



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

KOVÁNÍ „POJISTKY SVORNÍKU“

FORGING OF THE "LOCK-BOLT"

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PAVEL FRÝDL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ZDENĚK LIDMILA, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pavel Frýdl

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Kování „pojistky svorníku“

v anglickém jazyce:

Forging of the "lock-bolt"

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výkovek pojistky svorníku je v současné době kován z tyčového polotovaru. Technologický postup kování sestává z přípravné-ohýbací operace a následného dokování v dutině zápustky. Každá operace se provádí na samostatném lise po samostatném ohřevu. Cílem práce bude navrhnout nový, efektivnější technologický postup kování.

Cíle bakalářské práce:

Práce bude obsahovat popis a zhodnocení současného postupu kování pojistky svorníku. Analýzu alternativních výrobních postupů, z které vyplyne návrh nového postupu kování. Pro zvolenou technologii bude provedena aktuální literární studie. Navržený postup bude doplněn konstrukčním návrhem kovací a případně potřeby i předkovací zápustky. Součástí řešení bude technicko-ekonomické zhodnocení nového výrobního postupu a závěry.

Seznam odborné literatury:

1. ASM-Metals Handbook: Forming and Forging. Vol.14. USA ASM International, 2004. S.978. ISBN 0-87170-020-4
2. HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
3. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.
4. LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření II. 1.vyd. UO Brno. 2008. 106 s.ISBN 978-80-7231-580-2
5. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-04016.
6. FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

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

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

V Brně, dne 11.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

FRÝDL Pavel: Kování „pojistky svorníku“

Pro výrobu pojistky svorníku byla zvolena technologie zápustkového kování. Pojistka je vyráběna z oceli 11375 v sérii 2700 ks ročně. S využitím literární studie a praktických poznatků byl vypracován technologický postup kování. Součástí je návrh nástroje z ušlechtilé oceli 19663 včetně výkresové dokumentace. Kování probíhá na hydraulicko-pneumatickém bucharu KJH 2 o jmenovité hodnotě rázové práce 20 kJ. Polotovary jsou stříhány z tyčí $\varnothing 30$ mm dlouhých 6 m na délku 52,2 mm. Z technicko-ekonomického zhodnocení vyplývá, že cena jednoho výkovku je 4,71 Kč a pro výrobu bude potřeba 24 ks tyčí.

Klíčová slova: výkovek, zápustka, buchar, tváření, přetvárný odpor

ABSTRACT

FRÝDL Pavel: Forging of the „lock-bolt“

To lock-bolt manufacturing was selected technology of die forging. Lock-bolt is made of 11375 steel in a series of 2700 pieces per year. With the use of literary studies and practical knowledge has been developed technological process fittings. It includes the draft instrument stainless steel 19663 including drawings. Forging is performed on a hydraulic-pneumatic hammer KJH 2 with a nominal value of 20 kJ impact work. Blanks are cut from bars $\varnothing 30$ mm 6 m long to bars 52.2 mm long. The techno-economic evaluation shows that the price of a forging is 4,71 CZK and for production will be need 24 pieces of bars.

Keywords: forged piece, die, swage hammer, forming, deformation resistance

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FRÝDL, Pavel. *Kování „pojistky svorníku“*. Brno, 2014. 36s, 2 výkresy, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 30.5.2014

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Zdeňku Lidmilovi, CSc. za cenné rady a připomínky ke zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

| | |
|---|----|
| ÚVOD | 9 |
| 1 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO VÝROBNÍHO POSTUPU | 10 |
| 1.1 Možnosti výroby pojistky | 11 |
| 2 TECHNOLOGIE ZÁPUSŤKOVÉHO KOVÁNÍ | 12 |
| 2.1 Teorie objemového tváření kovů za tepla | 12 |
| 2.2 Příprava výchozího polotovaru | 14 |
| 2.3 Ohřev polotovaru | 15 |
| 2.4 Kovací stroje | 16 |
| 2.5 Postup a pravidla pro návrh výkovek | 18 |
| 2.6 Konstrukce zápustek | 19 |
| 2.7 Kovací síla a rázová práce | 23 |
| 2.8 Ostřihování výronku | 26 |
| 3 NÁVRH VÝROBY POJISTKY | 27 |
| 3.1 Výpočet polotovaru | 27 |
| 3.2 Dělení polotovaru | 28 |
| 3.3 Ohřev | 28 |
| 3.4 Kování | 29 |
| 3.5 Ostřihování výronku | 31 |
| 3.6 Dokončovací operace | 31 |
| 3.7 Konstrukční návrh kovací zápustky | 32 |
| 4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VÝROBY | 33 |
| 5 ZÁVĚRY | 36 |

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam příloh

Seznam obrázků

Seznam tabulek

ÚVOD [6], [18], [21]

Počátky tváření kovů se datují už od doby bronzové. Teorie tvářecích procesů se prakticky rozvíjí od dvacátých let dvacátého století. Technologie kování patří do skupiny objemového tváření za tepla. Výhodou těchto metod je přetvoření materiálu do požadovaného tvaru bez porušení jeho vláken a s velkým využitím výchozího materiálu. Při zápustkovém kování vyplňuje materiál ohřátý na kovací teplotu dutinu zápustky za působení tlaku nebo pomocí rázů tvářecího stroje. Zápustkové výkovky se vyznačují vysokými pevnostmi a dobrými mechanickými vlastnostmi. Mohou mít složité tvary, které by byly obtížně vyrobitelné jinými technologiemi. Příklady zápustkových výkovků jsou uvedeny na obr. 1.



Obr. 1 Příklady výkovků [18], [21]

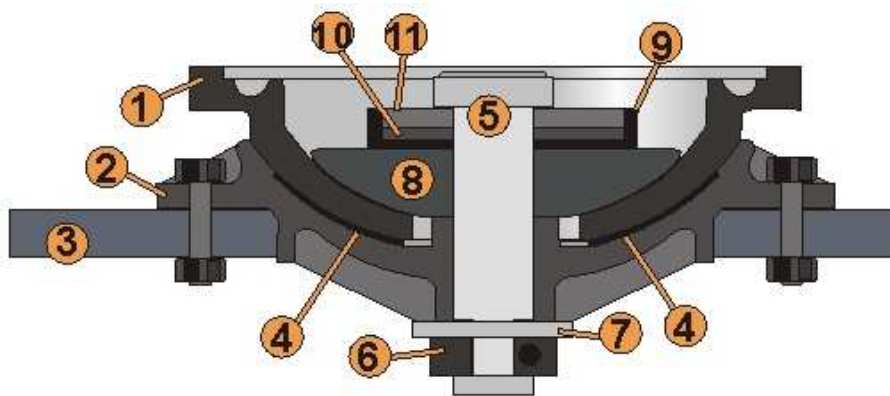
1 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO VÝROBNÍHO POSTUPU [18], [27]

Pojistka svorníku (obr. 2) je podle stávajícího postupu kována z tyčového polotovaru pomocí přípravné-ohýbací operace a následného dokování v dutině zápustky. Jednotlivé operace jsou prováděny na samostatných lisech.

Pojistka svorníku je součástí kulové torny (obr. 3), což je sestava dílů nacházející se na podvozku vagónových vozů. Pomocí kulové torny a dvojice postranních kluznic je skříň vagónu uložena na hlavní příčnické rámu podvozku. Horní část torny je připevněna k příčnicku vespod skříň vozu a dolní část torny je přišroubována nebo přivařena k příčnicku podvozku. Torna přenáší všechny síly v horizontální rovině vznikající mezi skříň a podvozkem. Pojistka svorníku slouží k zajištění svorníku, který spojuje dohromady všechny části kulové torny. Vnější rozměry pojistky jsou přibližně $70 \times 55 \times 18$ mm a podrobněji jsou uvedeny na výkrese výkovku v příloze.



Obr. 2 Pojistka svorníku



Obr. 3 Kulová torňa [27]

- 1 – horní část torny,
- 2 – dolní část torny,
- 3 – hlavní příčnické rámu podvozku,
- 4 – vložka ze samomazného mater.
- 5 – svorník,
- 6 – pojistka svorníku,
- 7 – podložka,
- 8 – vložka torny,
- 9 – pouzdro,
- 10 – vložka,
- 11 – horní vložka

Pojistka svorníku je vyráběna z oceli 11375 (S235JR). Používají se tyče kruhového průřezu o průměru 18 mm. Výroba začíná nastříháním tyčí na délku 144_{-1}^{+0} mm na výstředníkovém lise LE100P. Stříhání se provádí za studena, hmotnost polotovaru je přibližně 0,29 kg. Dále se polotovary zahřívají na teplotu 800 – 900 °C a po dvojicích se ohýbají do tvaru „U“ v dutinách zápustky na výstředníkovém lise LEN63C. Poté jsou polotovary zahřáty na kovací teplotu 1100 – 1200 °C. Pomocí třetího lisu se provádí kování konečného tvaru pojistky v dutině zápustky. Po dokončení kování a vychladnutí výkovků se za studena ostříhuje výronek opět na výstředníkovém lise LEN63C. Provádí se kontrola rozměrů $69,5$; 40 ; $21_{-0}^{+0,7}$; $19,5_{-1,5}^{+0}$. Pomocí pásového tryskače jsou pak výkovky otryskány a následně jsou uloženy pro přepravu k třískovému obrábění.

Výrobu zajišťuje společnost MSV Metal Studénka, a.s., která patří mezi největší evropské výrobce železničních podsestav a zápustkových výkovků pro kolejová vozidla a další průmyslová odvětví. Vzhledem ke strojnímu vybavení je schopna dodávat zápustkové výkovky z oceli od 0,5 kg do 82 kg a do průměru 450 mm nebo do délky 900 mm.

1.1 Možnosti výroby pojistky [10], [18], [24], [25]

- Obrábění - při použití třískového obrábění (obr. 4) by byl výchozím polotovarem ocelový špalík, ze kterého by postupnými úběry materiálu bylo dosaženo požadovaného tvaru. Výrobní postup by zahrnoval zejména frézování a broušení. Těmito technologiemi je možno dosáhnout vysoké přesnosti a velmi dobré drsnosti povrchu obrobku. Součástí by bylo možno vyrobit na konvenčních strojích bez použití speciálních nástrojů. Obrábění je však nevhodné zejména z důvodu přerušování vláken materiálu a tedy nízkých mechanických vlastností součástí. Při obrábění by vznikl velký odpad materiálu a výroba pojistky by tak byla náročná z hlediska spotřeby materiálu. Také čas potřebný pro vyrobení jednoho kusu by byl poměrně vysoký, proto se obrábění této součásti ekonomicky nevyplácí.



