



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ZPŮSOB VÝVOJE VÝKOVKU V PODMÍNKÁCH MODERNÍ KOVÁRNY

METHOD DEVELOPMENT OF FORGED PIECE IN CONDITIONS OF MODERN FORGE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MICHAL VRAŠTIAK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Michal Vraštiak

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:

Způsob vývoje výkovku v podmínkách moderní kovárny

v anglickém jazyce:

Method development of forged piece in conditions of modern forge

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby rotačního výkovku. Součástka bude vyráběna technologií zápuštěkového kování. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle diplomové práce:

Práce bude obsahovat rozbor současného stavu, porovnání možných způsobů výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti. Pro zvolenou technologii bude provedena aktuální literární studie, následovat bude návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty. Součástí řešení bude i návrh sestavy nástroje, konstrukční dokumentace, technicko-ekonomické hodnocení a závěry.

Seznam odborné literatury:

1. LIDMILA, Zdeněk a Emil SVOBODA. Strojírenská Technologie. Brno: Fakulta vojenských technologií, 2006. 250 s. ISBN 978-80-7231-220-7.
2. FOREJT, Milan. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Nakladatelství VUT v Brně. Brno: Rekrorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
3. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
4. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
5. FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
6. KOTOUČ, Jiří, et al. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Praha: Vydavatelství CVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
7. FROLEC, Ivo. Kovářství. Praha: Grada Publishing a.s., 2003. 156 s. ISBN 80-247-0611-3.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 20.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

VRAŠTIAK Michal: Způsob vývoje výkovku v podmínkách moderní kovárny.

Se zohledněním moderních řešení byla zvolena technologie zápustkového kování součásti náboje kola automobilu z oceli 14220 (DIN 16MnCr5) o sériovosti 50000 ks. Na základě literární studie a poznatků z praxe byl vyřešen postup kování včetně technologických výpočtů, výkresové dokumentace a výsledků simulace kování pomocí programu QForm. Byl navržen nástroj z legované ušlechtilé nástrojové oceli 19552. Výkovek je kován na klikovém lisu firmy Šmeral Brno LZK 1000 s jmenovitou tvářecí silou 10 MN. Polotovar je dělen nůžkami z tyče Ø45 mm dlouhé 6 m na délku 89,5 mm.

Klíčová slova: Výkovek, kování, kovárna, zápustka, klikový lis, simulace.

ABSTRACT

VRAŠTIAK Michal: Method development of forged piece in conditions of modern forge.

Taking into account modern technology solutions has been selected die forging of the wheel hub of automobile steel 14220 (DIN 16MnCr5) about the serial 50000 pcs. Based on the literature study and practical experience has been solved forging process, including technological calculations, engineering drawings and results of simulations of the forging process performed by the Qform software tool. A tool was designed to be made of 19552 grade alloy tool steel. The forged piece is to be forged on an LZK 1000 crank press with the nominal forming force of 10 MN manufactured by Šmeral Brno. The stock is divided with shears from bar Ø45 mm 6 m long to bar 89.5 mm long.

Keywords: Forged piece, forging, forge, die, crank press, simulation.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VRAŠTIAK, Michal. *Způsob vývoje výkovku v podmínkách moderní kovárny*. Brno, 2013. 62s, 12 výkresů, 5 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 24.5.2013

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilovi Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1. ROZBOR STÁVAJÍCÍHO STAVU	10
1.1 Možnosti výroby	11
2. TECHNOLOGIE ZÁPUSTKOVÉHO KOVÁNÍ	12
2.1 Teorie objemového tváření kovů za tepla.....	13
2.2 Ohřev materiálu	15
2.3 Kovací stroje.....	17
2.4 Zásady návrhu výkovku.....	20
2.4.1 Mezní úchytky rozměrů a tvarů	22
2.5 Konstrukce zápustek.....	23
2.5.1 Rozměry a drsnost zápustek.....	24
2.5.2 Výronková drážka	25
2.5.3 Vyhazovače.....	26
2.5.4 Vložkování a renovace.....	27
2.5.5 Předkovací dutina.....	28
2.5.6 Upínání zápustek.....	28
2.5.7 Vedení zápustek	29
2.5.8 Přehřev zápustek	30
2.5.9 Mazání zápustek.....	30
2.6 Kovací síla	31
2.7 Dokončovací operace	34
2.8 Dělení výchozího polotovaru.....	35
3. NÁVRH VÝROBY VÝKOVKU.....	37
3.1 Stanovení rozměrů a tvarů.....	37
3.1.1 Úpravy návrhu.....	41
3.2 Návrh nástroje.....	42
3.2.1 Předkovací nářadí.....	44
3.3 Simulace	45
3.3.1 Výpočty kovací síly	46
3.4 Výroba nářadí	53
3.5 Technologický postup.....	54
3.6 Testovací série	57
4. TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	58
5. ZÁVĚRY	62
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů	
Seznam příloh	
Seznam výkresů	

ÚVOD [15], [19]

Součástky lze vyrábět různými metodami. Jednou z nich je objemové tváření za tepla, do kterého patří technologie kování. Rozdělujeme se na kování volné a v zápustkách. Volné kování spočívá v postupném utváření polotovaru pomocí jednoduchých nástrojů na strojích pro volné kování. U zápustkového kování ohřátý materiál vyplňuje dutinu zápustek.

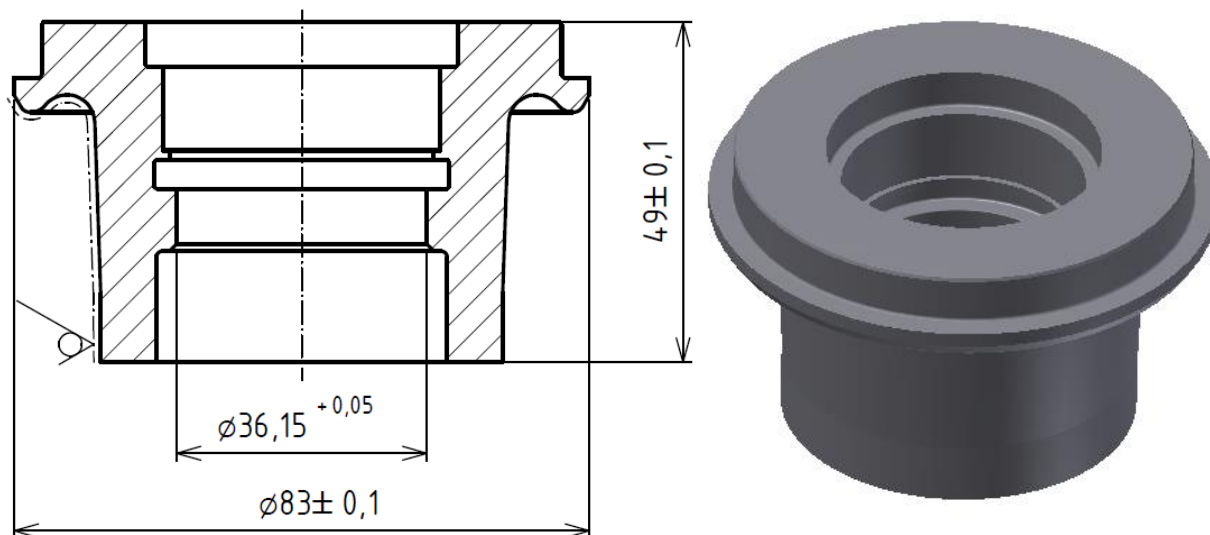
Příklady výkovků kovaných v zápustkách jsou uvedeny na obr. 1.



Obr. 1 Příklady výkovků [18], [31], [45], [48], [49], [50]

1 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO STAVU [27], [40], [46]

Náboj kola (obr. 2), používaný u automobilů, lze klasifikovat jako rotačně symetrickou součást. Výrobní série činí 50000 ks. Výkres obrobku (č.v. 116197-2013-22/13-03) je dodán zákazníkem, který požaduje zhotovit označenou část tak, aby ji nebylo nutno dále obrábět. Na obr. 2 je znázorněn náčrt se základními rozměry a požadovanou neobráběnou plochou.



Obr. 2 Náčrt a 3D model obrobku

Náboj kola bude vyráběn z oceli 14220 (DIN 16MnCr5). Jedná se o ušlechtilou konstrukční mangan-chromovou ocel k cementování. Prokaluje se do hloubky cca 30 mm. Ocel je dobře tvařitelná za tepla, po žhání na měkko i za studena. Je dobře obrobitelná a svařitelná. Je to nejčastěji používaná cementační ocel pro středně namáhané díly strojů a motorových vozidel. Vhodná pro strojní součásti k zušlechtění, cementování s velkou pevností v jádře, např. hřídele, ozubená kola, vačkové hřídele, zdviháky ventilů, pístní čepy, zubové spojky apod. Materiál lze dodat ve formě kruhové tyče od průměru 10 mm do průměru 615 mm. Mechanické vlastnosti a tepelné zpracování je uvedeno v tab. 1. Chemické složení je pak uvedeno v tab. 2. Zákazníkem požadované tepelné zpracování součásti je zušlechtování na 700 – 900 MPa.

Tab. 1 Vlastnosti oceli 14 220 [27]

Tepelné zpracování	Teplota [°C]	Mechanické vlastnosti	
Normalizační žhání	880 - 920	Mez kluzu	Re = 590 MPa
Cementování	860 - 900	Mez pevnosti v tahu	Rm = 785 MPa
Kalení	810 - 840		
Popouštění	150 - 200		
Optimální kovací interval	800 - 1250		

Tab. 2 Chemické složení oceli 14 220 [27]

C	Mn	Si	Cr	P max.	S max.
0,14-0,19 [%]	1,10-1,40 [%]	0,17 - 0,37 [%]	0,80-1,10 [%]	0,035 [%]	0,035 [%]

K dispozici je moderní zázemí firmy Kovárna VIVA a.s., která je přední českou průmyslovou kovárnou. Specializuje se na výrobu zápustkových výkovků z legovaných, mikrolegovaných, uhlíkových a konstrukčních ocelí. Hmotnostní rozmezí výrobků je v intervalu 0,1 - 20 kg. Výkovky jsou vyráběny s vysokou přesností, složité geometrie, malých i velkých sérií, ze standardních i speciálních materiálů. Celý proces výroby je důkladně kontrolován a technologie jsou ohleduplné k životnímu prostředí. Historii kovárny VIVA lze nalézt v příloze 1.

1.1 MOŽNOSTI VÝROBY [19], [20], [28]

- Obrábění - při třískovém obrábění je z výchozího polotovaru postupnými úběry materiálu dosaženo požadovaného tvaru pomocí řezných nástrojů. Při této technologii by vznikl poměrně velký odpad materiálu ve formě třísek a obrábění dutiny by bylo časově náročné. Obráběním lze dosáhnout velké přesnosti a velmi dobré drsnosti povrchu součástí. Výhodou obrábění je, že není třeba vyrábět speciální nástroje. Nevýhodou jsou přerušená vlákna materiálu, což způsobuje menší pevnost materiálu oproti kování. Obrábění by bylo v dané situaci mnohonásobně dražší než kování s ohledem na požadovaný počet vyráběných kusů.



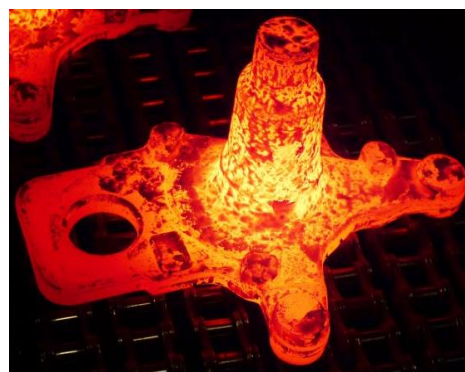
Obr. 3 Soustružení [30]

- Přesné lití - voskové modely, vyrobené na vstřikovacím automatu, jsou sestaveny do tzv. stromečku a použity pro výrobu jednorázové skořepinové formy. Do vytvrzené formy je naléván roztavený materiál a po ztuhnutí jsou odlitky odděleny od vtokové soustavy a očištěny. Metody přesného lití umožňují vyrobit rozměrově a tvarově přesnější odlitky než běžné slévárenské metody. Lze vyrábět i tvarově složité součásti a funkční plochy je možné zhotovit s rozměrovou přesností a požadovanou drsností povrchu tak, že dokončování ploch obráběním není potřeba. Nevýhodou je výroba nákladného nářadí pro vytvoření vytavitelných modelů a nutnost zhotovit pro každý kus jeden.



Obr. 4 Přesný odlitek [8]

- Zápustkové kování - polotovar ohřátý na kovací teplotu je vložen do nástroje (zápustky), kde je pomocí stroje tvářen různým počtem operací a vytvarován podle dutiny. Zápustkové kování je využíváno v sériové a hromadné výrobě. Vyznačuje se vysokou produktivitou a hospodárností. Výkovky mají nepřerušené vlákna materiálu, a tím i dobré mechanické vlastnosti. Kováním je dosaženo nízkého odpadu materiálu, ale nevýhodou jsou vysoké náklady na výrobu nástroje a energetická náročnost.

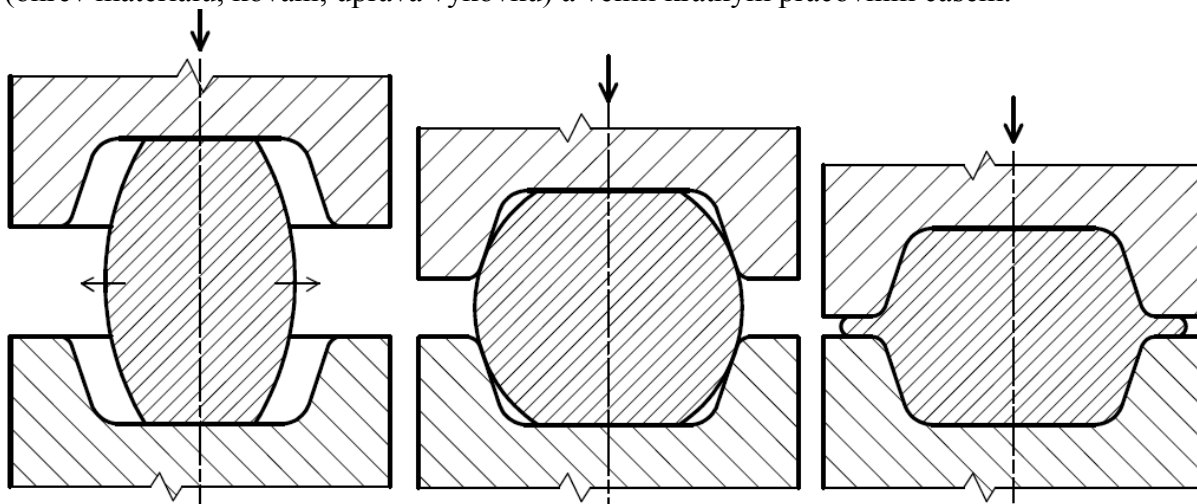


Obr. 5 Zápustkový výkovek [36]

Technologie zápustkového kování nabízí výhodný průběh vláken materiálu po kování, minimální odpad materiálu, vysokou produktivitu a dobré mechanické vlastnosti materiálu, a proto bude nejvhodnější variantou výroby dané součásti. Na tuto zvolenou technologii bude zaměřena další literární studie a návrh součásti.

2 TECHNOLOGIE ZÁPUSTKOVÉHO KOVÁNÍ [14], [15], [19]

Technologie zápusťkového kování patří do skupiny objemového tváření kovů při kováci teplotě v dutině zápusťky, která má tvar požadovaného výkovku, případně předkovku, s přídávky. Ohřátý polotovár se umísťuje do spodní části dutiny zápusťky a prostřednictvím horní části zápusťky, na kterou působí úder bucharu nebo klidný tlak lisu, dochází k vyplňování dutiny. Ta může být otevřená (s výronkovou drážkou) nebo uzavřená. Tok materiálu při zaplňování otevřené zápusťky během zdvihu tvářecího stroje obecně probíhá ve třech fázích. V první je polotovár pěchován a materiál se šíří kolmo ke směru zdvihu. Druhá fáze začíná v okamžiku, kdy tvářený polotovár zaujme celý příčný průřez v dělicí rovině zápusťky, jejíž zbylé dutiny jsou dále zaplňovány zvýšením odporu proti tečení v oblasti výronkové drážky. Třetí fáze je stěžejní pro zaplnění dutiny a přebytečný materiál vytéká do výronku, viz obr. 6. Tok kovu se při zápusťkovém kování vyznačuje menším stupněm volnosti než při kování volném, protože je omezen stěnami dutiny zápusťky. Při kování s výronkem vznikají při vytékání kovu ze zápusťky tahová napětí na povrchu výkovku, která mohou být příčinou trhlinek. Tato technologie se vyznačuje malým počtem operací (ohřev materiálu, kování, úprava výkovků) a velmi krátkým pracovním časem.

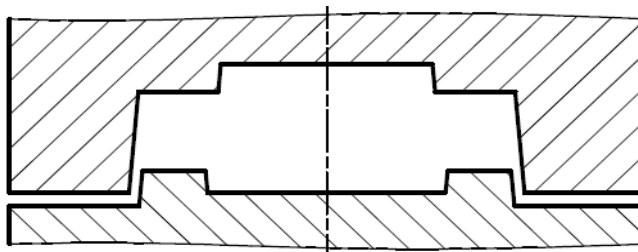


Obr. 6 Fáze vyplňování otevřené dutiny [19]

Při kování v uzavřených zápusťkách (obr. 7) je celý objem materiálu vložený do zápusťky spotřebován na vyplnění zápusťkové dutiny. Touto metodou lze vyrobit i tvarově složité výkovky. Základní požadavky při kování v uzavřené zápusťce jsou:

- správné založení a vystředění polotovaru,
- čisté plochy,
- přesné dodržení objemu polotovaru.

Výkovky jsou obvykle umístěny v jedné polovině zápusťky, což vylučuje přesazení zápusťek, a umožňuje výrobu přesnějších výkovků. V materiálu výkovku vznikají pouze tlaková napětí, která vylučují vznik trhlinek. Výhodou této metody je úspora materiálu výkovku.



Obr. 7 Uzavřená zápusťka [19]

Rozvoj zápusťkových výkovků byl podpořen rozvojem automobilového průmyslu, kdy výkovky začaly postupně vytlačovat součásti vyráběné obráběním. Tento rozvoj byl iniciován tam, kde byla potřeba velkého množství tvarově zcela shodných součástí o vysoké rozměrové přesnosti.

Výroba zápustkových výkovků většinou neumožňuje dosažení takové jakosti povrchu a přesnosti rozměrů, jaké jsou od hotových součástí vyžadovány. Proto se často musí výkovky dále obrábět. Přesné výkovky jsou součástí takových rozměrů a kvality povrchu, které je možno použít jako hotové součásti. Přesto se však musí funkční plochy alespoň přebrousit, aby součást plnila danou funkci.

Na obr. 8 jsou znázorněna stadia technologického postupu zápustkového kování s výronkem. Operace uvedené v závorce lze vynechat.

výkresová dokumentace
výchozí polotovár a jeho dělení
ohřev polotovaru
(pěchování)
(předkování)
kování
ostřížení výronku a (děrování blány)
tepelné zpracování a úprava výkovku
zápustkový výkovek

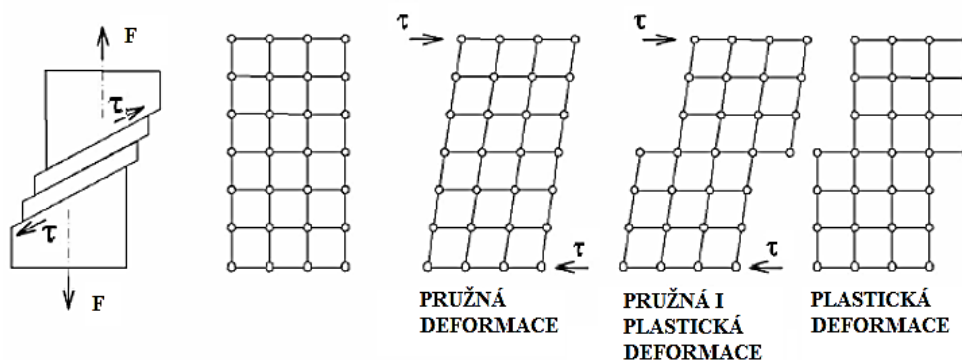
Obr. 8 Technologický postup [14]

2.1 TEORIE OBJEMOVÉHO TVÁŘENÍ KOVŮ ZA TEPLA [15], [19]

Při objemovém tváření materiálu nastává plastická deformace ve všech směrech, mění se tvar a mechanické vlastnosti. Deformace je změna tvaru tělesa způsobená vnějšími nebo vnitřními silami bez porušení soudržnosti materiálu. Plastické deformaci vždy předchází deformace elastická (pružná), viz obr. 9. Po ukončení působení vnějších sil se pružně deformovaný materiál vrátí do výchozího stavu, platí Hookův zákon.

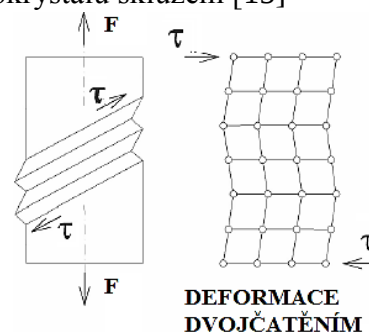
Hlavním znakem plastické deformace je nevratnost děje při zachování krystalické struktury kovu. Deformace mohou nastat na hranicích nebo uvnitř zrn, proto existují dva mechanismy plastické deformace:

- Skluz je převažujícím mechanismem plastické deformace, který nastává obvykle v rovinách s největší hustotou atomů. S těmito rovinami je totožný směr skluzu. Z možných skluzových rovin a směrů se uplatňují roviny s maximální hodnotou skluzového napětí " $\tau_{\max}$ ". Po dosažení kritické hodnoty nastane skluz (obr. 9).



Obr. 9 Znázornění pružné a plastické deformace monokrystalu skluzem [15]

- Dvojčatění je natočení jedné části mřížky proti druhé kolem roviny symetrie a vytvoření zrcadlového obrazu, viz obr. 10. Část natočeného krystalu je pak dále deformována kluzem. Kritické skluzové napětí pro umožnění skluzu je značně menší, než potřebné napětí pro dvojčatění, které vzniká při tváření rázem a žiháním po plastické deformaci.



Obr. 10 Deformace dvojčatěním [15]

Kování je technologie tváření za tepla a odlišuje se od varianty tváření za studena, kde dochází vlivem různého směru ploch kluzu k nerovnoměrné deformaci, která zanechává zbytková napětí, zpevnění. Při ohřívání materiálu tvářeného za studena do určitých teplot přecházejí atomy do míst rovnováhy. Tím se odstraňují největší poruchy mřížky, což má za následek snížení zbylých napětí beze změny tvaru a rozměru zrn, zotavování. Zvyšováním teploty tvářeného kovu nad teplotu zotavení vede k rekrytalizaci, která způsobuje vznik nových zrn na úkor deformovaných, což vede ke snížení pevnosti a zvýšení tažnosti. Proto je tváření kovů nad teplotou rekrytalizace provázáno dvěma procesy a to zpevňováním (deformací zrn) a jejich rekrytalizací. U čistých kovů je teplota rekrytalizace dána vztahem:

$$T_{\text{REK}} = (0,35 \text{ až } 0,40) \cdot T_{\text{TAV}} \quad (2.1)$$

kde T_{REK} je teplota rekrytalizace $[\text{°C}]$

T_{TAV} je teplota tavení $[\text{°C}]$

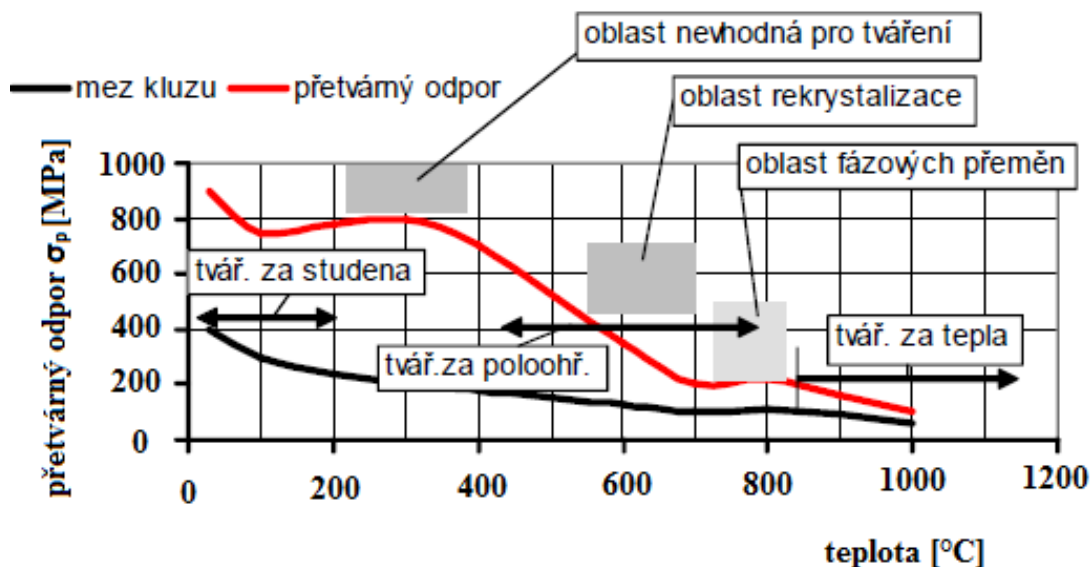
Rekrytalizace probíhá určitou rychlostí a je závislá na teplotě a stupni deformace. Čím vyšší je stupeň deformace a teplota tvářeného kovu, tím větší je rychlost rekrytalizace. Pokud je rychlost rekrytalizace větší než rychlost deformace, tak se výsledná sktruktura skládá z nedeformovaných zrn bez zpevnění. Průběh deformačního odporu materiálu během tváření závisí na teplotě a deformační rychlosti (obr. 11). V oblasti nevhodné pro tváření (oblast modrého žáru) dochází ke zkřehnutí materiálu způsobené deformačním stárnutím vlivem sloučenin dusíku s kovy na hranicích zrn. Tváření za studena probíhá při teplotách nižších než je teplota rekrytalizace:

$$T_{\text{ST}} \leq 0,3 \cdot T_{\text{TAV}} \quad (2.2)$$

kde T_{ST} je teplota tváření za studena $[\text{°C}]$

Tváření za částečného ohřevu probíhá za teplot, kdy dochází k tepelně aktivovanému pohybu dislokací. Teplota tváření je nižší než rekrytalizační teplota, proto dochází k deformačnímu zpevnění.

Při tváření za tepla klesá zpevnění kovu následkem současného zotavení a rekrytalizace. Tváření probíhá za teplot vyšších než je teplota rekrytalizace a rychlost plastické deformace je vůči rychlosti rekrytalizace velká, což vede k odpevňování materiálu během tváření. V závislosti na rychlosti deformace se zpevnění zmenšuje nebo zcela odstraní, a proto je umožněno prakticky neomezené přetvoření. Výhodami tváření za tepla jsou malé přetvárné odpory za vysokých teplot, obnova a dynamické odpevňování vláknité struktury, menší silové namáhání nástroje a potřeba menších tvářecích sil. Mezi nevýhody patří velká spotřeba energie pro ohřev, značné tepelné namáhání nástroje, menší přesnost výroby a horší kvalita oduhličeného (okujeného) povrchu.



Obr. 11 Vliv teploty na přetvárný odpor materiálu [2]

2.2 OHŘEV MATERIÁLU [5], [14], [19], [29]

Před samotným kovááním je nutné materiál ohřát. Kove se obvykle při nejvyšších dovolených kovacích teplotách, protože s rostoucí teplotou se snižuje deformační odpor materiálu. Tím se materiál snadněji tváří, což má za následek snížení kovacích časů, opotřebení zápusťek a zvýšení produktivity. Horní kovací teploty leží zhruba 200 až 300 °C pod teplotou tavení (solidem), tedy má být vždy nižší než kritická teplota růstu zrna. U uhlíkových ocelí závisí kritická teplota na obsahu uhlíku, u legovaných ocelí na přísadových prvcích. Spodní kovací teplota je vymezena křivkou A_{c3} , A_{c1} a leží přibližně 50 °C nad nimi.

Pásmo kovacích teplot (obr. 12) je závislé na druhu oceli a předchozím zpracování materiálu. Prodléva na vysokých teplotách nemá být příliš dlouhá, protože hrozí nebezpečí zhrubnutí zrna. Pokud je stupeň deformace dostatečně velký, zjemní se zhrublé zrna materiálu během tváření. Jestliže tomu tak není, zůstává zrna vlivem ohřevu hrubá a musí následovat normalizační žíhání. Proto mají být kovací teploty přizpůsobeny stupni deformace. To platí zejména pro konečné teploty, kdy obvykle bývá stupeň deformace nízký (např. při dokování).

Vysoké teploty ohřevu způsobují značný opal (popřípadě spálení oceli), oduhličení povrchové vrstvy, délkovou roztažnost a vnitřní pnutí.

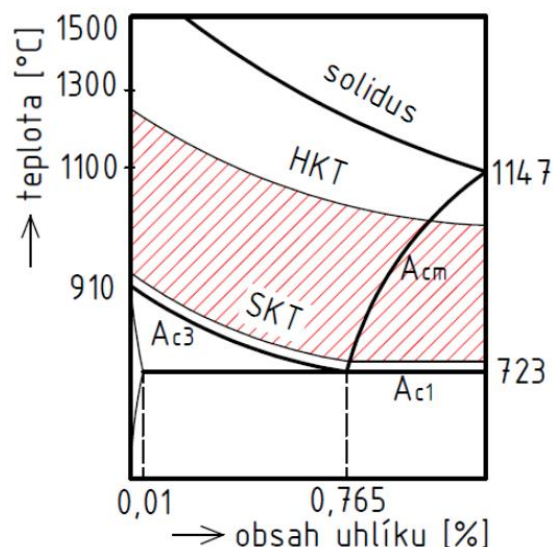
Opal vzniká oxidací povrchových vrstev a způsobuje hmotnostní ztrátu, okuje. Množství vzniklých okují závisí na teplotě a době ohřevu, pecní atmosféře a chemickém složení materiálu. Okuje je nutno před kovááním odstranit, jinak by došlo k jejich zatlačení do povrchu výkovku. Spálený materiál nelze regenerovat.

Rychlost vytváření okují velmi souvisí s teplotou ohřevu. Okuje se začínají neznatelně tvořit při teplotách 600 až 700 °C, nad teplotou 1000 °C intenzivně a nad 1300 °C je rychlost až sedmkrát vyšší než při teplotě 900 °C.

