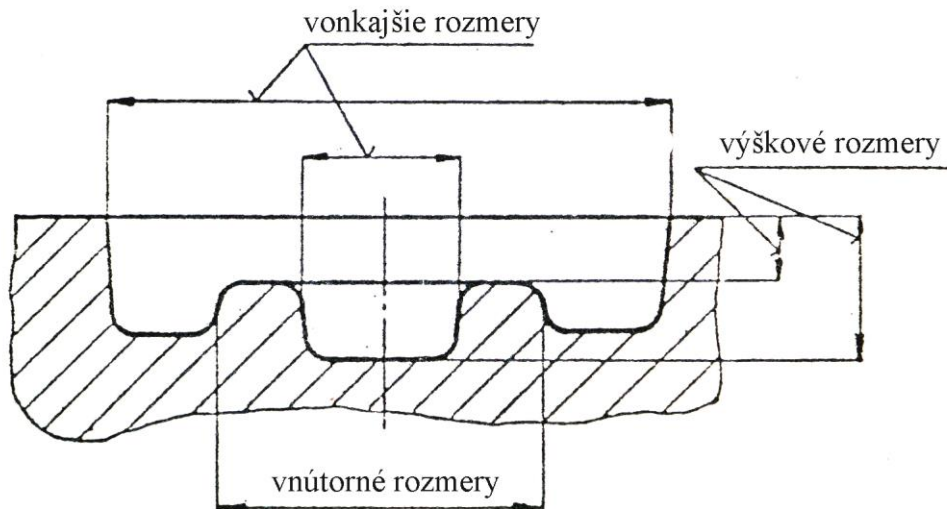
tab. 2 Úkosy na zápustkách podľa stroja a tvaru

Stroj	Vnútorne plochy			Vonkajšie plochy		
	Úkos	Uhol	Použitie	Úkos	Uhol	Použitie
Buchar	1:5	11°	Obvyklé	1:5	11°	Vysoké rebrá
	1:10	6°	Plytké dutiny	1:10	6°	Obvyklé
				1:20	3°	Malé výšky
Kľukový/Vretenový lis	1:5	11°	Hlbšie dutiny	1:10	6°	Pri väčšej výške
	1:10	6°	Obvyklé	1:10	6°	Obvyklé
	1:20	3°	S vyhadzovačom	1:20	3°	S vyhadzovačom
Horizontálny kovací lis	1:10	6°	Dutiny	1:10	6°	V lisovníku pechované tvary
				1:50	1°	Otvory
					0°	Na čelustiach

tab. 3 Normatívne zaoblenia hrán podľa veľkosti výkovku

Výška/hĺbka		Polomery zaoblenia hrán a rohon pri pomere					
		$h_z/D=2$		$2 < h_z/D_v < 4$		$4 < h_z/D$	
Od	Do	r_z	R_z	r_z	R_z	r_z	R_z
0	25	1,5	4	2	2,5	2,5	6
25	40	2	5	3	3	3	11
40	63	3	8	4	4	4	16
63	100	5	12	5	7	7	22
100	160	7	17	8	9	9	32
160	250	13	30	16	20	20	65
250	400	20	50	25	30	30	100
400	630	30	80	10	45	45	150
630	1000	Po dohode so zákazníkom					

Vnútrojnými plochami sa rozumejú tie plochy zápustky, ktoré sú pri chladnutí a zmršťovaní výkovku stláčané. Vonkajšie rozmery sú naopak pri chladnutí uvoľňované a nie je potrebný taký veľký úkos ako pri vnútorných. Označovanie je názorne vyobrazené na obr. 17.



obr. 17 Označenie rozmerov dutiny zápustky za vnútorné a vonkajšie

2.19 Funkčné plochy [2]

Pre dobrý tok materiálu v zápustkovej dutine a pozitívny vplyv na trvanlivosť povrchu sú zápustky, zápustkové vložky a vyhadzovače obrábané, brúsené, alebo leštené na vysoké akosti povrchu. Obvykle sú používané drsnosti odporúčané normou uvedené v tab. 4:

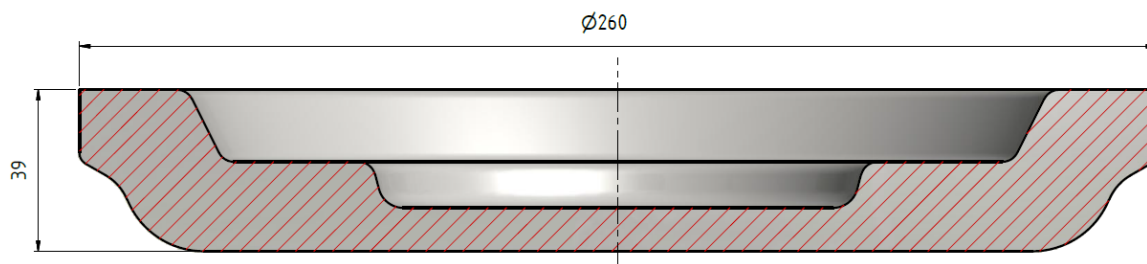
tab. 4 opracovanie plôch podľa normy ČSN 22 83 06

Plocha	Opracovanie Ra [μm]
Zápustka	
Dutina preddokončovacia	1,6 – 3,2
Dokončovacia dutina	0,8 – 3,2
Mostík	0,8 – 3,2
Dosadacie plochy	3,2
Upínacie plochy	3,2
Zásobník	12,5
Ostatné vonkajšie plochy	12,5
Vedenie zápustiek	1,6
Otvory pre dopravné kolíky	12,5
Otvory pre vyhadzovače	1,6
Zápustková vložka	
Dutina	0,8 – 3,2
Lícovaná časť	0,8 – 1,6
Dosadacia plocha	3,2
Predkovací trň	0,8 – 1,6
Vyhadzovače	
Vodiaca plocha	0,8 – 1,6
Činná časť	0,8 – 1,6
Dosadacia plocha	1,6 – 3,2
Ostatné	12,5

Zápustkové dutiny sú bežne leštené. Vysoká akosť povrchu má dobrý vplyv na ich trvanlivosť a tiež na kvalitu výkovku. Materiál v dutine lepšie zateká a náradie má zvýšenú životnosť.

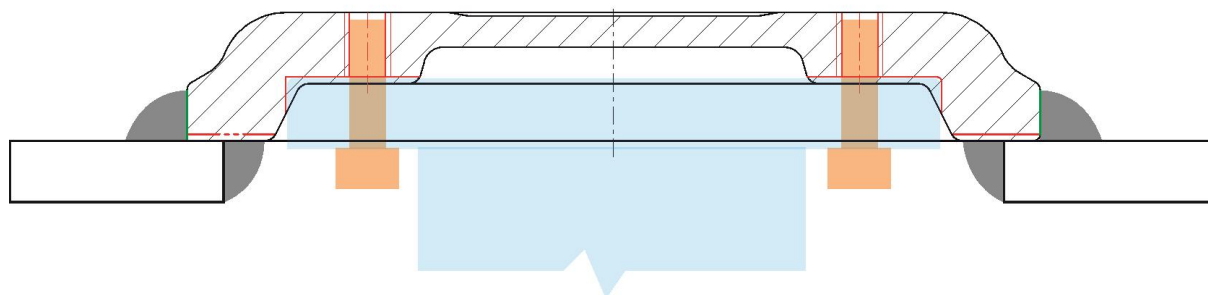
3 VÝROBNÝ CYKLUS SÚČASTI

Súčasť má jednoduchý, rotačný tvar vid' prierez na obr. 18 a je kovaná z konštrukčnej ocele s požiadavkou na zaručenú hodnotu nárazovej práce. Materiál je dodávaný firmou Ferona Slovakia, a.s. v podobe tyčí valcovaných za tepla dĺžky 9 m a priemeru 100 mm. Prírezy sú z tyčí pripravované na pásovej pile a pred samotným kovaním predohriate na kovaciu teplotu na indukčnom ohrievači. Na zvislom zápustkovom kovacom lise je súčasť vykovaná v troch operáciách a po kovaní je na ostrihovacom lise LDO 500 zbavená výronku. Po tepelnom spracovaní a výstupnej kontrole sa končí výrobný cyklus v tejto firme a dokončenie obrábaním je uskutočnené u zákazníka.



obr. 18 Prierez výkovku s vonkajšími rozmermi

Pre spracovanie návrhu jednotlivých krokov a parametrov výroby produktu je vhodné poznať ďalšie úpravy na ňom vykonané, jeho použitie a zaťaženie. Tieto vedomosti následne umožňujú určenie prioritných rozmerov a vlastností výsledného produktu. Tanier je po vykúti a tepelnom spracovaní postupovaný zákazníkovi na obrábanie. Hotový výrobok je uplatnený ako nosná podložka pre čap návesu kamiónu. Na konštrukciu návesu je upevnený zvarom v oblasti zaoblení na vonkajšom obvode. Čap je v podložke uchytený skrutkami tak, že jeho vonkajší priemer je zasadený do dutiny podložky s väčším priemerom. Obrábané plochy výkovku, na ktoré bude kladený dôraz, sú znázornené na obr. 19, pričom súčasť bude do obrábacieho stroja upnutá valcovou plochou na vonkajšom priemere. Požiadavky na rozmery výkovku sú prísnejšie v oblastiach, ktoré sú obrábané a pri návrhu zápustiek na nich bude kladený dôraz. Plochy, ktoré sú kované na hotovo sú tolerované s väčšími odchýlkami a môžu byť využité ako kompenzátory objemu materiálu.