Obr. 4 Třískové obrábění [24]

- Lití na vytavitelný model - technologií přesného lití na vytavitelný model je možno zhotovit rozměrově a tvarově velmi přesné odlitky (obr. 5). Výhodou této metody je možnost výroby funkčních ploch s požadovanou drsností povrchu, takže není nutno tyto plochy dále obrábět. Výrobní postup zahrnuje přípravu voskových modelů, vyráběných vstřikováním, které jsou sestaveny to tzv. stromečků. Tyto se použijí pro výrobu skořepinových forem namáčením v keramické hmotě. Po vytvrzení forem a vytavení modelů je do forem naléván roztavený materiál. Po ztuhnutí odlitků je forma odstraněna a jednotlivé odlitky jsou odděleny od vtokové soustavy. Hlavní nevýhodou této technologie je nutnost zhotovit pro každý kus výrobku jeden voskový model. Pro modely je potřeba vyrobit matečnou formu, do které bude vstřikován vosk. Celý proces lití je časově neefektivní a při výrobě pojistky svorníku není nutno pracovat s takovou rozměrovou přesností a drsností povrchu, kterou nabízí tato metoda.



Obr. 5 Přesné odlitky [25]

- Zápustkové kování - při tváření materiálu technologií zápustkového kování se vychází z polotovaru, který je ohřátý na kovací teplotu. Vloží se do nástroje, dutiny zápustky, ve které je pomocí silového působení stroje tvářen stanoveným počtem operací do požadovaného tvaru. Největší výhodou této technologie jsou výkovky (obr. 6) s nepřerušovanými vlákny materiálu a tedy dobrými mechanickými vlastnostmi. Díky vysoké produktivitě a materiálové hospodárnosti se zápustkové kování využívá v sériové a hromadné výrobě. Nevýhodami jsou vysoká energetická náročnost a značné náklady na výrobu nástrojů.



Obr. 6 Zápustkové výkovky [18]

Použitím technologie zápustkového kování pro výrobu pojistky svorníku bude dosaženo požadovaných mechanických vlastností s minimálním odpadem materiálu. Díky vysoké produktivitě a hospodárnosti bude tato metoda ekonomicky nejvýhodnější variantou pro výrobu dané součásti. Pro tuto technologii je provedena podrobnější literární studie v následující kapitole a navržen postup výroby pojistky.

2 TECHNOLOGIE ZÁPUSŤKOVÉHO KOVÁNÍ [13], [15]

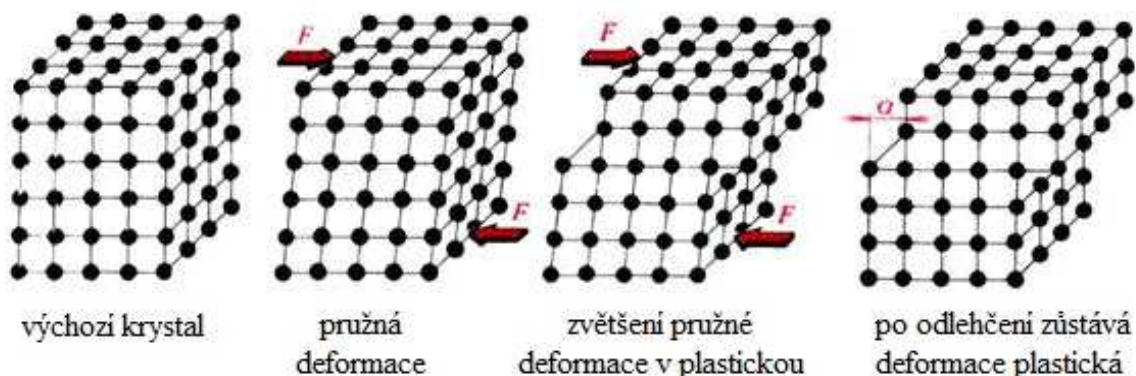
Zvolená technologie výroby pojistky zápustkovým kováním patří mezi metody objemového tváření materiálu za tepla. Od volného kování se liší použitím zápustky, což je většinou dvoudílný nástroj s tvarovými dutinami, ve kterých dochází ke tváření materiálu. Hlavní výhodou této technologie je snadná obsluha a vysoká produktivita. Proto se používá pro výrobu součástí ve velkých sériích.

2.1 Teorie objemového tváření kovů za tepla [1], [4], [6], [11], [14]

Během tváření materiálu nastává deformace, což je změna tvaru tělesa způsobená vlivem vnějších nebo vnitřních sil bez porušení soudržnosti materiálu. Při objemovém tváření probíhá deformace tělesa ve všech směrech, dochází ke změně tvaru a mechanických vlastností součásti. Při zatížení tělesa dochází nejprve k deformaci elastické (pružné) a poté k deformaci plastické (trvalé). Pružně deformovaný materiál se po ukončení působení vnějšího zatížení vrací do výchozího stavu. Nevratnost děje nastává při plastické deformaci, avšak zachovává se krystalická struktura kovu. Dosažitelná velikost deformace závisí na deformačním odporu materiálu, který vyjadřuje odpor materiálu ke změně tvaru. Deformační odpor je závislý na rychlosti zatěžování, teplotě, chemickém složení, napjatosti, zpevnění, tření, apod.

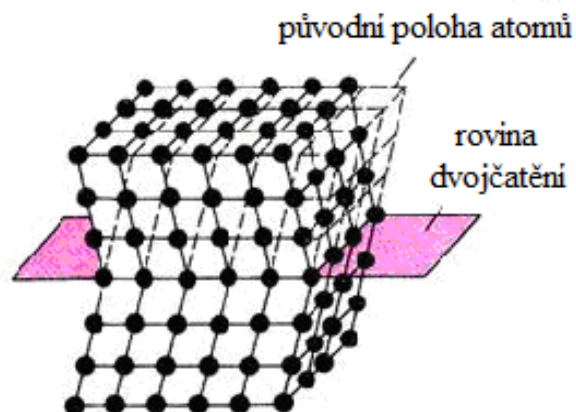
Rozlišujeme dva mechanismy plastické deformace a to skluzem a dvojčatěním. Dochází vždy k takovému mechanismu deformace, který při daných podmínkách vyžaduje menší napětí.

Skluz je nejčastější druh plastické deformace. Probíhá ve směru zatížení, v rovinách, ve kterých je největší hustota atomů. Ke skluzu dochází vždy v rovinách s maximální hodnotou skluzového napětí. Po dosažení kritického napětí se atomy začnou posunovat postupně proti sobě (obr. 7).



Obr. 7 Pružná a plastická deformace skluzem [14]

Dvojčatění znamená přeskupování části krystalové mřížky. Natočením jedné části krystalu proti druhé vznikne zrcadlový obraz atomů kolem roviny symetrie (obr. 8). Následně dochází v části natočeného krystalu k deformaci skluzem. Kritické napětí potřebné pro deformaci skluzem je menší, než napětí potřebné pro dvojčatění.



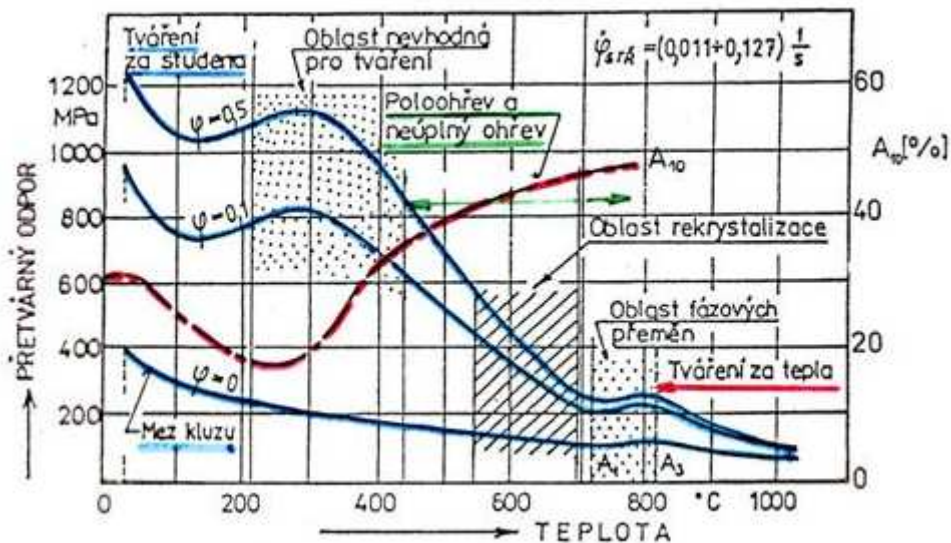
Obr. 8 Deformace dvojčatěním [14]

Tváření za tepla probíhá při teplotách vyšších než je teplota rekrytalizace (obr. 9). Rekrytalizace znamená obnovu plasticky deformované struktury bez překrytalizace. Dochází k nukleaci a růstu nových zrn na úkor původních a ke snižování zpevnění. Pro uhlíkové oceli je rozmezí kovací teplot od 800°C do 1250°C (obr. 10). U čistých kovů je teplota rekrytalizace vyjádřena vztahem:

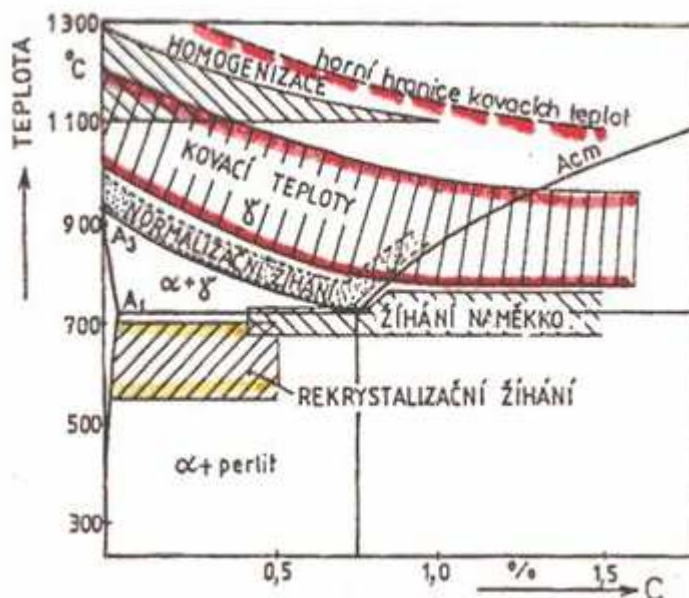
$$T_{\text{REK}} = (0,35 \text{ až } 0,4) \cdot T_{\text{TAV}} \quad (2.1)$$

kde T_{REK} je teplota rekrytalizace [K]
 T_{TAV} je teplota tavení [K]

Dolní hraniční teplota, při které se tváření za tepla dokončuje, je dána počátkem deformačního zpevnění. Čím větší je rychlost ohřevu a ochlazování a kratší výdrž na teplotě, tím jsou zrna vzniklá překrytalizací jemnější.