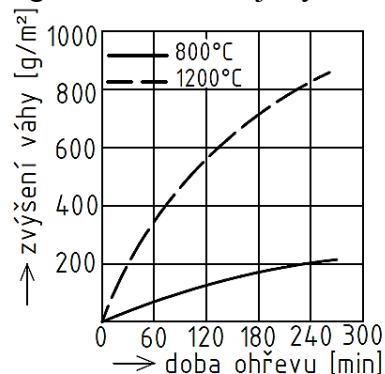
Působením CO_2 , H_2O , O_2 a H_2 se ocel oduhličuje, což se projevuje snížením pevnosti, povrchové tvrdosti a dalších vlastností závislých na obsahu uhlíku. Probíhá současně s oxidací, ale do větší hloubky než oxidace, a zasahuje povrchové pásmo oceli, které ještě nebylo ovlivněno okujením.

Vliv chemického složení ohřívání oceli způsobuje, že vytváření okují na povrchu není u všech ocelí stejné. U vysokouhlíkových je rychlost oxidace menší než u ocelí nízkouhlíkových. Prvky oceli jako hliník, křemík, chrom, mangan a titan snižují rychlost oxidace oceli.

Doba ohřevu se stanovuje tak, aby bylo dosaženo požadované teploty, nejmenšího tepelného pnutí, rovnoměrného prohřátí, nízké energetické náročnosti ohřevu a co nejnížší oxidace a oduhličení. Rychlost růstu okují během doby ohřevu není konstantní a obvykle se zpomaluje. Je to způsobeno menší přístupností plynů k povrchu kovu, přesto je nutné neohřívat materiál déle, než je potřebné. Průběh oxidace má obvykle parabolickou závislost na době ohřevu (obr. 13).



Obr. 12 Kovací teploty [14]



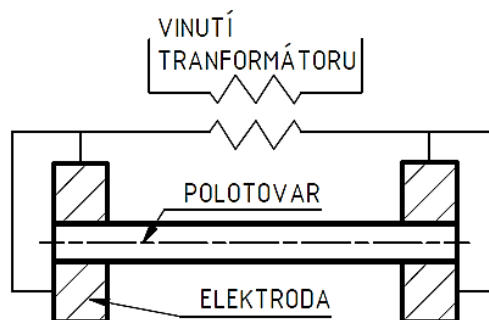
Obr. 13 Vliv doby ohřevu [19]

Pro ohřev materiálu existuje mnoho zařízení různého provedení. Jako zdroj tepla se používá elektrická energie nebo spalování plynů. Při ohřevu ke kování v plynových ohřívacích pecích s obvyklou oxidační atmosférou dochází vždy k opalu materiálu, což může být doprovázeno oduhličováním povrchových vrstev. Snížení oxidace a oduhličení během ohřevu lze dosáhnout zlepšením podmínek spalování, použitím ochranných atmosfér a nátěrů.

Ohřev elektrickým proudem umožňuje konstruovat jednodušší, spolehlivější a obecně výhodnější zařízení. Představuje nejrychlejší způsob ohřevu polotovarů pro zápusťkové kování. Výhodami elektrického ohřevu jsou nízké okujení (vyšší životnost nástrojů, úspora materiálu), přesné dodržování teploty ohřevu, snadná automatizace výroby a zlepšení pracovních podmínek. Elektrický ohřev pro kování se dělí podle principu na:

- Odporový - rozděluje se na ohřev přímým průchodem proudu (obr. 14) a nepřímým.

Přímý je vhodný pro štíhlejší materiály. Proud je zaváděn do materiálu pomocí speciálních elektrod (chlazené) z transformátoru, jehož výstupní napětí lze regulovat. Materiál lze ohřát pouze v celé délce. Nepřímý se používá pro nižší ohřívací teploty (do 1000 °C) a při menších sériích. Materiál je ohříván pomocí topných článků, ze kterých se teplo dostává teplotním spádem do materiálu. Jedná se o poměrně pomalý způsob ohřevu.

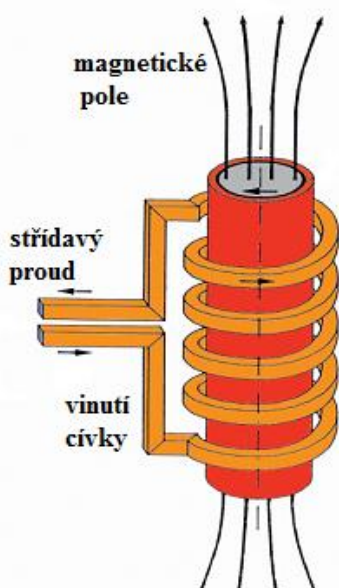


Obr. 14 Odporový přímý ohřev [14]

- Indukční - při indukčním ohřevu vzniká teplo účinkem indukovaných vířivých proudů přímo v ohřívaném materiálu na základě jeho elektrického odporu. Materiál je umístěn dovnitř cívky a jejím vinutím protéká střídavý proud. Vířivé proudy jsou v materiálu indukovány střídavým magnetickým polem v dutině cívky (obr. 16). Právě vířivé proudy vložený materiál ohřívají. Proudů nepronikají materiálem



Obr. 15 Indukčního ohřev [4]



Obr. 16 Princip indukčního ohřevu [4]

stejněměrně a intenzita proudu ubývá směrem do středu materiálu. Indukční ohřev splňuje požadavky dokonalého prohřátí materiálu, přesné dodržení kovací teploty, stejnou dobu ohřevu a přesné dodržení délky ohřevu. Tepelné ztráty jsou nepatrné, protože ohřívací cívka je studená a teplo je vyzařováno jen ohřívaným materiálem. Další předností indukčního ohřevu je jeho pohotovost (rychlý ohřev), značná úspora energie a povrch s minimálním opalem. Obecně platí, že malé rozměry ohřívaného materiálu vyžadují vysokou frekvenci a velké rozměry malou frekvenci.

2.3 KOVACÍ STROJE [14], [19], [34]

Základními tvářecími stroji používanými v kovárnách jsou buchary a lisy. Buchary se řadí mezi energetické stroje, které pro překonání přetvárného odporu materiálu využívají kinetickou energii. Pracují rázem a rychlost beranu je větší než 4 m/s. Lisy jsou stroje pracující převážně klidovou silou. Patří mezi silové a zdvihové tvářecí stroje, které využívají energie potenciální i kinetickou.

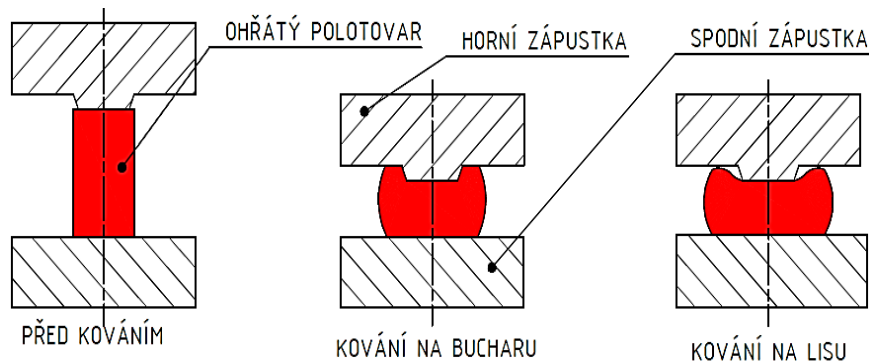
Buchary je možno rozdělit na buchary šabotové a bezšabotové protiúderové. S ohledem k dobrému vedení beranu se pro zápustkové kování používají buchary se šabotou pevně spojenou se stojinami a protiúderové buchary. U protiúderových bucharů je šabota nahrazena spodním beranem, který se pohybuje proti hornímu beranu, viz obr. 17. Dále se rozdělují podle způsobu práce na jednočinné a dvojčinné. U jednočinných bucharů je pohyb beranu směrem dolů vyvolán jeho hmotností a zpětný chod beranu je docílen vzduchem, párou, kapalinou, plynem nebo elektromotorem. U dvojčinných bucharů je pohyb směrem dolů navíc urychlován energií vzduchu, páry, plynu, kapaliny nebo pružiny. Dosahují tedy větší energie rázu při stejných hmotnostech a padacích výškách. Podle dopadové rychlosti beranu se rozdělují na buchary pracující s běžnou kovací rychlostí $v = 4$ až 8 m/s a se zvýšenou rychlostí $v = 20$ až 60 m/s. Běžných kovacích rychlostí lze dosáhnout volně padajícím beranem. Rychlost beranu padajícího z výšky 2 m je přibližně 6 m/s. Větších dopadových rychlostí lze docílit dvojčinnými buchary.

Velikost a pracovní schopnost bucharů je udávána prací (energií), kterou vykoná beran bucharu při jediném nejsilnějším úderu. Tato práce se nazývá rázová (úderová) práce bucharu a platí, že:

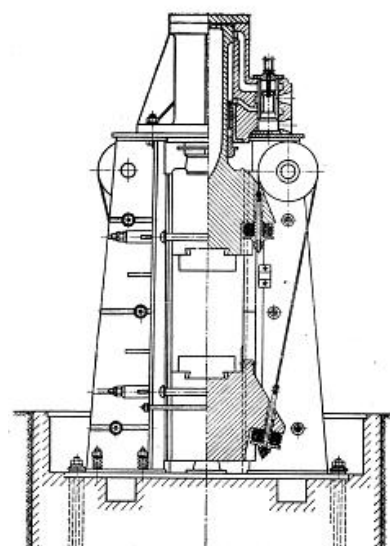
$$A = \eta_0 \cdot G \cdot H \quad (2.3)$$

kde A je rázová práce [J]
 η_0 je účinnost [-]
 G je hmotnost beranu [kg]
 H je výška pádu [m]

Kování vysokou dopadovou rychlostí beranu způsobuje snadnější stoupání materiálu ve směru rázu (obr. 18) do horní zápustky, kde se s výhodou umísťují vysoké výstupky a tenká žebra výkovku. Proto je výhodnější kovat složité a výškově členité výkovky na bucharech. Zaplňování zápustkové dutiny se děje postupně několika po sobě jdoucími údery. Rázovým charakterem kování je umožněno opadávání nežádoucích okují z povrchu ohřátého polotovaru. V současné době jsou buchary postupně nahrazovány kovacími lisami.



Obr. 18 Rozdíly toku materiálu [19]

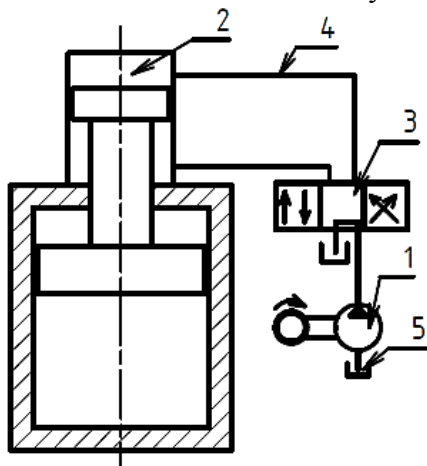


Obr. 17 Protiúderový buchar [34]

V porovnání s klikovými lisami jsou buchary univerzálnější, lze provádět i pomocné operace. Výhodou kování na bucharu je mnohonásobně kratší čas styku nástroje s výkovkem než na lisu, což má vliv na životnost nástrojů.

Lisy se kvůli vyšší pořizovací ceně používají při kování větších sérií. Pro zápusťkové kování je možné rozdělit na lisy hydraulické a mechanické, které se dále dělí na lisy svislé klikové, vodorovné klikové a vřetenové.

- Hydraulické lisy se řadí mezi silové stroje, u kterých je síla na beranu konstantní a nezávislá na zdvihu beranu. Zdrojem energie je tlaková energie kapaliny, která se využívá na vyvození sil pro překonání deformačního odporu materiálu. Hydraulický pohon (obr. 19) se skládá z čerpadla (1), hydraulického válce (2), rozváděcího a regulačního zařízení (3), potrubí (4) a pomocných mechanismů (5). Rychlost beranu lze snadno regulovat v rozmezí 0 až 0,25 m/s a kvůli nízké rychlosti nedochází ke zpevnění materiálu. Hydraulický lis nelze přetížit a pracovní chod je klidný. Na těchto strojích se kovou těžké a rozměrné výkovky.



Obr. 19 Schéma pohonu hydraulického lisu [34]



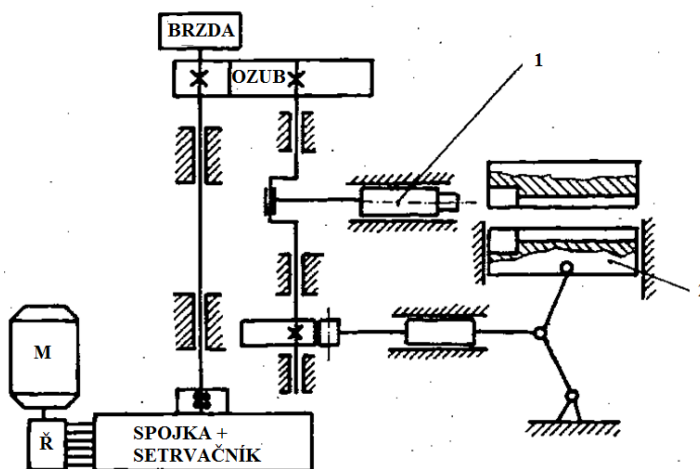
Obr. 20 Hydraulický lis [24]

- Svislé klikové lisy jsou nejrozšířenější stroje používané v zápusťkových kovárnách. Zařazují se do skupiny zdvihových strojů, které pracují tlakem. Mají velkou výrobnost a jsou poměrně jednoduché. Beran se pohybuje pomocí klikového mechanismu a jeho zdvih je stále konstantní. Pracovní rychlost je od 0,5 do 0,8 m/s. Lis ale může být zatížen jen takovou silou, která nepřevyšuje jeho jmenovitou sílu. Na jeden zdvih musí být provedena jedna operace a maximální sílu lze odebrat až těsně před dolní úvrátí. Při kování se materiál snadněji šíří ve směru kolmém k rázu, viz obr. 18. Velmi důležité je přesné výškové seřízení zápustek. U klikových lisů je možné přetížení, proto jsou vybaveny pojistkami proti přetížení. Při nevhodném způsobu ohřevu se vzniklé okraje zalísují do povrchu výkovku. Automatizace těchto strojů je jednoduchá a umožňují použití vyhazovačů.



Obr. 21 Svislý klikový lis [33]

- Vodorovné klikové lisy jsou dvojčinné lisy určené pro kování výkovků z tyčového polotovaru. Tyto lisy mají dvě na sebe kolmé zápustky, které se rozevírají a zavírají pomocí svěracího mechanismu. Jedna část zápustek se pohybuje a druhá je pevně připevněna ke stojanu. Rozdělují se podle dělení roviny zápustek na vertikální a horizontální. Schéma kovacího lisu s vertikální rovinou dělení zápustek je na obr. 22. Elektromotor přes řemenici pohání setrvačnický, krouťací moment je přenášen přes třecí lamelovou spojku na ozubené kolo a přes pastorek na klikový hřídel. Svěrací beran (2) sevře zápustky a hlavní pýchovací beran kove (bez výronku).

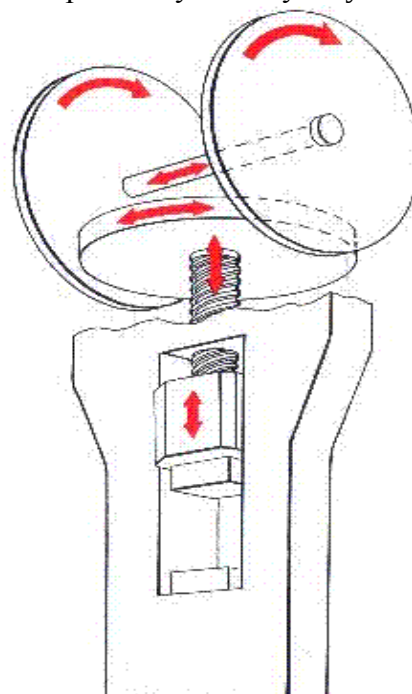


Obr. 22 Schéma vodorovného klikového lisu [19]

- Vřetenové lisy (obr. 23) jsou jednoduché tvářecí stroje s převodem síly od pohonu vřetenem na beran. Pracovním charakterem se podobají bucharům, protože celá kinetická energie kumulovaná v setrvačnicku je při tváření spotřebována, setrvačnick se zastaví. Tyto lisy pracují rázem. Síla je přenášena pomocí šroubového vřeten a matice. Třecí kotouče jsou posuvně uloženy na společném hřídeli a střídavě jsou přitlačovány k setrvačnicku. Tím se roztáčí vřeteno a beran se pohybuje nahoru nebo dolů, viz obr. 24. Princip je založen na přeměně kinetické energie setrvačnicku a beranu na práci. Dráha beranu není kinematicky omezena, takže je možné tvářet výkovky opakovanými rázy. Rychlost beranu dosahuje hodnoty 0,5 až 0,6 m/s.



Obr. 23 Vřetenový lis [16]



Obr. 24 Princip vřetenového lisu [41]

Pro volbu stroje je rozhodující strojní vybavení kovárny, tvarová složitost a hmotnost výkovku. Zvolený stroj ovlivňuje konečný tvar výkovku a ekonomičnost výroby.

2.4 ZÁSADY NÁVRHU VÝKOVKU [6], [7], [12], [14], [19]

Zápustkový výkovek se navrhuje na základě výkresu hotové součásti, obrobku. Důležitá je spolupráce kovárenského technologa a konstruktéra součásti, aby bylo možné zjednodušit návrh výkovku. Návrh je možné provést podle norem ČSN 42 9030, DIN 7523 a DIN 7526. Jedná se o stanovení:

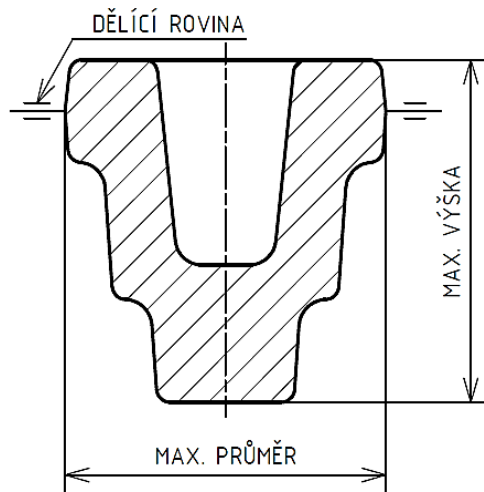
- polohy a tvaru dělicí roviny
- přídaveků na obrábění
- technologických přídaveků
- mezních úchylek rozměrů a tvarů.

Zásadní význam pro konstrukci zápustkového výkovku má dělicí rovina. Dělicí rovinou se rozumí plocha, která rozděluje zápustku tak, aby bylo možné vyjmout výkovek z dutiny. Pokud je to možné, tak se umísťuje do roviny souměrnosti výkovku nebo do roviny dvou největších navzájem kolmých rozměrů, viz obr. 25. Podle tvaru výkovku může mít tvar přímý, lomený nebo zakřivený. Volba dělicí roviny má vliv na tok materiálu v dutině.

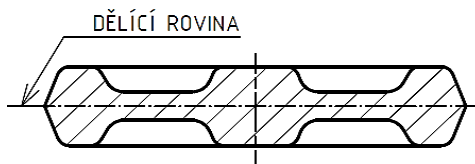
Přidávky na obrábění (obr. 27) jsou nutné pro zajištění požadované kvality povrchu, rozměrové a tvarové přesnosti výkovku. Povrch výkovků je vždy tvářením za tepla znehodnocen a tyto přídávky umožňují odstranění znehodnoceného povrchu obráběním. Vztahují se na plochy, u kterých je požadována rozměrová přesnost a jakost povrchu. Přitom je nutno dbát obzvláště na dovolené přesazení a přípustné prohnutí výkovku. U protáhlých výkovků, jejichž hlavní osa leží kolmo ke směru tváření, vychází přídavek na obrábění z největší délky a z největšího rozměru šířky, popř. tloušťky. U rotačně symetrických součástí, jejichž hlavní osa je ve směru tváření, se stanovuje z největšího průměru a z největší tloušťky. Přídavek na obrábění se vztahuje na každou obrobenou plochu a je nezávislý na úkosu stěny. Jakost kovaného materiálu má také vliv na jeho velikost. Čím je materiál hůře tvařitelný, tím větší bude jeho hodnota. Norma ČSN 42 9030 vychází z přesnosti provedení výkovků, to může být obvyklé, přesné, velmi přesné nebo dle dohody. Větší přesnost značí menší přídávky na obrábění.

Technologické přídávky, obr. 27, upravují tvar součásti tak, aby ji bylo možné vyrobit technologií zápustkového kování. Do této kategorie patří volba úkosů bočních stěn, zaoblení hran, vydutá zaoblení, tloušťka dna (blány), stěn a žeber.

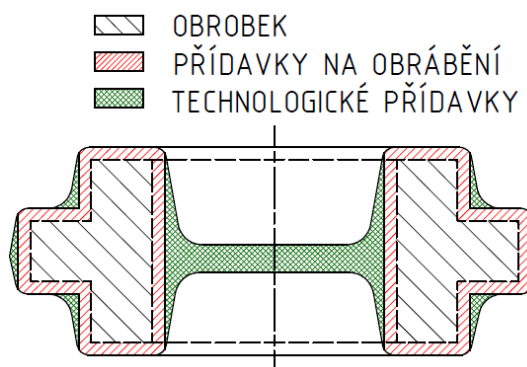
Plochy ležící ve směru tváření musí být skloněny úkosy bočních stěn, aby bylo možné zápustkové výkovky vyjmout ze zápustky. Jejich velikost se určuje podle velikosti a tvaru výkovku a podle tvářecího stroje dle normy ČSN 42 9030 nebo DIN 7523. Z obr. 27 je patrné, že boční úkosy vždy zvětšují minimální přídavek na obrábění. Hodnota předem zvoleného přídaveku na obrábění je tedy jen na hranách a rozích výkovků. Úkosy se svažují k dělicí rovině a jsou na vnitřních a vnějších plochách různě velké, viz obr. 28. Na vnitřních plochách jsou úkosy obvykle větší, protože chladnoucí výkovek



Obr. 25 Dělicí rovina lomená [11]



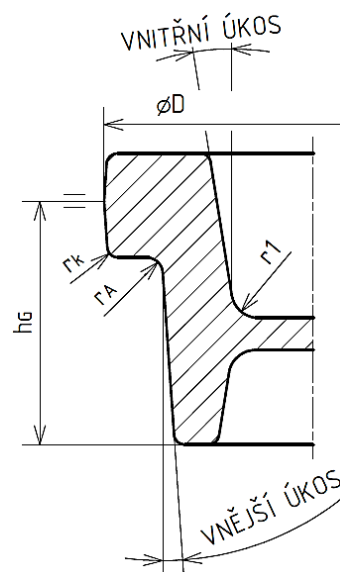
Obr. 26 Dělicí rovina přímá [11]



Obr. 27 Výkovek s přídávky [44]

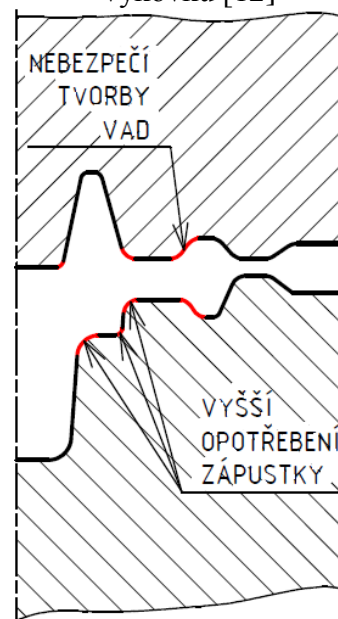
svírá dutinu zápustky. Použití zápustek s vyhazovači umožňuje volit menší úkosy na výkovku. Bucharové zápustky a horní zápustky u kovacích lisů bývají obvykle bez vyhazovačů.

U zaoblených hran " r_k " leží střed zaoblení uvnitř výkovku. Čím menší je zaoblení hran na výkovku, tím větší musí být tvářecí síla, aby mohl materiál do příslušných zaoblení zápustkové dutiny zatéct. Vrubová napětí v těchto místech mohou vést k tvoření trhlin v zápustce, které se mohou na výkovku projevit jako vystouplé jehly. Proto s rostoucím poloměrem zaoblení klesá vliv vrubových napětí. Poloměry zaoblení zvyšují také odolnost výkovku proti mechanickému namáhání. Zaoblení hran na třískově obráběných plochách mohou dosahovat hodnot 1,5 až 2 násobku přídavku na obrábění. Velikost zaoblení hran na plochách, které zůstávají surové, není závislá jen na největším průměru " D " (u nerotačních výkovků na největší šířce), ale také na jeho výšce " h_G " (obr. 28). Výška " h_G " se měří od dělicí roviny k požadovanému zaoblení.



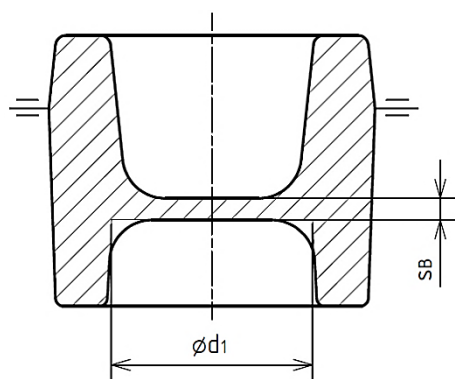
Obr. 28 Úkosy a zaoblení výkovku [12]

Vydatá zaoblení jsou taková, kdy střed zaoblení leží mimo výkovek. Pokud střed tohoto zaoblení směřuje ke středu výkovku, tak se jedná o vnitřní zaoblení " r_1 ". Jestliže směřuje k výronku, tak se jedná o vnější zaoblení " r_A " (obr. 28). Hodnoty vydatých zaoblení uváděné v normě jsou hodnoty doporučené. Mohou být podle konstrukce výkovku a jeho výrobního postupu sníženy nebo navýšeny. Velikost zaoblení má rozhodující vliv na způsob tečení materiálu v průběhu tváření, zaplňování dutiny, tvorbu vad na výkovku a zvýšené opotřebení zápustky, viz obr. 29. Příliš malé poloměry mohou způsobit vznik přeložek materiálu, větší opotřebení hran (přechodů) zápustky, možnost vzniku únavových lomů, zvýšení potřebných tlaků pro vyplnění dutiny a tím i zvýšení kovací síly.



Obr. 29 Vliv zaoblení [12]

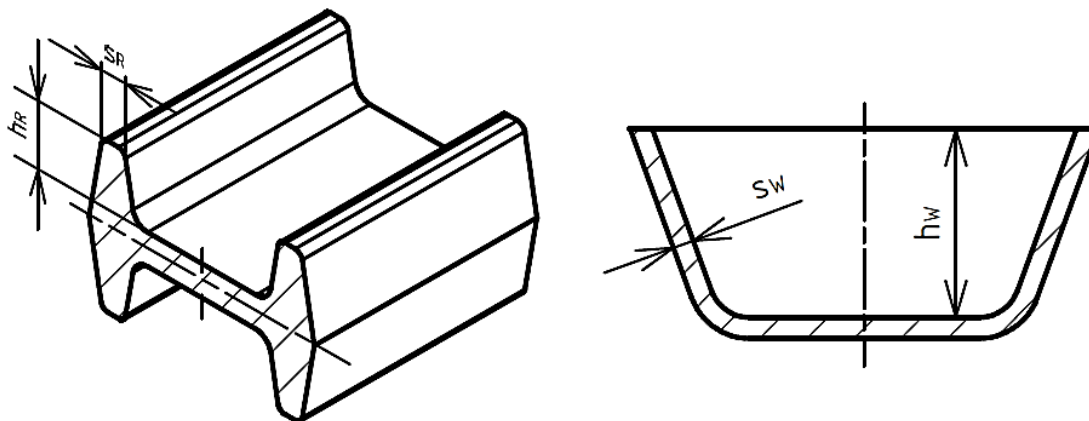
Tloušťka a umístění dna (blány) se určuje při kování tvarových výkovků, u kterých je možno předkovat otvory s následným děrováním. Předkovávají se pouze otvory, jejichž průměr je větší než 10 mm. Poloha dna je obvykle volena uprostřed výšky otvoru. Výhodné je blánu umístit co nejnižší, což má příznivý vliv na tok a vyplňování dutiny zápustky. Nedoporučuje se ji umísťovat do úrovně dělicí roviny.



Obr. 30 Dno výkovku [12]

Stanovení tloušťky dna " s_B " vychází z průměru blány " d_1 " bez zaoblení (obr. 30). Snižováním tloušťky dna narůstá kovací síla, která ovlivňuje opotřebení zápustky, volbu postupu tváření a velikost tvářecího stroje. Nejdůležitější zásadou je, aby směr vláken sledoval předpokládaný směr maximálního tahového napětí. Maximální smyková napětí by měla být kolmo ke směru vláken. Proto vzájemná poloha dna a dělicí roviny ovlivňuje rozměry výronkové drážky, spotřebu materiálu, velikost úkosů a průběh vláken materiálu.

Tloušťky stěn a žebër je nutné kontrolovat u tenkostěnných výkovků z důvodu rychlého chladnutí kovaného materiálu. To vede k nárůstu tvářecí síly, zvýšení opotřebení zápustky a náchylnosti ke tvorbě trhlin. Stěny a žebra jsou dlouhé tvarové prvky s daným poměrem výšky " h_w " (" h_R ") k tloušťce " s_w " (" s_R ") minimálně 1,25:1 (obr. 31). Minimální hodnoty se stanovují podle normy z příslušné výšky stěny " h_w " nebo žebra " h_R ".

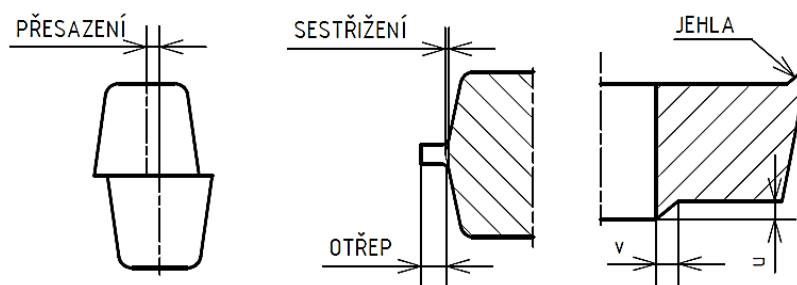


Obr. 31 Tloušťky žebër a stěn [12]

2.4.1 Mezní úchytky rozměrů a tvarů [6], [11], [19]

Přesnost zápustkových výkovků závisí hlavně na přesnosti výroby zápustek, vlivu smrštění výkovku po kování, změně tvaru dutiny zápustky způsobené opotřebením a ostatních vlivech. Přesnost výroby zápustek je dána převážně složitostí tvaru výkovku. Při špatně zvoleném smrštění materiálu výkovku není možné dosáhnout jmenovitého rozměru a nedodržení kovací teploty o 100 °C způsobí změnu rozměrů výkovku po zchladnutí asi 0,1 %. Největší příčinou nepřesnosti rozměrů výkovku je změna tvaru dutiny. Opotřebení tvaru dutiny je nejintenzivnější v místech největšího přemísťování kovu. Opotřebení roste se složitostí tvaru výkovku a nastává na přechodu dutiny do výronku a přechodových hranách. Mezi ostatní vlivy patří přesnost výchozího polotovaru a přesnost tvářecího stroje. Pro stanovení mezních úchytek rozměrů a tvarů se používá norma ČSN 42 9030, ČSN EN 10243-1 a ČSN EN 10243-2. Mezní úchytky rozměrů jsou úchytky od jmenovitých rozměrů, kde tolerance je dána součtem absolutních hodnot dolní a horní úchytky. Úchytky tvaru výkovku zahrnují odchylky od požadovaného geometrického tvaru.