- obrábané plochy
- upínacia plocha pri obrábani
- čap umiestnený v dutine podložky
- zvar medzi podložkou a konštrukciou návesu
- skrutky

obr. 19 Prierez výkovkom so zvýraznením tvaru po obrábani a znázornením využitia

Polotovarov pre výkovok taniera je tyč valcovaná za tepla, dodávaná firmou FERONA Slovakia, a.s. Základné rozmerové a materiálové charakteristiky polotovaru sú uvedené v tab. 5.

tab. 5 Základné charakteristiky polotovaru

Materiál	ČSN EN S355J0	
Dĺžka tyče	9 000 mm	(9 000 ÷ 9 200) mm
Priemer tyče	100 mm	(98,7 ÷ 101,3) mm

3.1 Charakteristika materiálu

Materiálom výkovku je konštrukčná oceľ ČSN S355J0 s požiadavkou na veľkosť nárazovej práce 27 J za teploty 0 °C. Požadované chemické zloženie materiálu je v tab. 6:

tab. 6 Chemické zloženie materiálu polotovaru

	C	Mn	Si	Cr	Al	P	S
Max:	0,20%	1,5%	0,55%	0,30%	0,015%	0,050%	0,045%

Mechanické vlastnosti ocele sú podľa normy ČSN 41 1523 nasledujúce, vid' tab. 7:

tab. 7 Mechanické vlastnosti materiálu

Výrobok	Priemer Ø d	Medza klzu R _e	Medza pevnosti R _m	Ťažnosť A ₅
Tyč	40 – 100 mm	Min. 333 MPa	510 – 628 MPa	Min. 22%

Pri uvažovanom kovaní za tepla je dôležité poznať pretvárný odpor materiálu za kovacej teploty, na akú bude pri kovaní ohriaty. Podľa normy ČSN 41 1523 platia pre konštrukčnú oceľ 11 523 nasledujúce hodnoty v tab. 8:

tab. 8 Pretvárný odpor materiálu v závislosti na teplote

Rýchlosť pretvorenia	Pretvárný odpor	Teplota [°C]						
		800	900	1000	1100	1200	1250	1300
$\varepsilon \cdot 10^{-2}$	σ_s [MPa]	118	80	57	40	28	22	18

3.2 Spôsob delenia materiálu

Z tyčí sú pripravované prírezy na deliacom zariadení predovšetkým podľa požiadaviek na presnosť. Z každej tyče je odobratá vzorka pre overenie zhody materiálu s požiadavkami na jeho vastnosti. Odobratých je tak minimálne 30 mm z každého konca tyče.

Prírezy môžu byť z tyčí pripravované:

- **Na nožniciach** s pomerne vysokou rýchlosťou produkcie. Nožnice SCK 500 dostupné bez nutnosti nákupu ďalšieho strojného vybavenia haly môžu deliť tyčovinu o priemere Ø 100 mm s odchýlkou ±1 mm.
- **Na pásovej píle.** Rýchlosť delenia tyčí je v porovnaní s nožnicami značne nižšia. Píly využiteľné na hale firmy režu materiál s odchýlkou hmotnosti prírezu ±0,06 kg a šírkou rezu 3 mm.
- **Na kotúčovej píle.** Rýchlosť delenia je oproti pásovej píle približne dvojnásobná.. Presnosť aj šírka rezu je porovnateľná s rezom pásovej píly.

Delenie materiálu na nožniciach je pre rýchlosť produkcie výhodná voľba pre sériovú výrobu. S rastúcim priemerom tyče rastú nároky na silu nožníc a zvyšuje sa deformácia plochy

po delení. Zdeformovaná podstava valca môže spôsobovať problémy pri jeho zakladaní do zápustiek. Dôsledkom zle založeného prírezu býva nežiadúci tok materiálu, jeho prebytok alebo nedostatok v niektorých častiach zápustkovej dutiny.

Na pásovej pile sú tyče rezané s automatickým posuvom s dostatočnou presnosťou pre presné kovanie. Zároveň je plocha po rezaní vhodná pre dobré založenie valca do zápustky prvej operácie. Pásová píla prereže tyč s priemerom 100 mm za necelú minútu, v závislosti na materiáli a stave opotrebenia pásu.

Kotúčová píla MIKRON P-100B reže materiál v porovnaní s pásovou pilou približne dvojnásobnou rýchlosťou. Prírez z tyče priemeru 100 mm odreže za 25 s. Rýchlosť prípravy prírezov je stále značne pomalšia ako strihanie tyčí na nožniciach, ale kvalita a presnosť sú v tomto prípade rozhodujúce, a preto je materiál delený na kotúčových pilách.

3.3 Voľba výšky prírezu

Pri zanedbaní hmotnosti opadnutých okují sa hmotnosť materiálu počas kovania nemení. Hmotnosť prírezu je preto totožná s hmotnosťou výkovku a bude označená rovnakým indexom. Vplyvom tepelnej rozťažnosti sa však mení objem materiálu, preto budú uvažované objemy prírezov pred ohrevom a výkovkov po ochladnutí. Výška prírezu je stanovená podľa potrebného objemu výkovku a priemeru tyče, z ktorej je pripravovaný. Vzťah medzi týmito parametrami je nasledujúci:

$$h_p = \frac{V_V}{S_t} = \frac{V_V \cdot 4}{\pi \cdot d_t^2} \quad (1)$$

Kde	V_V	objem výkovku, prírezu	[mm ³]
	S_t	plocha rezanej tyče	[mm ²]
	d_t	priemer tyče	[mm]

V prípade výronkového kovania sa k objemu výkovku pridáva 5 – 10% objemu. Prírezy pripravované pre súčasné výronkové kovanie sú delené na hmotnosť 9,92 kg, hmotnosť čistého výkovku po ostrihu výronku je 9,42 kg. Materiál pridaný na vytvorenie výronku teda tvorí zaokrúhlene 5% čistej hmotnosti výkovku. Objem nadeleného materiálu, z ktorého bude zistená potrebná výška prírezu, je potom počítaný podľa:

$$V_V = \frac{m_V}{\rho} \quad (2)$$

kde	V_V	objem výkovku	[m ³]
	m_V	hmotnosť výkovku	[kg]
	ρ	merná hustota materiálu	[kg · m ⁻³]

výška prírezu pre výkovok s výronkom:

$$V_{V1} = \frac{9,92}{7850} = 1\,263\,694 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$$

$$V_{V1} = 1\,263\,694 \text{ mm}^3$$

$$h_{p1} = \frac{1\,263\,694 \cdot 4}{\pi \cdot 100^2} = 160,98 \text{ mm}$$

A výška prírezu pre výkovok bez výronku:

$$V_{V2} = \frac{9,42}{7850} = 1\,200\,000 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$$

$$V_{V2} = 1\,200\,000 \text{ mm}^3$$

$$h_{p2} = \frac{1\,200\,000 \cdot 4}{\pi \cdot 100^2} = 152,87 \text{ mm}$$

Z vypočítaných hodnôt je zrejmé, že na výronok sa pridáva takmer 9 mm. V ďalšom kroku bude porovnané množstvo prírezov, ktoré pri daných dĺžkach bude možné nadeliť z jednej tyče.

3.4 Využitie materiálu

Materiál je dodávaný v podobe valcovaných tyčí o dĺžke 9 m. Z oboch koncov je zrezaných 30 mm, šírka rezu pilou je 3 mm. Pre výpočet minimálneho množstva prírezov pripraviteľných z jednej tyče použijeme jednoduchý vzťah:

$$X = \frac{L_T - 2 \cdot 30 - 3}{h_p + 3} \text{ [mm]} \quad (3)$$

Kde	X	po zaokrúhlení na celé čísla nadol počet prírezov	[-]
	L_T	dĺžka tyče	[mm]
	h_p	požadovaná dĺžka prírezu	[mm]

Potom počet prírezov na výronkové kovanie je:

$$X_1 = \frac{9\,000 - 2 \cdot 30 - 3}{h_{p1} + 3} = 54,5$$

A prírezov na výkovky bez výronku:

$$X_2 = \frac{9\,000 - 2 \cdot 30 - 3}{h_{p2} + 3} = 57,3$$

Po zaokrúhlení na celé čísla nadol bude počet prírezov pripravených z jednej tyče 54 ks pre výkovky s výronkom a 57 ks pre výkovky bez výronku. Pri ročnej produkcii 60 000 ks bude potrebné objednať:

$$X_T = \frac{60\,000}{X} \quad (4)$$

Kde	X_T	počet tyčí	[ks]
-----	-------	------------	------

$$X_{T1} = \frac{60\,000}{54} = 1\,111,11$$

$$X_{T2} = \frac{60\,000}{57} = 1\,052,63$$

Po zaokrúhlení na celé kusy tyčí, bude výronkové kovanie vyžadovať nákup 1 112 tyčí materiálu, čo je o 59 kusov viac ako v prípade bezvýronkového kovania.

3.5 Ohrev materiálu [1]

Ohrev materiálu prebieha v indukčnom ohrievači. Pri dodržaní taktu výroby, teda pravidelnom vyberaní ohriatych prírezov z ohrievača sú vo výstupných teplotách jednotlivých prírezov len malé rozdiely. Málo ohriaty prírez bude mať vyšší pretvárny odpor, prehriaty materiál môže nepriaznivo ovplyvniť trvanlivosť nástroja zvýšeným tepelným namáhaním.