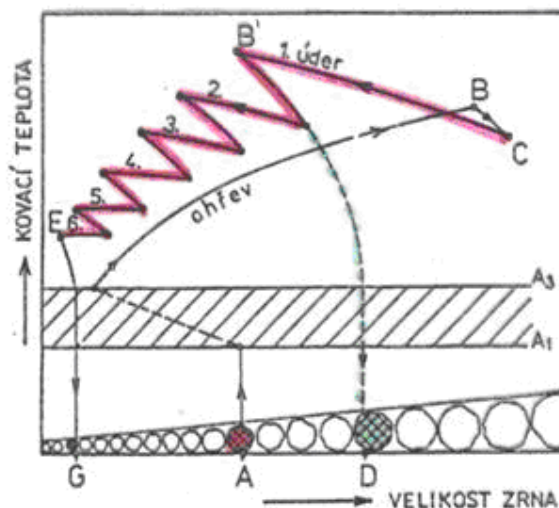
Obr. 9 Vliv teploty na přetvárný odpor [6], [14]



Obr. 10 Pásma kovací teplot v diagramu Fe-Fe₃C [6], [13]

Při stanovení režimu kování je potřeba zohlednit několik hledisek. Vysoká teplota přehřátí vede k oxidaci, oduhličování a ke vzniku okují v povrchové vrstvě. Dlouhá doba udržování nad teplotou A_1 a A_3 aniž dojde ke tváření materiálu, způsobuje zvětšování zrna. Cílem tváření je vedle požadované změny tvaru také zlepšení mechanických vlastností pomocí zjemnění struktury materiálu.

Příklad kovacího režimu podeutektoidní oceli je uveden na obr. 11. Polotovár se ohřeje a vyjme se z pece v bodě B. Během zakládání do nástroje dochází k ochlazení polotovaru až do bodu C. Vlivem přeměny deformační energie v teplo, dochází při prvním úderu ke zvýšení teploty do bodu B'. V tomto případě je pro dosažení jemného zrna v bodě E použito 6 úderů. Pokud ukončíme tváření po prvním úderu, bude mít materiál hrubé zrna - bod D.



Obr. 11 Kovací režim v závislosti na velikosti zrna a kovací teplotě [6], [13]

Výhody tváření za tepla:

- za vysokých teplot malé přetvárné odpory, s rostoucím stupněm přetvoření se nemění,
- obnovení vláknité struktury a její dynamické opevnění,
- menší tvářecí síly, menší přetvárná práce, menší silové namáhání nástroje.

Nevýhody tváření za tepla:

- rozdílné mechanické vlastnosti výkovku podélně a příčně vlivem vláknité struktury,
- menší využití materiálu,
- kvůli větším přídalkům nižší tvarová a rozměrová přesnost,
- vyšší investiční náklady vlivem značné spotřeby energie na ohřev,
- velké tepelné namáhání nástroje,
- nízká kvalita oduhličeného a okujeného povrchu.

Vlastnosti a výslednou strukturu kovů po tváření za tepla je možno ovlivnit změnou teploty, velikostí a rychlostí přetvoření a dobou udržování teploty mezi jednotlivými údery.

2.2 Příprava výchozího polotovaru [4], [9]

Materiál pro výchozí polotovary je dodáván zpravidla ve formě tyčí různých průměrů délek 2 až 12 m. Dělení tyčí na předepsaný rozměr se provádí beztržkově stříháním nebo lámáním a nebo s odpadem ve formě třísek pomocí řezání kotoučovými nebo pásovými pilami.

Stříhání je nepoužívanější způsob dělení tyčových polotovaru. Ve srovnání s ostatními je nejlevnější, nejrychlejší a nejproduktivnější. Stříhat lze za studena tyče z měkké oceli do průměru 90 mm. Větší materiály se stříhají za tepla při ohřevu na 200 až 700 °C a to do průměru 250 mm. Nejmenší délka polotovaru, který lze z dané tyče ustříhnout, závisí na průměru tyče a je dána vztahem:

$$L_p \geq 0,6 \cdot D_p \quad (2.2)$$

kde L_p je délka stříhaného polotovaru [mm]
 D_p je průměr stříhaného polotovaru [mm]

Lámání vychází z koncentrace napětí v místě lomu, ve kterém je zhotoven vrub. Vruby lze připravit např. nařezáním nebo naseknutím. Šířka vrubu je přibližně 6 mm. Lámáním se zhotovují polotovary zejména z materiálů o pevnostech $R_m \geq 700$ MPa, protože při menších pevnostech, dochází k nežádoucímu ohýbání materiálu. Výhodou lámání je jednoduchost a vysoká produktivita, nevýhodou je hrubá lomová plocha.

Řezání se používá zejména pro dělení tyčí z materiálů, které mají nízkou pevnost. Stříháním nebo lámáním těchto materiálů by došlo k jejich deformaci. Řezat však lze naopak i polotovary z vysokopevnostních legovaných a konstrukčních ocelí. Hlavní výhodou řezání je přesnost a kvalitní řezná plocha. Nevýhodou je nízká produktivita, odpad ve formě třísek a menší životnost řezných nástrojů.

2.3 Ohřev polotovaru [4], [9]

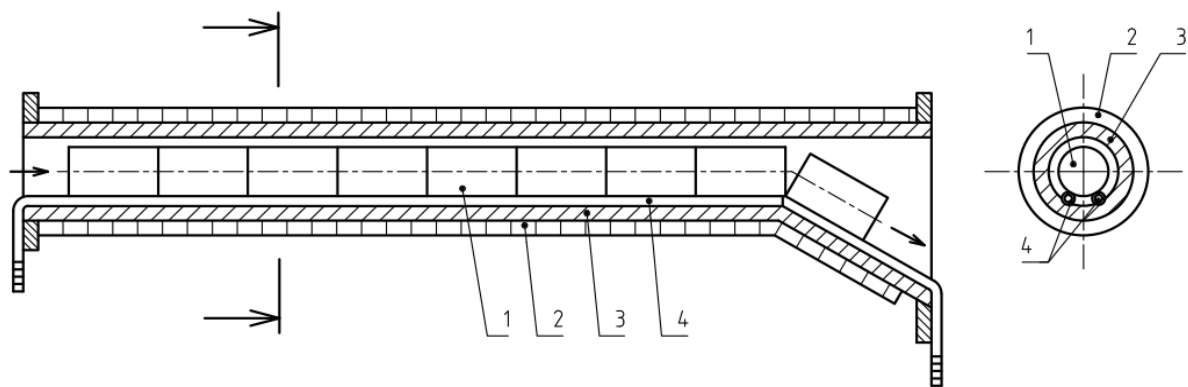
Kování probíhá obvykle při nejvyšších použitelných kovacíh teplotách. Čím větší teplota, tím menší přetvárný odpor materiálu, což znamená nižší kovací časy, menší opotřebení zápustek a vyšší produktivitu. Horní hranice kovacíh teplot se nachází přibližně 200 až 300 °C pod teplotou tavení, musí být vždy nižší než kritická teplota růstu zrna. Kritická teplota závisí na obsahu uhlíku, případně legujících prvků. Kovací teploty musí být přizpůsobeny stupni deformace. Jestliže není stupeň deformace dostatečně velký, tak aby došlo ke zjemnění zrna během tváření, zůstává zrno vlivem ohřevu hrubé a materiál musí být poté normalizačně žíhán.

Vlivem vysokých teplot ohřevu dochází k opalu polotovaru a oduhličení povrchové vrstvy. Opal znamená oxidaci povrchové vrstvy polotovaru a má za následek hmotnostní ztráty v podobě okují. Okuje je nutno odstranit, aby nedošlo k jejich zakování do povrchu výkovku. K oduhličování dochází vlivem oxidu uhličitého, kyslíku, vodíku a vodní páry. Následkem je nižší pevnost a nižší povrchová tvrdost. Na vytváření okují má vliv teplota a doba ohřevu a chemické složení polotovaru. Vysokouhlíkové a legované oceli mají nižší rychlost oxidace.

Ohřev materiálu se provádí pomocí elektrického proudu nebo spalováním plynů. Plynové pece mají obvykle oxidační atmosféru, čímž dochází vždy k opalu a k oduhličování povrchových vrstev materiálu. Množství okují lze snížit použitím ochranných atmosfér a zlepšením podmínek spalování. Při ohřevu materiálu pomocí elektrického proudu lze dosáhnout nižšího oduhličení a oxidace povrchových vrstev. Ohřev pomocí elektrického proudu je nejrychlejší a nejvýhodnější způsob ohřevu materiálu pro zápustkové kování. Podle principu lze rozdělit na odporový a indukční.

Odporový ohřev může být prováděn přímým a nepřímým průchodem elektrického proudu. Přímým způsobem se proud zavádí do materiálu pomocí chlazených elektrod z transformátoru. Napětí a tím i dobu a rychlost ohřevu lze regulovat v závislosti na velikosti polotovaru. Používá se pro menší průřezy materiálu, protože ohřev probíhá v délce polotovaru. Nepřímý způsob je vhodný pro nižší teploty ohřevu. Elektrický proud je přiváděn do topných článků, pomocí kterých je ohříván materiál. Nevýhodou jsou tepelné ztráty a nízká rychlost ohřevu.

Indukční ohřev probíhá pomocí vířivých proudů indukovaných v materiálu střídavým magnetickým polem v dutině cívky, kterou materiál prochází (obr. 12). Intenzita proudu se snižuje směrem do středu materiálu. Indukční ohřev je výhodný z hlediska přesného dodržení délky ohřevu, stejné doby ohřevu a přesného dodržení kovacíh teplot. Cívka se nezahřívá, teplo je vyzařováno pouze ohříváním materiálem, proto nedochází k tepelným ztrátám. Indukční ohřev je poměrně rychlý a energeticky úsporný.



1 – ohříváný kov; 2, 3 – induktor, 4 - vodítka

Obr. 12 Válcový induktor [4]

2.4 Kovací stroje [4], [19], [20]

Stroje zvolené pro výrobu musí odpovídat tvarové složitosti a hmotnosti výkovku. Rozhodující je také strojní vybavení kovárny. Volba stroje má vliv na konečný tvar a vlastnosti výkovku a na ekonomičnost výroby. Používané kovací stroje se dělí na buchary a lisy. Buchary využívají pro tváření materiálu kinetickou energii. Pracují pomocí rázů (úderů). Lisy naopak pracují klidovou silou, mohou využívat energii potenciální i kinetickou.