Norma ČSN 42 9030 stanovuje mezní úchytky podle tvarové složitosti výkovku a podle stupně přesnosti. U rotačních výkovků z největšího průměru ve směru kolmo k rázu a největšího rozměru ve směru rázu. Největší rozměr ve směru kolmo k rázu je u nerotačních tvarů definován jako střední hodnota součtu největší šířky a délky výkovku. Pro vnitřní rozměry je nutné obrátit dolní a horní úchytky. Norma dále uvádí úchytky zaoblení přechodů a hran, sousostí otvorů, rovinností, tolerance přesazení, otřepu, sestřizení, jehel a dovolený průhyb, viz obr. 32.



Obr. 32 Úchytky tvaru [11]

Norma ČSN EN 10243 platí pro výkovky, které odpovídají obvyklým požadavkům, a pro výkovky se zúženými mezními úchylkami. Tyto stupně přesnosti se rozlišují na:

- Stupeň přesnosti kování F s mezními úchylkami pro obvyklé použití, které jsou dosažitelné běžným kovářským zařízením a způsobem kování.
- Stupeň přesnosti E se zúženými mezními úchylkami pro případy, kdy obvyklé mezní úchylky nejsou přiměřené.

Pro stanovení úchylek je kromě rozměrů výkovku potřeba znát:

- hmotnost výkovku – lze stanovit výpočtem,
- tvar dělicí roviny – přímá, lomená, zakřivená,
- stupeň obtížnosti kování,
- ukazatel členitosti tvaru.

Stupeň obtížnosti kování závisí na druhu tvářeného materiálu. Ocel s vysokým obsahem uhlíku a legujících prvků se hůře tváří a způsobuje nadměrné opotřebování zápustek. Existují dva stupně obtížnosti kování:

- Skupina M1 jsou oceli s obsahem uhlíku do 0,65 % a celkovým obsahem legujících prvků (Mn, Ni, Cr, Mo, V, W) do 5% hmotnosti.
- Skupina M2 jsou oceli s obsahem uhlíku nad 0,65 % nebo s celkovým obsahem legujících prvků (Mn, Ni, Cr, Mo, V, W) nad 5% hmotnosti.

Ukazatel členitosti tvaru upravuje mezních úchylky rozměrů na základě tvarové složitosti a členitosti výkovků. Vypočítá se jako poměr hmotnosti výkovku ke hmotnosti obalového tělesa, které je vytvořeno z největšího rozměru výkovku. Výsledný ukazatel členitosti tvaru patří do jedné ze čtyř skupin, S1 až S4.

$$S = \frac{m_{\text{výkovku}}}{m_{\text{obal.tělesa}}} \quad (2.4)$$

kde $m_{\text{výkovku}}$ je hmotnost výkovku [kg]

$m_{\text{obal.tělesa}}$ je hmotnost obalového tělesa [kg]

S je ukazatel členitosti tvaru [-]

2.5 KONSTRUKCE ZÁPUSTEK [6], [19], [29]

Při konstruování zápustek se vychází z výkresu výkovku, druhu tvářecího stroje, kovaného materiálu, počtu tvářecích operací a přesnosti výkovku.

Z hlediska výběru oceli na zápustky je vhodné se řídit množstvím vyráběných kusů, charakterem výkovku, druhem tvářecího stroje a provozními podmínkami kování. Pro výrobu menší série lze použít levnější nízkolegované oceli. Výkonné legované oceli umožňují kování větších sérií a dosahují vysokých životností, což má za následek nižší cenu výkovků. Zvýšení nároků na toleranci výkovků a obtížnosti kování lze zajistit ocelí s velkou stálostí zápustkové dutiny. Pro kovací lisy jsou vhodné wolframové, molybdenové a chromové oceli. Jako bucharové zápustky se používají zápustky z niklových ocelí o vysoké prokalitelnosti, které mají dobrou houževnatost a odolnost proti popuštění.

- Wolframové oceli - mají velkou odolnost proti popuštění, tedy odolnost proti poklesu tvrdosti při zvýšených pracovních teplotách (cca do 600 °C). Nevýhodou je snížená houževnatost, plastické vlastnosti a tím i snížená odolnost proti tvorbě trhlinek tepelné únavy. Příkladem jsou oceli 19 723, 19 740 a 19 732.
- Chrom-molybdenové oceli – jsou zastoupeny ocelí 19 552 a 19 512. Mají dobrou prokalitelnost, houževnatost, plastické vlastnosti v celém rozsahu popouštěcích teplot a zvýšenou odolnost proti tvorbě trhlinek tepelné únavy.

- Niklové oceli - mají velmi dobré plastické vlastnosti a houževnatost při zvýšených teplotách. Dosažitelné pevnosti po tepelném zpracování a odolnost proti zvýšeným teplotám jsou mnohem nižší než u ocelí wolframových. Jsou vhodné na střední a velké zápustky pro buchary a do této skupiny lze zařadit například oceli 19 642, 19 663 a 19 650.
- Chromové oceli – dosahují přibližně stejné odolnosti proti popouštění a houževnatosti jako niklové oceli. Mají dobrou prokalitelnost a používají se k výrobě menších zápustek s jednoduchými dutinami. Příkladem jsou oceli 19 466, 19 464 a 19 452.

2.5.1 Rozměry a drsnost zápustek [6], [7], [9], [10], [14], [19]

Tvar dutiny zápustky odpovídá rozměrům výkovku, které jsou zvětšeny o velikost smrštění ohřátého materiálu. Smrštění se vztahuje na rozměry přesahující hodnotu 10 mm. Nevztahuje se na zaoblení hran a vydutá zaoblení. Hodnoty smrštění se stanovují podle údajů výrobce materiálu nebo materiálůvých listů. Velikost je závislá na druhu materiálu, kovací teplotě a tvaru výkovku (tab. 3). Při kování v oblasti nižších teplot se hodnoty smrštění snižují až o třetinu.

Tab. 3 Hodnoty smrštění v % [19]

Běžné oceli	Ložiskové oceli	Austenitické oceli	Mosaz	Slitiny Al	Al bronzy
1,0 až 1,3	1,5	1,5 až 2,0	1,0 až 1,7	0,6 až 1,0	1,0 až 1,3

Dosažením vhodné drsnosti dutiny zápustky je možné docílit podstatného zvýšení odolnosti proti tepelné únavě a tím i zvýšení životnosti. Další výhodou je lepší tečení materiálu a snížení možnosti vzniku kovářských vad. Drsnosti povrchů pro lisování a buchary jsou stejné. Například v normě ČSN 22 8306 lze nalézt povolené drsnosti zápustek pro kovací lisování, které mají navíc předepsané drsnosti vyhazovačů (tab. 4).

Základní vnější rozměry zápustek jsou dány typem stroje podle příslušné normy. Na stanovení rozměrů zápustky mají vliv rozměry výkovku, jakost materiálu, minimální vzdálenost dutiny od okraje zápustky, hloubka dutiny, vzdálenost mezi jednotlivými dutinami, počet renovací, upínací možnost stroje, velikost dosedacích ploch a vedení zápustek.

Bucharové zápustky se vyrábí obvykle z celistvých, masivních bloků. Jejich velikost se určuje tak, aby mezi okrajem bloku a nejbližší dutinou byla zachována nejmenší vzdálenost "s". Vzdálenost se určuje podle normy ČSN 22 8308 z nomogramu. Nejmenší výška zápustky "H_{zmin}" je stanovena v závislosti na největší hloubce zápustkové dutiny "H_D" také podle normy. Na obr. 33 jsou uvedeny parametry pro stanovení vybraných rozměrů zápustky.

Vzdálenost mezi jednotlivými dutinami je dána:

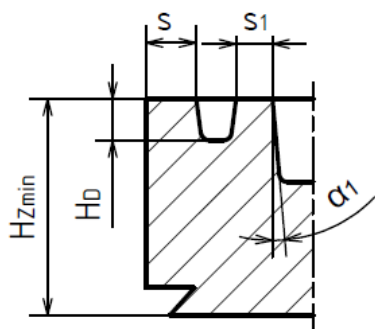
$$s_1 = s \cdot \cos \alpha_1 \quad (2.5)$$

kde s_1 je vzdálenost mezi dutinami [mm]

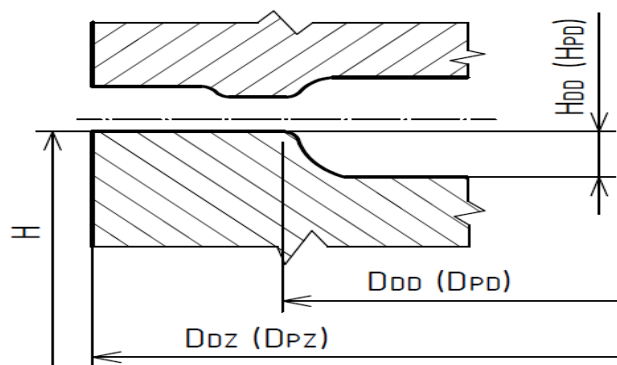
α_1 je boční úkos dutiny [°]

Tab. 4 Drsnosti povrchů [19]

Plocha	Opracování Ra [μm]
Dutina předkovací	1,6 - 3,2
Dutina dokončovací	0,8 - 3,2
Můstek	0,8 - 3,2
Dosedací plochy	3,2
Upínací plochy	3,2
Zásobník	12,5 - ∞
Ostatní vnější plochy	12,5 - ∞
Vedení zápustek	1,6
Otvory pro dopravní kolíky	12,5
Otvory pro vyhazovače	1,6



Obr. 33 Rozměry zápusťky bucharu [14]



Obr. 34 Rozměry kruhové zápusťky lisu [9]

Zápusťky pro kování na svislých kovacíh lisech se navrhují podle normy ČSN 22 8306. Výška zápusťky se stanovuje s ohledem na způsob renovace zápusťek. Na obr. 34 jsou znázorněny parametry pro určení průměrů kruhových zápusťek. Průměr předkovací zápusťky se vypočítá dle vztahu:

$$D_{PZ} \geq D_{PD} + 0,2 \cdot (D_{PD} + H_{PD}) + 5 \quad (2.6)$$

kde D_{PZ} je průměr předkovací zápusťky [mm]

D_{PD} je průměr předkovací dutiny [mm]

H_{PD} je hloubka předkovací dutiny [mm]

Průměr dokovací zápusťky se vypočítá dle vztahu:

$$D_{DZ} \geq D_{DD} + 0,4 \cdot (D_{DD} + H_{DD}) + 10 \quad (2.7)$$

kde D_{DZ} je průměr dokovací zápusťky [mm]

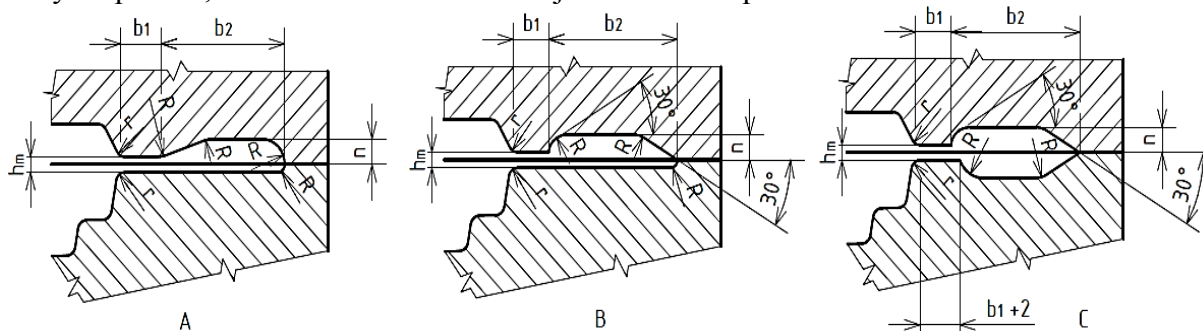
D_{DD} je průměr dokovací dutiny [mm]

H_{DD} je hloubka dokovací dutiny [mm]

2.5.2 Výronková drážka [7], [9], [19], [29]

Výronková drážka je mezera, která se nachází v dělicí rovině mezi zápusťkami, a je tvořena můstkem a zásobníkem. Můstek plní funkci regulátoru tlaku v dutině zápusťky. Při vyplňování dutiny tvarově složitých výkovků musí výronková drážka vyvinout dostatečný odpor proti vytékání materiálu, aby byla dutina správně vyplněna. To lze ovlivnit změnou šířky můstku "b" (" b_1 ") nebo změnou výšky můstku "h" (" h_m "). Do zásobníku teče přebytečný materiál a zásobník také kompenzuje nepřesnosti při dělení polotovaru. Tvary a rozměry výronkové drážky se liší v závislosti na použitém typu kovacího stroje, kovaného materiálu, tvarové složitosti, hmotnosti, rozměrech výkovku a způsobu tečení materiálu v zápusťce. Základní údaje o tvaru a rozměrech lze nalézt v normách ČSN 22 8306 a ČSN 22 8309. Mohou se lišit od norem podle zvyklostí jednotlivých kováren.

Pro buchary a vřetenové lisy se používá uzavřená výronková drážka. Základní druhy jsou uvedeny na obr. 35. Drážky druhu I (obr. 35 A) a druhu II (obr. 35 B) jsou určeny pro obvyklé použití, kde umístěním zásobníku je ve vrchní zápusťce.



Obr. 35 Výronkové drážky pro buchary [29]

Drážka druhu III (obr. 35 C) má oboustranný zásobník a používá se s předpokladem většího přebytku materiálu, například při kování složitých tvarů.

Výška můstku zápustek bucharu se počítá podle vztahu:

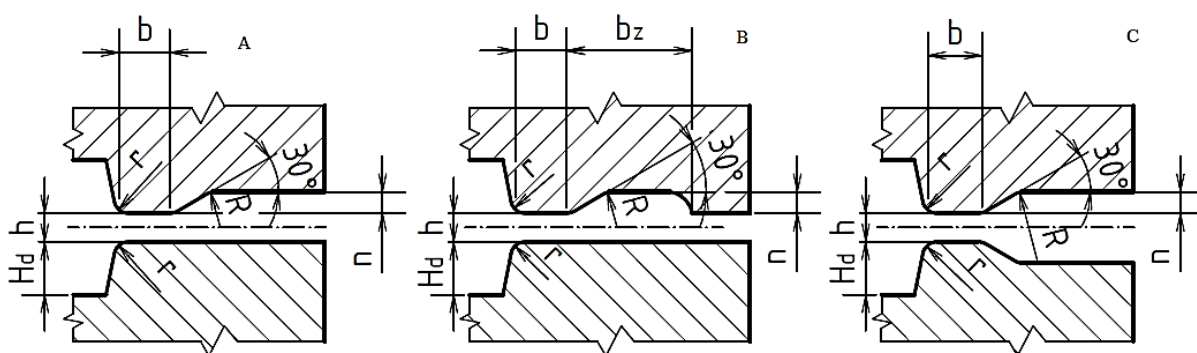
$$h_m = (0,012 \text{ až } 0,015) \cdot \sqrt{S_v} \quad (2.8)$$

kde h_m je výška můstku bucharové zápustky [mm]

S_v je plocha průřezu výkovku do dělicí roviny [mm²]

Koeficient 0,012 se volí pro velké výkovky, 0,015 pro malé výkovky. Zbylé rozměry výronkové drážky se stanovují z tabulky uvedené v normě ČSN 22 8309.

Při kování na svislých kovacíh lisech se používá otevřená výronková drážka. Spodní a horní polovina zápustky se nesmí dotknout. Většinou se používá tři typů drážek, viz obr. 36. Typ I je nejčastěji používané provedení výronkové drážky (obr. 36 A). Typ II se používá v případě velké vzdálenosti dutiny od okraje zápustky (obr. 36 B). Pokud je v některém místě předkovku velký přebytek materiálu a jednostranná drážka by ho nestačila odvést, tak se používá drážky typu III (obr. 36 C).



Obr. 36 Výronkové drážky pro lisy [19]

Výška můstku zápustek lisu se počítá podle vztahu:

$$h = 0,015 \cdot D_v \quad (2.9)$$

kde h je výška můstku zápustky lisu [mm]

D_v je průměr výkovku bez výronku [mm]

Šířka můstku se určí ze vztahu:

$$\frac{b}{h} = 3 \rightarrow b = 3 \cdot h \quad (2.10)$$

kde b je šířka můstku [mm]

Hloubka zásobníku se vypočítá podle vztahu:

$$n = 0,4 \cdot h + 2 \quad (2.11)$$

kde n je hloubka zásobníku [mm]

Rozměry výronkové drážky pro lisy lze taktéž stanovit z tabulky uvedené v normě ČSN 22 8306, podle velikosti síly lisu.

2.5.3 Vyhazovače [9], [29]

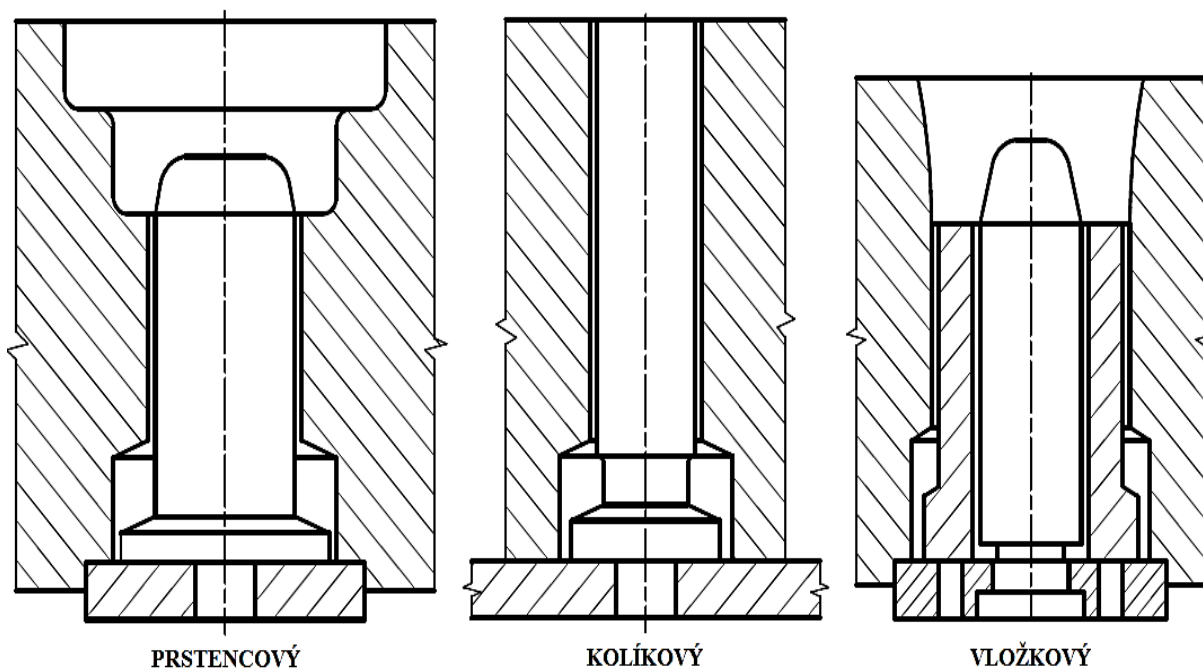
Při zápustkovém kování obvykle dochází k ulpívání výkovků v dutině zápustky vlivem chladnutí výkovku, což je ovlivněno hloubkou dutiny, členitostí výkovku, úkoso, třením, nedostatečným mazáním a odstraňováním okují. Proto je nutné vždy uvedené faktory posoudit a uvážit možnost použití některého způsobu nuceného vyhazování výkovků. Vyhazovače se používají na lisech a vhodnou konstrukcí vyhazovače lze přispět ke zvýšení životnosti zápustky, úspoře nástrojového materiálu a usnadnění práce obsluhy stroje.

Vyhazovače se rozlišují podle tvaru činné části, která je v přímém styku s výkovkem, na:

➤ Kolíkové - se rozlišují na středové, mimostředové a umístěné v ploše výronku.

Vyhazovače umístěné v ploše výronku působí na blánu, tvar nebo výronek.

- Prstencové - se používají pro výkovky se zahluobením ve středu výkovku, nábojem. Průměry předkovacího trnu a vyhazovače se dimenzují s ohledem na zajištění přípustných tlaků na dosedacích plochách.
- Vložkové - jsou vhodné pro výkovky, které mají blánu umístěnou do spodní části výkovku. Používají se tehdy, když vyhazovací kolík příliš zeslabuje vložku a je vhodnější vyhazování celou plochou.

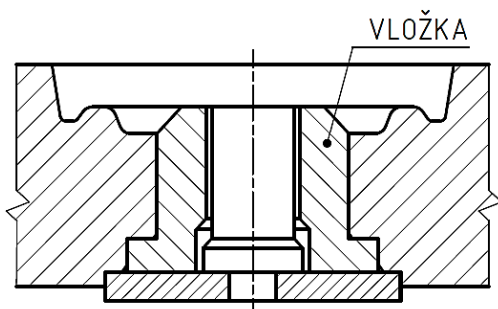


Obr. 37 Vyhazovače [9]

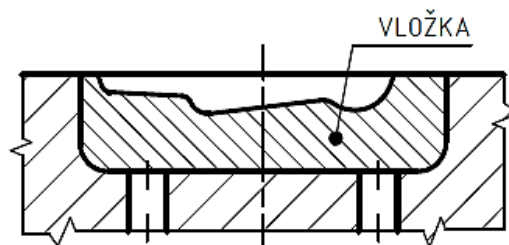
2.5.4 Vložkování a renovace [9], [19]

Vložkováním zápustek lze docílit úspory nástrojového materiálu, lepších povrchových úprav, zkvalitnění tepelného zpracování a obnovení provozuschopnosti nástroje renovací. Vložka může nahrazovat celý tvar nebo jen jeho část. Vložkování celého tvaru vede k úspoře zápustkového materiálu. Vložka je zhotovena z nástrojové oceli a zápustkový blok z jakostnější konstrukční oceli (obr. 38). Zápustku také lze konstruovat jako sestavu zápustek a vložek, přičemž takové řešení přispívá k lepšímu zatékání kovu v dutině.

Částečné vložkování tvaru se používá při renovacích nástroje, kdy vložka nahrazuje opotřebovanou plochu zápustky, viz obr. 39. Provádí se také v místech nadměrného namáhání zápustek. Vložky se lisují za tepla nebo za studena a líčují se s přesahem H8/u7.



Obr. 38 Vložkování celého tvaru [9]



Obr. 39 Částečné vložkování [9]

2.5.5 Předkovací dutina [6], [7], [14], [19]

Předkovací operace, (obr. 40), je téměř vždy nutné zařadit, protože odpovídajícím způsobem rozdělují materiál v předkovací dutině tak, aby bylo dosaženo následujících požadavků:

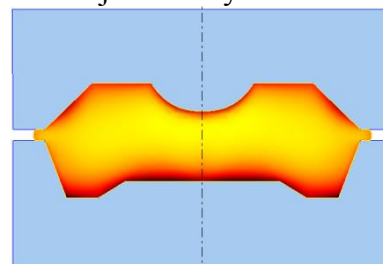
- Správné vyplnění dokovací dutiny bez vzniku kovářských vad.
- Snížení spotřeby materiálu ve formě výronku.
- Snížení opotřebení dokovací zápustky omezením toku materiálu při dokování.
- Usměrnění toku materiálu, aby výkovek měl požadované vlastnosti.
- Odstranění okují z ohřátého polotovaru.

Návrh předkovací dutiny vychází z vypracování předkovku. Ten je konstruován z výkovku s uplatněním následujících zásad:

- Plocha příčného řezu předkovku je rovna příčnému řezu výkovku. Do řezu je zahrnuta i plocha výronku. Pro rotační výkovky se jedná o osový řez, pro podlouhlé výkovky o řez kolmo na osu.
- Vnitřní a vnější zaoblení jsou větší než zaoblení na výkovku. Zaoblení hran se zvětší na minimální hodnotu 3 mm.
- Všechny rozměry ve směru kování by měly být větší, vnější rozměry kolmé na směr kování menší. To umožňuje přesné usazení předkovku na dno dutiny. Předkovek je tedy vyšší a štíhlejší. Proto při dokování bude konečný tvar výkovku dosažen pěchováním, nikoliv vytlačováním. To způsobuje menší opotřebení zápustky a menší tvářecí síly.
- Tloušťky žeber se volí menší.
- Úkosity předkovku jsou obvykle stejné. V případě hlubokých dutin jsou úkosity větší.

Hodnoty změn rozměrů předkovku:

- Průměry na vnitřních úkosech zvětšit o 1 mm.
- Průměry na vnějších úkosech zmenšit o 1 mm.
- Při kování na bucharu zvětšit zaoblení přechodů o 3 mm, u hran o 1 mm.
- Při kování na lisu zvětšit zaoblení přechodů o 3 mm, zaoblení u hran je beze změny.

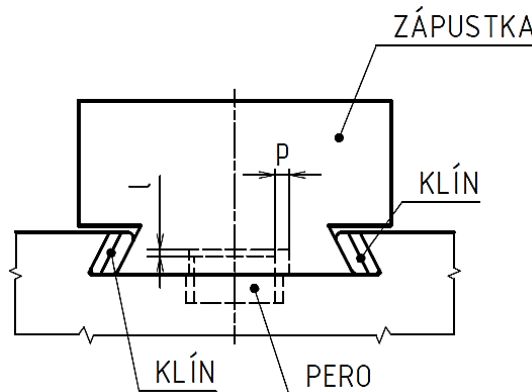


Obr. 40 Předkovek

2.5.6 Upínání zápustek [10], [14], [19], [29]

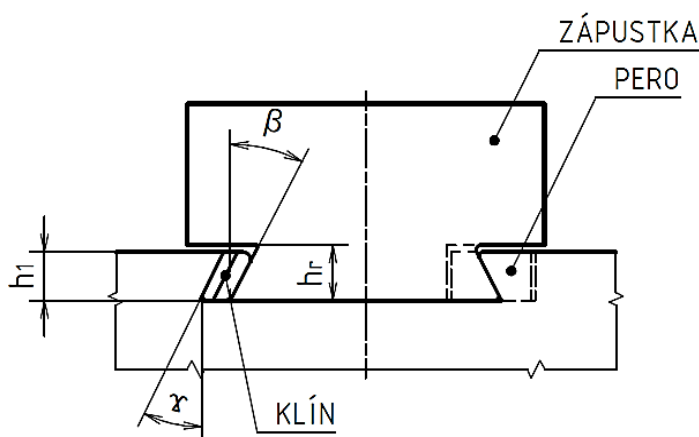
Bucharové zápustky jsou opatřeny rybinovitým výstupkem (kořen zápustky), který je vkládán do rybinové drážky v nástavci šaboty nebo v beranu bucharu. K upínání zápustek je používán klín o úkosu 1:100 a jeho boční stěny svírají určitý úhel, který musí lícovat se stěnami rybiny zápustky a bucharu. V podélném směru jsou zápustky středěny pomocí pera (zámku), které je umístěno ve vybrání bočních stěn rybiny nebo základových ploch. Při středění perem umístěného ve vybrání základových ploch (obr. 41) je nutné dodržení vůle $l \geq 2$. Zápustka nesmí dosedat na vrchní vodorovnou plochu pera a vůle "p" musí zaručit volné usazení a vyjmutí zápustky z rybiny bucharu. U tohoto středění se používá klínování dvěma protisměrnými klíny, kdy výhodou je podélná rovnoběžnost stěn rybin na zápustce a bucharu.

Středění perem umístěným ve vybrání bočních stěn je zobrazeno na obr. 42. Mezi výškou rybiny "h_r" zápustky a hloubkou rybiny "h₁" bucharu musí být vůle minimálně 2 mm, která zaručuje dosednutí střední nejvíce namáhané části zápustky na základní plochu stroje.



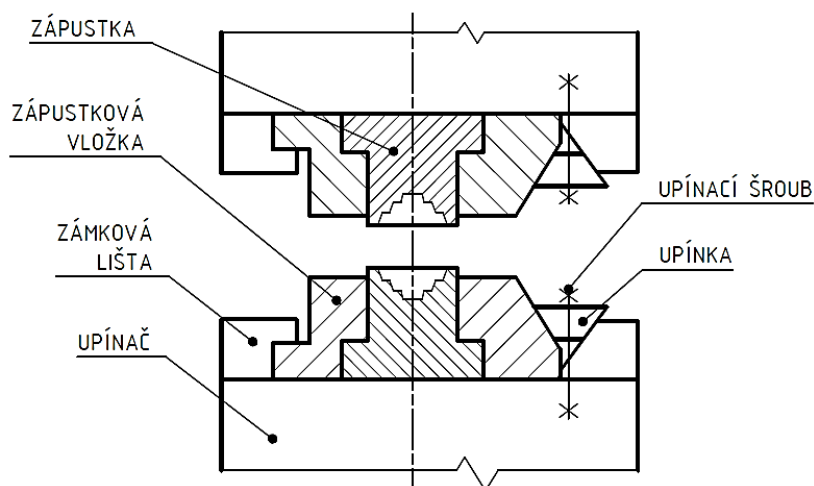
Obr. 41 Upínání na základové ploše [19]

Sklony boční stěny rybiny a klínu musí být stejné jako boční stěny rybiny bucharu. Správné slícování zaručuje správné a bezpečné upnutí. Podélný úkos klínu musí být shodný a dobře slícovaný s podélným úkosem rybiny. Rozdíl mezi sklonem bočních stěn klínu " β " a " γ " má být minimálně 2° . Tím je zaručeno, že se klín nebude během kování uvolňovat. Pero musí mít v zámku zápustky vůli, aby při klínování bylo zaručeno dosednutí bočních stěn rybiny zápustky a bucharu.



Obr. 42 Upínání v boční stěně [19]

Zápustky svislých kovacích lisů se upevňují do vložek, které jsou upnuty do upínače. Ten je upevněný na spodní desce lisu a na beranu lisu. Různým velikostem lisu přísluší jiný upínač. Upínače mohou být rozdílné podle specifikací kováren. Do zámkové lišty se nasouvá



zápustková vložka. Po přitažení upínky šroubem je zápustková vložka dotlačena do zámkové lišty a tlačena na pokladovou desku upínače, viz obr. 43. Vložky mohou být kruhového nebo hranolovitěho tvaru.

Obr. 43 Upínání zápustek na lisech [14]

2.5.7 Vedení zápustek [9], [10], [29]

Při kování na bucharech není vedením stroje dostatečně zaručena požadovaná přesnost výkovku. Norma ČSN 22 8308 uvádí pro zajištění požadované přesnosti tyto druhy vedení:

- kruhové
- podélné
- příčné
- křížové
- vodící kolíky

Kruhové vedení se používá pro kruhové a čtvercové zápustky. Výška vedení je závislá na velikosti bucharu a složitosti výkovku. Pokud je vedení umístěné ve spodní zápustce, tak je nutné zhotovit vybrání pro vytahování výkovku pomocí kleští. Pro vymezení příčného přesazení se používá podélné vedení, pro vymezení podélného přesazení zase příčné vedení. Křížové vedení vymezuje příčné i podélné přesazení.