Indukčný ohrev využíva k tvorbe tepla vírivé prúdy vznikajúce v materiáli umiestnenom uprostred cievky, ktorou tečie striedavý elektrický prúd. Ohrev materiálu nie je rovnomerný. Je závislý od tepelnej vodivosti a elektromagnetických vlastnostiach materiálu, pričom väčšina tepla vzniká na povrchu polotovaru. Rýchlosť ohrevu je nastaviteľná zmenou frekvencie striedavého napätia na cievke. Aby bol materiál dobre ohriaty podľa možností rovnomerne na celom priereze, volí sa pomalší ohrev. Frekvencie vhodné pre rôzne priemery polotovaru z ocele sú v tab. 9.

tab. 9 Frekvencie pre ohrev ocelových polotovarov

Priemer materiálu [mm]	Frekvencia [Hz]
170 – 800	50
50 – 170	1000
35 – 120	2000
22 – 70	4400
15 - 40	10 000

Podľa odporúčania bude frekvencia napätia v cievke indukčného ohrievača 1 000 Hz. Dodatočne môže byť upravená podľa potreby zmeny taktu ohrevu jednotlivých kusov.

3.6 Návrh tvaru zápustiek

Tvar zápustiek ovplyvňuje tok materiálu v dutine, silu potrebnú na pretvorenie materiálu a tiež opotrebenie zápustiek. Zápustky budú navrhnuté podľa odporúčaní noriem s prihliadnutím na skúsenosti z praxe.

3.6.1 Prvá operácia

V prvej operácii postupového kovania za tepla prebieha pechovanie valcového polotovaru na súdkovitý. Z predohriateho prístrihu tu pri deformácii opadnú okuje, preto je vhodné navrhnuť zápustky jednoduchého tvaru, odkiaľ bude odpad ľahko odstrániteľný, napríklad vyfúknutý prúdom vstrekovanej maziva pred začatím ďalšieho kutia.

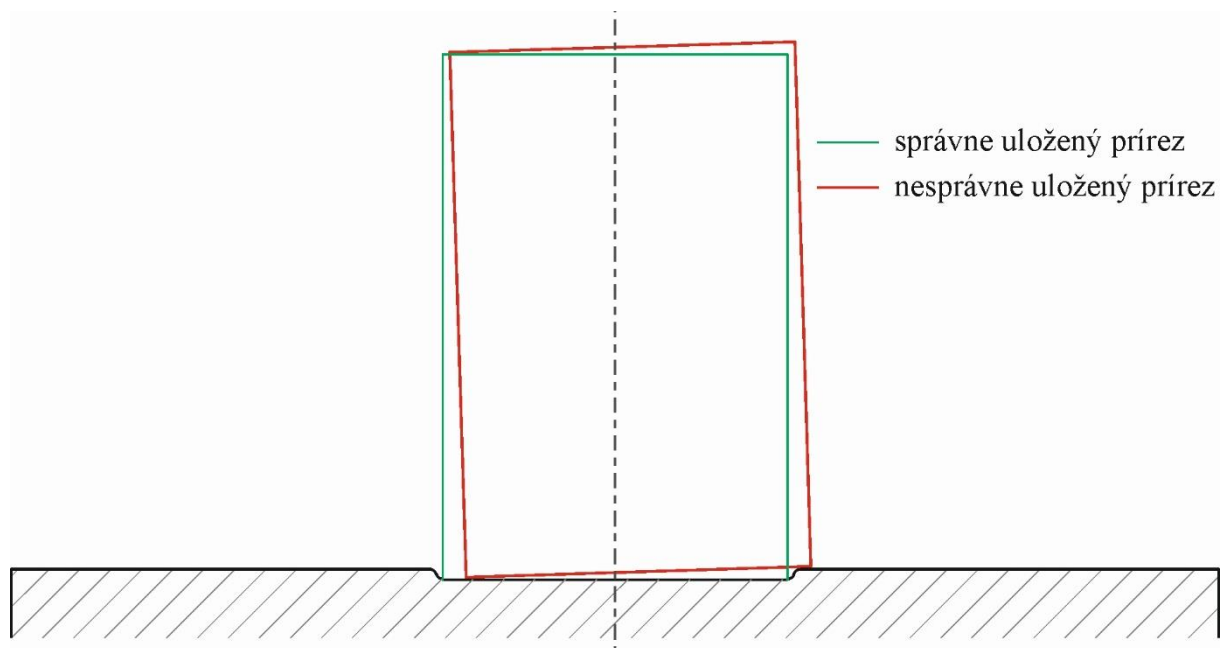
Lis je obsluhovaný manuálne. Zápustky je teda vhodné navrhovať so snahou minimalizovať riziko zlého založenia polotovaru, aby sa tak eliminovala zmetkovitosť a urýchlila práca kováča. Nevycentrovaný prírez, alebo prírez postavený nie kolmo na rovinu zápustky spôsobí nesúmernosť vykovaného súdka. V prípade, že si kováč túto vadu nevšimne a výkovok umiestni do ďalšej operácie, hrozí vznik nedokutia na strane s nedostatkom materiálu a vznik ihly na strane s materiálovým prebytkom. Vplyvom nerovnomerného zaťaženia môže tiež dôjsť k poškodeniu nástroja, či zaseknutiu výkovku v zápustke.



obr. 20 Napechovanie valcového prírezu

Cieľový tvar výkovku vychádzajúceho z operácie predkovania je preto jednoduchý, ľahko a presne založiteľný do ďalšej operácie. V prípade rotačných výkovkov je postačujúce napechovanie prírezu na priemer, ktorý do dolnej zápustky druhej operácie bez problémov zapadne. Na tento účel je zvolená operácia pechovania (obr. 20), pre ktorú majú zápustky jednoduchý tvar rovnobežných rovín s plytkým vybráním pre vycentrovanie založeného prírezu na spodnej aj hornej podstave.

Tieto boli volené s ohľadom na urýchlenie a zjednodušenie práce kováča obsluhujúceho lis. Vybrania majú hĺbku 2 mm, priemer $\varnothing 99,8$ mm a sú ohraničené dvoma 2 mm rádiusmi. Kováč po vypadnutí ohriateho prístrihu z induktoru uchytí valec kliešťami a položí na dolnú zápustku prvej operácie. Vďaka centrovanému vybraniu je schopný umiestniť prírez do stredu zápustky a opticky môže rýchlo vyhodnotiť správnu polohu valca. V prípade nesprávneho uloženia mimo vybranie bude stena a horná podstava polotovaru viditeľne naklonená a časť centrovačej priehlbiny neprekrytá, vid' Obr. 21. Horná zápustka je tvarovo zhodná s dolnou. Tu vybranie slúži na dobré dosadnutie prírezu v prípade malých odchýlok.



Obr. 21 Uloženie prírezu do centrovačieho vybrania dolnej zápustky

3.6.2 Výpočet sily potrebnej v prvej operácii

Sila potrebná na rozpechovanie valca je značne nižšia, než kovacie sily v ďalších operáciách. Obvykle preto nie je potrebné overovať, či bude pechovanie možné na stroji previesť. Pechovacia sila môže byť podľa Siebla, ktorý pri nízkom valci berie do úvahy aj odpor vznikajúci trením na styčnej ploche pechovaného valca a nástroja, vypočítaná jednoduchým vzťahom, ktorý zohľadňuje trenie medzi nástrojom a podstavami polotovaru:

$$F_{\text{PECH}} = -\sigma_{\text{Zstr}} \cdot S = \sigma_{\text{P}} \cdot S + \sigma_{\text{P}} \frac{1}{3} \frac{f \cdot D}{h} \cdot S \quad [\text{N}] \quad (5)$$

kde	F_{PECH}	pechovacia sila	[N]
	f	súčiniteľ trenia medzi nástrojom a materiálom	[-]
	σ_{Zstr}	normálne napätie	[Pa]
	σ_{P}	základný pretvárný odpor materiálu	[Pa]
	S	plocha podstavy napechovaného valca	[m ²]
	D	priemer napechovaného valca	[m]
	h	výška napechovaného valca	[m]

potom po dosadení hodnôt pri spechovaní na výšku 70 mm:

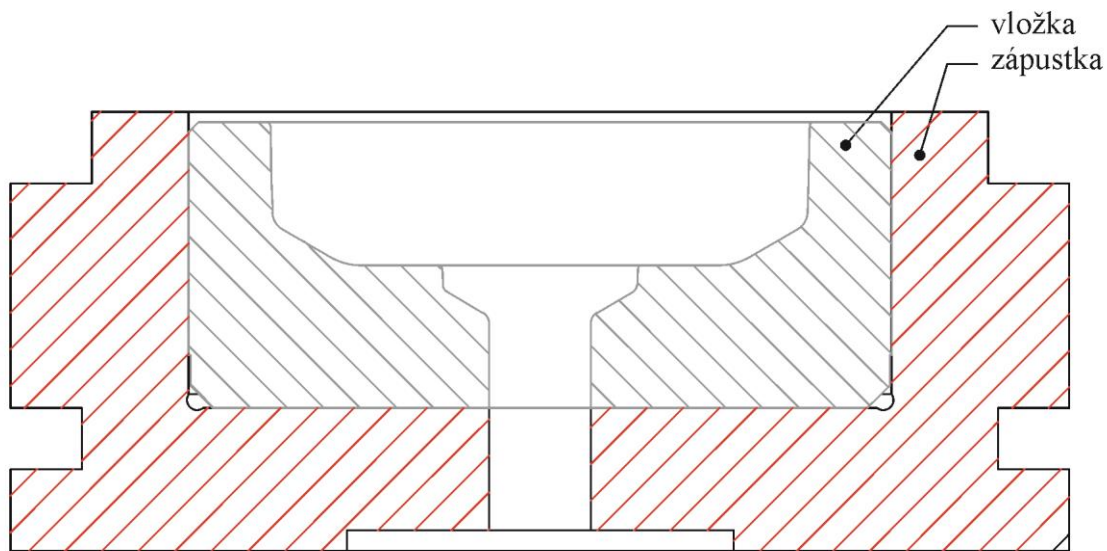
$$F_{PECH} = 28 \cdot 10^6 \cdot 0,017 + 28 \cdot 10^6 \frac{1}{3} \frac{0,4 \cdot 0,147}{0,07} \cdot 0,017 = 609280 \text{ N}$$

$$F_{PECH} = 609,3 \text{ kN}$$

Vzťah vyjadruje silu, ktorou musí pôsobiť stroj na súdok o priemere D a výšky h v určitej úrovni zdvihu. Sila sa zvyšuje s priemerom napechovaného valca a so znižujúcou sa výškou.