♦ Buchary

Buchary se podle konstrukce dělí na šabotové a protiběžné. Protiběžné buchary mají pevnou šabotu nahrazenou spodním beranem, který se při úderu pohybuje proti hornímu beranu. Podle způsobu pohánění, se buchary dále dělí na jednočinné a dvojčinné. Jednočinné buchary pracují pouze s hmotností beranu, zpětný chod bucharu je zajištěn pneumaticky, hydraulicky nebo pomocí elektromotoru. U dvojčinných bucharů je pohyb beranu směrem dolů urychlován také pneumaticky, hydraulicky nebo pomocí pružiny. Rychlost beranu může dosáhnout 20 až 60 m/s. Pracovní schopnost beranu je udávána maximální prací, kterou buchar může vykonat při jednom úderu. Tato práce se nazývá rázová a je dána vztahem:

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

| | | |
|-----|--|------|
| kde | A je rázová práce bucharu | [J] |
| | η_0 je účinnost (podíl čtverců skutečné rychlosti při dopadu beranu ku teoretické rychlosti volného pádu) | [-] |
| | G je hmotnost beranu | [kg] |
| | H je výška pádu | [m] |

Zápustková dutina je vyplňována jedním nebo několika údery beranu bucharu. Počet kovacích dutin závisí na tvaru výkovku a tvaru polotovaru. Jedna dutina zpravidla nestačí ani pro jednoduché výkovky. Jednotlivé dutiny se rozmisťují do nástroje, jednoho bloku oceli. V případě složitějších výkovků se jedná o kování v postupových zápustkách. Kovací operace na bucharu můžeme rozdělit na předkování, kování a dokování. Pro každou operaci se použije zvláštní dutina. Předkování je možno provádět i volně nebo na kovacích válcích. V postupové zápustce jsou dutiny zpravidla umístěny tak, aby dokončovací dutina ležela uprostřed zápustky a její těžiště bylo co nejbližší těžišti celého bloku nástroje a tedy v ose bucharu. Je tomu tak proto, že na dokování výkovku je potřeba největší síla (energie), větší než na předkování a kování polotovaru. Toto je zapříčiněno postupným chladnutím výkovku při kování a tedy rostoucím přetvárným odporem, ale zejména tím, že při dokování má

výkovek včetně výronkové drážky největší plochu. Ostatní dutiny jsou zpravidla rozmístěny okolo dokončovací dutiny. Během procesu kování se výkovky přenášejí mezi jednotlivými dutinami pomocí kleští a manuální obsluhy nebo pomocí robotických manipulátorů.

Na bucharech lze s výhodou kovat výškově členité výkovky, neboť vlivem velké kinetické energie při dopadu beranu dochází k snadnějšímu zatečení materiálu do horní zápustky. Vlivem rázů bucharu je usnadněno odstranění okují z povrchu ohřátého polotovaru. Na bucharech lze provádět pomocné předkovací operace a kovat univerzálnější tvary výkovků než na lisech. Výhodou bucharů je kratší čas styku výkovku s nástrojem, avšak nástroje jsou namáhány rázy.

♦ Kovací lisy

Lisy používané pro zápustkové kování se dělí na hydraulické a mechanické, které se podle mechanismu přenosu kovací síly dělí na klikové a vřetenové.

Hydraulické lisy využívají jako zdroje energie tlakovou kapalinu. Pohon hydraulického lisu se skládá z čerpadla, pracovního hydraulického válce, regulačního zařízení, potrubí a pomocných mechanismů. Hydraulické lisy pracují s konstantní silou, nezávislou na zdvihu beranu. Mají klidný chod bez rázů a nelze je přetížít. Z důvodu nízké rychlosti beranu, kterou lze regulovat od 0 do 0,25 m/s, nedochází ke zpevnění materiálu. Hydraulické lisy jsou používány zejména pro volné kování výkovků velkých rozměrů a hmotností.

Klikové lisy se řadí do skupiny kovacíh strojů pracujících tlakem. Pohyb beranu je řízen klikovým mechanismem, jeho zdvih je tedy konstantní. Jmenovitá maximální síla je odebrána před dosažením dolní úvratí. Při zatížení větší silou by došlo k přetížení lisu, proto jsou stroje vybaveny pojistkami proti přetížení. Klikové lisy lze dále rozdělit na svislé a vodorovné. Svislé klikové lisy jsou nejpoužívanější stroje pro zápustkové kování. Pracovní rychlost je v rozmezí 0,5 až 0,8 m/s. Zatečení materiálu je lepší ve směru kolmém k ose lisu. Důležité je přesné výškové seřízení zápustek, aby nedošlo k přetížení lisu. Vodorovné klikové lisy mají dvě na sebe kolmé zápustky, které jsou ovládány pomocí svěracího mechanismu. Podle roviny dělení zápustek mohou být vertikální a horizontální.

Vřetenové lisy mají přenos energie od pohonu k beranu zajištěn pomocí šroubového vřetene. Jsou vybaveny setrvačníky, ve kterých je kumulována kinetická energie. Rázovým charakterem práce se podobají bucharům. Poháněné třecí kotouče jsou uloženy posuvně na hřídeli a přitlačovány k setrvačníku střídavě k pohybování beranem nahoru nebo dolů. Rychlost beranu může dosahovat 0,5 až 0,6 m/s. Dráha beranu není konstrukčně omezena, proto je možné výkovek tvářet opakovanými údery. Příklad vřetenového lisu je uveden na obrázku 13.



Obr. 13 Vřetenový lis Lvr400a3 [17]

2.5 Postup a pravidla pro návrh výkovků [4], [6]

Výchozím podkladem pro návrh výkovku je výkres obrobku. Správný návrh výkovku vznikne pouze při spolupráci technologa a konstruktéra, aby bylo možno zajistit co nejjednodušší tvar výkovku a nejvýhodnější postup kování. Po posouzení součásti z hlediska složitosti tvaru a určení stupně přesnosti pokračuje proces návrhu stanovením přídavek na smrštění, přídavek na obrábění, dělicí roviny a technologických přídavek.

Přídavky na smrštění výkovku po vychladnutí se stanovují u nelegovaných ocelí na 1 až 3 %, pro ložiskové oceli na 1,5 %, austenitické oceli 2 %, atd. Přídavky na obrábění volíme s ohledem na přesnost výkovku, množství okují, oduhlíčení a povrchové úpravy. Umožňují odstranění tvářením znehodnoceného povrchu a dosažení požadované přesnosti rozměrů a tvaru součásti. Je potřeba počítat s dovoleným přesazením a přípustným prohnutím výkovku. Přídavky na obrábění se předepisují pro každou obrobenou plochu a jsou nezávislé na úkosu stěny. Stanovují se zpravidla podle největší délky, šířky nebo průměru a podle největší tloušťky. Čím horší tvařitelnost materiálu, tím větší přídavky je nutno stanovit.

Dělicí rovina je plocha rozdělující zápustku tak, aby bylo možné vyjmout výkovek z dutiny. Ovlivňuje tok materiálu v dutině. Umisťuje se zpravidla do roviny největších vzájemně kolmých rozměrů výkovku, je-li to možné, tak do roviny souměrnosti. V závislosti na tvaru výkovku může být dělicí rovina přímá, lomená i zakřivená.

Technologické přídavky zajišťují vyrobitelnost součástí pomocí zápustkového kování. Upravují tvar výkovku volbou úkosů stěn, tloušťky stěn a žeber, přechodů a zaoblení hran a také tloušťky a umístění dna (blány). Úkosy stěn jsou voleny tak, aby vyjímání výkovku z dutiny bylo co nejjednodušší. Na vnitřních stěnách výkovku jsou používány úkosy větší, protože chladnoucí výkovek má snahu svírat stěny zápustky. Pro kování na bucharech se volí úkosy pro vnější stěny $\alpha = 7^\circ$ a pro vnitřní stěny výkovku $\beta = 10^\circ$. Při použití zápustek s vyhazovači na kovací lisech je možno volit úkosy menší, běžně $\alpha = 3^\circ$ a $\beta = 7^\circ$.

Při kování tenkých stěn a žeber dochází k rychlému chladnutí materiálu a zvětšování jeho deformačního odporu, což může způsobit nedokonalé zaplnění dutiny. Z toho důvodu je nutno předepisovat minimální tloušťku stěn a žeber.

Přechody a zaoblení hran jsou voleny podle velikosti a tvaru výkovku. Zaoblené hrany mají střed zaoblení uvnitř výkovku. Malá zaoblení znamenají velkou tvářecí sílu, ztěžují zatečení materiálu a mohou vést, vlivem vrubového napětí, ke vzniku trhliny v zápustce. Velikost zaoblení hran na obráběných plochách může dosahovat až dvojnásobku přídavek na obrábění. Na plochách, které se obrábět nebudou, závisí velikost zaoblení na největší délce, šířce nebo průměru výkovku a na výšce zaoblení, která se měří od dělicí roviny.

U přechodů, neboli vydutých zaoblení, leží střed zaoblení mimo výkovek. Vnitřní přechody se nacházejí na hranách směrem do středu výkovku, vnější přechody na hranách směřujících k vnějšímu okraji výkovku. Malá zaoblení ztěžují tok materiálu, zvyšují opotřebení hran zápustky a mohou způsobit vady na výkovku.

Blána je technologický přídavek, který se používá u výkovků, kde je možno předkovat otvory s následným děrováním nebo obráběním. Umístění blány je obvykle uprostřed výšky otvoru a co nejnižší v zápustce, kvůli příznivějšímu toku materiálu a vyplňování dutiny. Obvykle se umisťuje pod úroveň dělicí roviny. Tloušťka blány závisí na jejím průměru měřeném bez zaoblení. Velikosti a způsoby použití technologických přípravků stanovuje norma ČSN 42 9030.

2.6 Konstrukce zápustek [3], [4], [6], [8], [19], [26]

Výchozími podklady pro návrh nástroje jsou výkres výkovku, materiál a přesnost výkovku, zvolený kovací stroj a počet tvářecích operací. Při volbě materiálu pro konstrukci zápustek je nutno postupovat s ohledem na velikost výrobní série, druh výkovku a druh kovacího stroje. Použité oceli musí mít dostatečně vysokou mez kluzu za zvýšených teplot, aby nedošlo k plastickým deformacím nástroje. Dále je nutno zohlednit rozměrové změny po tepelném zpracování a za provozu, odolnost proti tepelné únavě, odolnost proti popouštění během provozu, odolnost proti opotřebení za zvýšených teplot. Vliv mají také tvářecí teploty, množství okujů na polotovaru a předehřívací teplota.