Přesazení lze odstranit použitím dvou nebo čtyř vodících kolíků. Ty jsou většinou zalisovány do spodní zápustky. Do horní zápustky jsou zalisována vodící pouzdra, které lze po opotřebení snadno vyměnit.

Vedení zápustek při kování na lisech je zajištěno upínačem zápustek. Pokud je vedení nedostačující vzhledem k požadované přesnosti, tak se používá kruhové vedení (obr. 44) a zámky pro zachycení posouvajících sil. Výšku vedení " H_v ", šířku vedení " L_v " a vůli ve vedení " Δv " lze nalézt v normě ČSN 22 8306 spolu s dalšími specifikace rozměrů a provedení.

2.5.8 Předehřev zápustek [19]

Předehřívání zápustek je důležité pro vysokolegované (zejména wolframové) nástrojové oceli, protože mají po tepelném zpracování poměrně nízkou houževnatost. Zápustky se podle chemického složení a tvarové složitosti dutiny předehřívají na 200 až 300 °C. Tím se také snižuje teplotní gradient mezi povrchem dutiny a jádrem zápustky, což vede ke snížení tepelného pnutí. Dalším významem předehřevu je zpomalení chladnutí výkovku a zabránění růstu deformačního odporu materiálu a následného zvýšení opotřebení zápustky.

Zápustky se předehřívají před začátkem práce pomocí ohřátého bloku, plynových hořáků nebo pískových roštů. Pokud při kování nestačí předané teplo výkovků udržovat zápustky správně ohřáté, tak je nutné je přehřívát v provozu. Předehřev na teplotu vyšší než 300 °C není účelné, protože oceli pro práci za tepla dosahují maxima houževnatosti při 200 až 300 °C.

2.5.9 Mazání zápustek [13], [19]

Úkolem maziv je snížit tření mezi zápustkou a kovaným materiálem a tím se sníží deformační odpor, potřebná kovací síla a odpor kovu proti tečení v zápustce.

Mazáním je dále nutné zajistit snížení opotřebení zápustek, chlazení zápustek, separování tvářeného materiálu se zápustkou a ulpívání výkovku a okují v zápustkách. Mazivo se nesmí rozkládat vlivem vysokých provozních teplot a tlaků, přičemž si musí uchovat malou a stálou viskozitu. Pokud by se vytvořily během kování z maziva tuhé zbytky, tak zamezovaly správnému dokování. Maziva používaná při zápustkovém kování lze rozdělit do těchto skupin:

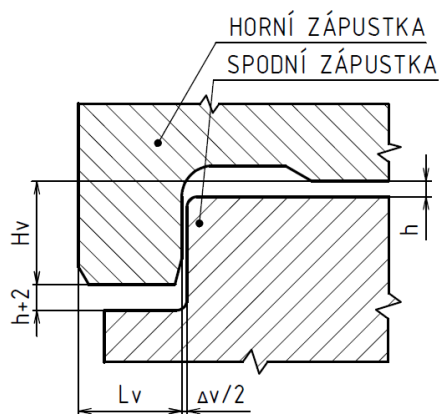
- ❖ tuhá maziva dispergovaná v kapalině
- ❖ kapalná maziva
 - minerální a organické oleje
 - syntetické látky
- ❖ konzistentní maziva – mazlavá mýdla a mazací tuky
- ❖ soli – například chlorid sodný, dusičnan draselný

Tuhá maziva dispergovaná v kapalině jsou rozprašována na ohřáté zápustky, kde se kapalina odpaří a na zápustce zůstane suchý souvislý mazací film tuhého maziva. Nosiče tuhých maziv může být například voda nebo olej. Jako tuhé mazivo se nejvíce používá grafit, který vzniká do pórovitého povrchu kovu zápustky a vytváří těsné spojení. Grafit má vysokou tepelnou stabilitu a tepelnou vodivost.

Kapalná maziva velmi dobře oddělují výkovky od zápustek. Syntetická maziva navíc disponují větší teplotní stabilitou, odolností proti stárnutí a nižší viskozitou.

Mazlavá mýdla a mazací tuky nejsou vhodné, protože je nutné je nanášet ručně a zanechávají na zápustkách tuhé zbytky.

Solné roztoky po odpaření vody zanechávají na funkčních plochách izolační vrstvu solných krystalů, ke kterým okuje nemohou přilnout a snadno se ofoukají stlačeným vzduchem. Solný roztok však znečišťuje stroj, působí korozně a zanechává zbytky solí v dutině zápustky.



Obr. 44 Kruhové vedení zápustky lisu [9]

2.6 KOVACÍ SÍLA [9], [10], [13], [14], [15], [29]

Výpočty se obvykle uvádí pro konkrétní typ tvářecího stroje, kdy u lisů je rozhodující parametr tvářecí síla a u bucharů deformační práce. Nehomogenní stav napjatosti a deformace znemožňuje jednoduše matematicky popsat zatížení zápustky a dospět tak k řešení deformačního odporu a potřebné kovací síly. Proto jednotlivé metody výpočtů vychází ze zjednodušených úvah o rozložení napětí ve výkovku v poslední operaci dokování. Vychází z charakteristického tvaru výkovku a řada zjednodušení je vyjádřena empiricky.

- ❖ Výpočet velikosti beranu bucharu je závislý na potřebné přetvárné práci posledního úderu, kdy je odpor proti přetvoření největší.

Stanovení rázové práce bucharu pro kruhové výkovky:

$$A = 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot D_D) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{D_D}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot D_D^2) \cdot D_D \cdot \sigma_p \quad (2.12)$$

kde A je rázová práce bucharu

[J]

D_D je průměr výkovku

[cm]

σ_p je přetvárný odpor za kovací teploty

[MPa]

Vztah platí pro $D_D \leq 60$ cm.

Stanovení rázové práce bucharu pro nekruhové výkovky:

$$A_n = A \cdot \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{L_D}{B_{Ds}}}\right) \quad (2.13)$$

kde A_n je rázová práce bucharu pro nekruhové výkovky

[J]

A je dle (2.12) po dosazení $D_D = D_{Dred}$

[J]

$$D_{Dred} = 1,13 \cdot \sqrt{F_D}$$

(2.14)

kde D_{Dred} je redukovaný průměr výkovku

[cm]

F_D je plocha výkovku v dělicí rovině

[cm²]

L_D je délka výkovku

[cm]

$$B_{Ds} = \frac{F_D}{L_D}$$

(2.15)

kde B_{Ds} je střední šířka výkovku

[cm]

Stanovení hmotnosti beranu:

Pro jednočinný buchar:

$$m = \frac{A}{1,1} \quad (2.16)$$

kde m je hmotnost beranu

[kg]

Pro dvojčinný buchar:

$$m = \frac{A}{(1,8 \text{ až } 2,8)} \quad (2.17)$$

Přesný koeficient z intervalu 1,8 až 2,8 se stanovuje podle pasportu a stavu stroje.

- ❖ Výpočet kovací síly dle Storoževa vychází ze součtu síly potřebné pro přetvoření výronku a síly potřebné pro přetvoření kovu v zápustce.

Pro kruhové výkovky platí:

$$F_{KOV} = \sigma_p \left\{ \left(1,5 + \frac{b}{2 \cdot h}\right) \cdot S_{výr} + \left[1,25 \left(\ln \frac{D_v}{h} + 2 \frac{h}{D_v}\right) + \frac{b}{h} - 0,375\right] \cdot S_v \right\} \quad (2.18)$$

kde F_{kov} je kovací síla

[N]

$S_{výr}$ je plocha výronkové drážky

[mm²]

Pro obdélníkový půdorys výkovku platí:

$$F_{KOV} = \sigma_p \left\{ \left(1,5 + \frac{b}{2 \cdot h}\right) \cdot S_{výr} + \left[1,25 \left(\ln \frac{a}{h} + 2 \frac{h}{a}\right) + \frac{b}{h} - 0,25\right] \cdot S_v \right\} \quad (2.19)$$

kde a je nejdelší strana obdélníkového půdorysu výkovku

[mm]

- ❖ Výpočet kovací síly dle Brjuchanova-Rebelského:
Pro kruhové výkovky:

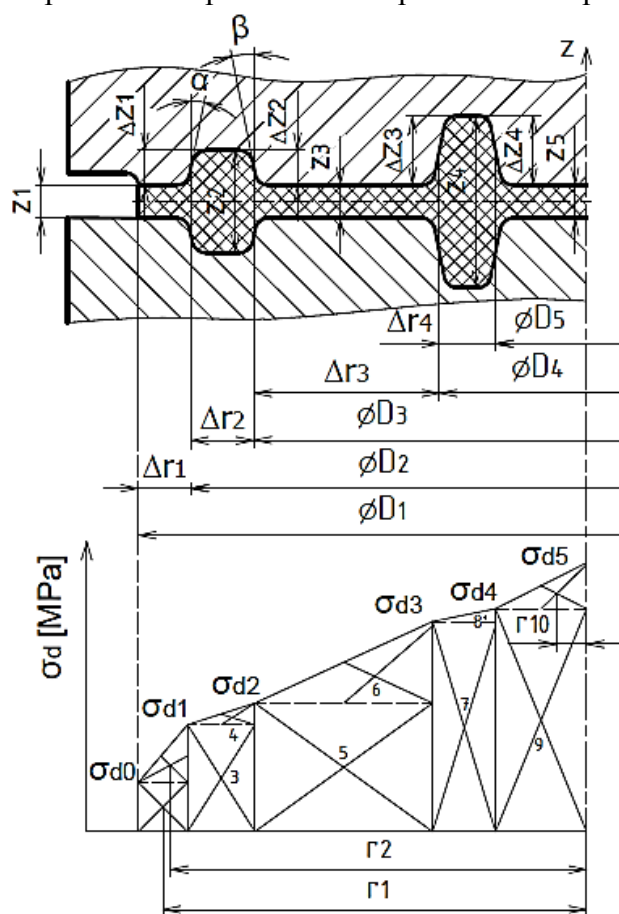
$$F_{KOV} = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_v) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_v}\right)^2 \cdot \sigma_p \cdot S_v \quad (2.20)$$

Pro nekruhové výkovky:

$$F_{KOV} = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_{Dred}) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_{Dred}}\right)^2 \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{L_D}{B_{Ds}}}\right) \sigma_p \cdot S_v \quad (2.21)$$

- ❖ Výpočet kovací síly podle Tomlenova a ČSN 22 8306

Odpor proti přetvoření je ve výronkové drážce největší z důvodu malé výšky a poklesu teploty. Rozložení deformačních odporů po průřezu (obr. 45) se stanoví z hodnoty přirozeného přetvárného odporu s vlivem poklesu teploty ve výronku:



$$\sigma_{d0} = (1 + 0,73 \cdot f) \cdot \sigma_p^* \quad (2.22)$$

$$\sigma_{d1} = \sigma_{d0} + \sigma_p^* \cdot \frac{\Delta r_1}{z_1}$$

$$\sigma_{d2} = \sigma_{d1} + \sigma_p^* \cdot \frac{\Delta r_2}{z_2}$$

$$\sigma_{d3} = \sigma_{d2} + \sigma_p^* \cdot \frac{\Delta r_3}{z_3}$$

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

kde σ_{dn} je deformační odpor [MPa]

f je součinitel tření [-]

Δr_n je poloha těžiště řezu [mm]

z_n je výška řezu [mm]

$$\sigma_p^* = \sigma_p \cdot C_o \quad (2.23)$$

kde σ_p^* je přirozený přetvárný odpor s vlivem poklesu teploty [MPa]

C_o je souhrnný koeficient [-]

Souhrnný koeficient " C_o " udává kolikrát je přirozený přetvárný odpor ve výronku větší než uvnitř výkovku v závislosti na hmotnosti výkovku. Pro

členité tenkostěnné se volí hodnoty vyšší než pro tlustostěnné o stejné hmotnosti.

Obr. 45 Rozložení deformačních odporů [15]

Součinitel tření je závislý na teplotě tváření a nabývá hodnot od 0,35 do 0,45. Normálová složka kovací síly je dána integrací průběhu deformačního odporu po ploše půdorysu výkovku:

$$F_N = \int_S \sigma_d \cdot ds = 2 \cdot \pi \int_0^{\frac{D_c}{2}} \sigma_d \cdot r \cdot dr = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^n S_j \cdot r_j \quad (2.24)$$

kde F_N je normálová složka kovací síly [N]

D_c je průměr výkovku s výronkem [mm]

$$S_j = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_{j-1} + \sigma_j) \cdot \Delta r_j \quad (2.25)$$

kde S_j jsou dílčí plochy v úsecích Δr_j [mm²]

Tečná složka kovací síly překonává smyková napětí na bočních stěnách výkovku a se zanedbáním vlivu bočních úkosů má velikost:

$$F_T = \sum_{j=1}^n \tau_{fj} \cdot \pi \cdot D_j \cdot \Delta z_j = \pi \cdot f \cdot \sigma_p \cdot \sum_{j=1}^n D_j \cdot \Delta z_j \quad (2.26)$$

kde τ_{fj} jsou smyková napětí [MPa]

F_T je tečná složka kovací síly [N]

Celková kovací síla:

$$F_C = F_N + F_T \quad (2.27)$$

kde F_C je celková kovací síla [N]

Pro nekrhové výkovky se výpočet provádí podobně. Podle rovnic (2.22) se stanoví deformační odpory v jednotlivých průřezích výkovku kolmých na delší osu, které jsou od sebe vzdáleny o hodnotu " l_j ". Dále počet řezů podle počtu rozdílných průřezů na výkovku. V každém řezu se stanoví plocha " A_j " pod křivkou deformačních odporů podle vztahu:

$$A_j = \sum_{j=1}^n \sigma_{djstř} \cdot \Delta r_j \quad (2.28)$$

kde A_j je plocha pod křivkou deformačních odporů [mm²]

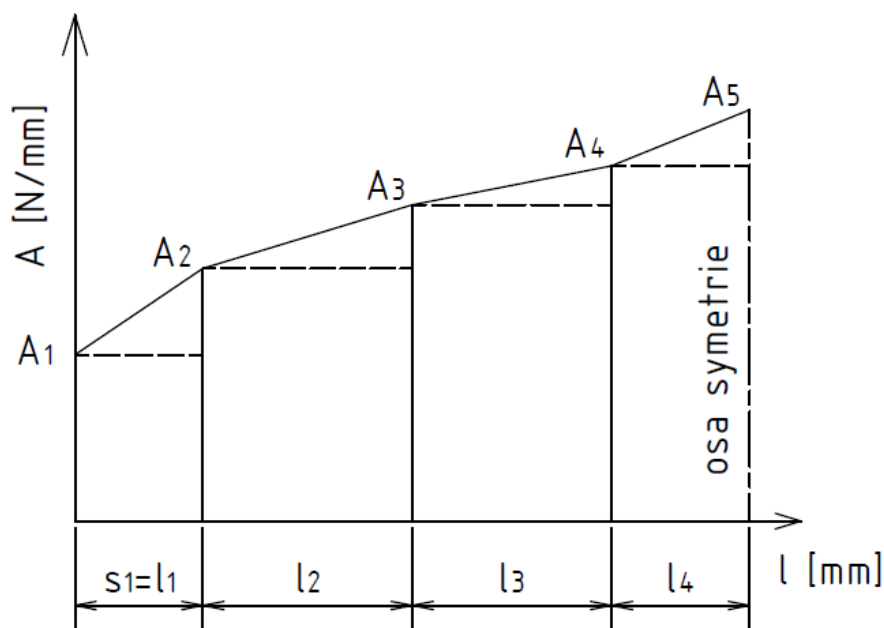
Základem pro sestavení grafu (obr. 46) $A = A(l)$ jsou plochy " A_j " pod křivkami " σ_d " v jednotlivých řezech, viz obr. 46. Složka kovací síly potřebná pro překonání normálových složek " σ_d " je dána plochou pod křivkou $A = A(l)$:

$$F_n = \frac{A_1 + A_2}{2} \cdot l_1 + \frac{A_2 + A_3}{2} \cdot l_2 + \dots + \frac{A_{(n-1)} + A_n}{2} \cdot l_n \quad (2.29)$$

Složku kovací síly potřebnou pro překonání třecích sil na bočních stěnách výkovku lze stanovit podle vztahu:

$$F_t = 0,5 \cdot \sigma_p \cdot \sum_{j=1}^n L_j \cdot \Delta z_j \quad (2.30)$$

kde L_j jsou jednotlivé obvody stěn výkovku [mm]



Obr. 46 Závislost ploch A pod křivkami deformačních odporů [15]

2.7 DOKONČOVACÍ OPERACE [14], [19], [29]

Pro dosažení konečného tvaru a kvality výkovku je nutné po vykování součásti provést určité operace. Nezbytnou operací po kování je ostříhování výronku a v případě předkovaných otvorů se provádí jejich děrování. Pro ostříhování a děrování se používají mechanické a hydraulické lis.

Ostřížení výronku se provádí za tepla nebo za studena, přičemž výkovky s obsahem uhlíku větším než 0,5 % se ostříhují vždy za tepla. Složitější a rozměrnější výkovky je nutné ostříhovat z důvodu menšího tlaku při ostříhování a možnosti využití teploty pro případné rovnání výkovku.

Ostříhovací lisy tvoří spolu ohřívacím zařízením a s lisem nebo bucharem kovací agregát, kdy podle velikosti lisu lze orientačně určit velikost a typ ostříhovacího lisu (tab. 5). Jelikož razník obvykle nedosedá na výronek, ale tlačí

Tab. 5 Přiřazení ostříhovacího lisu [19]

Hmotnost beranu bucharu [t]	Síla svislého kovacího lisu [MN]	Síla ostříhovacího lisu [MN]
0,5	8	1
0,75	10	1,25
1	10	1,6
1,5 - 2	16	2

na výronek, tak je síla 1,7 krát větší. Tloušťka výronku je z důvodu bezpečnosti dvojnásobná. Síla potřebná pro ostřížení výronku se vypočítá podle velikosti stříhané plochy a pevnosti materiálu dle následujícího vztahu:

$$F_s = 1,7 \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot o \cdot 2 \cdot h \quad (2.31)$$

kde F_s je střížná síla

R_m je mez pevnosti v tahu stříhaného materiálu

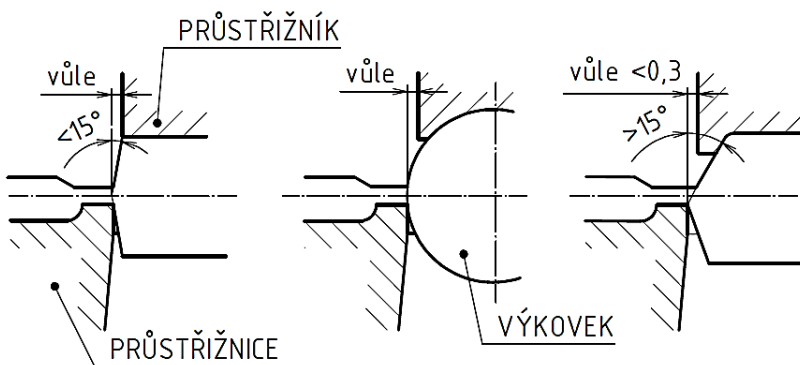
o je obvod střížníku

[N]

[MPa]

[mm]

Průstřížnice se vyrábí z jednoho kusu nebo jako dělené. Zhotovuje se podle obrysu výkovku v dělicí rovině, aby nedocházelo k deformaci výkovku. Pro snadné propadnutí výkovku po ostřížení má sklon 5°.

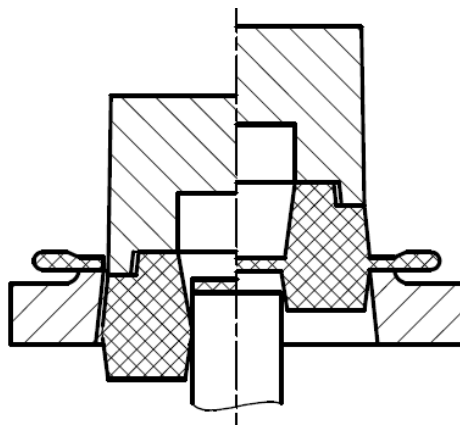


Průstřížník upravuje se podle skutečných rozměrů a tvaru výkovku slícuje. Vůle mezi průstřížníkem a průstřížnicí se zhotovuje vždy na průstřížníku a ovlivňuje kvalitu ostřížení, viz obr. 47. Jednotlivé parametry se určují z příslušných tabulek.

Obr. 47 Vůle při ostříhování [19]

Konstrukce děrovadla pro odstranění dna (blány) výkovku je ovlivněna především tvarem dutiny. Velikost vůle mezi průstřížnicí a průstřížníkem závisí na tvaru děrovaného místa. Výpočet děrovací síly je stejný jako u ostříhování (2.31). Sloužené stříhadla umožňují děrovat blánu a ostříhovat výronek v jedné operaci (obr. 48).

Pokud dojde ke zkřivení výkovku během ostříhování nebo kování, tak je nutné výrovek vyrovnat za tepla. Za studena se rovnají výkovky deformované po tepelném zpracování. Příčinou při kování může být rozdílná poloha osy dutiny a výkovku nebo vytahování



Obr. 48 Sloužené stříhadlo [19]

uváznutého výkovku v dutině zápustky. Rovnání probíhá za tepla v dokončovací dutině (snížení výrobnosti stroje a trvanlivosti zápustky), na ostřihovacích lisech v rovnacích nástrojích (omezeno tlakem lisu) nebo za studena v rovnacích zápustkách, což je nejvýkonnější způsob.

Přesnou hmotnost, rozměry, hladký a čistý povrch lze po kování zajistit kalibrováním výkovků. To závisí na přesnosti kování před kalibrováním, tuhosti tvářecího stroje a na stálosti teploty, při které se kalibruje. Tato dokončovací operace se provádí za tepla po ostřížení výronku nebo za studena po tepelném zpracování. Kalibrování za studena probíhá na razicích strojích, je přesnější a způsobuje zpevňování materiálu. Rozlišuje se na plošné a objemové kalibrování.

2.8 DĚLENÍ VÝCHOZÍHO POLOTOVARU [13], [14], [15], [19]

Materiál je do kováren dodáván v délkách 2 až 12 m. Následně je dělen na kratší polotovary, jejichž hmotnost odpovídá vypočtené hmotnosti výchozího polotovaru výkovku. Pro objem výchozího polotovaru platí:

$$V_{pol} = V_v + V_z \quad (2.32)$$

kde V_{pol} je objem výchozího polotovaru $[mm^3]$

V_v je objem výkovku $[mm^3]$

V_z je objem materiálových ztrát $[mm^3]$

Objem materiálových ztrát platí:

$$V_z = V_{vr} + V_{vd} + V_{ú} + V_o \quad (2.33)$$

kde V_{vr} je objem výronku $[mm^3]$

V_{vd} je objem odpadu při děrování $[mm^3]$

$V_{ú}$ je objem odpadu při ostřihování $[mm^3]$

V_o je objem opalu $[mm^3]$

Objem výronku se počítá dle vztahu:

$$V_{vr} = (0,6 \text{ až } 0,8) \cdot S_{výr} \cdot o_v \quad (2.34)$$

kde o_v je obvod výkovku v dělicí rovině $[mm^2]$

Pro objem opalu platí:

$$V_o = V_{pol} \cdot \frac{\delta}{100} \quad (2.35)$$

kde δ je opal [%]

Konečný vztah pro výpočet objemu výchozího polotovaru:

$$V_{pol} = \left(\frac{\delta}{100} + 1 \right) \cdot V_v \quad (2.36)$$

U pēchovací dutiny je nutno omezit štēhlost výchozího polotovaru a je nutno dodržet poměr:

$$\lambda = \frac{L_{pol}}{D_{pol}} = 1,5 \text{ až } 2,8 \quad (2.37)$$

kde L_{pol} je délka polotovaru $[mm]$

D_{pol} je průměr polotovaru $[mm]$

λ je štēhlostní poměr $[-]$

Průměr výchozího polotovaru se vypočítá po dosazení zvoleného poměru podle vztahu:

$$D_{pol} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_{pol}}{\lambda}} \quad (2.38)$$

Délka výchozího polotovaru se vypočítá dle vztahu:

$$L_{pol} = \frac{V_{pol}}{S_{pol}} \quad (2.39)$$

S_{pol} je obsah průřezu polotovaru $[mm^2]$

Dělení tyčí na výchozí polotovary může být prováděno dělením bez tvoření třísek nebo s třískovým odpadem. Do beztrískového způsobu patří stříhání a lámání. Mezi dělení s odpadem patří například řezání rámovými, pásovými a kotoučovými pilami.

Stříhání je nejlevnější, nejvýkonnější, nepoužívanější a hospodárny způsob dělení tyčových polotovarů. Střížná plocha má sníženou jakost, protože není zcela rovná a kolmá k ose tyče. Lze stříhat ocelové tyče od průměrů 15 mm až 250 mm. Tyče z měkké oceli se stříhají za studena do 70 mm, větší rozměry za tepla při 200 až 300 °C (pásma křehkosti). Při stříhání uzavřenými noži pohyblivý nůž obklopuje budoucí ústřížek a pevný nůž stříhanou tyč (obr. 49). Nejkratší délka stříhaného polotovaru je omezena vztahem:

$$L_{pol} \geq 0,6 \cdot D_{pol} \quad (2.40)$$

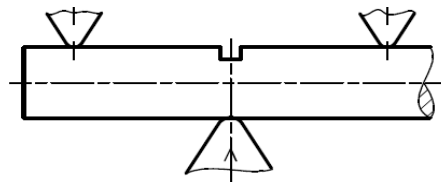
Střížná síla pro stříhání se počítá dle vztahu:

$$F_{stř} = n_s \cdot \tau_s \cdot S_{pol} \quad (2.41)$$

kde n_s je koeficient zahrnující vliv vnějších podmínek, $n_s = (1 \text{ až } 1,3)$ [-]

τ_s je střížný odpor [MPa]

Lámání je založeno na koncentraci napětí, která vznikají při ohybu tělesa opatřeného vrubem, viz obr. 50. Vruby se zhotovují pilou, naseknutím nebo plamenem. Šířka vrubu bývá 6 až 7 mm. Pro lámání je vhodné použít materiály o vyšší pevnosti ($R_m \geq 700$ MPa). Při menších pevnostech by nedošlo k ulomení, ale k ohybu. Výhodou lámání je velká produktivita a nižší energetická náročnost. Lomová plocha není nikdy tak hladká, jako u stříhání.



Obr. 50 Lámání [19]

Řezáním se dělí tyčové polotovary, profilové tyče a trubky vyrobené především z neželezných kovů a slitin. Tyto materiály nelze dělit stříháním, protože kvůli nízké pevnosti by byly způsobeny otláčení nastříhaných polotovarů. Dále se řezou polotovary z vysokouhlikových, legovaných a konstrukčních ocelí. Řeže se za studena a hlavně materiál velkých průřezů. Pro volbu dělení polotovaru tímto způsobem je rozhodující požadavek dobré kvality řezné plochy a přesnosti. Mezi nevýhody patří nízká produktivita, vyšší cena, ztráta materiálu ve formě třísek a menší životnost řezných nástrojů.

Rámové pily jsou vhodné pro malé až střední průřezy pro malosériovou výrobu a nevýhodou je nízká produktivita a obvykle značné zešikmení řezu.

Pásové pily pracují nekonečným obíhajícím pilovým pásem a používají se především pro dělení neželezných kovů, kde umožňují vyšší jakost řezné plochy a nižší prořez.



Obr. 51 Pásová pila [37]

Řezy na kotoučových pilách o průměru kotouče 200 až 800 mm dosahují nejlepší kvality. Menší kotouče do průměru 300 mm jsou celistvé a větší mají vsazené zuby jednotlivě nebo v segmentech. Kotouč bývá z uhlíkové oceli a segmenty z rychlořezné. Šířky kotoučů se pohybují od 3 do 8 mm. Předností řezání kotoučovými pilami je také možnost dosáhnouti přesně kolmého čela špalíku k ose tyče. Délková přesnost polotovarů je vyhovující.



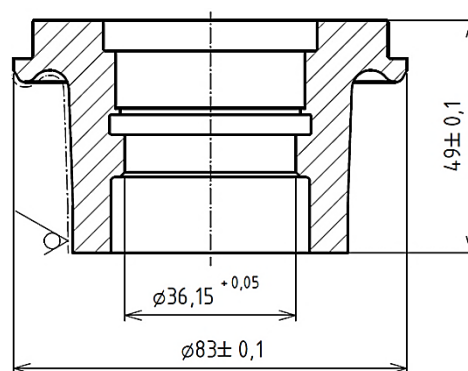
Obr. 52 Kotoučová pila [42]

3 NÁVRH VÝROBY VÝKOVKU [6], [11], [12]

Pro výrobu dané součásti (č.v. 116197-2013-22/13-03) byla zvolena technologie zápustkové kování. Jedná se o náboj kola použitý v automobilovém průmyslu. Počet kusů série je 50000 ks. Komplexní návrh výkovku je možno shrnout v následující body:

- konstrukce výkovku a vypracování výkresu výkovku
- konstrukce a vypracování výkresů dokovacího nářadí
- konstrukce a vypracování výkresů předkovacího nářadí
- simulace jednotlivých operací kování
- provedení analýzy FMEA
- výroba nářadí
- proces výroby výkovku
- vzorkování a předání do série

Před navrhováním výkovku je nutné stanovit druh tvářecího stroje. Na obr. 53 je zobrazen tvar součásti. Z hlediska kovaného tvaru, velikosti kovací série, přesnosti výroby, rovnoměrného prokování a vyšší životnosti zápustek je vhodné použít lis. Pro usnadnění práce obsluhy lisu bude zápustka opatřena vyhazovačem.



Obr. 53 Náčrt obrobku

3.1 STANOVENÍ ROZMĚRŮ A TVARŮ [6], [7], [11], [12], [14]

Celý proces návrhu vychází z výkresu obrobku, který je dodán zákazníkem. Dále vychází z materiálu obrobku, požadovaného počtu výkovků a z konkrétních požadavků zákazníka. Do procesu návrhu výkovku patří stanovení přídavek na obrábění, stanovení technologických přídavek, stanovení polohy dělicí roviny, návrh umístění a tloušťky dna (blány) výkovku a na závěr stanovení tolerancí výkovku. Na základě standardních norem DIN 7523 a ČSN EN 10243-1 byl vypracován výkres, který má následující specifikace:

Dle zadaného výkresu obrobku se jedná o rotačně symetrický výkovek, jehož největší průměr je 83 mm a největší tloušťka je 49 mm. Podle níže uvedené tab. 6 byly zvoleny přídávky na obrábění 1,5 mm. Tyto přídávky jsou dostačující, protože kovárna Viva je schopna vyrobit kovárenské nářadí v dostatečné přesnosti.