3.6.3 Návrh zápustiek druhej operácie

V druhej operácii dochádza k najväčšiemu pretvoreniu materiálu. Zápustky sú veľmi namáhané a rýchlejšie sa opotrebovávajú. Pre úsporu materiálu na nástroji, jednoduchšie spracovanie a lacnejšiu renováciu, či náhradu, sa často zavádza vložkovanie zápustiek. Zápustka, upínaná na dosku lisu, má potom tvar hrnca s dutinou, do ktorej sa nalisuje vložka s kovacou dutinou, vid' obr. 22. Vložka je v zápustke uložená s presahom $H/7$ a je nalisovaná do zápustky predohriatej na teplotu nižšiu, ako popúšťacíu.



obr. 22 Uloženie vložky v zápustke

Vložkovaním zápustiek je dosiahnutá zvýšená flexibilita pri výmenách, renováciách poškodených častí, alebo úplnej zmene vyrábaného dielu. Pri poškodení vložky stačí vložku vymeniť, alebo zrenovovať a zápustka zostáva použiteľná pre náhradnú vložku. Analogicky, pri poškodení zápustky je možné vložku naďalej používať po nalisovaní do druhej zápustky. Ak sú v podniku kované výkovky podobných rozmerov na striedajúce sa série, môže byť jedna, alebo viaceré zápustky, použité pre viaceré vložky. Nie je teda nutné vyrábať zvlášť zápustku pre každú vložku.

3.6.5 Tvar kovacej dutiny zápustkových vložiek

Cieľom je dostať pred treťou operáciou tvar blízky hotovému výkovku, ktorý sa v dokončovacích zápustkách už len dokalibruje. Pri návrhu tvaru dolnej zápustky je braná do úvahy požiadavka správne založeného napechovaného výkovku. Ten má po prvej operácii na spodnej podstave výstupok v tvare centrovacieho vybrania dolnej zápustky. Tento tvar môže byť využitý na uloženie, bude preto zachovaný aj v druhej dolnej zápustke, ak nebude možné centrovať výkovok inak. Ďalšou možnosťou je rozpechovať valec v prvej operácii na nízky súdok, ktorý svojimi okrajmi dobre zapadne do dutiny druhej zápustky a automaticky sa tak uloží správne.

Priemer rozpechovaného súdka sa mení v závislosti na výške zdvihu, pokiaľ nie je daný tvarom prvej zápustky. S každým prestavením zdvihu lisu tak hrozí, že pri spoľahnutí sa na centrovanie vonkajším priemerom nebude predkovok vyhovovať podmienkam pre presné uloženie. V druhej operácii preto bude na dne kovacej dutiny vložky zachované vybratie zhodné s tvarom vybratia v prvej operácii. To svojím tvarom zabezpečí ľahké umiestnenie rozpechovaného prírezu do centra zápustky a bude tak tvoriť dobrý predpoklad pre rovnomerný tok materiálu smerom k vonkajšiemu obvodu dutiny.

Pre zabezpečenie dobrého toku materiálu medzi dolnou a hornou zápustkou sa používajú jednoduché tvary s plynulými prechodmi medzi jednotlivými povrchmi dutiny. Základným znakom sú veľké rádiusy a miernejšie nábehové uhly než v dokončovacom kovaní.

3.6.6 Návrh zápustiek dokončovacej operácie

V poslednej operácii je výkovok deformovaný v menšej miere ako v druhom predkovaní a dochádza tu obvykle už len k dokalibrovaniu tvaru. Napriek menšej záťaži budú vložkované aj zápustky tretej operácie, pretože systém sa v predošlých skúsenostiach osvedčil. Tvar kovacej dutiny je zhodný s tvarom výsledného výkovku a rozmery sú zväčšené o hodnotu zmrštenia. Polomery zaoblenia aj úkosity budú zachované.

3.6.7 Výpočet kovacej sily

Kovacia sila dosahuje najvyššie hodnoty v tretej, dokončovacej operácii. Vznikajú tu najvyššie tlaky a zaplňajú sa najkomplikovanejšie tvary dutiny. Metód výpočtu je mnoho a sú podľa rôznych zdrojov viac, alebo menej odlišné. Pre výpočet sily môže byť použitý zjednodušený vzťah [9]:

$$F_k = K_f \cdot \sigma_p \cdot S_v \quad (6)(1)$$

kde

F_k	kovacia sila	[N]
K_f	koeficient zložitosti tvaru	[-]
σ_p	pretvárnny odpor	[Pa]
S_v	premietnutá plocha výkovku	[m ²]

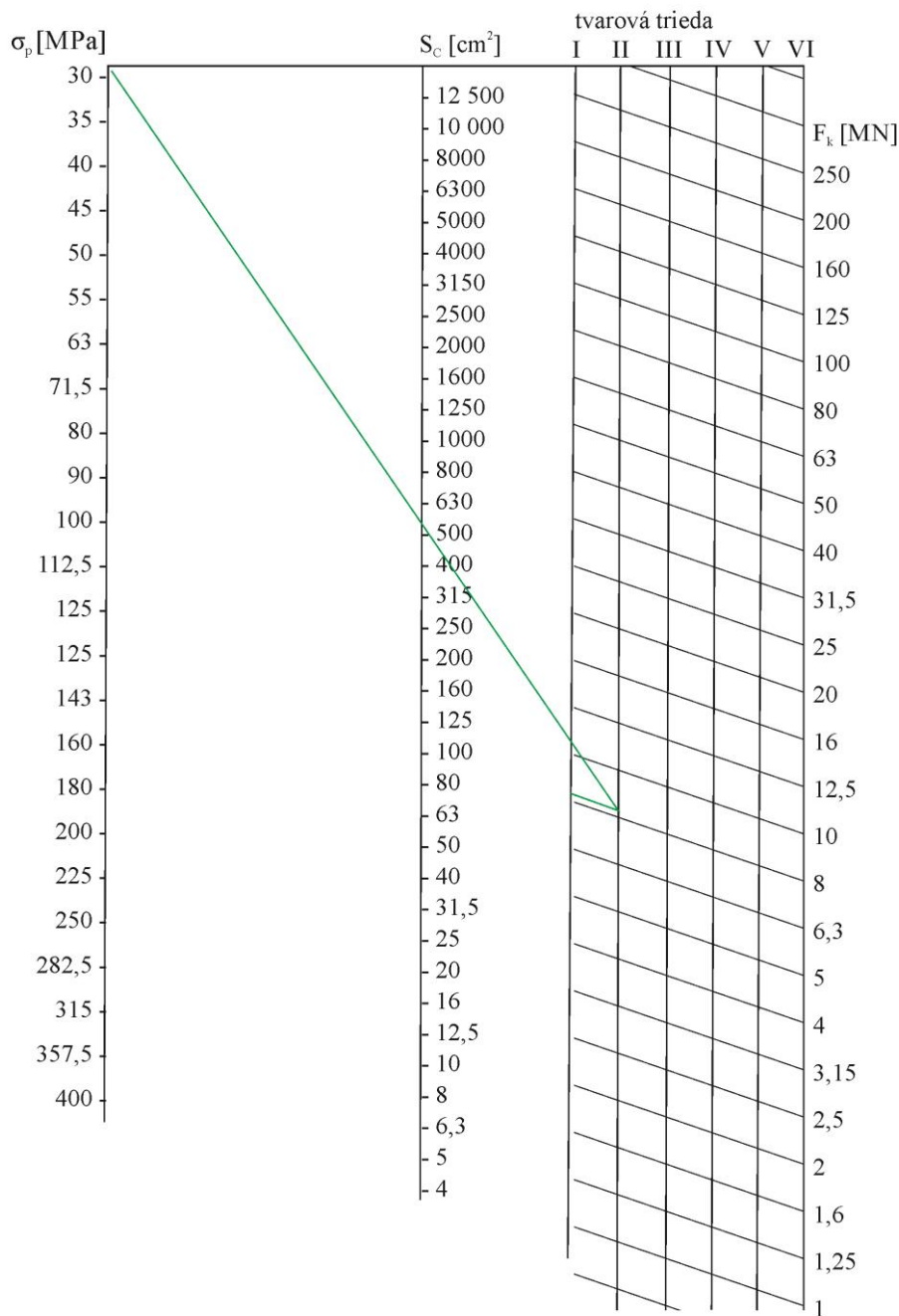
tab. 10 Koeicienty pre výpočet kovacej sily podľa tvarovej zložitosti

Hodnoty koeficientu tvaru pre rôzne tvary výkovkov			
Výronkové kovanie	K_f	Bezvýronkové kovanie	K_f
Jednoduchý tvar s výronkom	6.0	Mincovanie	6.0
Komplexné tvary s výronkom	8.0	Komplexné tvary	8.0
Veľmi zložitý tvar s výronkom	10.0		

Koeficient bude zvolený vyšší, z dôvodu zachovania rezervy pre odchýlky a pre bezpečnosť stroja. Po dosadení:

$$F_k = 8 \cdot 28 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 0,26^2}{4} \right) = 11,89 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$F_k = 11,89 \text{ MN}$$



obr. 23 Nomogram pre zjednodušené určenie kovacej sily [2]

Pre porovnanie je možné približnú kovaciu silu určiť aj z nomogramu normy ČSN 22 83 06 po určení pretvárneho odporu a plochy priemetu výkovku. Priamka spájajúca hodnotu pretvárneho odporu materiálu v MPa s hodnotou plochy priemetu výkovku v cm² po predĺžení pretne zvislicu zvolenej tvarovej zložitosti, kde podľa sklonenej stupnice odčítame potrebnú kovaciu silu v MN.