Ocel pro zápustky na buchary musí mít větší houževnatost, kvůli vystavení rázům. Obvykle je houževnatost oceli 30 až 40 J·cm⁻² a pevnost 1200 až 1400 MPa. Odolnost proti popouštění může být nižší, protože výkovek je ve styku se zápustkou kratší dobu než na lisu. Pro zápustky na kovací lisy může být houževnatost 10 až 20 J·cm⁻². Je zde však vyšší tepelné namáhání a vyžadována větší odolnost proti otěru, proto se používají oceli s vyšším obsahem legovacích prvků. Pevnost oceli na zápustky pro lisy za normální teploty je obvykle 1400 až 1600 MPa, u malých trnů a stříhacích nástrojů až 1800 MPa.

♦ Rozměry a povrch zápustek

Rozměry dutiny zápustky jsou zvětšeny o hodnotu smrštění ohřátého výkovku. Smrštění se bere v úvahu zpravidla u rozměrů větších než 10 mm a neuvažuje se u přechodů a zaoblení hran. Velikost smrštění závisí na tvaru výkovku, druhu materiálu a kovací teplotě, pohybuje se od 1 do 3 %.

Při nízké drsnosti dutiny zápustky je možno dosáhnout snížení vlivu tepelné únavy a zvýšení životnosti zápustky. Zmenšením drsnosti dutiny se také zlepšuje zatékání kovu a omezuje vznik vad při kování. Pro zápustky na buchary i lisy jsou předepisovány shodné drsnosti. Drsnost Ra [μm] se obvykle pohybuje pro dutiny předkovací 3,2 ÷ 1,6, dutiny dokončovací a můstky 3,2 ÷ 0,8, dosedací a upínací plochy 3,2, vedení zápustek 1,6, zásobník a ostatní vnější plochy 12,5 nebo více.

Vnější rozměry zápustek jsou dány použitým kovacím strojem. Závisí na rozměrech výkovku, nutné vzdálenosti mezi dutinami, počtu renovací a upínacích možnostech stroje. Zápustky pro buchary se vyrábí obvykle z celistvých bloků oceli. Parametry a vztahy mezi rozměry zápustky jsou dány normou ČSN 22 8308. Pro kovací lisy se rozměry zápustek řídí normou ČSN 22 8306. V těchto normách jsou uvedeny také rozměry výronkových drážek.

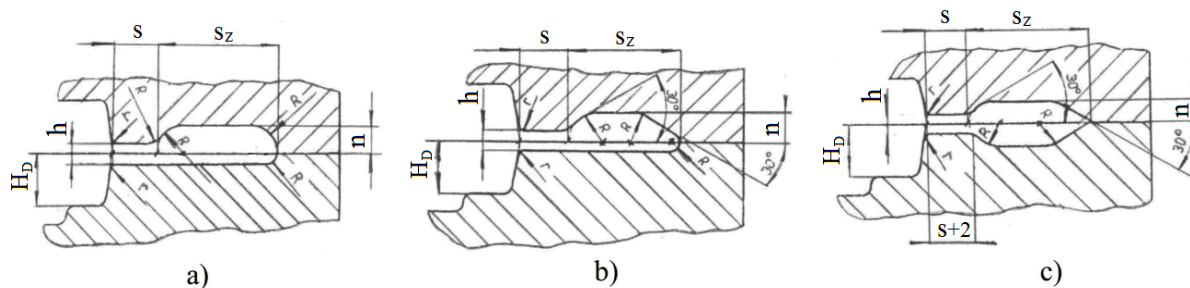
♦ Výronková drážka

Výronková drážka se nachází kolem celého obrysu výkovku v dělicí rovině mezi horním a spodním dílem zápustky. Je tvořena zásobníkem na přebytečný materiál a můstkem, který reguluje tok materiálu uvnitř dutiny. U tvarově složitějších výkovků klade můstek odpor proti vytékání materiálu, aby bylo zajištěno dokonalé vyplnění dutiny. Odpor lze regulovat změnou šířky můstku s nebo výšky můstku h . Tvar a rozměry výronkové drážky závisí na kovacím stroji a na hmotnosti, tvaru, materiálu a rozměrech výkovku.

Pro buchary se používá uzavřená výronková drážka. Základní typy drážek jsou uvedeny na obr. 14. Výška můstku pro bucharové zápustky je dána vztahem:

$$h = (0,012 \div 0,015) \cdot \sqrt{S_D} \quad (2.4)$$

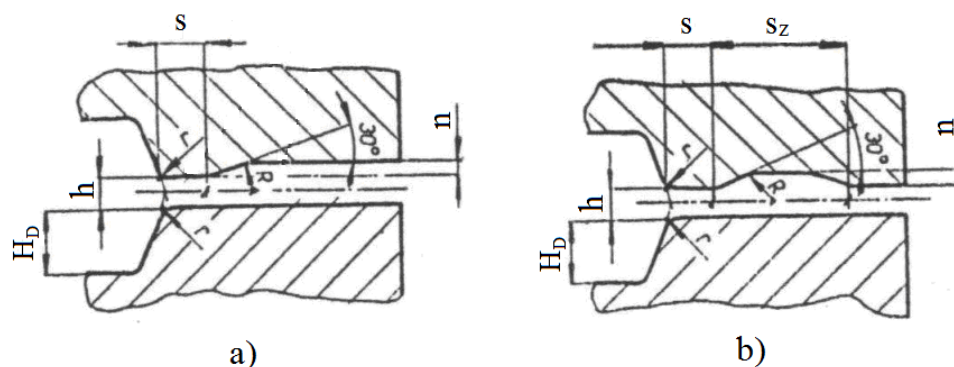
kde h je výška můstku [mm]
 S_D je půdorysná plocha výkovku [mm²]
koeficient 0,012 se volí pro velké výkovky, 0,0015 pro malé výkovky



a), b) – obvyklé typy se zásobníkem v horní části zápustky, c) – typ drážky pro složité výkovky se zásobníkem v obou dílech zápustky

Obr. 14 Typy výronkových drážek pro zápustky bucharů dle ČSN 22 8308 [6]

Při kování na klikových lisech je tvar výronkových drážek odlišný. Výronková drážka je otevřená (obr. 15), protože při sevření lisu se horní a dolní polovina zápustky nesmějí dotknout. Mezera, která mezi nimi zůstane, odpovídá výšce můstku. Určí se, stejně jako pro zápustky na buchary, z půdorysné plochy výkovku podle vztahu (2.4).



a) – obvyklý typ, b) – typ drážky při velké vzdálenosti dutiny od okraje zápustky

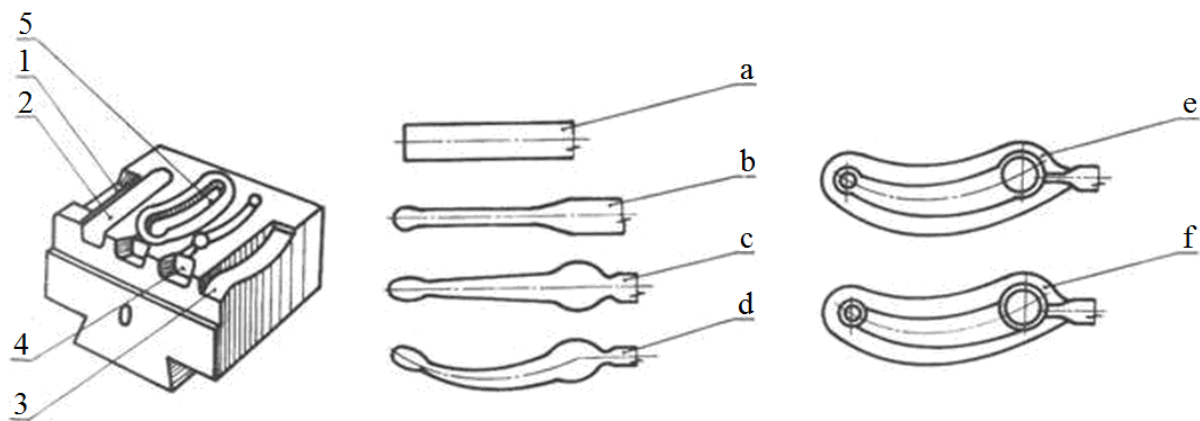
Obr. 15 Typy výronkových drážek pro kovací lisy dle ČSN 22 8306 [6]

♦ Předkovací dutina

Předkování je potřeba uvažovat u složitějších výkovků, aby bylo zajištěno správné vyplnění dokončovacích dutin bez vzniku vad. Dalšími důvody pro zařazení předkovací dutiny mohou být snížení spotřeby materiálu, snížení opotřebení dokončovacích dutin, usměrnění toku materiálu a odstranění okujů z ohřátého polotovaru.

Předkovací dutina má objem dokončovacích dutin zvětšený o 3 až 4 % k zabezpečení dokonalého vyplnění dokončovacích dutin. Plocha řezu napříč předkovkem musí být stejná jako plocha řezu napříč výkovkem ve stejném místě, zvětšená o přebytek materiálu, který přejde do výronku. Zaoblení hran a přechody jsou větší než u hotového výkovku.

Předkovací dutiny jsou rozmístěny okolo dokončovacích dutin, která je nejvíce zatížena a umístěna uprostřed zápustky (obr. 16). Předkovací dutiny mohou být zužovací, prodlužovací, tvarovací, ohýbací, rozdělovací nebo oddělovací. Předkovací dutiny umístěné v jedné zápustce spolu s dokončovací dutinou je možné použít pouze u bucharů.

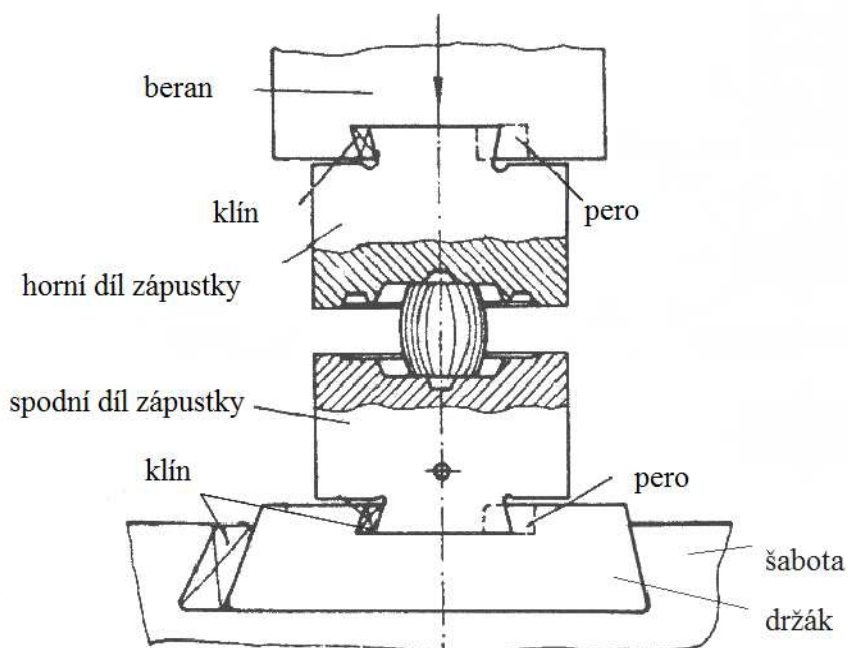


Dutiny: 1 - prodlužovací, 2 – rozdělovací, 3 – předkovací, 4 – kovací, 5 – dokončovací
a -> f – postupná změna tvaru výkovku

Obr. 16 Příklad postupové zápustky pro buchar [4], [13]

♦ Upínání a vedení zápustek

Plochy pro upínání bucharových zápustek mají tvar rybiny a vkládají se do rybinové drážky v nástavci šaboty a v beranu bucharu (obr. 17). V příčném směru se zápustky upínají pomocí klínu o úkosu 1:100, který má úhel bočních stěn přibližně o 2° rozdílný, než úhel stěny rybiny zápustky, aby nedošlo k jeho uvolnění během kování. V podélném směru jsou zápustky zajištěny perem, které je umístěno v bočních stěnách rybiny nebo v základových plochách.