Tab. 6 Přídávky na obrábění [12]

Nejvyšší rozměr (šířka nebo tloušťka)		Podélné výkovky - největší délka								
Největší tloušťka		Rotačně symetrické výkovky - největší průměr								
od	do	od	40	63	100	160	250	400	630	1000
		do 40	63	100	160	250	400	630	1000	1600
	40	1,5 (1)	1,5 (1)	2 (1,5)	2 (1,5)	2,5 (1,5)	3 (2)	4 (2,5)	5 (3)	6 (6,5)
40	63	1,5 (1)	2 (1,5)	2 (1,5)	2,5 (1,5)	3 (2)	3,5 (2,5)	4,5 (3)	5,5 (3,5)	6,5 (4)
63	100	2 (1,5)	2 (1,5)	2,5 (1,5)	3 (2)	3 (2)	3,5 (2,5)	4,5 (3)	5,5 (3,5)	6,5 (4)
100	160	-	2,5 (1,5)	3 (2)	3 (2)	3,5 (2,5)	4 (3)	5 (3,5)	6 (4)	7 (4,5)
160	250	-	-	3 (2)	3,5 (2,5)	4 (3)	5 (3,5)	6 (4)	7 (4,5)	8 (5)
250	400	-	-	-	4 (3)	5 (3,5)	6 (4)	7 (4,5)	8 (5)	9 (5)

Hodnotám uvedeným v závorkách se z důvodu vyšších technických výdajů pokud možno vyhýbat.

Úkosity byly provedeny i na ploše, která se podle výkresu obrobku, nemá obrábět. A to z důvodu jednoduššího vyjímání výkovku a snadnějšího tečení materiálu v zápustce. Úkosity bočních stěn byly zvoleny podle tab. 7 následovně:

- vnitřní úkosity: s vyhazovačem 3°, bez vyhazovače 6°
- vnější úkosity: s vyhazovačem 2°, bez vyhazovače 5°

Tab. 7 Úkosity bočních stěn [12]

Vnitřní úkosity			Vnější úkosity		
Buchar nebo lis		Vodorovný pěchovací stroj	Buchar nebo lis		Vodorovný pěchovací stroj
Zápustka			Zápustka		
bez vyhazovače	s vyhazovačem		bez vyhazovače	s vyhazovačem	
6°	3°	3°	4°30'	2°	2°
1 : 10	1 : 20	1 : 20	1 : 12,5	1 : 30	1 : 30
9° (3°)	6° (1° 30')	6° (0° 30')	6° (2°)	3° (0° 30')	3° (0° 30')
1 : 6 (1 : 20)	1 : 10 (1 : 40)	1 : 10 (1 : 115)	1 : 10 (1 : 30)	1 : 20 (1 : 115)	1 : 20 (1 : 115)

Hodnoty vytisknuté **tučně** se v praxi běžně používají.
Hodnotám uvedeným v závorkách se z důvodu vyšších technických výdajů pokud možno vyhýbat.
1) U plochých součástí mohou být požadovány větší úkosity po obou stranách přetoků k vůli postupu při ostříhu přetoků.

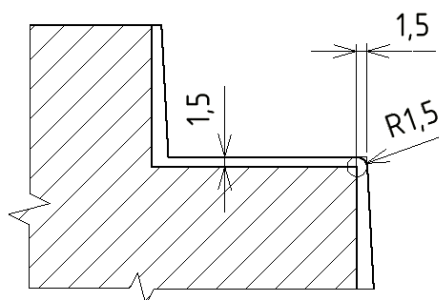
Zaoblení hran na třískově obráběných plochách mohou mít hodnotu 1,5 až 2 násobku přídavku na obrobení, zvoleného podle tab. 6. V tomto případě bylo zvoleno zaoblení $r_k = 1,5$ mm, z důvodu dodržení přídavků na obrábění ve všech bodech od navrženého tvaru výkovku a nezvyšování obráběného objemu materiálu, viz obr. 54.

Vydaté zaoblení (obr. 55) bylo navrženo dle tab. 8 a tab. 9. Vnitřní zaoblení bylo zvoleno jednotně $r_1 = 8$ mm a vnější zaoblení bylo zvoleno také jednotně $r_A = 6$ mm. Tato zaoblení jsou plně dostačující vzhledem k velikosti výkovku, jeho složitosti a snadnosti tečení materiálu v zápustce.

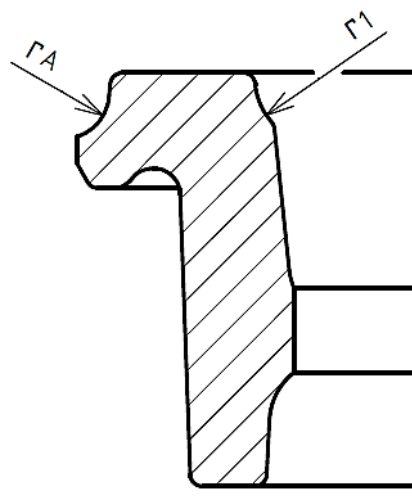
Tab. 8 Vnitřní zaoblení r_1 [12]

Příslušná výška osazení [mm]		Největší průměr výkovku [mm]			
od	do	od	25	40	63
		do 25	40	63	100
	16	4 (2)	5 (2)	6 (3)	8 (3)
16	40	6 (3)	8 (3)	10 (4)	12 (5)
40	63	-	12 (5)	14 (6)	16 (8)
63	100	-	-	18 (10)	20 (12)
100	160	-	-	-	25 (16)

Hodnotám uvedeným v závorkách se z důvodu vyšších technických výdajů pokud možno vyhýbat.



Obr. 54 Zaoblení hran



Obr. 55 Vydatá zaoblení

Tab. 9 Vnější zaoblení r_A [12]

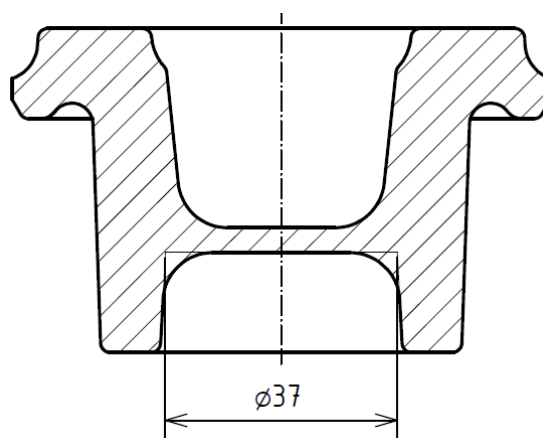
příslušná výška osazení		Největší průměr příp. největší šířka b1 výkovku							
od	do	od	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
	16	3 (1,5)	4 (2)	5 (2)	6 (3)	8 (4)	10 (5)	12 (6)	14 (8)
16	40	4 (2)	5 (2)	6 (3)	8 (4)	10 (5)	12 (6)	14 (8)	16 (10)
40	63	-	6 (3)	8 (4)	10 (5)	12 (6)	14 (8)	16 (10)	20 (12)
63	100	-	-	12 (6)	14 (8)	16 (10)	18 (12)	20 (14)	25 (16)
100	160	-	-	-	18 (10)	20 (12)	22 (14)	25 (16)	32 (18)
160	250	-	-	-	-	25 (14)	28 (16)	32 (18)	40 (20)

Hodnotám uvedeným v závorkách se z důvodu vyšších technických výdajů pokud možno vyhýbat.

Pro stanovení tloušťky dna je směrodatný rozměr průměru dna, bez vnitřního zaoblení. Největší průměr dna je 37 mm, viz obr. 56. Podle tab. 10 byla zvolena tloušťka dna $s_B = 4$ mm.

Tab. 10 Tloušťky dna [12]

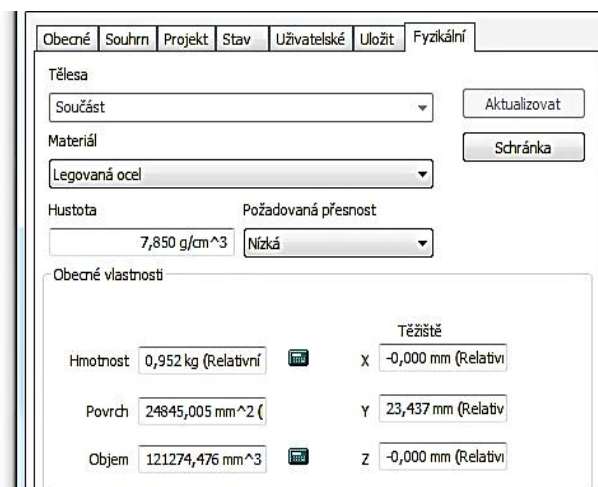
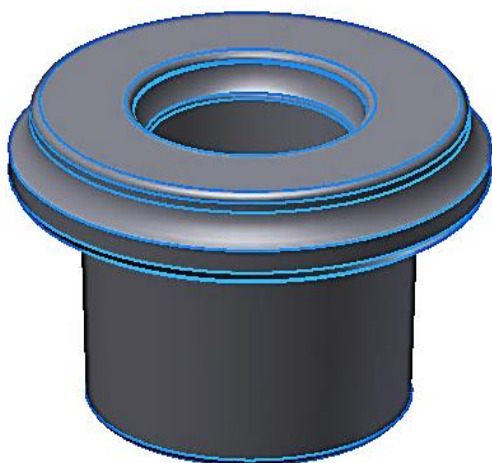
Rotačně symetrické		
Průměr dna		Tloušťka dna
od	do	
	20	2 (1,5)
20	50	4 (2)
50	80	5 (3)



Obr. 56 Náčrt průměru dna

Pro stanovení mezních úchylek a tolerancí výkovku je potřeba znát, kromě rozměrů výkovku, hmotnost výkovku, tvar dělicí roviny, stupeň obtížnosti kování, ukazatel členitosti tvaru a stupeň přesnosti kování.

❖ hmotnost výkovku – viz obr. 57, dle programu Autodesk Inventor **0,95 kg**



Obr. 57 Hmotnost výkovku

- ❖ tvar dělicí roviny **souměrně lomená**
- ❖ stupeň obtížnosti kování – dle oceli 14 220 **M1**
- ❖ ukazatel členitosti tvaru - podle vztahu (2.4) **S2 (0,32; 0,63 >**

$$S = \frac{m_{\text{výkovku}}}{m_{\text{obal.tělesa}}} = \frac{0,95}{2,40} = 0,40$$

$$m_{\text{obal.tělesa}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H_{\text{výk}} \cdot 10^{-9} \cdot \rho_v = \frac{\pi \cdot 86,5^2}{4} \cdot 52 \cdot 10^{-9} \cdot 7850 = 2,40 \text{ kg}$$

kde $H_{\text{výk}}$ je výška výkovku [mm]
 ρ_v je hustota materiálu výkovku [kg/m³]

- ❖ Mezní úchytky, které poskytují přiměřený stupeň přesnosti pro obvyklé použití, dosažitelný běžně používaným kovářským zařízením a způsoby kování, jsou stupněm přesnosti F.

Po stanovení výše uvedených hodnot je možné přistoupit ke stanovení mezních úchylek výkovku, které se sestávají z:

- Mezní úchytky pro délky, šířky, výšky, ořepy (sestřižení) a přesazení dle tab. 11.

Tab. 11 Stanovení úchylek pro délky, šířky, výšky, ořepy (sestřižení) a přesazení [11]

Přesazení	Ořep (+) Sestřžení (-)	Dělicí plocha		Hmotnost (kg)	Stupeň obtížnosti kování		Ukazatel členitosti tvaru		Jmenovité rozměry																
		Nesouměrná	Přímá nebo souměrná						Nad - do (včetně)	M1	M2	S1	S2	S3	S4										
										0	> 32	> 100	> 160	> 250	> 400	> 630	> 1 000	> 1 600							
										≤ 32	≤ 100	≤ 160	≤ 250	≤ 400	≤ 630	≤ 1 000	≤ 1 600	≤ 2 500							
										Úchytky ¹⁾															
																				</					

- Úchytky přímosti a rovinnosti nabývají dle tab. 13 hodnot 0,6 mm.

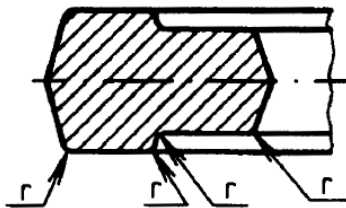
Tab. 13 Úchytky přímosti a rovinnosti [11]

Úchytky přímosti a rovinnosti																
Nad - do	Jmenovité rozměry															
	0	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500	
Úchytky																
Stupeň	F	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	2,8	3,2
	E	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0

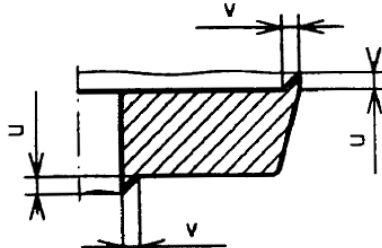
- Úchytky jehel, zaoblení přechodů a hran se určují dle tab. 14.

Tab. 14 Úchytky zaoblení přechodů a hran; úchytky jehel [11]

Úchytky zaoblení přechodů a hran		
r (mm)	+	-
$r \leq 10$	50 %	25 %
$10 < r \leq 32$	40 %	20 %
$32 < r \leq 100$	32 %	15 %
$r > 100$	25 %	10 %



Úchytky jehel		
Hmotnost (kg) nad - do	u mm	v mm
$m \leq 1$	1	0,5
$1 < m \leq 6$	1,6	0,8
$6 < m \leq 40$	2,5	1,2
$40 < m \leq 250$	4	2



Úchytky zaoblení přechodů a hran se na výkrese výkovku neuvádí. Slouží pouze jako ukazatel opotřebení zápustek. Dle tab. 14 jsou úchytky zaoblení přechodů a hran pro poloměry $r \leq 10$ mm rovny procentuálním hodnotám +50% a -25%. Například pro vnitřní poloměr R8 je povolená tolerance až na hodnotu R6 a pro vnější poloměr R6 je povolená tolerance až na hodnotu R9. Úchytky jehel jsou rovny hodnotám: $u = 1$ mm, $v = 0,5$ mm.

Konečné konstrukční řešení výkovku, včetně polohy dělicí roviny, je uvedeno ve výkresové dokumentaci (č.v. 116197-2013-22/13-02). Zákazník řešení výkresu výkovku připomínkoval a jako stěžejní uvedl nutnost vykovat neobráběnou plochu tak, aby nebyla potřeba následně obrábět. Z důvodu vysokých nákladů na obrábění a racionalizace bylo nutné vypracovat upravenou variantu návrhu výkovku a po konzultacích se zákazníkem bylo navrženo finální řešení konstrukce výkovku.

3.1.1 Úpravy návrhu [6], [7], [11], [12], [14]

Podle výše uvedené tab. 6 byla zvolena kombinace přídavek na obrábění 1,5 mm na průměry a 2 mm na výšky výkovku. Tyto přídávky jsou navrženy po konzultaci se zákazníkem s maximální úsporou materiálu při obrábění ve spojení s funkcí.

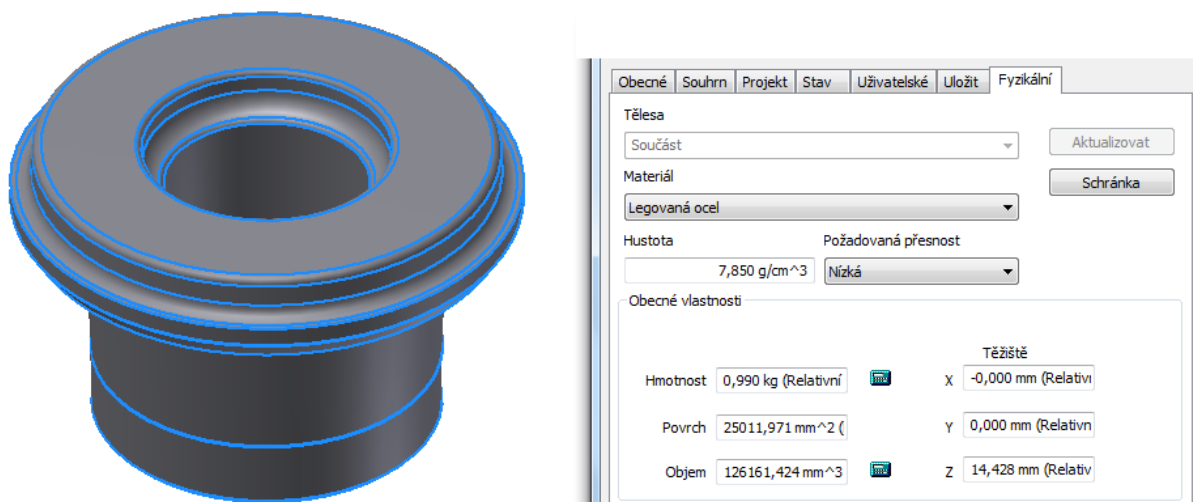
Úkosy bočních stěn byly zvoleny podle tab. 7. Pouze úkos 9° není v souladu s tabulkou. Byl takto navržen z důvodu snížení síly na vyhazovači a snadnějšího vyjímání ze zápustky. Jsou zde zohledněny úkosy plochy, která nemá být obráběna. Vnitřní úkosy jsou s vyhazovačem 9° a bez vyhazovače 6° . Vnější úkosy jsou s vyhazovačem $0,5^\circ$ a 2° , bez vyhazovače 3° .

Zaoblení hran ploch, které mají být třískově obrobeny, bylo zvoleno 2 mm, protože přídavky na obrábění jsou v těchto místech 2 mm. Jelikož výkovek bude kován ve vložkové zápustce, tak je možno zbylé poloměry opatřit hodnotou R0 – R1 a R0 – R1,5. Vydaté zaoblení bylo navrženo s ohledem na tab. 8 a tab. 9.

Tloušťka dna byla s ohledem na tab. 10 zvolena 4,4 mm oproti původní variantě 4 mm. A to z důvodu snížení potřebné tvářecí síly.

Těmito úpravami došlo ke změně geometrie návrhu výkovku, a proto je nutné pro stanovení mezních úchylek a tolerancí výkovku přepočítat hmotnost výkovku a ukazatel členitosti tvaru.

- hmotnost výkovku – viz obr. 58, dle programu Autodesk Inventor **0,99 kg**



Obr. 58 Hmotnost upraveného výkovku

- ukazatel členitosti tvaru **S2 (0,32; 0,63 >**

$$S = \frac{m_{\text{výkovku}}}{m_{\text{obal.tělesa}}} = \frac{0,99}{2,39} = 0,41$$

$$m_{\text{obal.tělesa}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H_{\text{výk}} \cdot 10^{-9} \cdot \rho_v = \frac{\pi \cdot 85,5^2}{4} \cdot 53 \cdot 10^{-9} \cdot 7850 = 2,39 \text{ kg}$$

Jak je patrné, tak hodnoty pro stanovení mezních úchylek jsou stejné s předchozím návrhem, tudíž i hodnoty mezních úchylek budou totožné. Dovolené přesazení výkovku je podle normy 0,5 mm. Dolní mezní úchylna rozměrů výkovku je -0,5 mm. Po součtu těchto absolutních hodnot je patrné, že přídavek na obrábění 2 mm je plně dostačující na obrobení daných ploch. Konečné konstrukční řešení výkovku je uvedeno ve výkresové dokumentaci (č.v. 116197-2013-22/13-01).

3.2 NÁVRH NÁSTROJE [1], [6], [9], [29], [32]

Při navrhování kovářského nářadí je nutno stanovit materiál nářadí, konstrukci a rozměry nářadí, vyřešit konstrukci výronkové drážky, upínání zápustek a zohlednit rozměrové difference z důvodu smrštění materiálu při ochlazování.

Jako nástrojový materiál byla zvolena legovaná ušlechtilá nástrojová ocel 19552. Jedná se o chrom - molybden - křemík - vanadovou ocel ke kalení v oleji, na vzduchu a atmosféře dusíku s velmi dobrou prokalitelností. Vyznačuje se vysokou pevností za tepla a odolností proti popuštění, velmi dobrou houževnatostí a plastickými vlastnostmi při normálních i zvýšených teplotách. Tato ocel vykazuje velmi dobrou odolnost proti vzniku trhlin tepelné únavy a malou citlivost na prudké změny teploty. Je dobře tvárná za tepla a dobře obrobitelná

ve stavu žíhaném na měkko. Je vhodná na nástroje pro tváření za tepla (velmi namáhané malé a středně velké zápustky a vložky zápustek).

Tab. 15 Chemické složení 19552 [32]

Chemické složení v %								Tvrdost ve stavu zušlechtěném
C	Mn	Si	Cr	Mo	V	P max.	S max.	HRC min.
0,32-0,42	0,20-0,50	0,80-1,20	4,50-5,50	1,10-1,60	0,35-0,60	0,03	0,03	50

Tab. 16 Tepelné zpracování 19552 [32]

Tepelné zpracování	Teplota
Žíhání ke snížení pnutí	600 - 650 °C
Kalící teplota	1000 - 1030 °C
Teplota popouštění	550 - 650 °C

Tab. 17 Tvrdosti po tepelném zpracování

Zápustka spodní	HRC 50±1
Zápustka horní	HRC 51±1
Vložka spodní	HRC 51±1
Vložka horní	HRC 51±1

Dokovací nářadí je řešeno jako sestava dolní a horní vložkované zápustky. Vložky jsou do zápustek lehce nalisované. Takové řešení má výhodu v tom, že nářadí nepraská. Je to způsobené možností zápustek se rozpínat a odvádět vzduch proudící v lehce nalisovaných spojích při pracovním zdvihu stroje. V těchto místech jsou téměř nulové místní deformace a dovolují vykovat téměř ostrou hranu. Další výhodou je jednodušší výroba a způsob renovace částí nářadí. Nevýhodou je vyšší spotřeba nástrojového materiálu. Jelikož nářadí nepraská, tak je i vyšší spotřeba materiálu velmi výhodná. Vnější rozměry zápustek byly voleny orientačně dle vztahu (2.7) z normy ČSN 22 8306:

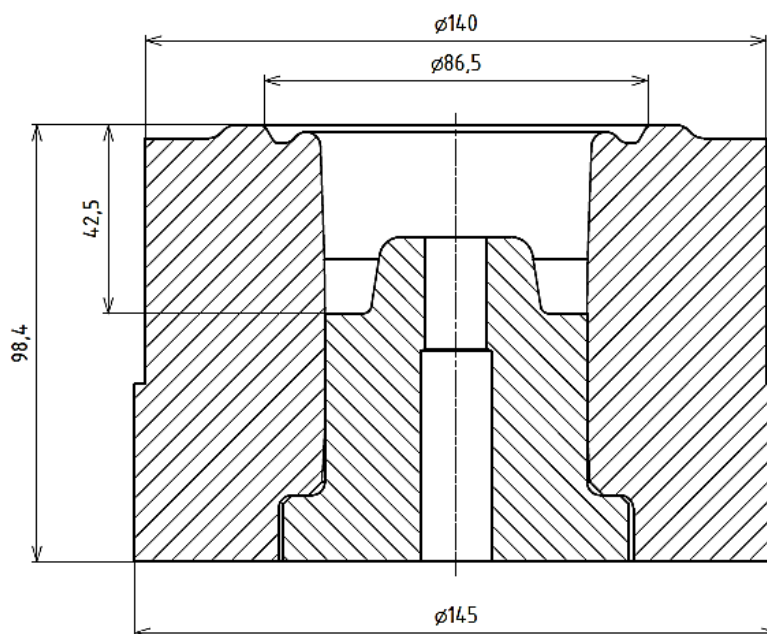
$$D_{DZ} \geq D_{DD} + 0,4 \cdot (D_{DD} + H_{DD}) + 10$$

$$D_{DZ} \geq 86,5 + 0,4 \cdot (86,5 + 42,5) + 10$$

$$D_{DZ} \geq 148,1 \text{ mm}$$

Kovárna Viva používá svoji ucelenou řadu upínačů pro různé typy výkovků. Tyto řady jsou průměrově odstupňovány. Výkovky odpovídajících hmotností a rozměrů jsou přiřazeny do příslušného upínače. Dokovací nářadí tohoto výkovku bylo zařazeno pro upínač od firmy Šmeral o průměru 140 mm, který je ve spodní části osazený na průměr 150 mm. Tudíž vnější průměr zápustek je 140 mm, viz obr. 59.

Dutina dokovacího nářadí má rozměry výkovku zvětšené o hodnotu smrštění. Pro kovaný materiál, ocel 14 220, smrštění dosahuje hodnoty 1,012.



Obr. 59 Rozměry dokovací zápustky

Pro výronkovou drážku byl zvolen typ III a její rozměry byly navrženy s ohledem na ideální vyplnění dutiny. Jako východisko byly použity výpočty dle normy ČSN 22 8306. Finální řešení výronkové drážky je zobrazeno na obr. 60.

- výška můstku – podle vztahu (2.9)
 $h = 0,015 \cdot D_v = 0,015 \cdot 86,5 = 1,3 \text{ mm}$
 Zvoleny 3 mm, protože při dokování vytéká větší množství materiálu do zásobníku.
- šířka můstku – podle vztahu (2.10)
 zvolen poměr $\frac{b}{h} = 2,5$
 $b = 2,5 \cdot h = 2,5 \cdot 3 = 7,5 \cong 8 \text{ mm}$
- hloubka zásobníku – podle vztahu (2.11)
 $n = 0,4 \cdot h + 2 = 0,4 \cdot 3 + 2 = 3,2 \text{ mm}$
 Zvoleny 3 mm, protože tato hodnota nijak neovlivňuje vytékání materiálu.

Pro vyhazování výkovků byl zvolen kolíkový vyhazovač. Kovárna Viva má standardizovanou řadu průměrů vyhazovačů výkovků 14 mm, 20 mm a 25 mm. Jelikož se jedná o malý výkovek, proto byl zvolen vyhazovač průměru 14 mm.

Výkresy jednotlivých částí dokovacího nářadí jsou uvedeny spolu se sestavou ve výkresové dokumentaci.

Výkovek takové tvarové složitosti není možné vykovat na jednu tvářecí operaci, což bylo

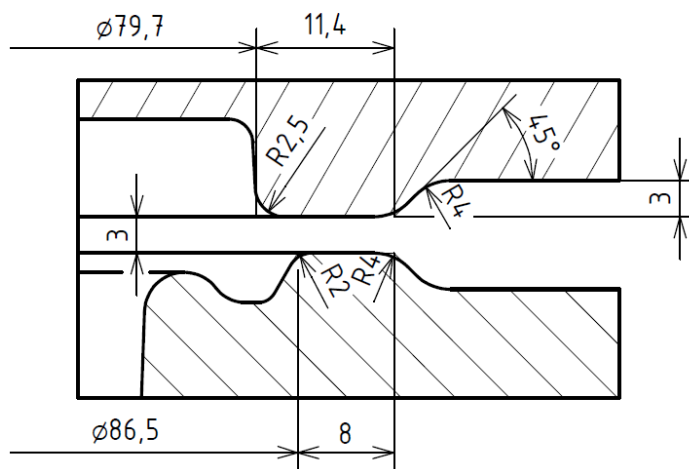
potvrzeno zkušební simulací a zkušenostmi oddělení konstrukce. Nezařazení této operace by vedlo k tvorbě kovářských vad materiálu. Předkovací operaci je nutné zařadit téměř vždy. Předkování je složeno z napěchování polotovaru a předkování v předkovací zápustce.

3.2.1 Předkovací nářadí [1], [6], [9], [29], [32]

Pro zhotovení výkresové dokumentace předkovacího nářadí je nutné vypracovat výkres předkovku. Tento výkres se nikde neuvádí a slouží jen pro jednodušší vypracování výkresové dokumentace předkovacího nářadí.

Předkovek je konstruován tak, aby vyplnil dokovací dutinu převážně přechováním, tzn., aby se v dutině rozpínal a bezproblémově vyplnil její tvar, proto musí být předkovek vyšší. Dále musí být užší, aby mohl být vložen do dokovací dutiny, a musí mít plytké přechody, aby se nemohly tvořit přeložky. Ustavení předkovku v dutině musí být jednoznačné. Výkres předkovku je uveden ve výkresové dokumentaci (č.v. 116197-2013-21/13-01).

Předkovací nářadí je řešeno jako sestava horní a spodní zápustky. Materiál a tepelné zpracování předkovacího nářadí je shodné s dokovacím nářadím. Oproti dokovacímu nářadí není předkovací nářadí vložkované, protože materiál postupně vyplňuje zápustku a není zde tak vysoký tlak jako v dokovacím nářadí. Proto jsou v dutinách zápustek větší poloměry. Vyhazovač předkovací zápustky je totožný s vyhazovačem zápustky dokovací.



Obr. 60 Výronková drážka

Vnější rozměry zápusťek předkovacího nářadí byly voleny orientačně dle vztahu (2.6) z normy ČSN 22 8306:

$$D_{PZ} \geq D_{PD} + 0,2 \cdot (D_{PD} + H_{PD}) + 5$$

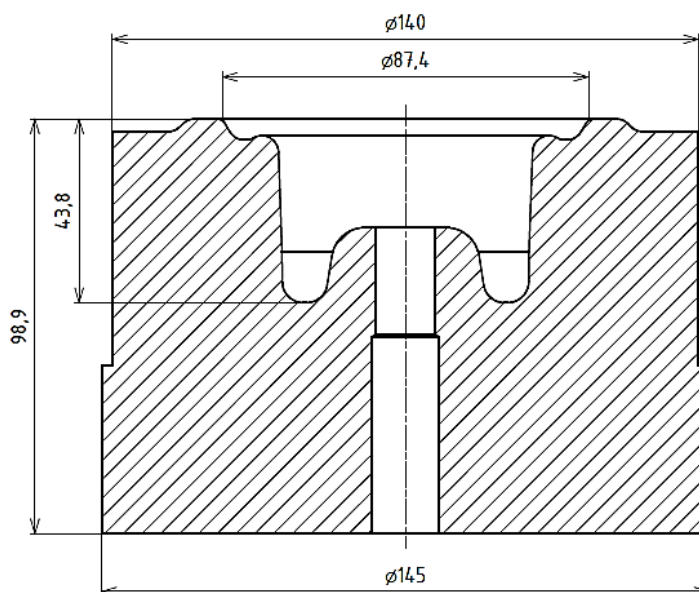
$$D_{PZ} \geq 87,4 + 0,2 \cdot (87,4 + 43,8) + 5$$

$$D_{PZ} \geq 118,64 \text{ mm}$$

Vnější průměr předkovacích zápusťek byl zvolen stejný, jako je u zápusťek dokovacích, tedy 140 mm (obr. 61).

Dutina předkovacího nářadí má rozměry předkovku zvětšené o hodnotu smrštění stejně jako u dokovacího nářadí.

Výkresy spodní a horní předkovací zápusťky jsou uvedeny spolu se sestavou ve výkresové dokumentaci.