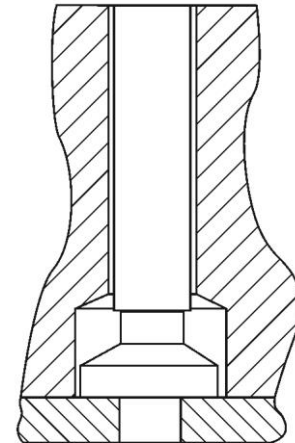
Z nomogramu na obr. 23 bola odčítaná hodnota približne 8,5 MN. V porovnaní s vypočítanou silou je táto značne nižšia, nejde ale o rádovo veľké rozdiely.

3.7 Riešenie vyhadzovania [2]

V uzavretej zápustke je nutné výkovok pridvihnúť vyhadzovačom tak, aby ho bolo možné uchopiť a preložiť do ďalšej operácie, alebo na dopravník. Výkovok v uzavretej zápustke inak nie je možné uchopiť kliešťami za výronok, ani priamo. Zostáva ležať v dolnej zápustke a nedochádza k ulpievaniu na zápustke hornej. Vyhadzovače preto budú umiestnené iba v dolnej časti zápustiek. Vyhadzovače sú mechanizmom lisu po každom zdvihu dvíhnuté, čím je výkovok vysunutý z dutiny zápustky a môže byť uchopený a preložený do ďalšej operácie, alebo na dopravník.

Norma ČSN 22 83 06 odporúča použitie vyhadzovačov so zaistením proti vytiahnutiu a so širšou základňou vytvorenou pre dobrú oporu vyhadzovača v priebehu kovania tak, ako je znázornené na obr. 24.

V predkovacej operácii použitie vyhadzovača nie je potrebné. Výkovok je ľahko dostupný obsluhu a uchopený do klieští môže byť bez problémov. V druhej a tretej operácii je použitie vyhadzovača nutné.

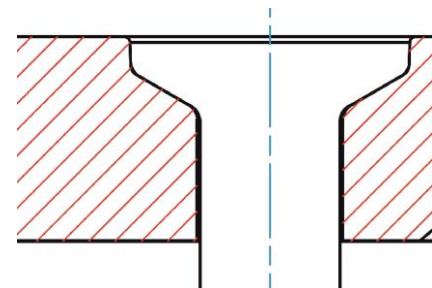


obr. 24 Kolíkový vyhadzovač podľa ČSN 22 83 06

3.8.1 Vyhadzovač pre druhú operáciu

Zápustka druhej operácie má s výnimkou požiadavky stredenia ploché dno bez tvarových komplikácií. Vzhľadom na tvar výkovku a možnosť deformácie tvaru výkovku pri malej ploche vyhadzovača bude zvolený väčší priemer tak, aby pokryl čo najväčšiu plochu stenčenej časti dna. Pre čiastočné zjednodušenie tvaru dolnej zápustky bude kontaktná plocha vyhadzovača o rovnakom priemere ako stredniaca jamka.

Veľká kontaktná plocha vyhadzovača je vystavená tepelnému a mechanickému namáhaniu horúcim výkovkom a tlakom v priebehu jeho deformácie. Je možné, že vyhadzovač podľahne opotrebovaniu skôr ako zápustka a bude nutné previesť výmenu. V takomto prípade by štandardné zostavenie podľa normy nebolo efektívne, pretože pri výmene vyhadzovača by bolo nutné vytiahnuť nalisovanú vložku zo zápustky a dochádzalo by k zbytočným zdržaniam. Z tohto dôvodu bude navrhnutý vyhadzovač takým spôsobom, aby bol vymeniteľný bez nutnosti demontáže vložky zo zápustky, či dokonca zápustky zo stroja a bude jednoducho vyberateľný zhora.



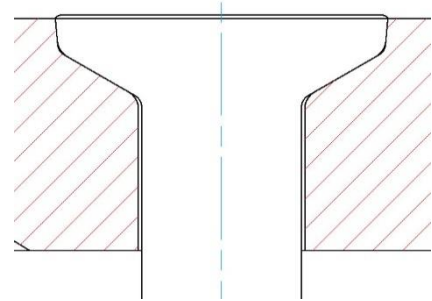
obr. 25 Vyhadzovač vo vložke 2. operácie

Týmto bude zrušená operná plocha na spodnej podstave vyhadzovača a je treba ju nahradiť. Norma ČSN 22 83 06 vo vedení pre menovitý priemer kolíkového vyhadzovača 50 mm odporúča vôľu 0,4 mm. Táto je volená tak, aby bol zabezpečený dobrý pohyb vyhadzovača a zároveň aby nedochádzalo k zatečeniu materiálu do medzery medzi stenou vyhadzovača a vložky.

Navrhnutý vyhadzovač sa líčujúcou kužeľovou plochou opiera o skosenie v dutine vložky. Vo vložke a zápustke sa pohybuje s vôľou 2 mm. Neštandardná vôľa je prípustná, pretože utesnenie proti zatečeniu materiálu je zabezpečené dosadnutím kužeľových plôch. Tiež sa takto znížia požiadavky na akosť valcovej plochy vyhadzovača. Navrhnutý vyhadzovač uložený vo vložke je na obr. 25.

3.8.2 Vyhadzovač pre tretiu operáciu

Vyhadzovač výkovku z dolnej zápustky tretej operácie je konštrukčným prevedením podobný vyhadzovaču druhej operácie. Vyhadzovacia plocha, na ktorej dochádza k styku s výkovkom bude dostatočne veľká, aby príliš nedeformovala dno výkovku pri vytlačení. Špeciálnou požiadavkou je značenie, ktoré je požadované raziť na dno výkovku. Horná plocha vyhadzovača je oproti dnu zápustky dvíhnutá o 1 mm, aby pri založení predkovku z druhej operácie došlo k predĺženiu dráhy na ktorej bude materiál kutý. Pre tento účel je použitie rýchlo vymeniteľného vyhadzovača tak, ako je znázornený na obr. 26 nanajvýš vhodné, pretože znaky na ploche vyhadzovača sú ľahko opotrebitelným tvarom. V prípade opotrebenia do stavu, že budú znaky značenia na dne výkovku nečitateľné, alebo potreby úplnej zmeny značenia tak bude možné pokračovať vo výrobe s minimálnym zdržaním.



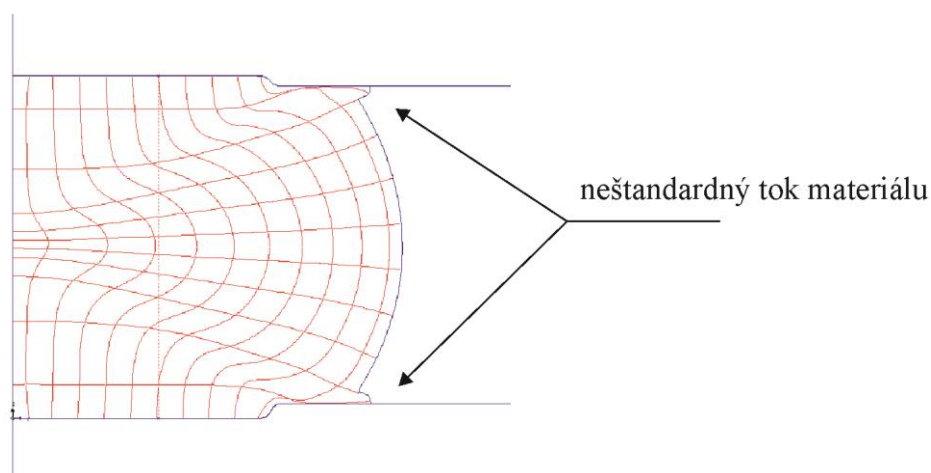
obr. 26 Vyhadzovač tretej operácie

4 SIMULÁCIA KOVANIA V NAVRHNUTÝCH TVAROCH ZÁPUSTIEK

So zohľadnením teoretických poznatkov boli navrhnuté tvary kovacích zápustiek. Ich geometria bola importovaná do simulačného programu FORMFEM, kde prebehla 2D simulácia toku materiálu počas kovania na priereze výkovkov a zápustiek v jednotlivých operáciách. Po doladení parametrov tak, aby simulácia zodpovedala známej situácii z praktického experimentu, boli prevedené simulácie ostatných operácií.

4.1 Simulácia prvej operácie

Pechovanie je pomerne jednoduchý proces, ktorého výsledky sú známe a slúžil na porovnanie a nastavenie parametrov simulácie tak, aby sa jej výsledky blížili reálnym. V prvotných procesoch vznikali preložky už pri pechovaní valca. Tento problém, ktorý sa pri danom tvare polotovaru a zápustiek v praxi nevyskytoval bol odstránený zvýšením koeficientu trenia.