Obr. 17 Upínání zápustek pro buchary [13]

Zápustky pro kovací lisy se upínají do držáků, které jsou připevněny na stole a na beranu lisu. Zápustky bývají obvykle obdélníkového nebo kruhového tvaru. Pro každou operaci je samostatná zápustka – vložka. Rozměr zápustkových vložek závisí na sevření lisu. Spodní i horní část držáku zápustkových vložek je uchycena pomocí upínek a šroubů ke stolu a k beranu lisu.

Zápustkové vedení se používá pro zamezení vzájemnému posunutí horního a spodního dílu zápustky. K tomuto nejčastěji dochází u protiběžných bucharů. Používá se několik typů vedení, podle tvaru se dělí na kruhové, podélné, příčné a křížové. Ve všech případech je na horní části zápustky zhotovena vnější tvarová část vedení a na spodním díle zápustky vnitřní část vedení. Nejčastějším typem vedení na bucharech jsou vodící kolíky. Používají se zpravidla 2 nebo 4 kolíky, které jsou zalisované do spodní části zápustky. V horní části zápustky jsou umístěna vodící pouzdra, která lze po opotřebení vyměnit. Pro zachycení bočních sil u výkovků s lomenou dělicí rovinou se používají tzv. zámky.

♦ **Předeřev a mazání zápustek**

Významem předeřevu zápustek je zpomalení ochlazování výkovku a omezení nárůstu deformačního odporu. Předeřev zápustek je důležitý zejména pro oceli s nízkou houževnatostí. V závislosti na chemickém složení a tvaru dutiny se zápustky předeřívají na 200 až 300 °C. Při těchto teplotách je dosaženo maxima houževnatosti nástrojových ocelí, proto není výhodné předeřívat na vyšší teploty. Kovací dutiny se při práci zahřívají na teploty přes 550 °C. Předeřevem je tedy také snižován teplotní gradient mezi povrchem dutiny a vnitřkem zápustky, čímž dochází ke snižování tepelného pnutí. Zápustky se předeřívají zejména pomocí plynových hořáků.

Mazáním zápustek se na povrchu pracovní dutiny vytváří izolační vrstva, která zlepšuje zatékání materiálu, usnadňuje vyjímání výkovků a zpomaluje přestup tepla do zápustky. Použité mazivo se volí s ohledem na stupeň legování nástrojové oceli. Pokud je ocel citlivá na změny teplot, není vhodné používat vodní emulze. Také stlačený vzduch pro čištění musí být vysušován, aby neobsahoval vodní páru. Nevhodně zvolené mazivo může usnadnit vznik trhlin v zápustce. Maziva lze rozdělit do několika skupin. *Disperze tuhých maziv v kapalině* může být rozprašována do dutin zápustky a po odpaření kapaliny (voda nebo olej) zůstane v zápustce tenká vrstva tuhého maziva, např. grafitu. *Solné roztoky* zanechávají v dutině izolační vrstvu solných krystalů, které zamezí přilnutí výkovku k nástroji. Nevýhodou však je znečišťování stroje zbytky solí, které mohou způsobit korozi. Výhodou *kapalných maziv* je snadné vyjímání výkovku z dutiny. Při použití *mazacích tuků* je nutno zamezit zanechávání tuhých zbytků maziva v dutině.

♦ **Renovace zápustek**

Po opotřebení dutiny zápustky, kdy deformace dosáhne předepsaných tolerancí výkovku, je nutno zápustku renovovat. Při úplném obnovení se do dutiny zápustky nejprve přidá materiál navařováním a poté se frézováním a broušením celého povrchu dutiny dosáhne původního tvaru a rozměrů. Z důvodu úspory materiálu se zejména vícedutinové zápustky renovují pouze částečně, za použití zápustkových vložek. Při použití vložek může být pouze vložka zhotovena z nástrojové oceli a blok zápustky z konstrukční oceli vyšší jakosti. Vložky jsou v zápustce uloženy s přesahem H8/u7.

2.7 Kovací síla a rázová práce [4], [6], [7]

Účinkem rázu beranu bucharu nebo účinkem tlaku lisu dochází k postupnému vyplňování dutiny zápustky, v poslední fázi při dokování pak k zaplňování výronkové drážky. Kvůli nehomogennímu stavu napjatosti ve výkovku je obtížné matematicky popsat zatížení zápustky a určit jednoznačný vztah pro výpočet kovací síly. Jednotlivé metody výpočtu vychází ze zjednodušeného popisu napětí ve výkovku při dokování. Některé zjednodušující úvahy vycházejí ze zkušeností a jsou vyjádřeny empirickými vztahy. Velikost kovací síly závisí na přirozeném přetvárném odporu materiálu za kovací teploty, na hmotnosti výkovku, na jeho tvaru a rozměrech, povrchu dutiny zápustky a na rozměrech výronkové drážky.

♦ Výpočet velikosti beranu bucharu dle ČSN 22 8308

Velikost beranu bucharu je dána potřebnou přetvárnou prací při posledním úderu, kdy je přetvárný odpor materiálu největší. Dle ČSN 22 8308 platí vztahy pro přetvárnou práci pro:

kruhové výkovky:

$$A = 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot D_D) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{D_D}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot D_D^2) \cdot D_D \cdot \sigma_P \quad (2.5)$$

kde A je rázová práce bucharu [J]
 D_D je průměr výkovku (platí když $D_D \leq 60$) [cm]
 σ_P je přetvárný odpor za kovací teploty [MPa]

nekruhové výkovky:

$$A_n = A \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{L_D}{B_{Ds}}}\right) \quad (2.6)$$

kde A_n je rázová práce bucharu pro nekruhové výkovky [J]
 A je práce dle (2.5) po dosazení $D_D = D_{Dred} = 1,13 \cdot \sqrt{F_D}$ [J]
 D_{Dred} je redukovaný průměr výkovku [cm]
 F_D je plocha výkovku v dělicí rovině [cm²]
 L_D je délka výkovku [cm]
 $B_{Ds} = F_D / L_D$ je střední šířka výkovku [cm]

Hmotnost beranu se určí dle vztahu pro:

$$\text{jednočinný buchar} \quad m = A / 1,1 \quad (2.7)$$

$$\text{dvočinný buchar} \quad m = A / (1,8 \div 2,8) \quad (2.8)$$

kde m je hmotnost beranu bucharu [kg]
 A je rázová práce bucharu [J]

♦ **Výpočet kovací síly podle Storoževa**

Při výpočtu podle Storoževa se kovací síla určuje jako součet síly potřebné pro přetvoření kovu v dutině a síly potřebné pro přetvoření výronku. Výsledná kovací síla je dána vztahy pro:

kruhový výkovek:

$$F_{kov} = \sigma_p \left\{ \left(1,5 + \frac{s}{2 \cdot h} \right) \cdot S_{výř} + \left[1,25 \cdot \left(\ln \frac{d}{h} + 2 \cdot \frac{h}{d} \right) + \frac{s}{h} - 0,375 \right] \cdot S_{výkovku} \right\} \quad (2.9)$$

obdélníkový výkovek:

$$F_{kov} = \sigma_p \left\{ \left(1,5 + \frac{s}{2 \cdot h} \right) \cdot S_{výř} + \left[1,25 \cdot \left(\ln \frac{a}{h} + 2 \cdot \frac{h}{a} \right) + \frac{s}{h} - 0,25 \right] \cdot S_{výkovku} \right\} \quad (2.10)$$

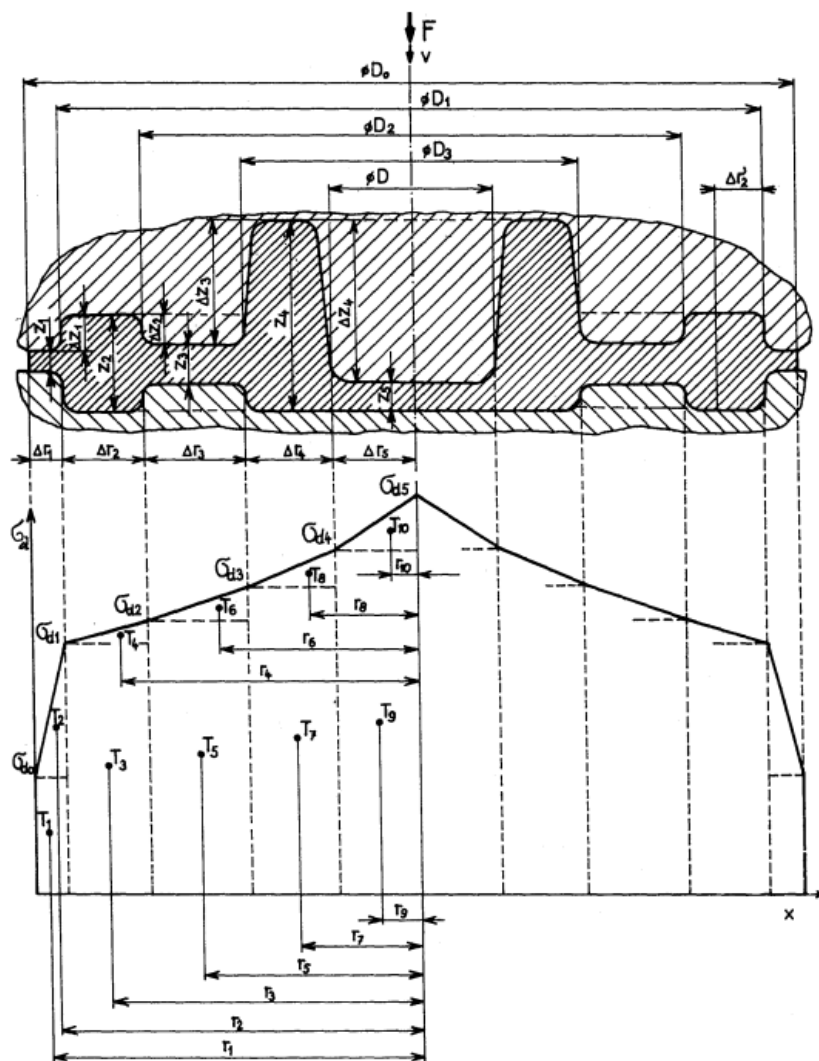
| | | |
|-----|---|--------------------|
| kde | F_{kov} je kovací síla | [N] |
| | σ_p je přetvárný odpor za kovací teploty | [MPa] |
| | s je šířka můstku výronkové drážky | [mm] |
| | h je výška můstku výronkové drážky | [mm] |
| | d je průměr výkovku | [mm] |
| | a je délka výkovku | [mm] |
| | $S_{výř}$ je plocha výronkové drážky | [mm ²] |
| | $S_{výkovku}$ je plocha výkovku | [mm ²] |