Obr. 61 Rozměry předkovací zápusťky

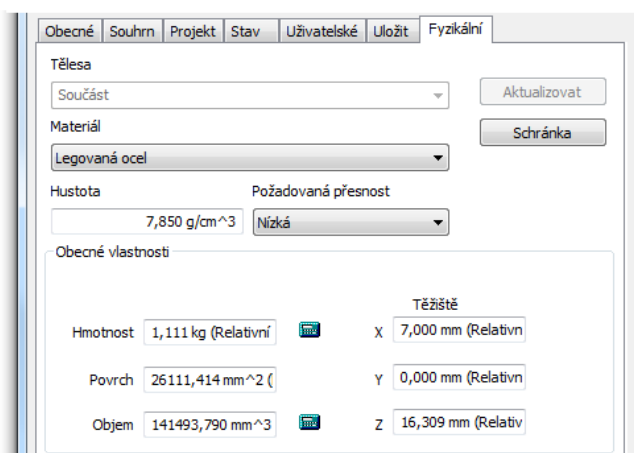
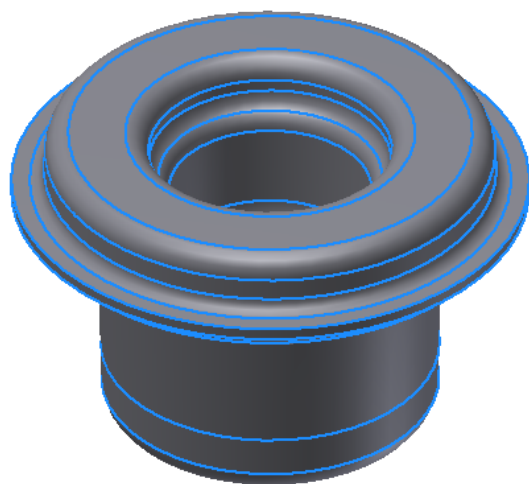
3.3 SIMULACE [9], [14], [17], [19], [21], [22], [23], [29]

Z navržené geometrie kovárenského nářadí je možné provést simulaci jednotlivých operací, které se skládají z napěchování polotovaru, předkování a dokování. Simulace byla provedena v programu QForm 2.2.03 a hlavním cílem simulace bylo zjistit, zda se v jednotlivých operacích nebudou vytvářet přeložky sítě materiálu (zákovky). Před simulací je nutné zjistit vstupní parametry, které jsou potřebné pro simulaci výše uvedených operací. Jedná se o určení výchozího polotovaru, tvářecího stroje, teploty ohřevu polotovaru, teploty předehřevu zápusťek a druhu maziva zápusťek.

Výchozí polotovar vychází ze součtu objemu výkovku (s blánou) a výronku. Tato hodnota je navýšena o hodnotu opalu při ohřevu materiálu. Druhý způsob je určení výchozího polotovaru z předkovku, protože objem předkovku představuje čistý objem polotovaru.

- hmotnost a objem předkovku – viz obr. 62, dle programu Autodesk Inventor

$$m_p = 1,111 \text{ kg}, V_p = 141\,494 \text{ mm}^3$$



Obr. 62 Hmotnost předkovku

- hmotnost a objem výchozího polotovaru dle vztahu (2.36):
polotovár je ohříván indukčním ohřevem, hodnota opalu δ je 0,5 %

$$m_{\text{pol}} = \left(\frac{\delta}{100} + 1 \right) \cdot m_p = \left(\frac{0,5}{100} + 1 \right) \cdot 1,111 = 1,117 \text{ kg}$$

$$V_{\text{pol}} = \left(\frac{\delta}{100} + 1 \right) \cdot V_p = \left(\frac{0,5}{100} + 1 \right) \cdot 141\,494 = 142\,201 \text{ mm}^3$$

- pro zamezení vybočení polotovaru při operaci přechovávání je nutné dodržet štíhlostní poměr dle vztahu (2.37):

$$\lambda = \frac{L_{\text{pol}}}{D_{\text{pol}}} = 1,5 - 2,8$$

minimální průměr polotovaru se určí dle (2.38):

$$D_{\text{pol min}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_{\text{pol}}}{\lambda}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{142\,201}{2,8}} = 40 \text{ mm}$$

maximální průměr polotovaru se určí dle (2.38):

$$D_{\text{pol max}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_{\text{pol}}}{\lambda}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{142\,201}{1,5}} = 49,3 \text{ mm}$$

Dle uvážení dovoleného rozsahu byl zvolen normalizovaný průměr polotovaru 45 mm.

- délka polotovaru se vypočítá dle vztahu (2.39):

$$L_{\text{pol}} = \frac{V_{\text{pol}}}{S_{\text{pol}}} = \frac{142\,201}{\frac{\pi \cdot 45^2}{4}} = 89,41 \text{ mm}$$

Pro zajištění mírné objemové rezervy byla zvolena délka polotovaru 89,5 mm.

Výchozím polotovarém bude tyč o rozměrech $\varnothing 45 - 89,5 \text{ mm}$.

3.3.1 Výpočty kovací síly [9], [13], [14], [15], [29], [43]

Určení velikosti tvářecího stroje vychází z určení velikosti kovací síly. Kovárna Viva určuje kovací sílu přednostně dle nomogramu a podle simulačního programu Forge. Pro možnost porovnání bude uveden i výpočet podle Storoževa, Brjuchanov-Rebelského a Tomlenova. Teplota ohřevu byla stanovena na 1200 °C.

➤ síla dle nomogramu

materiál:	14 220.0
kovací teplota:	1200 °C
přetvárný odpor materiálu při 1200 °C (tab. 18):	76 MPa

Tab. 18 Přetvárné odpory σ_p [9]

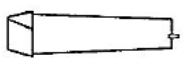
Materiál		Kovací teplota [°C]						
ČSN	DIN	900	950	1000	1050	1100	1150	1200
14 220	16MnCr5	184	159	139	121	106	91	76

průmět plochy výkovku s výronkovým můstkem: 82,5 cm²

$$S_c = \frac{\pi \cdot D_c^2}{4} = \frac{\pi \cdot 102,5^2}{4} = 8251,59 \text{ mm}^2 = 82,52 \text{ cm}^2$$

kde S_c je průmět plochy výkovku s výronkovým můstkem [mm²]

Stupeň tvarové složitosti výkovku (obr. 63): III.

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

Obr. 63 Stupeň tvarové složitosti výkovků [9]

➤ síla dle Storoževa

Kovací síla dle Storoževa se určí dle vztahu (2.18):

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

$$S_{výr} = \frac{\pi \cdot (D_c^2 - D_v^2)}{4}$$

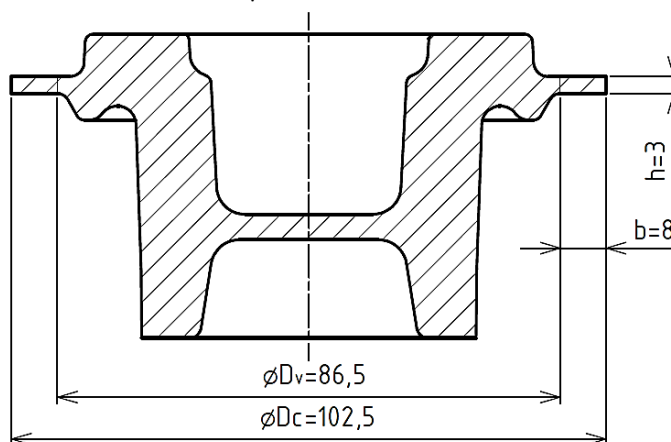
$$S_{výr} = \frac{\pi \cdot (102,5^2 - 86,5^2)}{4}$$

$$S_{výr} = 756 \cdot \pi \text{ mm}^2$$

$$S_v = \frac{\pi \cdot D_v^2}{4}$$

$$S_v = \frac{\pi \cdot 86,5^2}{4}$$

$$S_v = 5876,54 \text{ mm}^2$$



Obr. 64 Náčrt rozměrů

Výsledná hodnota kovací síly:

$$F_{KOV} = 76 \left\{ \left(1,5 + \frac{8}{2 \cdot 3} \right) \cdot 756\pi + \left[1,25 \left(\ln \frac{86,5}{3} + 2 \frac{3}{86,5} \right) + \frac{8}{3} - 0,375 \right] \cdot 5876,54 \right\}$$

$$F_{KOV} = 3450294,5 \text{ N} = 3,50 \text{ MN}$$

➤ síla dle Brjuchanova-Rebelského

Kovací síla dle Brjuchanova-Rebelského se určí dle vztahu (2.20):

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

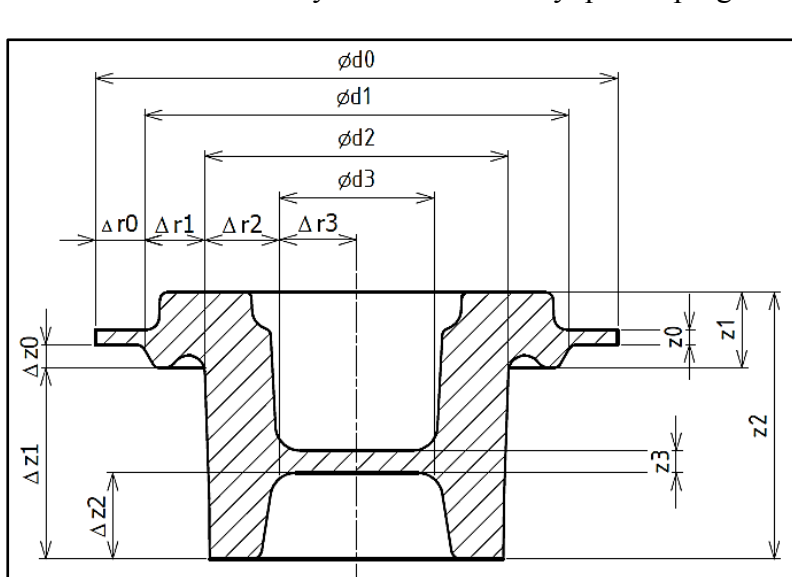
$$F_{KOV} = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 86,5) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{86,5} \right)^2 \cdot 76 \cdot 5876,54$$

$$F_{KOV} = 5784016,2 \text{ N} = 5,8 \text{ MN}$$

Kovací síla se stanoví dle nomogramu v příloze 2. Na stupnici 5 a 6 se vynesou příslušné hodnoty přetvárného odporu materiálu a průmětu plochy výkovku s výronkovým můstkem. Tyto dva body se spojí a vzniklá polopřímka vede až na stupnici 7, kde je vedena vodorovná polopřímka až na svislou čáru příslušného stupně tvarové složitosti. Po jejím protnutí je šikmo vedena polopřímka zpět na stupnici 7, kde se přímo odečte hodnota kovací síly, v tomto případě 4,4 MN.

➤ **síla dle Tomlenova**

Pro stanovení kovací síly dle Tomlenova byl použit program KOVANI.exe.



Obr. 65 Náčrt zadávacích rozměrů

Náčrt rozměrů a tabulka vstupních hodnot jsou uvedeny na obr. 65 a obr. 66.

[■]
Zadání hodnot

Zadání:

Koeficient Co:

5

Sigma p [MPa]:

27_

Rozměry výkovku [mm] :

D0: 103.7

Z0: 3

Delta Z0: 4

D1: 86.5

Z1: 15.2

Delta Z1: 38.5

D2: 61.7

Z2: 53.6

Delta Z2: 17.3

D3: 32

Z3: 4.5

Potvrdit

Uložit

Zrušit

Zpět

Obr. 66 Vstupní hodnoty programu

Souhrnný koeficient C_o a přirozený přetvárný odpor je uveden v tab. 19. a v tab. 20.

Tab. 19 Součinitel C_o [9]

Hmotnost výkovku v kg	Teplota výronku °C	Součinitel C_o		
		Oceli	Neželezné kovy	
do 5	750 – 850	5,0 – 4,0		
přes 5 do 10	800 – 900	4,5 – 3,5		
přes 10 do 25	850 – 950	4,0 – 3,0		
přes 25 do 50	900 – 1000	3,5 – 2,5		
přes 50 do 100	950 – 1050	3,0 – 2,0		

Tab. 20 Přirozený přetvárný odpor [9]

Jakost oceli	Optimální tvářecí teploty kování [°C]	Střední deformační rychlost s ⁻¹	Přirozený přetvárný odpor σ_p [MPa]					
			Kovací teploty [°C]					
			800	900	950	1000	1100	1200
14 220	1250 – 800	0,02	126	86	70	59	40	27

Výsledná kovací síla je uvedena na obr. 67. Dosahuje hodnoty přibližně 4,8 MN.

Výpočet

Sigma p` [MPa]: 135.00

SigmaD0 [MPa]: 173.48

SigmaD1 [MPa]: 560.47

SigmaD2 [MPa]: 582.50

SigmaD3 [MPa]: 589.98

SigmaD4 [MPa]: 685.98

Výsledky:

Fn [N]: 4356507.09

Ft [N]: 436366.55

Výsledná síla F:

4792873.64 N = 4.79 MN

Graf

Zpět

Zrušit

Obr. 67 Výsledek kovací síly

Tab. 21 Srovnání výpočtových metod

Výpočtová metoda	Nomogram ČSN	Storožev	Brjuchanov-Reb.	Tomlenov
Výsledná kovací síla [MN]	4,4	3,5	5,8 MN	4,8 MN

Tab. 22 Parametry LZK 1000 [38]

Jmenovitá tvářecí síla	Počet zdvihů	Zdvih beranu	Sevření	Přestavení beranu	Průchod	Pracovní plocha stolu
10 [MN]	100 [zdvihů/min]	220 [mm]	620 [mm]	10 [mm]	1040 [mm]	1000 x 950 [mm]

Z uvedených výpočtových metod (tab. 21) vyplývá, že se maximální kovací síla pohybuje v rozmezí od 3,5 MN do 5,8 MN. Kovárna Viva má k dispozici svislé kovací lisy o jmenovité tvářecí síle 10 MN, 16 MN a 25 MN. S ohledem na výpočty byl zvolen klikový lis LZK 1000 od firmy Šmeral Brno, který je naprosto dostačující pro vykování dané součásti. Parametry zvoleného lisu jsou uvedeny v tab. 22.

Zápustky budou před začátkem kování ohřívány na teplotu 250 °C. V simulačním programu bude nastavena hodnota 200 °C, protože je vhodné simulovat proces při nepříliš ideálních podmínkách a tak nízká hmotnost výkovku není schopna udržet počáteční teplotu zápustek při kování v kovací taktu přibližně 11 sekund.

Jako mazivo byla při zápustkovém kování zvolena disperze grafitu s vodou. Konkrétně se jedná o produkt Shell Fenella Fluid F3806 G, který se používá pro středně těžké zápustkové kování na kovací lisech i za velmi náročných podmínek při kování složitých částí. Používá se v 5-20 % s vodou, viz příloha 3.

Všechny potřebné vstupní hodnoty byly stanoveny, takže je možné provést simulaci. Výsledky simulace budou presentovány tak, že na levé polovině zobrazované operace bude vykreslena Lagrangeova síť a na pravé polovině bude viditelný příslušný měřený parametr. Program QForm nedovoluje počítat s vlozkovanou zápustkou, a proto je dokovací zápustka zobrazována jako nevlozkovaná. Jelikož se jedná o výkovek o nízké hmotnosti a malých rozměrech, tak účelem simulace nebude zkoumat namáhání kovárenského nářadí. Technologický řetězec simulace je zobrazen na obr. 68. Skládá se ze 7 operací.



Obr. 68 Řetězec simulace

Ohřátý polotovár na teplotu 1200 °C sjede po skluzu na místo, kde čeká na vložení do nářadí a následného ustavení do nástroje. Během této doby, která trvá přibližně 4 s, je ochlazován na vzduchu.

Pak je ochlazován v předehřátém nářadí do té doby, než bude napěchován. Doba trvání přibližně 0,4 s.

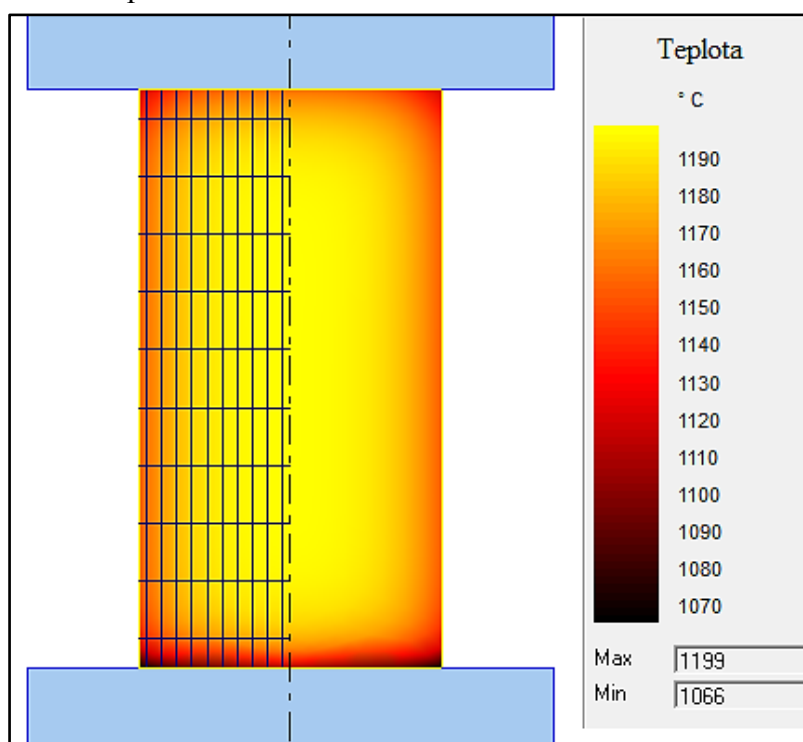
První tvářecí operací je napěchování ohřátého polotovaru z výšky 90,6 mm (studený polotovár 89,5 mm) na výšku 55 mm. Napěchovaný polotovár je ochlazován v předkovací dutině.

Druhou tvářecí operací je předkování napěchovaného polotovaru. Konečná vzdálenost horní a spodní předkovací zápustky je 2,2 mm. Dále je předkovek ochlazován v dokovací dutině.

Poslední tvářecí operace je dokování. Konečná vzdálenost horní a spodní dokovací zápustky je 3 mm. Tato hodnota je větší než u předkování, protože při dokování vytéká přes můstek větší objem materiálu. V této operaci dosahuje kovací síla svého maxima.

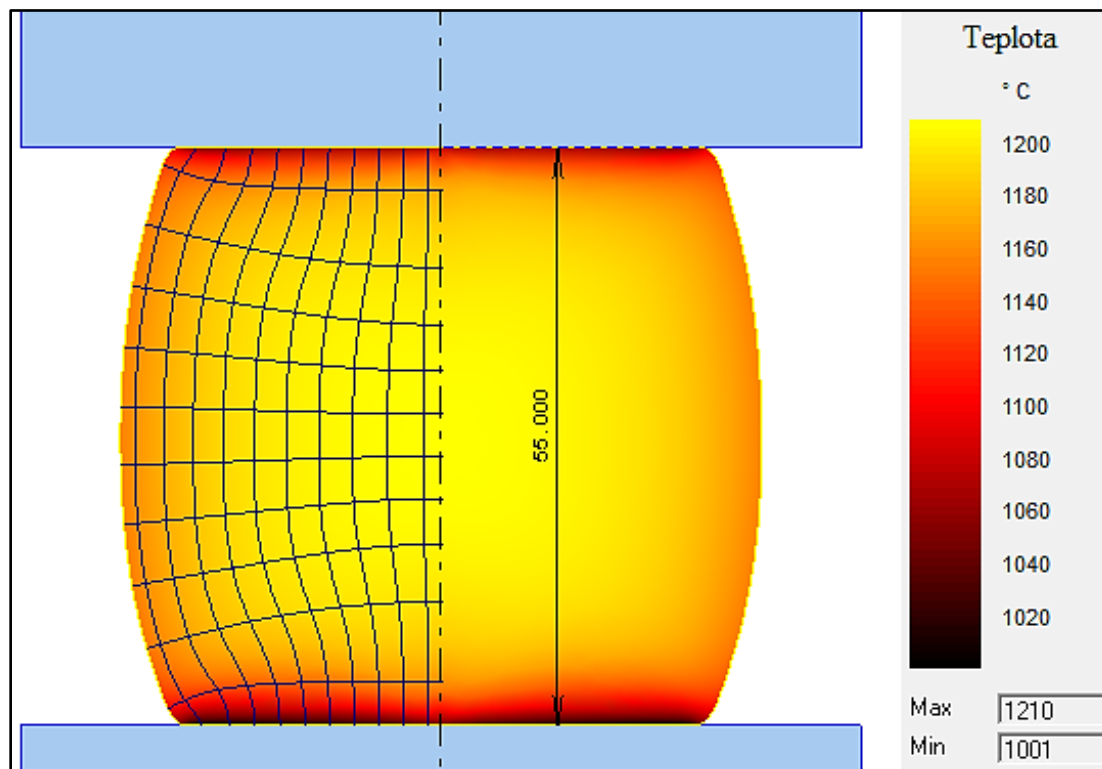
Výsledky simulace jednotlivých operací:

➤ Pěchování – začátek operace



Obr. 69 Začátek pěchování – teplota

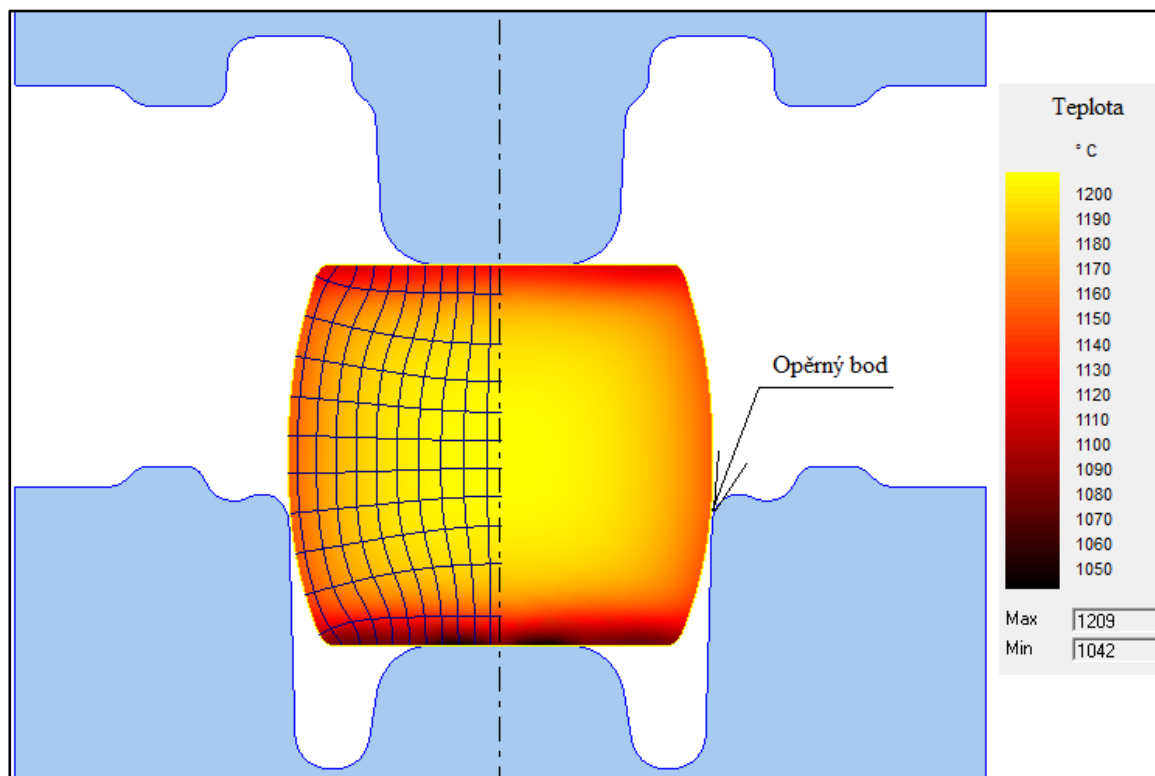
➤ Pěchování – konec operace



Obr. 70 Konec pěchování – teplota

Pěchováním je docíleno zvětšení příčného průřezu a čistého materiálu bez okují.

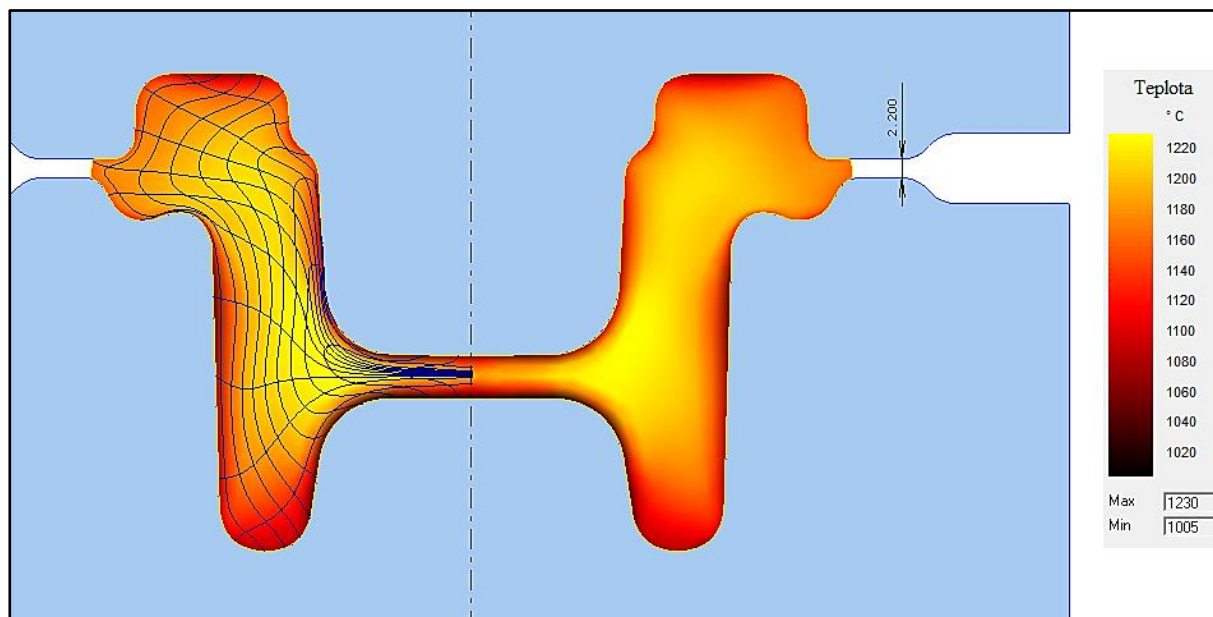
➤ Předkování – Začátek operace



Obr. 71 Začátek předkování – teplota

Napěchovaný polotovár musí být přesně ustavený v předkovací zápustce, aby nedocházelo ke vzniku vad.

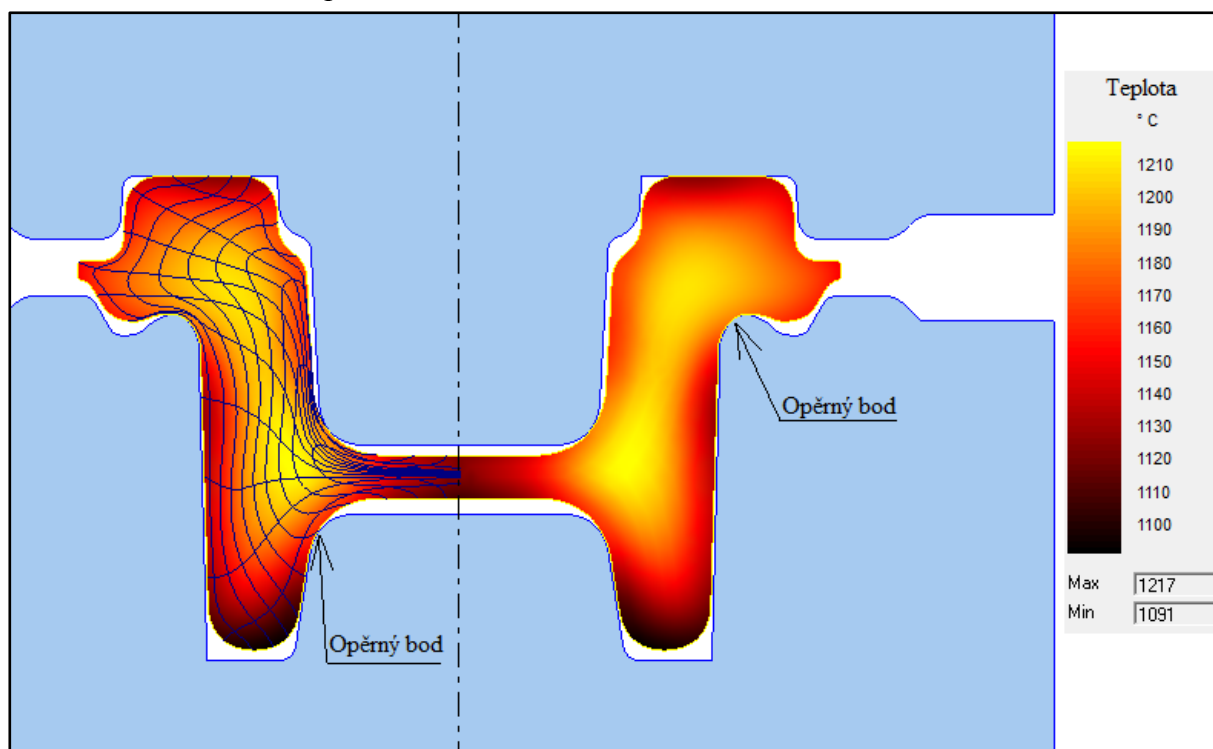
➤ Předkování – Konec operace



Obr. 72 Konec předkování – teplota

Materiál bezchybně vyplnil dutinu a vznikl charakteristický počátek výronku, což značí správnost určení výchozího polotovaru a tvaru dutiny.

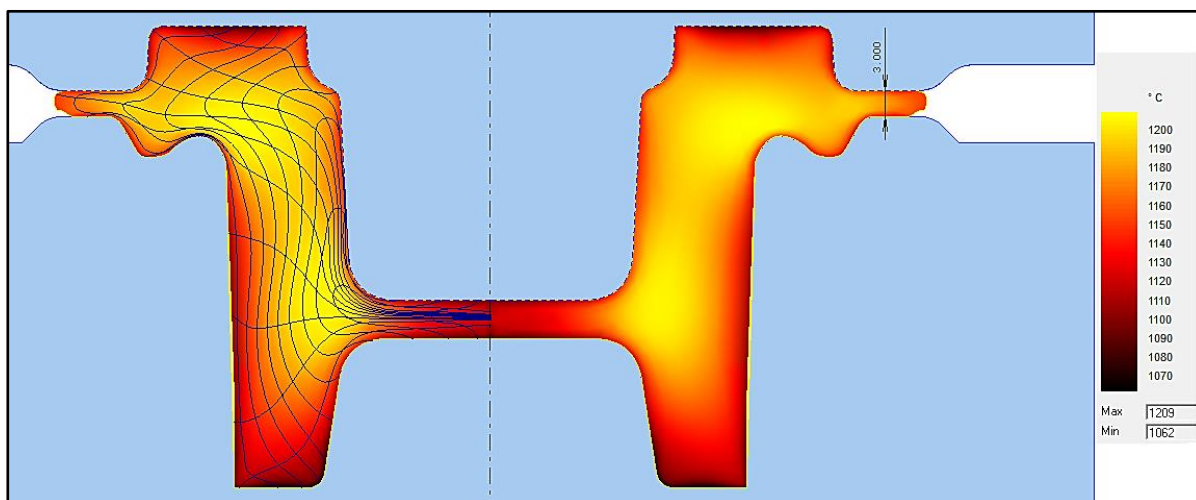
➤ Dokování – Začátek operace



Obr. 73 Začátek dokování - teplota

Předkovek musí být rovněž jednoznačně ustaven v dokovací zápustce. Na obr. 73 jsou vidět opěrné body – spodní vložka zápustky a zaoblení přechodu k výronkové drážce.