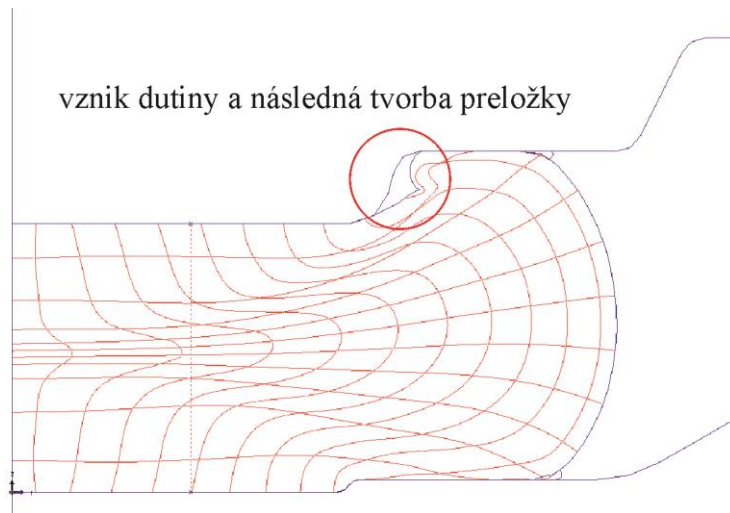


obr. 27 Nezhoda toku materiálu s reálnymi výsledkami

Na obr. 27 je prierez polotovaru výšky 152,5 mm spechovaný na výšku 68,5 mm. Materiál je bežne vplyvom trenia na styčnej ploche s nástrojom brzdený a súdok sa najviac rozširuje uprostred svojej výšky. Zvýšením koeficientu trenia bolo dosiahnuté priblíženie simulácie reálnemu stavu a problém sa ďalej neukazoval. Pri ponechaní stavu v ďalších operáciách vznikali preložky, ktoré sú vo výsledku nežiaducou vadou.

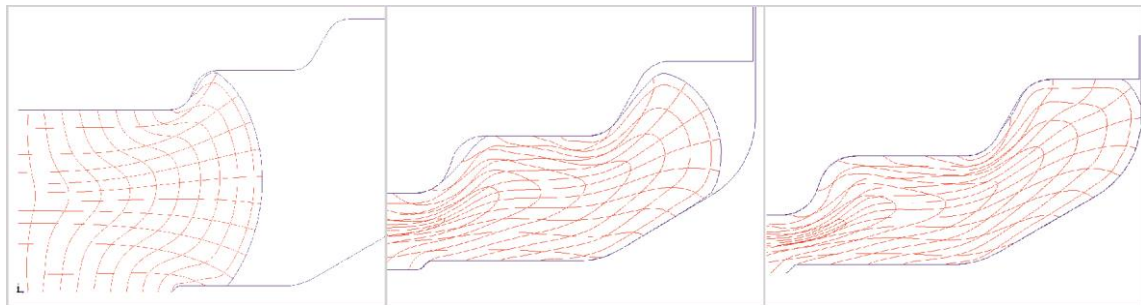
4.2 Simulácie kovania v druhej zápustke

Po doladení výsledkov pechovania bola geometria spechovaného súdka vložená do simulácie druhej operácie. Mohla tak byť približne overená vhodnosť navrhutej geometrie a prípadné nedostatky odstránené. V prvom návrhu bol tvar dolnej zápustky zjednodušený tak, aby bol toku materiálu kladený čo najmenší odpor, zatiaľ čo horná zápustka mala tvar blízky dokončovacej operácii. Nevhodnými sa ukázali byť príliš malé zaoblenia hrán a tiež uhly úkosov. Materiál mal tendenciu tiecť v radiálnom smere a v malých úkosoch počas kovania vznikali dutiny, zobrazené na obr. 28.



obr. 28 Nevyhovujúci tok materiálu v úkosoch a rádiusoch

Z tohto dôvodu boli v ďalšom návrhu zväčšené uhly úkosov a rádiusy zaoblení v hornej zápustke. Tvar dolnej zápustky zostal nezmenený, pretože nevykazoval žiadne komplikácie.

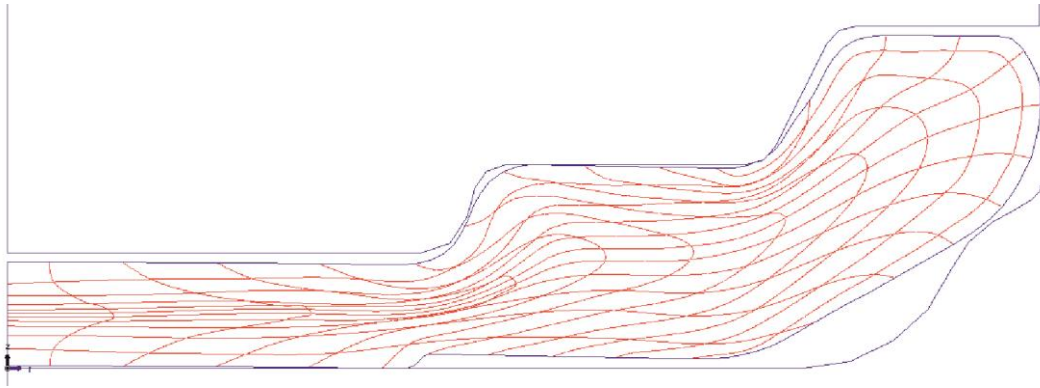


obr. 29 Finálna verzia zápustiek druhej operácie

Ako možno vidieť na obr. 29, v upravenej zápustke materiál počas pohybu barana nadol lepšie kopíruje jej tvar. Nevznikajú preložky a nedokutie vzniklo iba na vonkajšej hrane. To je v súlade s návrhom, pretože predstavuje rezervu pre prípadné odchýlky pri nepresnom delení materiálu. V druhej operácii nesmie dôjsť k vytvoreniu ihly medzi horným a dolným dielom zápustky. Tá by bola v ďalšom kroku spätne zakutá do povrchu výkovku a vznikol by zmätok – vadný kus, neakceptovateľný kontrolou.

4.3 Simulácia dokončovacej operácie

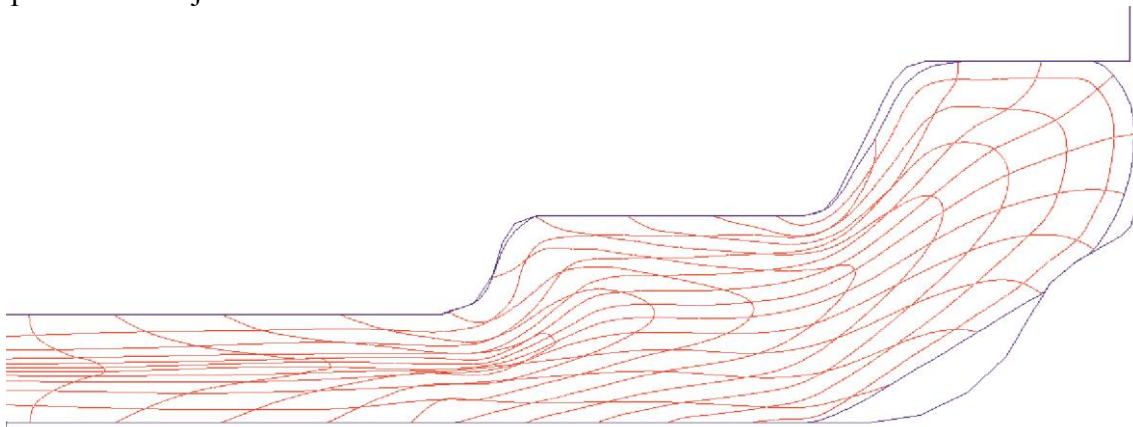
Predkovok z druhej operácie bol vložený do dutiny zápustky tretej operácie. Jej tvar je daný tvarom výkovku, preto je v prípade väd nutné zmeniť zápustky druhej operácie. Prvým znakom dobre navrhnutého predkovku z druhej operácie je dobré zapadnutie do dutiny dolnej zápustky a dosadnutie horného tvaru bez kolízií zaoblení a úkosov, ako je znázornené na obr. 30. Návrh bol zámerne robený spôsobom, aby ako prvá dosadla plocha prostrednej výšky a blana a horná plocha zostali nedotknuté.



obr. 30 Dosadnutie hornej zápustky na vložený predkovok z druhej operácie

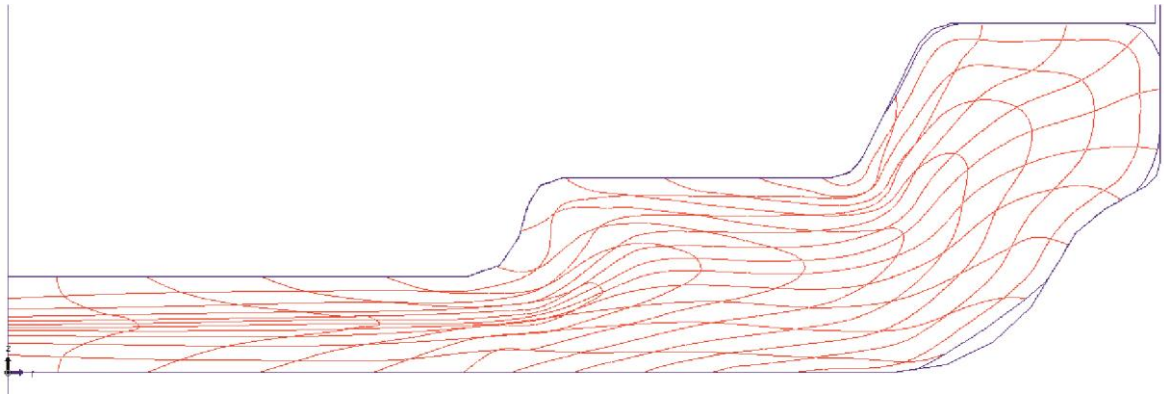
Návrh tvaru dolnej dutiny druhej operácie sa tiež ukázal ako vhodný, pretože predkovok do zápustky dosadol s malou vôľou na uľahčenie vkladania a kus dobre dosadol na svoju spodnú plochu. To bude dôležité pre čitateľné vyrazenie značenia.