♦ **Výpočet kovací síly podle Tomlenova a ČSN 22 8306**

Největší odpor proti přetvoření je při dokování ve výronkové drážce z důvodu malé výšky a poklesu teploty. Rozložení deformačních odporů po průřezu výkovku (obr. 18) se stanoví podle přirozeného přetvárného odporu se zahrnutím vlivu poklesu teploty:

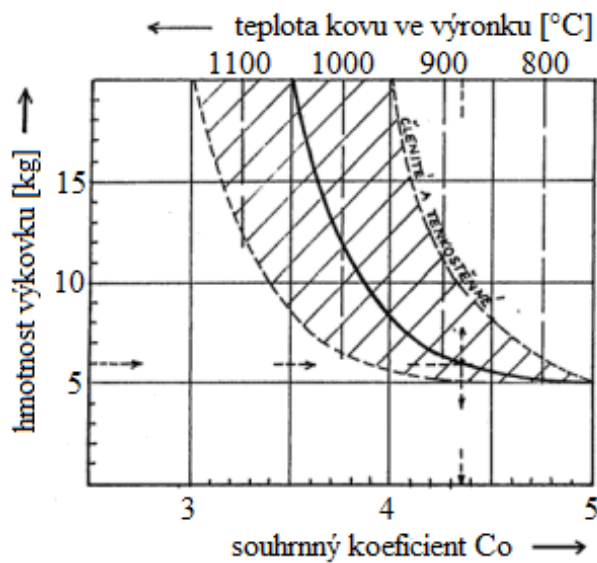
$$\begin{aligned} \sigma_{d0} &= (1 + 0,73 \cdot f) \cdot \sigma_p^* \\ \sigma_{d1} &= \sigma_{d0} + \sigma_p^* \cdot \frac{\Delta r_1}{z_1} \\ \sigma_{d2} &= \sigma_{d1} + \sigma_p^* \cdot \frac{\Delta r_2}{z_2} \\ &\vdots \\ \sigma_{dn} &= \sigma_{d(n-1)} + \sigma_p^* \cdot \frac{\Delta r_n}{z_n} \end{aligned} \quad (2.11)$$

| | | |
|-----|---|-------|
| kde | σ_{dn} je deformační odpor | [MPa] |
| | f je součinitel tření, $f = 0,35 \div 0,45$ | [-] |
| | - závisí na teplotě tváření | |
| | Δr_n je šířka průřezu o výšce z_n | [mm] |
| | z_n je výška řezu | [mm] |
| | σ_p je přirozený přetvárný odpor | [MPa] |
| | $\sigma_p^* = \sigma_p \cdot C_o$ | |
| | σ_p^* je přirozený přetvárný odpor se zahrnutím vlivu poklesu teploty ve výronku | [MPa] |
| | C_o je souhrnný koeficient | [-] |



Obr. 18 Rozložení deformačních odporů na výkovku [7]

Souhrnný koeficient C_o (obr. 19) závisí na hmotnosti výkovku a udává kolikrát je přirozený přetvárný odpor ve výronku větší než uvnitř výkovku.



Obr. 19 Diagram pro určení souhrnného koeficientu [7]

Normálová složka kovací síly, působící ve směru pohybu zápustky, je dána integrací průběhu deformačního odporu po ploše půdorysu výkovku:

$$F_N = \int_S \sigma_d \cdot ds = 2\pi \int_0^{\frac{D}{2}} \sigma_d \cdot r \cdot dr = 2\pi \sum_{j=1}^n S_j \cdot r_j \quad (2.12)$$

kde F_N je normálová složka kovací síly [N]
 D je průměr výkovku s výronkem [mm]

$$S_j = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_{j-1} + \sigma_j) \cdot \Delta r_j \quad (2.13)$$

kde S_j jsou dílčí plochy v úsecích Δr_j [mm²]

Tečná složka kovací síly překonává smyková napětí na bočních stěnách výkovku. Vliv úkosů bočních stěn se zanedbává a smyková napětí jsou uvažována až na hranici $\tau_{fmax} = 0,5 \sigma_p$. Tečná síla je dána vztahem: [4]

$$F_T = \sum_{j=1}^n \tau_{fj} \cdot \pi \cdot D_j \cdot \Delta z_j = \pi \cdot f \cdot \sigma_p \cdot \sum_{j=1}^n D_j \cdot \Delta z_j \quad (2.14)$$

kde F_T je tečná složka kovací síly [N]
 τ_{fj} jsou smyková napětí [MPa]

Celková kovací síla je dána součtem obou složek:

$$F_C = F_N + F_T \quad (2.15)$$

kde F_C je celková kovací síla podle Tomlenova [N]

2.8 Ostřihování výronku [4], [15]

Při zápustkovém kování je nezbytnou dokončovací operací ostřihování výronku. Pokud je uvnitř výkovku tzv. blána, např. u předkovaných otvorů, jedná se o děrování. Pro ostřihovací operace se využívají mechanické klikové nebo hydraulické lisy. Ostřihování lze provádět za studena nebo za tepla, u výkovků s obsahem uhlíku nad 0,5 % pouze za tepla. Velké nebo složité výkovky se ostřihují za tepla, kvůli snížení ostřihovací síly a možnosti využití tepla pro rovnání výkovku.

Ostřihovací síla závisí na materiálu a střižné ploše dané obvodem výkovku a výškou můstku výronku. Jelikož razník zpravidla tlačí na výkovek a nedosedá na výronek, počítá se síla 1,7 krát větší. Kvůli bezpečnosti se výška můstku výronku uvažuje dvojnásobná. Ostřihovací síla se tedy vypočítá podle vztahu:

$$F_{sv} = 1,7 \cdot \tau_s \cdot o \cdot 2 \cdot h \quad (2.16)$$

kde F_{sv} je síla na ostřihování výronku [N]
 τ_s je střižný odpor, $\tau_s = 0,8 \cdot R_{mt}$ [MPa]
 R_{mt} je mez pevnosti při dané teplotě [MPa]
 o je obvod výkovku [mm]
 h je výška můstku výronkové drážky [mm]

Střižnice má tvar obrysu výkovku v dělicí rovině. Má skloněné stěny o 5° pro snadné propadnutí výkovku. Střižník se upravuje podle skutečných rozměrů výkovku. Vůle mezi nástroji je vždy zhotovena na střižníku a má vliv na kvalitu ostřihování.

3 NÁVRH VÝROBY POJISTKY [16], [18]

Návrh výroby pojistky (obr. 20) vychází zejména z podkladů pro stávající postup výroby, který byl popsán v kap. 1. Jsou využity zkušenosti firmy s obdobnými výkovky a návrh je optimalizován pro strojní vybavení firmy. Při výrobě se bude vycházet ze špalíků nastříhaných z ocelových tyčí. Ohřívány budou v plynové peci a kování bude probíhat na bucharu KJH 2. K ostříkování výronku se bude používat klikový lis LKO 315. Technologický postup výroby pojistky spolu s potřebnými výpočty je uveden v následujících kapitolách.



Obr. 20 Pojistka svorníku

3.1 Výpočet polotovaru [18]

Pro volbu výchozího polotovaru je nutno nejprve zjistit objem výkovku. Pomocí programu Autodesk Inventor 2010 byla zjištěna jeho hodnota $V_v = 31200 \text{ mm}^3$. Pro stanovení objemu polotovaru se k objemu výkovku přičte objem materiálových ztrát, které tvoří objem opalu a objem odpadu při ostříhování. Tyto ztráty podle zkušeností tvoří asi 18 % objemu výkovku, objem výchozího polotovaru je tedy přibližně $V_p = 36900 \text{ mm}^3$. Jako ideální polotovar je zvolen ústřížek z tyčové oceli o průměru $D_p = 30 \text{ mm}$. Délka špalíku se vypočte z objemu polotovaru podle vzorce:

$$L_p = \frac{V_p}{S_p} = \frac{4 \cdot V_p}{\pi \cdot D_p^2} \quad (3.1)$$

kde L_p je výška polotovaru [mm]
 V_p je objem polotovaru [mm]
 S_p je obsah průřezu polotovaru [mm]
 D_p je průměr polotovaru [mm]

$$L_p = \frac{4 \cdot 36900}{\pi \cdot 30^2} = 52,2 \text{ mm}$$

Vhodnost průměru polotovaru je nutno ověřit pomocí pēchovacího poměru. Délka polotovaru nesmí být větší než 2,5 násobek jeho průměru, aby bylo zamezeno nežádoucím deformacím a vybočení při pēchování. Pēchovací poměr je dán vztahem:

$$\frac{L_p}{D_p} \leq 2,5 \quad (3.2)$$

kde L_p je délka polotovaru [mm]
 D_p je průměr polotovaru [mm]

$$\frac{52,2}{30} = 1,74 < 2,5$$

Z výpočtu pēchovacího poměru vyplývá, že stanovený průměr a vypočtená délka polotovaru vyhovují.