➤ Dokování – Konec operace



Obr. 74 Konec dokování – teplota

Z výsledků simulace je patrné, že se v žádné operaci nebudou vytvářet přeložky materiálu, sítě jsou plynulé. Dále je možné pozorovat zvýšení teploty na konci operace u pěchování a předkování, kdy je materiál značně přetvářen. V moderních kovárnách je simulování procesu kování stěžejní. Na základě kvalitního simulačního programu a zkušeností se stanovuje téměř celá technologie. Použitím simulačních programů se zkracují časy potřebné pro správné navržení technologie.

Pro proces kování byl proveden analýzou FMEA rozbor projevů, důsledků a příčin vad. Analýza zahrnuje i opatření proti vzniku nežádoucích vad. Příklad je uveden v příloze 4. Čím vyšší je číselné hodnocení, tím více je brán zřetel na daný parametr. Pro parametr odhalení platí, čím vyšší je číslo, tím je menší možnost odhalení vady.

3.4 VÝROBA NÁŘADÍ [14], [19]

Pro názornost bude uveden technologický postup (příloha 5) výroby spodní dokovací zápustky (č.v. 116197-2013-22/13-1). Zápustka bude vyráběna technologií třískového obrábění. V porovnání s technologií elektroerozivního obrábění disponuje třískové obrábění kratšími výrobními časy a nižšími výrobními náklady. Zápustkový materiál je dodáván ve formě kruhové tyče a následně dělen na pásové pile od firmy Kasto. Jako technologický postup výroby nářadí lze uvést následující sled operací:

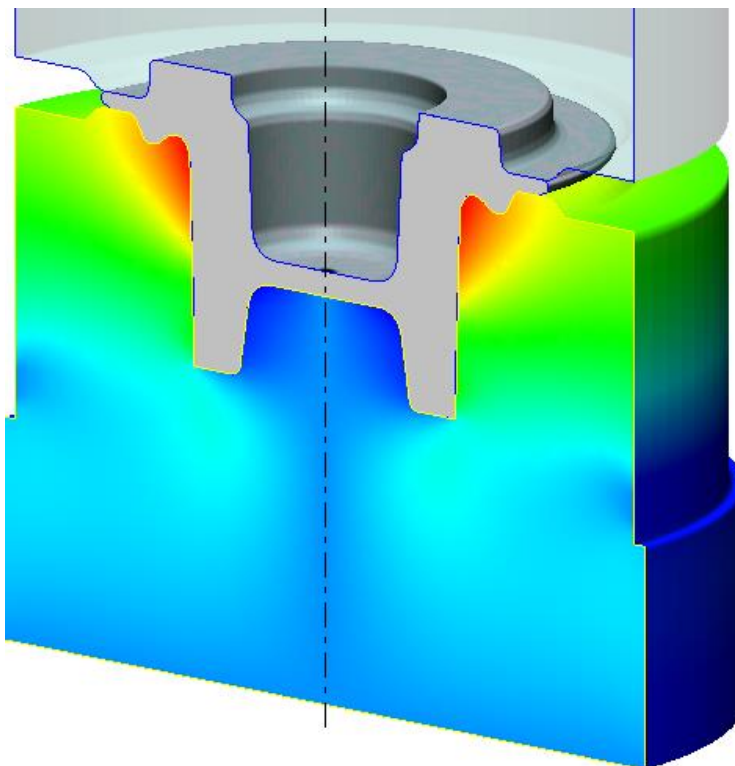
- Příprava vnějších rozměrů
- Obrábění zápustkového materiálu
- Leštění dutiny a můstku
- Kalení a popuštění (zušlechtování) v atmosféře dusíku
- Broušení vnějších rozměrů
- Dokončování zápustkového materiálu

Takový postup je nutný z důvodu vyloučení výskytu procesní chyby na počátku postupu, protože mezi jednotlivými procesy by se počáteční chyba zvětšovala dvojnásobně. Třískové obrábění se zajišťuje CNC soustruhy od firmy ZPS Tajmac. Kalení a popuštění (zušlechtování) probíhá v kooperaci. Spodní dokovací zápustka je na rozdíl od všech dalších částí dokovacího nářadí zpracována na tvrdost HRC 50±1, protože se značným tlakem v dutině nepatrně roztahuje a smršťuje v taktu kování. Zápustkový materiál je v celém objemu tepelně zpracovaný, prokalený i s jádrem.

Hrubování je výhodné provést na jiném stroji než dokončovací cyklus, protože není třeba přestavovat nástroje a program, což vede k úsporám. Při leštění tvaru dutiny a můstku je nutné vyrobit maximální drsnost Ra 0,8. V případě zhotovení menší drsnosti, zrcadlového lesku, nebude mazivo dobře ulpívat na nástroji a nebudou zaručeny tribologické podmínky kování. V průběhu operací je vhodné provádět kontroly rozměrů.

Renovace nářadí bude probíhat snižováním kontury dutiny o 5 mm a vložení podložky o výšce 5 mm pod zápustky pro zachování konstantní výšky nářadí. Jednu sadu nářadí je možné třikrát renovovat. Nářadí bude schopné vykovat 3000 výkovků do renovace, proto na vykování 50000 výkovků bude potřeba celkově vyrobit pět sad kovacího nářadí.

Na obr. 75 je barevně viditelné rozložení napětí v posledním kroku dokovací operace ve spodní zápustce. Červené plochy značí největší opotřebení zápustky, modré naopak nejmenší opotřebení.



Obr. 75 Spodní dokovací zápustka

3.5 TECHNOLOGICKÝ POSTUP [6], [14], [15], [19], [25]

Polotovár kovaného materiálu o průměru $D_{pol} = 45$ mm bude dělen stříháním v délkách $L_{pol} = 89,5$ mm z tyče o délce 6 m. Obecně se polotovár dělí na váhu. Ustříhne se první kus, zváží se a v případě nesrovnalostí se upraví nastavení nůžek. Aby bylo možné polotovár dělit stříháním, tak musí být splněna podmínka nejmenší délky stříhaného polotovaru vůči tloušťce dle vztahu (2.40):

$$L_{pol} \geq 0,6 \cdot D_{pol}$$

$$89,5 \geq 0,6 \cdot 45$$

$$89,5 \geq 27 \text{ mm}$$

Potřebná střížná síla se určí podle vztahu (2.41):

$$F_{stř} = n_s \cdot \tau_s \cdot S_{pol}$$

$$\text{kde: } n_s = (1 - 1,3)$$

$$S_{pol} = \frac{\pi \cdot D_{pol}^2}{4}$$

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m$$

$$F_{stř} = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 785 \cdot \frac{\pi \cdot 45^2}{4} = 1,3 \text{ MN}$$

Pro stanovenou střížnou sílu byly zvoleny nůžky TNS 63 (tvářecí síla 2,5 MN), jimiž kovárna Viva disponuje. Dále je nutné zkontrolovat, jestli jsou nůžky schopné ustříhnout polotovár průměru 45 mm, jehož pevnost je 785 MPa. Podle tab. 23. je patrné, že jsou nůžky TNS 63 vyhovující.

Tab. 23 Technické údaje TNS 63 [47]

Tvářecí síla	2500 [kN]	Rozsah stříhaných délek	0,8 - 500 [mm]
Max. průměr tyče při 450 MPa	63 [mm]	Objem. přesnost ústřížku	1 [%]
Max. průměr tyče při 650 MPa	55 [mm]	Max. délka tyče	6000 [mm]
Max. průměr tyče při 800 MPa	45 [mm]	Min. délka tyče	2500 [mm]



Obr. 76 Nůžky TNS 63 [47]

V dalším kroku bude kovaný polotovár indukčně ohříván. Kovárna Viva má k dispozici středofrekvenční ohříváč KSO 300/6-A30 výkonové řady 300 kW od firmy Robotherm, viz obr. 77. Základní technické parametry tohoto zařízení jsou uvedeny v tab. 24.

Tab. 24 Technické parametry KSO 300/6-A30 [25]

Ohříváný materiál		Magnetická ocel
Rozměry přířezů	ØD [mm]	28 - 60
	Délka l [mm]	1,2 D – 200
Výkon	[kW]	300
Frekvence	[kHz]	6
Maximální ohřáté množství	[kg/h]	700
Maximální výstupní teplota ohříváných přířezů	[°C]	1200

Zařízení je vybaveno třídičkou přehřátých a nedohřátých kusů. Teplota každého ohřívánoho kusu je snímána bezdotykovým měřičem teploty. Ohříváč je určen k indukčnímu ohřevu ocelových přířezů kruhového nebo čtvercového průřezu na kovací teplotu. Z uvedených parametrů je patrné, že ohřívací zařízení je plně dostačující pro ohřívání polotovaru o průměru 45 mm a délky 89,5 mm.



Obr. 77 Ohříváč KSO 300/6-A30 [25]

Bezprostředně po vykování výkovku bude probíhat odstranění výronku a děrování blány výkovku. Jedná se tedy o stříhání za tepla. Mez pevnosti oceli 14 220 při teplotě 800°C je 95 MPa. Síla na ostřížení výronku je dána vztahem (2.31):

$$F_{sv} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot o \cdot 2 \cdot h$$

$$F_{sv} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot 95 \cdot \pi \cdot 85,5 \cdot 2 \cdot 3$$

$$F_{sv} = 208223,5 \text{ N} = 209 \text{ kN}$$

Síla na ostřížení dna (blány) je dána vztahem (2.31):

$$F_{sb} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot o \cdot 2 \cdot h$$

$$F_{sb} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot 95 \cdot \pi \cdot 31 \cdot 2 \cdot 4,4$$

$$F_{sb} = 110727,8 \text{ N} = 111 \text{ kN}$$

Celková potřebná střížná síla je dána vztahem:

$$F_s = F_{sv} + F_{sb}$$

$$F_s = 209 + 111$$

$$F_s = 320 \text{ kN}$$

S ohledem na výpočty a vybavení kovárny Viva byl zvolen jednobodový klikový lis LU 160 od výrobce Strojarna piesok s jmenovitou tvářecí silou 1600 kN. Technické parametry stroje jsou uvedeny v tab. 25.

Tab. 25 Technické parametry LU 160 [26]

Jmenovitá tvářecí síla	1600 [kN]
Zdvih	160 [mm]
Počet zdvihů beranu	33 [1/min]
Sevření	555 [mm]
Průchod	630 [mm]
Rozměry a tloušťka upínací desky	625x795/110 [mm]
Upínací plocha beranu	620x610 [mm]
Pracovní dráha	20 [mm]

Na závěr výroby je zákazníkem požadováno zušlechťení výkovku (16MnCr5 + QT) na tvrdost 220 - 283 HB (700 - 900 MPa). Kovárna Viva je vybavena průběžnou kalicí linkou od firmy Realistic, využívající nejmodernější technologie průběžných linek s plně automatizovaným provozem. Dále budou výkovky čištěny tryskáním ocelovým granulátem v bubnovém tryskačím zařízení od firmy Stem. V posledním kroku musí neobráběná plocha výkovku splnit požadavek 100% FLUX. To znamená, že na tomto povrchu nesmí být žádná trhlinka. Toto je zkoušeno magnetickou metodou pomocí fluorescenčního prostředku a UV lampy.

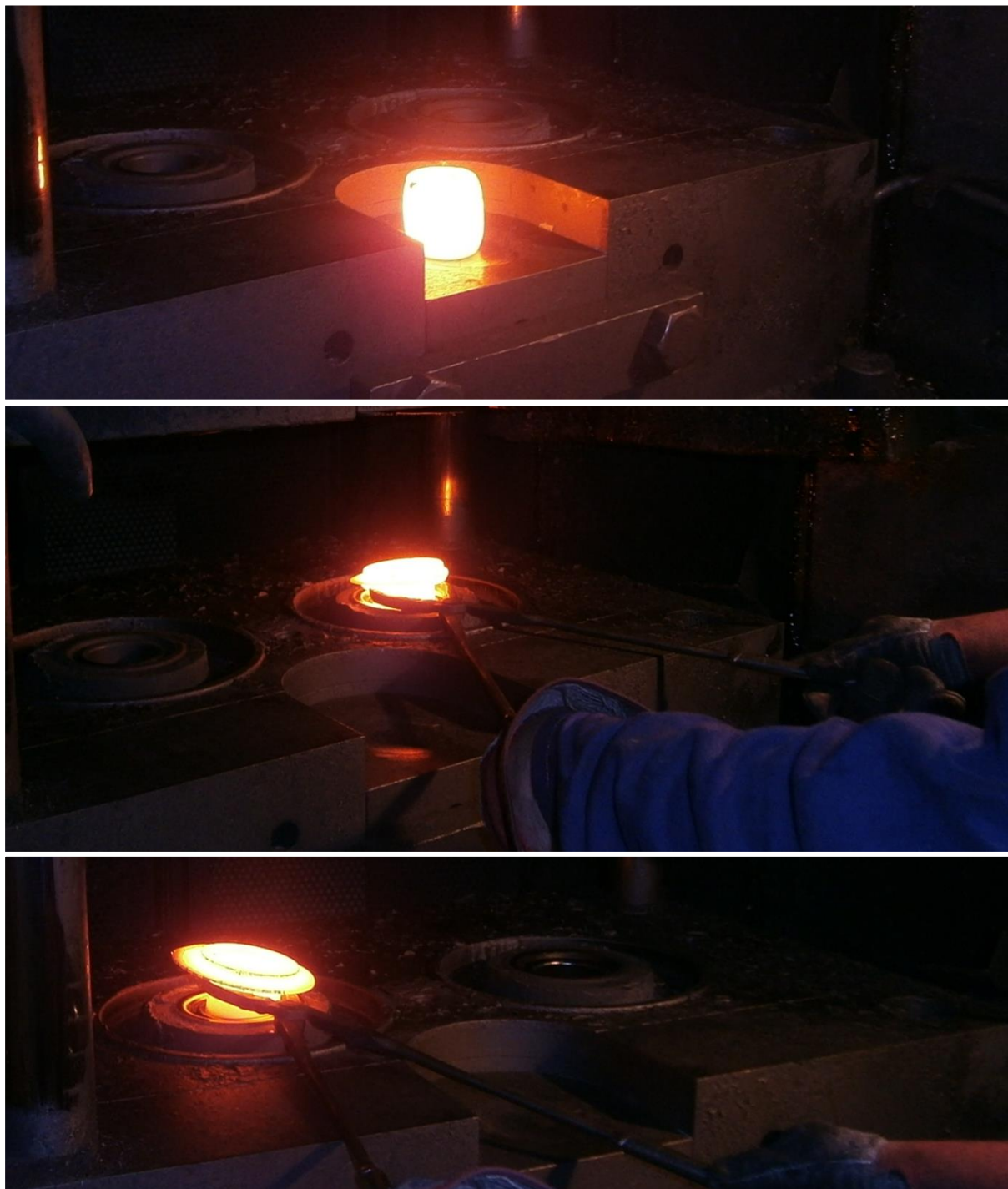
Rámcový technologický postup zápustkového kování je uveden v tab. 26. V postupu nejsou uvedeny operace mezioperační kontroly, mazání zápustek a vyfukování okují.

Tab. 26 Rámcový technologický postup [6]

Číslo operace	Název operace	Popis operace	Strojní zařízení
1	dělení materiálu	stříhat tyč Ø45 mm na délku 89,5 mm (m = 1,117 kg)	TNS 63
3	indukční ohřev	ohřát polotovar na teplotu 1200 °C	KSO 300/6-A30
6	kování	1. přechovat polotovar 2. kovat v předkovací zápustce 3. kovat v dokončovací zápustce	LZK 1000
9	ostřížení a děrování	ostříhnout výronek a děrovat blánu při teplotě 800 °C	LU 160
12	tepelné zpracování	zušlechťovat na 700 – 900 MPa	Realistic
15	čištění	tryskat ocelovým granulátem	Stem
18	výstupní kontrola	kontrolovat tvar, základní rozměry	posuvné měřidlo

3.6 TESTOVACÍ SÉRIE

Vzorkování je proces, který probíhá u zákazníka. Předchází mu vykování prvních výkovků v počtu 10 až 30 kusů (podle specifikace zákazníka). Tyto zkušební vzorky jsou podrobeny kontrole v kovárně. Pokud jsou vyhovující, tak kontrola vystaví rozměrový protokol a atest na materiál. Nyní se výkovky spolu s dokumentací kontroly odešlou zákazníkovi. Ten má na schválení určitou dobu, kdy si vyzkouší obrobení výkovku a prověří výkovek na vnitřní vady. Pokud je vše v pořádku, tak vystaví schvalovací dokument a odešle ho na kovárnu.



Obr. 78 Kování prvních výkovků

Předání do série probíhá v kovárně na základě schvalovacího dokumentu od zákazníka. V tuto chvíli může kovárna začít výkovek sériově kovat.

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Výpočet byl proveden mimo kovárnu VIVA jako informační zhodnocení ekonomiky výroby výkovku. Byl také proveden hrubý srovnávací výpočet výroby technologií třískového obrábění. Uvedené cenové sazby jsou převzaty ze základních běžných hodinových sazeb při výrobě.

- celkový počet výkovků

$$a' = 50000 \text{ ks}$$

- životnost sady dokončovacího nářadí do první renovace

$$b' = 3000 \text{ ks}$$

nářadí je možné třikrát renovovat

- celková životnost sady dokončovacího nářadí

$$b'' = 12000 \text{ ks}$$

- počet sad dokončovacího nářadí

$$c = \frac{a'}{b''} = \frac{50000}{12000} = 4,17 \Rightarrow 5 \text{ ks}$$

- hmotnosti polotovarů zápusťkových materiálů dokončovacího nářadí

- vložka horní:

$$m_{VH} = \frac{\pi \cdot D_{VH}^2}{4} \cdot h_{VH} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,065^2}{4} \cdot 0,113 \cdot 7850 = 2,95 \text{ kg}$$

- vložka spodní:

$$m_{VS} = \frac{\pi \cdot D_{VS}^2}{4} \cdot h_{VS} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} \cdot 0,076 \cdot 7850 = 3 \text{ kg}$$

- zápusťka horní:

$$m_{ZH} = \frac{\pi \cdot D_{ZH}^2}{4} \cdot h_{ZH} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,15^2}{4} \cdot 0,089 \cdot 7850 = 12,35 \text{ kg}$$

- zápusťka spodní:

$$m_{ZS} = \frac{\pi \cdot D_{ZS}^2}{4} \cdot h_{ZS} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,15^2}{4} \cdot 0,102 \cdot 7850 = 14,15 \text{ kg}$$

- celková hmotnost polotovarů zápusťkových materiálů dokončovacího nářadí

$$m_D = 32,45 \text{ kg}$$

- počet sad předkovacího nářadí

Je stejný s počtem dokončovacího nářadí, protože zápusťky jsou měněny souběžně.

$$d = 5 \text{ ks}$$

- hmotnosti polotovarů zápusťkových materiálů předkovacího nářadí

- zápusťka horní:

$$m_{PZH} = \frac{\pi \cdot D_{PZH}^2}{4} \cdot h_{PZH} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,15^2}{4} \cdot 0,113 \cdot 7850 = 15,68 \text{ kg}$$

- zápusťka spodní:

$$m_{PZS} = \frac{\pi \cdot D_{PZS}^2}{4} \cdot h_{PZS} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,15^2}{4} \cdot 0,102 \cdot 7850 = 14,15 \text{ kg}$$

- celková hmotnost polotovarů zápusťkových materiálů předkovacího nářadí

$$m_{PP} = 29,83 \text{ kg}$$

- hmotnost zápusťkového materiálu pro celou sérii

$$m_Z = 5 \cdot m_D + 5 \cdot m_{PP} = 5 \cdot 32,45 + 5 \cdot 29,83 = 311,4 \text{ kg}$$

- hmotnost materiálu pro ostřížení výronku a děrování blány výkovku

Dosahuje hodnoty 10 % z hmotnosti zápusťkového materiálu pro celou sérii

$$m_S = 0,1 \cdot m_Z = 0,1 \cdot 311,4 = 31,14 \text{ kg}$$

- celková hmotnost nástrojového materiálu

$$m_C = m_Z + m_S = 311,4 + 31,14 = 342,54 \text{ kg}$$

- cena za 1 kg oceli 19552 činí 82 Kč
- celková cena nástrojového materiálu

$$e = m_C \cdot \text{cena_1kg_19552} = 342,54 \cdot 82 = 28088,3 \text{ Kč}$$
- výroba (pracnost) nářadí dle technologického postupu
 - hodinové sazby na strojích:
 - CNC soustruh 800 Kč
 - brusky 400 Kč
 - pásová pila 400 Kč
 - hodinové sazby na pracovištích:
 - leštění 250 Kč
 - kontrola 250 Kč
 - spodní dokončovací zápustka:
 - pila: $\frac{t_{AC}}{60} \cdot \text{hodinová sazba} = \frac{20}{60} \cdot 400 = 134 \text{ Kč}$
 - CNC soustruh: $\frac{t_{AC}}{60} \cdot \text{hodinová sazba} = \frac{70}{60} \cdot 800 = 934 \text{ Kč}$
 - leštění: $\frac{t_{AC}}{60} \cdot \text{hodinová sazba} = \frac{20}{60} \cdot 250 = 84 \text{ Kč}$
 - bruska: $\frac{t_{AC}}{60} \cdot \text{hodinová sazba} = \frac{45}{60} \cdot 400 = 300 \text{ Kč}$
 - kontrola: $\frac{t_{AC}}{60} \cdot \text{hodinová sazba} = \frac{30}{60} \cdot 250 = 125 \text{ Kč}$
 - cena výroby spodní dokončovací zápustky je 1577 Kč
 - cena horní dokončovací zápustky je brána jako cena spodní dokončovací zápustky
 - cena předkovací zápustky je brána jako cena spodní dokončovací zápustky
 - cena 2 vložek dokončovací zápustky je brána jako polovina ceny spodní dokončovací zápustky
 - cena ostřihovacího a děrovacího nástroje je brána jako polovina ceny spodní dokončovací zápustky
- cena výroby sady předkovacího, dokončovacího a ostřihovacího nářadí je tedy pětinasobek ceny spodní dokončovací zápustky, což činí 7885 Kč
- celková cena výroby pěti sad předkovacího a dokončovacího nářadí

$$f' = 5 \cdot 7885 = 39425 \text{ Kč}$$
- tepelné zpracování nástrojového materiálu (obrobeného)
 - sazba tepelného zpracování je 40 Kč/kg
- hmotnosti obrobeného dokončovacího nářadí (dle výkresů)
 - vložka horní: 1,39 kg
 - vložka spodní: 1,49 kg
 - zápustka horní: 9,21 kg
 - zápustka spodní: 9,59 kg
- hmotnosti obrobeného předkovacího nářadí (dle výkresů)
 - zápustka horní: 10,6 kg
 - zápustka spodní: 11,15 kg
- hmotnost sady předkovacího a dokončovacího nářadí

$$\varepsilon = 43,43 \text{ kg}$$
- hmotnosti pěti sad předkovacího a dokončovacího nářadí

$$m_{\text{sad}} = 5 \cdot \varepsilon = 5 \cdot 43,43 = 217,15 \text{ kg}$$

- hmotnost ostříhovacího a děrovacího nástroje dosahuje 10 % z hmotnosti pěti sad nářadí

$$m_{STZ} = 0,1 \cdot m_{sad} = 0,1 \cdot 217,15 = 21,72 \text{ kg}$$

- celková hmotnost nástrojového materiálu pro tepelné zpracování

$$m_{CTZ} = m_{sad} + m_{STZ} = 217,15 + 21,72 = 238,87 \text{ kg}$$

- celková cena tepelného zpracování nástrojového materiálu

$$g = m_{CTZ} \cdot sazba = 238,87 \cdot 40 = 9554,8 \text{ Kč}$$

- celková cena na výrobu nástrojů

$$h' = e + f' + g = 28088,3 + 39425 + 9554,8 = 77068,1 \text{ Kč}$$

celková cena na výrobu nástrojů vztažená na výkovek

$$i = \frac{h'}{a} = \frac{77068,1}{50000} = 1,55 \text{ Kč}$$

- cena materiálu výkovku

- ocel 14220.0
- cena materiálu 21 Kč/kg
- dělení z tyče Ø45 – 6000 ČSN 42 5510.21
- hmotnost tyče

$$m_{tyč} = \frac{\pi \cdot d_{tyč}^2}{4} \cdot l_{tyč} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,045^2}{4} \cdot 6 \cdot 7850 = 74,91 \text{ kg}$$

- dělena na délku
- počet kusů polotovaru z jedné tyče

$$j = \frac{6000}{89,5} = 67,03 \text{ ks} \Rightarrow \text{tolerance hutí } \pm 0,5 \% \Rightarrow 66 \text{ ks}$$

- cena materiálu na výkovek

$$k = \frac{m_{tyč} \cdot \text{cena materiálu}}{j} = \frac{74,91 \cdot 21}{66} = 23,84 \text{ Kč}$$

- počet výkovků za směnu

- 7 pracovních hodin = 25200 s (0,5 hod přestávka a 0,5 hod výměna nářadí)
- výkovek je kován v taktu 11 s

$$l' = \frac{\text{směna}}{\text{takt kování}} = \frac{25200}{11} = 2290 \text{ ks}$$

- počet pracovníků na směnu

3 pracovníci

- hodinová mzda pracovníka kovací linky je 160 Kč

- mzda na jeden výkovek

$$N = \frac{\text{takt kování}}{3600} \cdot \text{mzda} \cdot \text{počet pracovníků} = \frac{11}{3600} \cdot 160 \cdot 3 = 1,47 \text{ Kč}$$

- spotřebovaná energie na výkovek byla odhadnuta na 4,6 Kč

- celková režie

1600 %

- hmotnost odpadového materiálu

$$m_{odpad} = m_{pol} - m_{výkovku} = 1,117 - 0,99 = 0,127 \text{ kg}$$

- výkupová cena oceli je 5 Kč/kg

- cena z prodeje odpadu vztažená na výkovek

$$o' = m_{\text{odpad}} \cdot \text{výkup} = 0,127 \cdot 5 = 0,635 \text{ Kč}$$

- celková cena výkovku

$$p = i + k + N + 1600\% \cdot N + \text{energie} - o$$

$$p = 1,55 + 23,84 + 1,47 + 16 \cdot 1,47 + 4,6 - 0,635$$

$$p = 54,4 \text{ Kč}$$

Výpočet výroby technologií třískového je proveden pro součástku, která je podobná zápustkovému výkovku.

- hmotnost součásti stejné hmotnosti jako výkovek

$$m_{\text{součásti}} = 0,99 \text{ kg}$$

- hmotnost polotovaru Ø85 o délce 52 mm

$$m_{\text{polotovaru}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{polotovaru}}^2}{4} \cdot l_{\text{polotovaru}} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,085^2}{4} \cdot 0,052 \cdot 7850 = 2,32 \text{ kg}$$

- cena materiálu polotovaru (21 Kč/kg)

$$a'' = m_{\text{polotovaru}} \cdot \text{cena} = 2,32 \cdot 21 = 48,72 \text{ Kč}$$

- hodinová mzda pracovníka obráběcího stroje je 130 Kč

- hodinová sazba CNC stroje je 800 Kč

- strojní čas výroby součásti (hodnota je odhadnuta)

$$t_s = 0,5 \text{ hod}$$

- mzda na 1 kus

$$b_a = t_s \cdot \text{mzda} = 0,5 \cdot 130 = 65 \text{ Kč}$$

- cenová sazba CNC stroje na 1 kus

$$c' = t_s \cdot \text{sazba} = 0,5 \cdot 800 = 400 \text{ Kč}$$

- celková režie

$$1300\%$$

- hmotnost odpadového materiálu

$$d'_{\text{odpad}} = m_{\text{polotovaru}} - m_{\text{součásti}} = 2,32 - 0,99 = 1,33 \text{ kg}$$

- výkupová cena oceli je 5 Kč/kg

- cena z prodeje odpadu vztažená na obrobek

$$e' = d'_{\text{odpad}} \cdot \text{výkup} = 1,33 \cdot 5 = 6,65 \text{ Kč}$$

- spotřebovaná energie na součást byla odhadnuta na 15,3 Kč

- celková cena 1 kusu součásti

$$f'' = a' + b' + c' + \text{energie} + 1300\% \cdot c' - e'$$

$$f'' = 48,72 + 65 + 400 + 15,3 + 13 \cdot 65 - 6,65$$

$$f'' = 1367,4 \text{ Kč}$$

Při výpočtu vyšla cena výkovku přibližně 55 Kč a obrobku 1368 Kč. Je tedy patrné, že výroba dané součásti zápustkovým kovááním je mnohem levnější než třískovým obráběním. Další výhodou výkovků je lepší mechanická pevnost (průběh vláken), úspora materiálu a kratší výrobní časy.

4 ZÁVĚRY

Výkovek náboje kola z oceli 14220 (DIN 16MnCr5) o sériovosti 50000 ks byl navržen se zohledněním moderních řešení a byl vypracován výrobní postup.

Pro výrobu byla zvolena technologie zápustkové kování a bylo navrženo předkovací a dokovací nářadí, které bylo doloženo výkresovou dokumentací. Materiálem zápustek je nástrojová ocel 19552.

Výchozí polotovár výkovku je tyč o rozměrech $\varnothing 45 - 89,5$ mm. Polotovár je dělen na nůžkách TNS 63 o jmenovité tvářecí síle 2,5 MN z tyče dlouhé 6 m. Následně je polotovár ohříván na teplotu 1200 °C středofrekvenčním ohříváčem KSO 300/6-A30 výkonové řady 300 kW od firmy Robotherm. Ohřátý polotovár je nejprve napěchován, pak následuje předkování a dokování.

Daná součást bude kována na klikovém lisu LZK 1000 od firmy Šmeral Brno o jmenovité tvářecí síle 10MN, který vyhověl výpočtům tvářecí síly podle nomogramu, Storoževa, Brjuchanova-Rebelského a Tomlenova. Zápustky jsou předehřívány na 250 °C a mazány disperzí grafitu s vodou, produktem Shell Fenella Fluid F3806 G. Po dokování je výkovek vyhozen kolíkovým vyhazovačem. Následuje ostříhnutí výronku a děrování dna (blány) výkovku, které probíhá na jednobodovém klikovém lisu LU 160 od výrobce Strojárne piesok s jmenovitou tvářecí silou 1600 kN. Téměř hotový výkovek je dále zušlechťován na tvrdost 220 - 283 HB (700 - 900 MPa) na průběžné kalící lince s plně automatizovaným provozem od firmy Realistic.