V prvých krokoch sa deformuje horný tvar. Na obr. 31 je dobre vidieť, že materiál dobre kopíruje ostrejšie rádiusy a úkosy na plochách, kde je požadovaná vyššia presnosť rozmerov výkovku. Naopak dolný tvar sa zaplňa pomalšie. Takýto postup je žiadaný, pretože rádiusy na dne výkovku majú veľké rozmerové tolerancie. Plochy nie sú funkčné a môžu plniť funkciu kompenzátorov objemu.



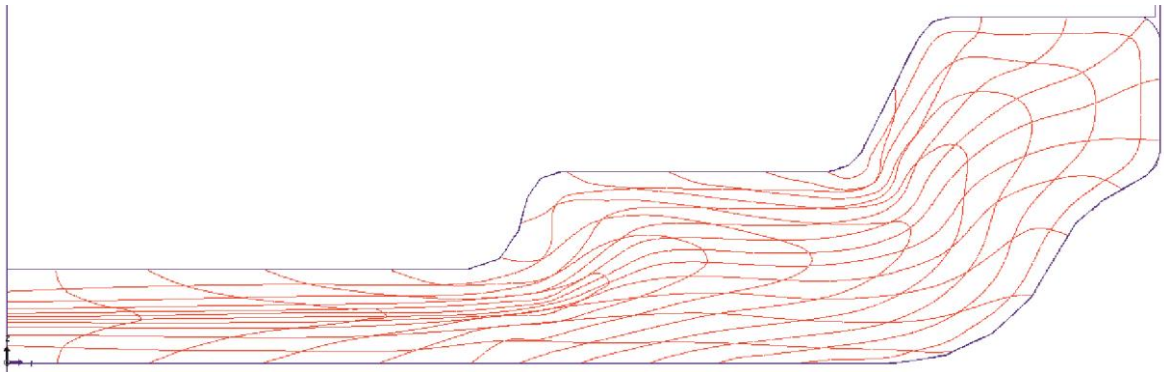
obr. 31 Fáza zaplňania horného tvaru

V ďalších krokoch pretrvávajú rýchlejšie zaplňanie rádiusov a úkosov v hornej zápustke, pričom v dolnej časti sú stále rezervy, viď obr. 32. Tok materiálu pokračuje smerom z prostredných častí k vonkajším obvodom a po vyplnení tvaru hornej zápustky sa dotláča do rádiusov pri dne a do rohu pri vôli medzi zápustkami.



obr. 32 Dokončovacia dutina tesne pred ukončením zdvihu

Po ukončení zdvihu je zápustka takmer zaplnená s výnimkou horného rohu, vid' obr. 33. Výkovok v tomto mieste toleruje rádius 2 mm, alebo ihlu do výšky 2,5 mm. Simulácia bola prevedená s presným množstvom materiálu, drobné korekcie je možné spraviť priamo vo výrobe zmenou výšky prírezu.



obr. 33 Dokončená tretia operácia

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE NÁVRHU

Účelom návrhu bezvýronkového kovania je možnosť úspory materiálu a nákladov. Podľa skúseností z praxe je možné predpokladať, že sa investícia z dlhodobejšieho hľadiska oplatí. V zhodnotení budú porovnané ročné náklady na materiál, prevádzku stroja a obsluhu.

5.1 Náklady na materiál

Najväčšie úspory sú predpokladané na spotrebe materiálu. Pri ročnej produkcii 60 000 ks výkovkov bol v kapitole 3.4 vypočítaný počet spotrebovaných tyčí. Zavedením bezvýronkového kovania by bolo ušetrených približne 5% aktuálne spotrebovávaného materiálu. Firma je veľkoodberateľom oceľových tyčí, za tonu materiálu zaplatí 675 €.

Pri uvažovaní garantovanej dĺžky tyče 9 m a priemeru $\varnothing 0,1$ m, je jej hmotnosť:

$$m_T = \rho \cdot V = \rho \cdot \pi \cdot D_T^2 \cdot L_T \cdot 0,25 \text{ [kg]} \quad (7)$$
$$m_T = 7\,850 \cdot \pi \cdot 0,1^2 \cdot 9 \cdot 0,25 = 554,6 \text{ kg}$$

Spotreba materiálu pre stávajúcu technológiu kovania s výronkom je 1 112 tyčí ročne bez uvažovania zmetkovosti, ktorú nie je možnosť porovnať. Cena za materiál je potom vypočítaná podľa:

$$C_M = m_T X_T \cdot 0,001 \cdot 675 \text{ [€]} \quad (8)$$

Kde	C_M	cena za materiál – objednané množstvo tyčí	[€]
	m_T	hmotnosť tyče	[kg]
	X_T	počet potrebných tyčí	[ks]
	675	cena za tonu materiálu	[€/1000kg]

$$C_{M1} = 554,6 \cdot 1\,112 \cdot 0,001 \cdot 675 = 416\,282,76 \text{ €}$$

Po zavedení bezvýronkového kovania budú čisté náklady na nákup materiálu bez uvažovania zmetkovosti:

$$C_{M2} = 554,6 \cdot 1\,053 \cdot 0,001 \cdot 675 = 394\,195,82 \text{ €}$$

Úspory sú rozdielom medzi nákladmi na materiál pre výronkové kovanie a bezvýronkové kovanie:

$$\Delta C_M = C_{M1} - C_{M2} \text{ [€]} \quad (9)$$
$$\Delta C_M = 416\,282,76 - 394\,195,82 = 22\,086,94 \text{ €}$$

Rozdiel ročných nákladov na materiál ΔC_M po zavedení novej technológie bude 22 087 €. Očakávané úspory 5% zo súčasných nákladov boli pomerne presné, vypočítané úspory tvoria 5,3% terajších vynaložených financií.

5.2 Náklady na energiu ostrihovacieho zariadenia

Využitie strojov a rýchlosť produkcie sa, s výnimkou vynechania operácie ostrihovania, kovaním bez výronku nezmení. Náklady na prevádzku píl, ohrievačov a kovacieho lisu môžeme považovať za konštantné a bude počítaný len rozdiel v podobe nákladov na prevádzku a obsluhu ostrihovacieho zariadenia.

Aktuálna výrobnosť jednej linky za osem hodinovú smenu je 840 ks. Z tohoto údaju bude spočítaný celkový čas potrebný na splnenie objednávky. Následne bude zo spotreby stroja

spočítaná cena za energiu. Z dodaných údajov je počítaný celkový počet hodín potrebných na splnenie objednávky:

$$T_C = \frac{X_O}{X_{VS}} \cdot T_S \text{ [hod]} \quad (10)$$

Kde	T_C	celkový čas výroby	[hod]
	X_O	počet objednaných kusov	[ks]
	X_{VS}	počet kusov vyrobených za smenu	[ks]
	T_S	dĺžka smeny	[hod]

$$T_C = \frac{60\,000}{840} \cdot 8 = 571,43 \text{ hod}$$

Počet celých hodín potrebných na splnenie nákladu objednávky je 572 hod. Pre ostrihovací lis LDO 500 je udávaná spotreba 45 kW. podľa odporúčania bola zvolená vyťaženosť, a teda priemerná spotreba 40%. Pri cene elektrickej energie 0,13 €/kWh sú potom náklady na chod stroja:

$$C_E = T_C \cdot P \cdot 0,4 \cdot C_{ET} \text{ [€]} \quad (11)$$

Kde	C_E	celkové náklady na energiu	[€]
	P	výkon stroja	[kW]
	0,4	vyťaženie	
	C_{ET}	jednotková cena energie	[€/kWh]

$$C_E = 571,43 \cdot 40 \cdot 0,4 \cdot 0,13 = 1\,188,57 \text{ €}$$

Náklady na energiu potrebné na prevádzku ostrihovacieho lisu sú 1 189 €. V prípade zmeny technológie táto operácia nebude potrebná a úspory na tejto operácii budú rovné terajším nákladom.

5.3 Náklady na obsluhu ostrihovacieho zariadenia

Obsluha stroja pri vyradení operácie z technologického postupu nebude potrebná. Údaj o nákladoch na prácu zamestnanca už je dodaný v prepočte na vyrobený kus. Náklady na plat zamestnanca za vyrobený kus sú 0,042 €/ks. Celkové náklady na jednu pracovnú silu pri uvažovanej objednávke budú vypočítané jednoducho súčinom počtu objednaných kusov a nákladu na prácu zamestnanca na jednom kuse výrobku:

$$C_W = 0,042 \cdot X_O \text{ [€]} \quad (12)$$

Kde	C_W	náklady na prácu ostrihovača	[€]
-----	-------	------------------------------	-----

$$C_W = 0,042 \cdot 60\,000 = 2\,520 \text{ €}$$

Náklady na pracovníka ostrihovacej operácie za celú dobu plnenia objednávky sú vo výške 2 520 €.

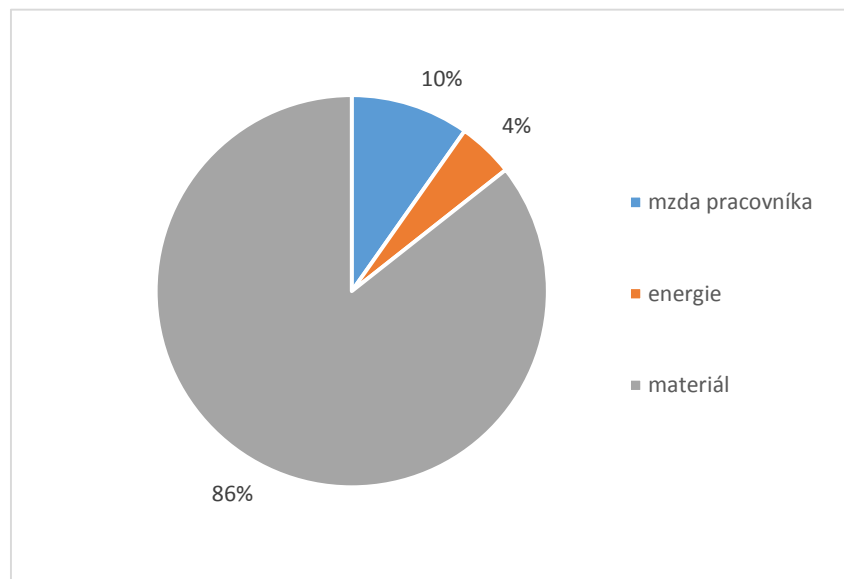
Celkové úspory sú získané ako rozdiel uvažovaných nákladov na objednávku pri výronkovom kovaní a bezvýronkovom kovaní. Keďže sú náklady na pracovníka ostrihovacieho lisu a chod stroja pri bezvýronkovom spôsobe kovania nulové, počítame:

$$\Delta C_T = C_W + C_E + \Delta C_M \text{ [€]} \quad (13)$$

$$\Delta C_T = 2\,520 + 1\,188,57 + 22\,086,94 = 25\,795,51 \text{ €}$$

Do celkovej bilancie vstupujú ďalšie faktory, ako napríklad náklady na výrobu nového nástroja, zmetkovosť procesu, hospodárenie s odpadovým materiálom a iné. Vo všeobecnosti

je však bezvýronkové kovanie jednoduchých výkovkov v praxi považované za výhodnejšie. Z vypočítaných výsledkov je tiež zrejmé, že najväčší podiel na úsporách má práve ušetrený materiál, vid' obr. 34:



obr. 34 Percentuálny podiel uvažovaných faktorov na úsporách

6 ZÁVERY

Predmetom práce bol výkovok aktuálne vyrábaný konvenčnou metódou zápustkového kovania s výronkom. Cieľom diplomovej práce bolo zhodnotiť súčasnú situáciu výroby zvoleného výkovku a navrhnúť zlepšenie v podobe postupového kovania v uzavretých zápustkách.

V teoretickej časti práce boli rozobraté možnosti a spôsoby rôznych technológií tvárnenia so zameraním na zápustkové kovanie. Boli zhrnuté poznatky o zápustkovom kovaní na lisoch a bucharoch a tiež konštrukčné prvky zápustiek. Po oboznámení s problematikou nástrojov pre zápustkové kovanie bol v modelovacom programe Autodesk Inventor 2014 vytvorený 3D model výkovku so zohľadnením tepelnej rozťažnosti a podľa jeho tvaru následne navrhnutá zápustka tretej operácie.

Zápustková dutina druhej operácie bola najzložitejšou úlohou, pretože bolo nutné prihliadať ako na možnosti predkovania predkovku z prvej operácie, tak na požiadavky na zakladanie v dokončovacej operácii a množstvo faktorov, ktoré ovplyvňujú výsledný výkovok. Súčasťou riešenia je návrh špeciálnych vyhadzovačov za účelom zjednodušenia opráv a manipulácie.

Prvá operácia bola z ekonomických dôvodov zachovaná pôvodná. Alternatívou by mohlo byť rozpechovanie na presný tvar v uzavretej zápustkovej dutine.

Navrhnuté nástroje boli následne podrobené simulačným testom kovacieho procesu v programe FORMFEM, s cieľom získať predstavu o problematike toku materiálu v dutine zápustky a overiť správnosť uvažovania. Počiatočné nedostatky a nezhody s reálnou situáciou boli doladené. Simulácie umožňujú lepšie pochopiť konštrukčné zásady pri návrhu nástroja, ich význam a vplyv na výsledný proces bez nutnosti reálnych experimentov a tým proces návrhu urýchlia a znížia náklady na jeho testovanie.

Nástroje navrhnuté podľa doporučení normy a rád od ľudí orientujúcich sa v problematike sú použiteľné v reálnom prostredí. Z praktických dôvodov boli niektoré odporúčania normy nahradené špeciálnym riešením, tak aby mohol byť proces výroby čo najplynulejší a najlacnejší pri zachovaní, alebo dvíhnutí úrovne kvality.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY

- 1 ASM-Metals. Handbook: *Forming and Forging. Vol.14*. 9. vyd. USA ASM International, 2004. 978 s. ISBN 0-87170-020-4
- 2 ČSN 22 8306. *Zápusťky pro svíslé kovací lisy – technologické požadavky na konstrukci*. Praha: Český normalizační institut, 1991. 45s.
- 3 DOBROWSKY, Bob. *Survey says: The metalforming industry is strong*. 1.3.2014 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z:
<http://www.metalformingmagazine.com/magazine/article.asp?iid=110&aid=9104>
- 4 DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 2. vyd. Brno: CERM, 2004. 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
- 5 DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno : CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
- 6 DVOŘÁK, Milan, MAREČKOVÁ, M. *Technologie tváření*. [online]. [cit. 2014-04-02]. Dostupné z:
http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/index.htm
- 7 ELFMARK, J. *Tváření kovů*. 1. Vyd. Praha: STNL – Nakladatelství technické literatury, 1992. 528 s. ISBN 80-03-00651-1.
- 8 FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9
- 9 GROOVER, Mikell. *Fundamentals of modern manufacturing* [online]. 4. vyd. John Wiley & Sons, 2010. 1024 s. ISBN 9780470467008.
- 10 KOSHER, Ronald, BLACK, J. *DeGarmo's materials and processes in manufacturing*. 11. vyd. Wiley, 2011. ISBN 0470924675.
- 11 LENFELD, Petr. *Skripta tváření kovů a plastů* [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm
- 12 LIDMILA, Zdeněk. *Tvářecí nástroje – Přednášky*. VUT v Brně 2014.
- 13 *LZK 4000 B* [online]. 2014 [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: http://www.stankoservice.com/images/fullsize/0890/74_1.jpg
- 14 NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno, Nakladatelství VUT, Brno, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9
- 15 PÁLÁN, Robert. *Výroba opěry tvářením*. Brno, 2008. 66 s. Vedúci diplomovej práce Ing. Kopřiva.
- 16 *Schéma upevnenia podložky a čapu na náves* [online]. 2014 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: http://i01.i.aliimg.com/img/pb/475/671/332/332671475_474.JPG
- 17 SAMEK, Radko, LIDMILA, Zdeněk, ŠMEHLÍKOVÁ, Eva. *Speciální technologie tváření, část II*. 1. vyd. Brno: CERM, 2011. 155 s. ISBN 978-80-214-4406-5.
- 18 *Strojní lyceum*. [online]. [cit 2014-04-18]. Dostupné z:
<http://www.strojnylyceum.wz.cz/maturita/tep12.pdf>
- 19 Technická univerzita v Košiciach. *Lisy*. [online] [cit 2014-05-12]. 31 s. Dostupné z:
https://www.sjf.tuke.sk/kvtar/2/files/09_Lisy.pdf

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

d_T	[mm]	priemer tyče
f	[-]	súčiniteľ trenia
h_p	[mm]	výška prírezu
m_T	[kg]	hmotnosť tyče
m_V	[kg]	hmotnosť výkovku
C_E	[€]	náklady na energiu
C_{ET}	[€/kWh]	cena energií
C_M	[€]	náklady na materiál
C_W	[€]	náklady na pracovníka
D	[mm]	priemer napechovaného valca
F_K	[N]	kovacia sila
F_{PECH}	[N]	pechovacia sila
H	[mm]	výška napechovaného valca
K_f	[-]	koeficient zložitosti tvaru
P	[kW]	príkonná výkon
S	[mm ²]	plocha podstavy napechovaného valca
S_T	[mm ²]	plocha tyče
S_V	[mm ²]	plocha výkovku
T_C	[hod]	výrobný čas
T_S	[hod]	dĺžka smeny
V_V	[mm ³]	objem výkovku
X	[ks]	počet prírezov
X_O	[ks]	veľkosť objednávky
X_T	[ks]	počet tyčí
X_{VS}	[ks/8 hod]	kusovosť za smenu
ΔC_T	[€]	rozdiel celkových nákladov
σ_P	[MPa]	základné pretvárne napätie
σ_{zstr}	[MPa]	normálne napätie

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1:	materiálové listy konštrukčnej ocele ČSN 41 1523
Príloha 2:	výkres výkovku lezovic_00_A4
Príloha 3:	výkres dolnej zápustky prvej operácie lezovic_01d_A3
Príloha 4:	výkres hornej zápustky prvej operácie lezovic_01h_A3
Príloha 5:	výkres dolnej vložky zápustky druhej operácie lezovic_02d_A3
Príloha 6:	výkres hornej vložky zápustky druhej operácie lezovic_02h_A3
Príloha 7:	výkres dolnej vložky zápustky tretej operácie lezovic_03d_A3
Príloha 8:	výkres hornej vložky zápustky tretej operácie lezovic_03h_A3
Príloha 9:	výkres vyhadzovača druhej operácie lezovic_02v_A4
Príloha 10:	výkres vyhadzovača tretej operácie lezovic_03v_A4
Príloha 11:	výkres zápustiek na vložkovanie lezovic_00z_A4
Príloha 12:	výkres zostavy vložiek zostava
Príloha 13:	materiálové listy nástrojovej ocele ČSN 19 552
Príloha 14:	materiálové listy nástrojovej ocele ČSN 19 663