Výkovky jsou čištěny tryskáním ocelovým granulátem v bubnovém tryskacím zařízení od firmy Stem. Neobráběná plocha výkovku je zkoušena na trhlinky magnetickou metodou pomocí fluorescenčního prostředku a UV lampy.

Správnost návrhu výkovku byla ověřena v simulačním programu QForm. Simulace všech kovacích operací ukázala, že se v žádné operaci nebudou vytvářet přeložky materiálu a teplota do vyhození výkovku výrazně neklesá.

Z technicko - ekonomického hlediska plyne, že metoda zápustkového kování je při daném počtu kusů velmi výhodná. Kování bylo porovnáno s třískovým obráběním, kdy cena výkovku je přibližně 55 Kč a cena podobné součásti zhotovená třískovým obráběním je 1368 Kč.

Navržené nástroje byly odzkoušeny vzorkováním při kování prvních výkovků.

Seznam použité literatury [3]

1. 1.2343/X37CrMoV51/19552 - Akrostal. *Akrostal* [online]. 2010 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://www.akrostal.pl/cs/12343WCL.html>
2. BEROUN, Stanislav. Úvod do strojírenství. [online]. 2010, s. 5 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.kvm.tul.cz/studenti/texty/uvod_do_strojirenstvi/UdS-5pr.pdf
3. Citace. [online]. 2013 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://generator.citace.com>
4. Co je indukční ohřev. *Inductoheat* [online]. 2010 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: http://www.inductoheat.eu/fileadmin/pdf/Was_ist_Induktion/was_ist_Induktion-CZECH.pdf
5. Co je indukční ohřev. *ROBOTERM spol. s r.o.: indukční ohřevy* [online]. 2012 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.roboterm.cz/home/co-je-indukcni-ohrev>
6. ČERMÁK, Jan. Podklady pro předmět Projekt 1 - část kování. [online]. 2003, s. 11 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/PRO1/vykovek_zadani.pdf
7. ČERMÁK, Jan. Podklady pro předmět Projekt 2 - část kování. [online]. 2003, s. 13 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/PRO2/kov_konstrukce_zapustek.pdf
8. Česká zbrojovka a.s.: Slévárna přesného liti | Ostatní produkce. [online]. 2013 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://www.czub.cz/zbrojovka/czech-guns/CZ-ostatni-produkce-slevarna-presneho-liti.png>
9. ČSN 22 8306. Zápustky pro svislé kovací lisy: Technické požadavky na konstrukci. Praha: Český normalizační institut, 1990, 38 s.
10. ČSN 22 8308. Zápustky pro buchary: Směrnice pro konstrukci. Praha: Český normalizační institut, 1970, 18 s.
11. ČSN EN 10243-1. Ocelové zápustkové výkovky - Mezní úchytky rozměrů - Část 1: Výkovky kované na bucharech a svislých kovacích lisech. Praha: Český normalizační institut, 2003, 40 s.
12. DIN 7523. Navrhování zápustkových výkovků: Přidavky na obrábění, úkopy stěn, zaoblení hran, vnitřní zaoblení, tloušťky dna, tloušťky stěn, šířky žeber a zaoblení žeber. Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V., 1986, 12 s.
13. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tvaření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
14. ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: SNTL, 1992, 524 s. ISBN 80-030-0651-1.
15. FOREJT, Milan. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
16. Forging Screw Press (Up Stroke SPL). *BIRSON INDUSTRIES* [online]. 2010 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://img.tradeindia.com/fp/1/330/720.jpg>
17. GROUP, [Automotive Industry Action. *Potential failure mode and effects analysis (FMEA): reference manual*. 4th ed. Southfield, MI: Chrysler LLC, Ford Motor Co., General Motors Corp, 2008. ISBN 978-160-5341-361.
18. Hametal, spol. s r.o. Výrobky a služby. [online]. 2009 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.hametal.cz/vyrobky2.jpg>
19. HAŠEK, Vladimír. *Kování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1965.
20. HERMAN, Aleš. *Přesné liti na vytavitelný model* [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/MPL/presne%20liti%20na%20vytavitelny%20model.pdf>
21. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2*. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001, 316 s. ISBN 80-718-3244-8.

22. HRUBÝ, Jiří a Jiří PETRUŽELKA. QForm: QDraft. TU Ostrava: Jiri Hruby, VSB [online]. 2000 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: http://www.345.vsb.cz/jirihruby/Texty/QDraft_21_cz.pdf
23. HRUBÝ, Jiří a Jiří PETRUŽELKA. QForm: Uživatelská příručka. TU Ostrava: Jiri Hruby, VSB [online]. 2000 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: http://www.345.vsb.cz/jirihruby/Texty/QFORM_21_cz.pdf
24. Hydraulický slícovací lis: Základní technické parametry. Šmeral Brno a.s. - výroba a opravy tvářecích strojů, nástrojů pro tváření a odlitků [online]. 2010 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/VyrobekTvarHyd01-660.jpg>
25. Indukční ohřevy: KSO 300/6-A30. ROBOTERM spol. s r.o. [online]. 2012 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.roboterm.cz/reference/indukcni-ohrivace/kso-do-630-kw/kso-300-6-a30>
26. Jednobodový klikový lis: Technické parametry LU 160. Piesok.
27. JKZ Bučovice a.s.: Konstrukční ocel 14 220. [online]. 2010 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz/node/220>
28. KOCMAN, Karel. Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
29. KOTOUČ, Jiří. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Praha: ČVUT Praha, 1993, 349 s. ISBN 80-010-1003-1.
30. MM Průmyslové spektrum: Zvyšování výkonu při soustružení ocelí. [online]. 2007 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/15/1547.jpg>
31. MSV Metal Studénka, a.s.: Výrobní možnosti: Kovárna. [online]. 2007 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.msvmetal.eu/images/vyrobní-moznosti/haky.jpg>
32. Nástrojová ocel 1.2343ESU | JKZ Bučovice a.s. JKZ Bučovice a.s. [online]. 2010 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz/node/33>
33. Novinky. Alper a.s. [online]. 2006 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.alper.cz/images/thumb/kovarna-08.jpg>
34. NOVOTNÝ, Karel. Výrobní stroje. Část I. - Tváření. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1987, 112 s.
35. Oleje | motorove-oleje.eu. [online]. 2011 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: http://motorove-oleje.eu/sites/all/files/Shell_FenellaFluidF3806G.pdf
36. OSTROJ a.s.: Výrobní program. [online]. 2012 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: http://static.ostroj.upgates.com/_cache/6/6/66688b419c93d2768601b7d67d8fa8e8.jpg
37. Pily na kov. KARAS pily s.r.o. [online]. 2012 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.pasove-pily.eu/files/product/11/40/26975/preview.jpg>
38. Použitý kovací lis LZK 1000 P (1000 tun): Parametry použitého kovacího lisu LZK 1000 P. Šmeral Brno a.s. - výroba a opravy tvářecích strojů, nástrojů pro tváření a odlitků [online]. 2010 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/CZPouziteLZK1000.html>
39. Profil firmy / Historie. VIVA kovárna [online]. 2013 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.viva.cz/web/structure/historie-26.html>
40. Profil firmy. VIVA kovárna [online]. 2013 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.viva.cz/web/structure/2.html>
41. SCREW PRESSES. Forge technology [online]. 2010 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.forgetechnology.com/pictures/screwpress1.gif>
42. Správná volba dělicího zařízení. Mmspektrum [online]. 2011 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/content/image/gallery/2011-11_4_1321452306/bomar_obr_02.jpg

43. Studijní opory. *Odbor technologie tváření kovů a plastů, ÚST, FSI VUT v Brně* [online]. 2005, 28. 02. 2013 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory.htm>
44. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS, Jiří DVOŘÁČEK a František PROKEŠ. *Základy konstruování*. Vyd. 4. Brno: CERM, 2011, 234 s. ISBN 978-80-7204-750-5.
45. SWR JIHLAVA spol. s r.o.: Výroba výkovků. [online]. 2012 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: http://www.swrjihlava.cz/img/vykovky_s480.jpg
46. Technická příručka: Přehled vlastností oceli 16MnCr5. *Bohdan Bolzano* [online]. 2010 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprirI/tycovaocel/ocelikcementovani/16MnCr5/>
47. TNS 63: Dělička tyčového materiálu za studena. *Svaz strojírenské technologie: Katalog* [online]. 2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.sst.cz/katalog/product/id/464>
48. Unex, a.s.: Katalog zboží. [online]. 2012 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://www.cz.all.biz/img/cz/catalog/10395.jpeg>
49. Výrobní program: Produkty. *VIVA kovárna* [online]. 2013 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: http://www.viva.cz/web/document/produkty_voziky_img/16.jpg
50. Výrobní program: Produkty. *VIVA kovárna* [online]. 2013 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: http://www.viva.cz/web/document/produkty_automotive_img/15.jpg

Seznam použitých symbolů

Δr_n	[mm]	poloha těžiště řezu
Δv	[mm]	vůle v kruhovém vedení zápustky
A	[J]	rázová práce bucharu
a	[mm]	nejdelší strana obdélníkového půdorysu výkovku
a'	[ks]	celkový počet výkovků
a''	[Kč]	cena materiálu polotovaru
A_j	[mm ²]	plocha pod křivkou deformačních odporů
A_n	[J]	rázová práce bucharu pro nekruhové výkovky
b	[mm]	šířka můstku zápustky lisu
b'	[ks]	životnost sady dokončovacího nářadí do první renovace
b''	[ks]	celková životnost sady dokončovacího nářadí
b_1	[mm]	šířka můstku zápustky bucharu
b_2	[mm]	šířka zásobníku zápustky bucharu
b_a	[Kč]	mzda na 1 kus obrobku
B_{Ds}	[cm]	střední šířka výkovku
b_z	[mm]	šířka zásobníku zápustky lisu
c	[ks]	počet sad dokončovacího nářadí
c'	[Kč]	cenová sazba CNC stroje na 1 kus
C_o	[-]	souhrnný koeficient
d	[ks]	počet sad předkovacího nářadí
D	[mm]	průměr ostříženého výkovku
d'_{odpad}	[kg]	hmotnost odpadového material
d_1	[mm]	průměr blány bez zaoblení
D_c	[mm]	průměr výkovku s výronkem
D_D	[cm]	průměr výkovku
D_{DD}	[mm]	průměr dokovací dutiny
D_{Dred}	[cm]	redukovaný průměr výkovku
D_{DZ}	[mm]	průměr dokovací zápustky
D_{PD}	[mm]	průměr předkovací dutiny
D_{pol}	[mm]	průměr polotovaru
D_{PZ}	[mm]	průměr předkovací zápustky
D_v	[mm]	průměr výkovku v dělicí rovině bez výronku
e	[Kč]	celková cena nástrojového materiálu
e'	[Kč]	cena z prodeje odpadu vztažená na obrobek
f	[-]	součinitel tření
f'	[Kč]	cena výroby pěti sad předkovacího a dokončovacího nářadí
f''	[Kč]	celková cena 1 kusu součásti
F_C	[N]	celková kovací síla podle Tomlenova
F_D	[cm ²]	plocha výkovku v dělicí rovině
F_{KOV}	[N]	kovací síla
F_N	[N]	normálová složka kovací síly
F_s	[N]	střižná síla
F_T	[N]	tečná složka kovací síly
G	[kg]	hmotnost beranu
g	[kg]	celková cena tepelného zpracování nástrojového material
h	[mm]	výška můstku zápustky lisu
H	[m]	výška pádu beranu
h'	[Kč]	celková cena tepelného zpracování nástrojového material

h_1	[mm]	hloubka rybiny bucharu
H_D	[mm]	největší hloubka zápustkové dutiny
H_{DD}	[mm]	hloubka dokovací dutiny
h_G	[mm]	výška výkovku k dělicí rovině
h_m	[mm]	výška můstku zápustky bucharu
H_{PD}	[mm]	hloubka předkovací dutiny
h_r	[mm]	výška rybiny zápustky
h_R	[mm]	výška žebra výkovku
H_v	[mm]	výška kruhového vedení zápustky
$H_{výk}$	[mm]	výška výkovku
h_w	[mm]	výška stěny výkovku
H_{zmin}	[mm]	nejmenší výška zápustky
i	[Kč]	celková cena na výrobu nástrojů vztažená na výkovek
j	[ks]	počet kusů polotovaru z jedné tyče
k	[Kč]	cena materiálu na výkovek
l	[mm]	axiální vůle pera v základových plochách
l'	[ks]	počet výkovků za směnu
L_D	[cm]	délka výkovku
L_j	[mm]	jednotlivé obvody stěn výkovku
L_{pol}	[mm]	délka polotovaru
L_v	[mm]	šířka kruhového vedení zápustky
m	[kg]	hmotnost beranu
m_C	[kg]	celková hmotnost nástrojového material
m_{CTZ}	[kg]	celková hmotnost nástrojového materiálu pro tepelné zpracování
m_D	[kg]	celková hmotnost polotovarů dokončovacího nářadí
$m_{obal.tělesa}$	[kg]	hmotnost obalového tělesa
m_{odpad}	[kg]	hmotnost odpadového materiálu
m_p	[kg]	hmotnost předkovku
$m_{polotovar}$	[kg]	hmotnost součásti stejné hmotnosti jako výkovek
m_{pp}	[kg]	celková hmotnost polotovarů předkovacího nářadí
m_{PZH}	[kg]	hmotnosti polotovaru horní zápustky předkovacího nářadí
m_{PZS}	[kg]	hmotnosti polotovaru spodní zápustky předkovacího nářadí
m_s	[kg]	hmotnost materiálu ostříhovacích a děrovacích nástrojů
m_{sad}	[kg]	hmotnosti pěti sad předkovacího a dokončovacího nářadí
m_{STZ}	[kg]	hmotnost ostříhovacího a děrovacího nástroje
$m_{tyč}$	[kg]	hmotnost tyče
m_{VH}	[kg]	hmotnosti polotovaru horní vložky
m_{VS}	[kg]	hmotnosti polotovaru spodní vložky
$m_{výkovku}$	[kg]	hmotnost výkovku
m_Z	[kg]	hmotnost zápustkového materiálu pro celou sérii
m_{ZH}	[kg]	hmotnosti polotovaru horní zápustky dokovací zápustky
m_{ZS}	[kg]	hmotnosti polotovaru spodní zápustky dokovací zápustky
n	[mm]	hloubka zásobníku zápustky lisu
N	[Kč]	mzda na jeden výkovek
n_s	[-]	koeficient zahrnující vliv vnějších podmínek
o	[mm]	obvod střížníku
o'	[Kč]	cena z prodeje odpadu vztažená na výkovek
o_v	[mm]	obvod výkovku v dělicí rovině
p	[mm]	radiální vůle pera v základových plochách

p'	[Kč]	celková cena výkovku
r_1	[mm]	vnitřní zaoblení výkovku
r_A	[mm]	vnější zaoblení výkovku
r_k	[mm]	zaoblení hran výkovku
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu stříhaného materiálu
S	[-]	ukazatel členitosti tvaru
s	[mm]	nejmenší vzdálenost od okraje zápusťky k dutině
s_1	[mm]	vzdálenost mezi dutinami
s_B	[mm]	tloušťka dna výkovku
S_c	[mm ²]	průmět plochy výkovku s výronkovým můstkem
S_j	[mm ²]	dílčí plochy v úsecích Δr_j
S_{pol}	[mm ²]	obsah průřezu polotovaru
s_R	[mm]	tloušťka žebra výkovku
S_v	[mm ²]	plocha průmětu výkovku bez výronku do dělicí roviny
$S_{v\tau}$	[mm ²]	plocha výronkové drážky
s_w	[mm]	tloušťka stěny výkovku
t_{AC}	[min]	strojní čas
T_{REK}	[K]	teplota rekrytalizace
t_s	[min]	strojní čas obrábění součásti
T_{ST}	[K]	teplota tváření za studena
T_{TAV}	[K]	teplota tavení
v	[m/s]	kovací rychlost
V_o	[mm ³]	objem opalu
V_p	[mm ³]	objem předkovku
V_{pol}	[mm ³]	objem výchozího polotovaru
$V_{\dot{u}}$	[mm ³]	objem odpadu při ostříhování
V_v	[mm ³]	objem výkovku
V_{vd}	[mm ³]	objem odpadu při děrování
V_{vr}	[mm ³]	objem výronku
V_z	[mm ³]	objem materiálových ztrát
z_n	[mm]	výška řezu

α_1	[°]	boční úkos dutiny
β	[°]	sklon boční stěny klínu u rybiny zápusťky
γ	[°]	sklon boční stěny klínu u rybiny bucharu
δ	[%]	opal
ε	[kg]	hmotnost sady předkovacího a dokončovacího nářadí
η_0	[-]	účinnost bucharu
λ	[-]	štíhlostní poměr
ρ_v	[kg/m ³]	hustota materiálu výkovku
σ_{dn}	[MPa]	deformační odpor
σ_p^*	[MPa]	přetvárný odpor materiálu
σ_p	[MPa]	přirozený přetvárný odpor s vlivem poklesu teploty
τ_{fj}	[MPa]	smyková napětí
τ_{max}	[MPa]	maximální skluzové napětí
τ_s	[MPa]	je střížný odpor

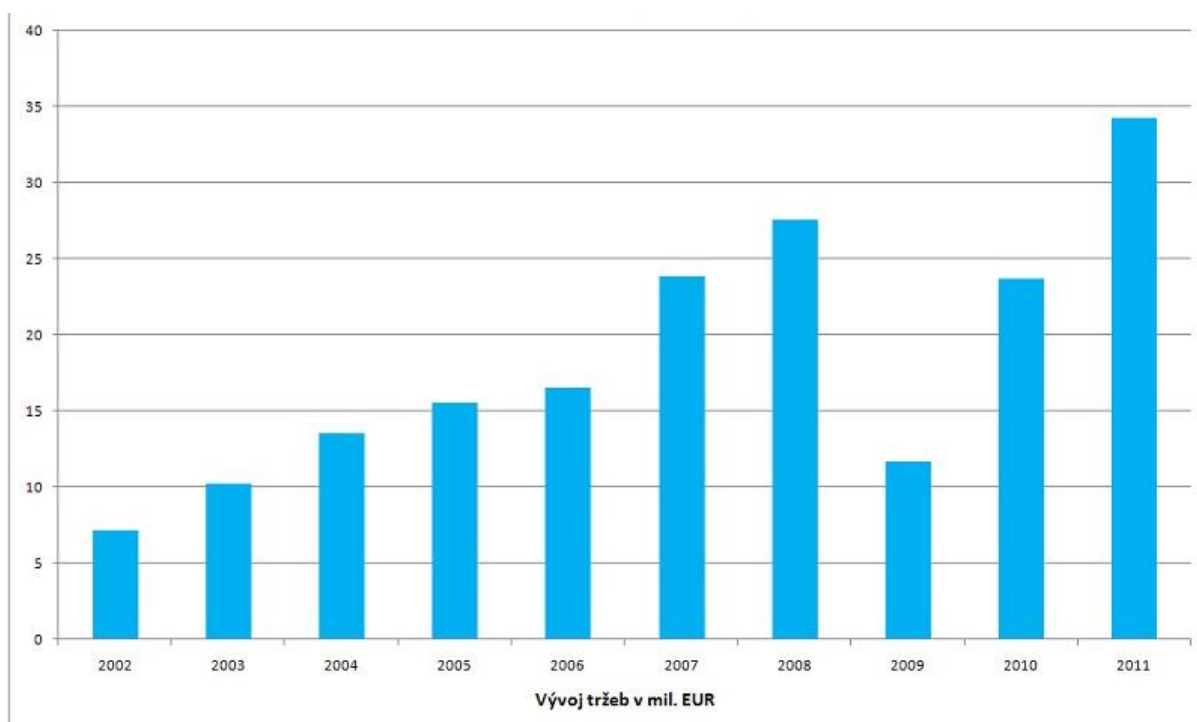
Seznam příloh

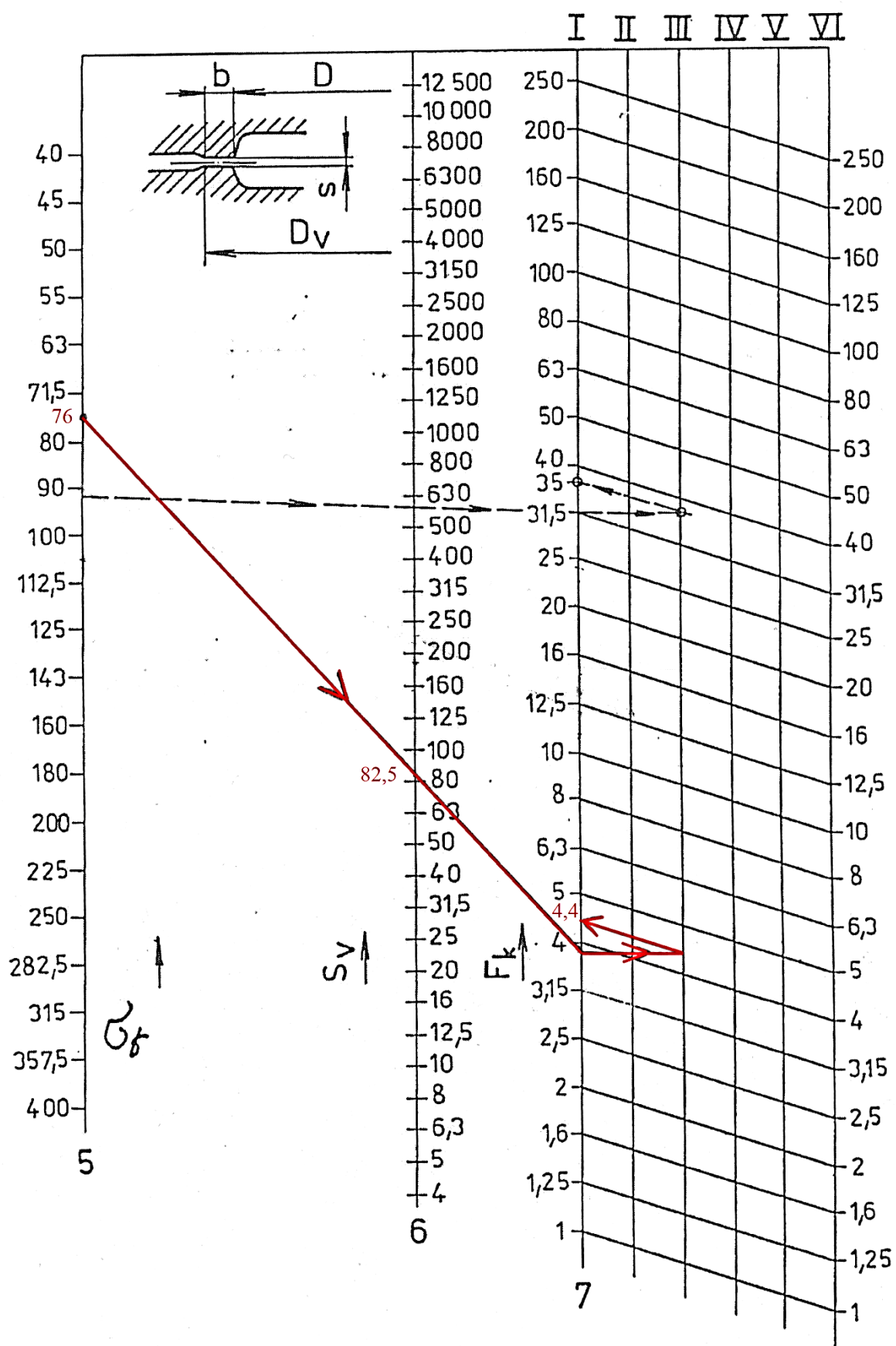
Příloha 1	Historie firmy Kovárna VIVA a.s.
Příloha 2	Nomogram ČSN 22 8306
Příloha 3	Mazivo Shell Fenella Fluid
Příloha 4	Analýza FMEA
Příloha 5	Technologický postup výroby spodní zápustky

Seznam výkresů

Náboj kola	116197-2013-22/13-03
Náboj kola výkovek	116197-2013-22/13-02
Náboj kola výkovek	116197-2013-22/13-01
Dkov zápustka spodní	116197-2013-22/13-1
Dkov zápustka horní	116197-2013-22/13-2
Dkov vložka spodní	116197-2013-22/13-3
Dkov vložka horní	116197-2013-22/13-4
Dokovací nářadí	116197-2013-22/13
Náboj kola předkovek	16197-2013-21/13-01
Pkov zápustka spodní	16197-2013-21/13-1
Pkov zápustka horní	16197-2013-21/13-2
Předkovací nářadí	16197-2013-21/13

1932	- vznik kovárny jako součásti firmy Baťa.
27.10.1992	- založení společnosti Kovárna VIVA Zlín - firma má 36 zaměstnanců, 3 tvářecí linky.
1995	- CAD a CAM Unigraphics - první CNC stroj v nástrojárně - ve společnosti pracuje 53 zaměstnanců
1997	- certifikace firmy podle ČSN EN ISO 9002 - velké investice do modernizace výrobního zařízení.
2000	- překročení hranice 100 zaměstnanců.
2003	- investice do linky s vřetenovým lisem 2500 t - certifikace ČSN-EN ISO 9001 a 14001 - založeno oddělení pro vývoj a výzkum
2004	- ve společnosti pracuje více než 150 zaměstnanců
2005	- investice do oblasti měření a kontroly, 3D přístroje, metalografická laboratoř, spektrometr, magnetoflux - linka s klikovým lisem 2500 t
2007	- tvářecí linka 1000 t a 1600 t
2008	- druhá linka kalení výkovků - druhá linka pro tváření výkovků s vřetenovým lisem 2500 t
2009	- ekonomická krize – 50% propad výroby
2010	- investice do nové haly
2011	- 260 zaměstnanců - tvářecí linka 2500t
2012	-280 zaměstnanců





Shell Fenella Fluid F 3806 G

Charakteristika:

Shell Fenella Fluid F 3806 G je vysoce výkonný vodou ředitelný mazací/uvolňovací prostředek na bázi grafitu rozptýleného ve vodě, který neobsahuje olej. Shell Fenella Fluid F 3806 G se vyznačuje vynikajícími adhezními schopnostmi při vysoké teplotě a při aplikaci vytváří na formě (lisovacím nástroji) povlak s vynikajícími uvolňovacími a mazacími vlastnostmi, který zaručuje velmi dobrou tekutost kovů během přetváření za horka a nezanechává na formě přilnavý film.

Upozornění: Informace týkající se manipulace, skladování, bezpečnosti a ochrany zdraví při práci jsou uvedeny v bezpečnostním listu produktu.

Shell Fenella Fluid F 3806 G zaručuje:

- prodloužení životnosti nástroje
- bezpečné prostředí pro obsluhu
- výborné čistící schopnosti
- vynikající mazací a uvolňovací schopnost

Použití:

Shell Fenella Fluid F 3806 G je mazací/uvolňovací prostředek pro kování oceli za horka a tepla, je však použitelný rovněž pro lisování hliníku, mědi, titanu a niklu. S úspěchem je používán na mechanických a vřetenových lisech a kladivech i za velmi náročných podmínek při kování složitých částí.

Upozornění!

Při skladování tohoto produktu je nutno dbát, aby nebyl vystaven teplotám nižším než +5°C a vyšším než +40°C.

Typické vlastnosti:

Hustota při 20°C	kg/m ³	1200
pH hodnota (čistý produkt)		11
Suchá hmota	%	31
Viskozita Brookfield při 20 °C	mPa.s	3100

Pozn.: Uvedené vlastnosti jsou charakteristické pro současnou produkci a mají pouze informativní charakter.

Pracovní emulze:

Mísení kapaliny Shell Fenella Fluid F 3806G a vody se provádí pomalým přiléváním vody (přednostně kvality pitné vody) do koncentrátu za stálého míchání, nebo použitím automatického míšícího přístroje. Doporučené směšovací poměry:

základní operace	3 až 5 % ve vodě
velmi zatěžované operace	5 až 20 % ve vodě

Disperze je prováděna formou sprejování.

Kontrolu pracovní emulze je možno provést fyzikálními metodami.

Proces	Projev možné vady	Důsledek možné vady	Závažnost	Příčina vady	Současný stav			
					Výskyt	Opatření proti vzniku	Opatření pro okamžité odhalení	Odhalení
Proces kování	Přeložky	Neshodný výrobek	8	Nesoulad zápustek s výkres. dokumentací	2	Výstupní kontrola nástrojárny a kontrola u mechaniků	Rozměrová kontrola výkovku pracovníkem kontroly	5
				Opotřebení nářadí nad životnost	4	Sledování životnosti nářadí	Vzhledová a rozměrová kontrola obsluhou lisu	5
	Povrchové vady - posekané	Neshodný výrobek	6	Špatná manipulace s výkovkem obsluhou lisů	2	FMEA návrh	Vzhledová kontrola výkovku obsluhou lisu	5
				Poškození z dopravníku	2	FMEA návrh	Vzhledová kontrola výkovku obsluhou lisu	5
	Nevyhovující rozměr	Neshodný výrobek	7	Nesoulad kovacího ostříhovacího nářadí s výkresovou dokumentací	4	Výstupní kontrola nástrojárny a kontrola u mechaniků	Uvolnění 1. kusu	2
				Opotřebení nářadí nad životnost	4	Sledování životnosti nářadí	Uvolnění 1. kusu, rozměrová kontrola obsluhou	5

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ		PRŮVODKA		Počet listů: 1		
ODBOR TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ KOVŮ A PLASTŮ		Souhrnný postup výroby		List: 1		
Materiál: 1.2343		Součást: DKO V ZÁPUSTKA SPODNÍ		Kusů: 1		
		Číslo výkresu: 116197-2013-22/13-1				
Obrobitelnost: 10b		Polotovary: Ø150-102 ČSN 42 5510		Dávka: 1		
číslo oper.	pracoviště	Stroj	Název operace - popis práce	TKK	t _{AC} [min]	t _{BC} [min]
05	1	Kasto	Dělí materiál: L = 102mm		20	0
10	2	S 50	Soustruží vnější průměr 140 mm a výšku s přídávkem na broušení 0,55 mm, vnější průměr 145 mm hotově, otvoru pro nalisování vložky s přídávkem 0,4 mm, dutinu dle CNC programu		45	20
15	7	ME	Leští tvar dutiny a můstku dle výkresu		20	0
20	3	WE	Kontroluje rozměry dle výkresu		0	15
25	4	M300	Kalí a zušlechťuje na 50±1 HRC		0	0
0	5	BPV300	Brousí celkovou výšku dle výkresu		15	0
35	8	S80	Soustruží dle CNC programu otvor pro vložku hotově		25	0
40	6	BK3	Brousí vnější průměr 140 mm dle výkresu		30	0
5	3	WE	Kontroluje rozměry dle výkresu		0	15
Datum: 24. 2. 2013						
Vypracoval: Michal Vraštiak						