3.2 Dělení polotovaru [5], [18]

Polotovary budou stříhány z šestimetrové tyče oceli třídy 11375 (S235JR). Po ustříhnutí a převážení prvního kusu se provádí seřízení stroje. Délku polotovaru je nutno nejprve ověřit pomocí podmínky poměru minimální délky vůči průměru polotovaru, dle vztahu (2.2):

$$\begin{aligned}L_p &\geq 0,6 \cdot D_p \\52,2 &\geq 0,6 \cdot 30 \\52,2 &\geq 18 \text{ mm}\end{aligned}$$

Potřebná střížná síla se vypočítá ze vztahu:

$$F_s = n_s \cdot \tau_s \cdot S_p \quad (3.2)$$

kde F_s je střížná síla [N]

n_s je součinitel, $n_s = (1 \div 1,3)$

τ_s je střížný odpor, $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$ (mez pevnosti) [MPa]

S_p je plocha stříhu = průřez polotovaru [mm²]

D_p je průměr polotovaru [mm]

$$F_s = n_s \cdot \tau_s \cdot \pi \cdot D_p^2 / 4 = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 380 \cdot \pi \cdot 30^2 / 4 = 279350 \text{ N} = 279,35 \text{ kN}$$

• Strojní nůžky ScPK 800.1

Vzhledem k vypočtené střížné síle a možnostem výrobního závodu jsou pro dělení polotovarů zvoleny strojní nůžky ScPK 800.1 (obr. 21) o maximální síle 8000 kN. Při stříhání za studena mohou stříhat při pevnosti materiálu do 630 MPa kruhové průřezy do 85 mm a čtvercové průřezy do 80 mm. Výkon motoru 55 kW, maximální počet zdvihů 20/min.



Obr. 21 Strojní nůžky ScPK 800.1 [5]

3.3 Ohřev [18]

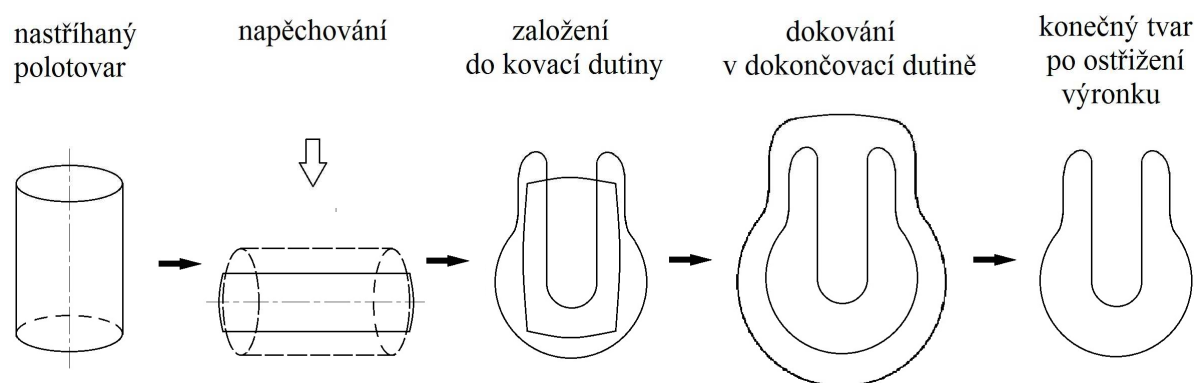
Polotovary budou ohřívány na kovací teplotu v jednokomorové průběžné plynové peci. Její maximální výkon je 1600 kg materiálu za směnu. Po odečtení ztrát zakládáním, které tvoří 10 %, je její skutečný výkon 1440 kg za směnu. Rozměry pracovního prostoru jsou 800 × 500 × 450 mm. Maximální teplota ohřevu je 1200 °C. Pro zvolený materiál a rozměry polotovaru je tato pec plně vyhovující.

3.4 Kování [6], [16], [18]

Z pece bude ohřátý materiál přemísťován pomocí kleští a manuální obsluhy na předávací stůl. Odtud jej ihned převezme další pracovník, obsluhující buchar, a bude postupovat dle technologického postupu kování.

♦ Technologický postup

Ohřátý polotovár se nejprve položí na okraj zápustky podélně a bude napěchován na výšku cca 22 mm z důvodu opadání okují po ohřevu a snadnějšího ustavení v předkovací dutině. Poté se polotovár přemístí do předkovací dutiny zápustky, kde bude umístěn podélně, tak aby jeho osa byla rovnoběžná s osou symetrie dutiny (obr. 22) a založí se mezi rysky na zápustce. Případná drobná nepřesnost při zakládání polotovaru nebude mít negativní vliv na výkovek díky dostatečné rezervě materiálu. Dvěma údery beranu bucharu dojde k předkování tvaru. Předkovek se dále ustaví do dokončovací dutiny a opět cca dvěma údery dojde k jeho dokování do konečného tvaru. Před kovááním každého kusu se dutiny očistí od okují stlačeným vzduchem a budou mazány mazací směsí oleje a grafitu. Po dokončení kování bude výkovek vyjmut z dutiny a přemístěn na pásový dopravník k ostříhovacímu lisu.



Obr. 22 Schéma postupu kování

♦ Kovací práce

Volba velikosti bucharu závisí na potřebné práci posledního úderu bucharu, kdy je přetvárný odpor tvářeného materiálu nejvyšší. Při výpočtu se vychází ze vztahu (2.5), přičemž pojistka svorníku je nekrhový výkovek, proto je nutno vypočtenou práci dále přepočítat dle vztahu (2.6).

Vstupní hodnoty: $S_D = 19,37 \text{ cm}^2$; $L_D = 6,95 \text{ cm}$ $\sigma_p = 100 \text{ MPa}$

$$D_D = D_{Dred} = 1,13 \cdot \sqrt{S_D} = 1,13 \cdot \sqrt{19,37} = 4,97 \text{ mm}$$

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

$$A = 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot 4,97) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{4,97}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot 4,97^2) \cdot 4,97 \cdot 100 = 15255 \text{ J}$$

$$B_{Ds} = \frac{F_D}{L_D} = \frac{19,37}{6,95} = 2,79 \text{ cm}$$

$$A_n = A \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{L_D}{B_{Ds}}}\right) = 15255 \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{6,95}{2,79}}\right) = 17663 \text{ J}$$

Výpočtem maximální hodnoty přetvárné práce bylo ověřeno, že pro kování pojistky svorníku bude plně dostačující použití bucharu KJH 2 ze strojního vybavení firmy.

♦ Buchar KJH 2

Pro kování pojistky je zvolen hydraulicko-pneumatický buchar KJH 2 (obr. 23). Tento stroj je svou konstrukcí určen pro přesné zápustkové kování a kalibrování malých až středně velkých výkovků. Jedná se o svislý protiběžný kovací stroj. Pohyb beranu je urychlován pomocí stlačeného vzduchu. Beran při svém pohybu vhání tlakovou kapalinu do hydraulických válců, pomocí kterých je současně nadzvedáván stojan. Touto konstrukcí se sloučí výhody protiběžného bucharu a klasického šabotového bucharu. Aby nedocházelo k rázovému účinku na základ, je vhodnou volbou průměrů hydraulických válců zajištěno, že hmotnosti proti sobě se pohybujících hmot jsou stejné. Energie odrazu stojanu po úderu je zachycena tlakovou kapalinou v hydraulickém rozvodu a přeměněna na energii tlakovou, jež je využita při následujícím zdvihu. Po úderu se automaticky uzavře hydraulický rozvaděč a tlaková kapalina zvedne beran do horní polohy čím současně stlačí vzduch ve válci nad beranem. Další pracovní zdvih se provede opětovným otevřením hydraulického rozvaděče.



Obr. 23 Hydraulicko-pneumatický buchar KJH 2 [22]

Beran bucharu s pístnicí tvoří jeden celek, který je vykován z legované oceli. Stojan bucharu je vyroben z lité oceli, stejně jako příčník se vzduchovým válcem. Jsou vzájemně spojeny pomocí klínů. Hnací agregát se umísťuje vedle stroje. Skládá se z nádrže, na které se nachází elektromotor s čerpadlem, tlakových ventilů a hydraulického rozvaděče. Součástí hydraulického rozvodu jsou pojistné prvky. Spouštění bucharu se děje pomocí nožního spínače. Mazání je prováděno tukem pomocí ručního mazacího nářadí.

Technické parametry: [16]

| | |
|---------------------------------------|------------------|
| Rázová práce jednoho úderu: | 20 kJ |
| Hmotnost beranu: | 650 kg |
| Počet úderů beranu: | (40 ÷ 120) / min |
| Největší zdvih beranu: | 400 mm |
| Zdvih (nadzvednutí) stojanu: | 25 mm |
| Upínací plocha zápustek: | 200 x 450 mm |
| Nejmenší výška zápustek: | 160 mm |
| Výkon elektromotoru čerpadla: | 22 kW |
| Provozní tlak kapaliny: | 16 MPa |
| Rozměry bucharu bez hnacího agregátu: | |
| délka: | 2200 mm |
| šířka: | 1400 mm |
| výška nad/pod podlahou: | 3000/- mm |
| Hmotnost bucharu: | 10000 kg |

3.5 Ostřihování výronku [18], [23]

K ostřihování výronku se výkovky přesunují pomocí pásového dopravníku. Ostřihování se provádí za tepla, při teplotě přibližně 800 °C. Mez pevnosti oceli 11 375 při této teplotě je asi 110 MPa. Síla na ostřihování výronku se určí dle vztahu (2.16)

$$F_{sv} = 1,7 \cdot \tau_s \cdot o \cdot 2 \cdot h = 1,7 \cdot 0,8 \cdot 110 \cdot 303 \cdot 2 \cdot 3 = 271973 \text{ N} \approx 272 \text{ kN}$$

♦ Klikový lis LKO 315

Pro vypočtenou potřebnou ostřihovací sílu byl ze strojního vybavení kovárny zvolen dvoubodový, jednočinný klikový lis LKO 315 výrobce Šmeral (obr. 24). Tento stroj je vhodný pro ostřihování zápustkových výkovků za tepla. Stojan lisu je z lité oceli s podélně uloženou klikovou hřídelí.



Technické parametry: [23]

| | |
|--------------------------|---------------|
| Jmenovitá kovací síla: | 3150 kN |
| Počet zdvihů: | 30/min |
| Zdvih: | 180 mm |
| Pracovní plocha beranu: | 1100 × 600 mm |
| Pracovní plocha stolu: | 1250 × 800 mm |
| Průchod: | 1250 mm |
| Sevření: | 530 mm |
| Výkon hlavního motoru: | 22 kW |
| Délka stroje: | 2400 mm |
| Šířka stroje: | 1700 mm |
| Výška stroje: | 4535 mm |
| Celková hmotnost stroje: | 17000 kg |

Obr. 24 Klikový lis LKO 315 [23]

3.6 Dokončovací operace

Výkovek se dále tepelně nezpracovává. Po vychladnutí budou výkovky předány k otryskání na tryskací stroj pásový B10x12,5R. Maximální vsázka tohoto stroje je 1000 kg, maximální délka kusu 800 mm a hmotnost 30 kg. Pro výkovek pojistky svorníku, je tedy naprosto dostačující. Po otryskání budou výkovky uloženy do beden a připraveny k převozu na obrobnu k třískovému obrábění.

3.7 Konstrukční návrh kovací zápustky [3], [8], [12], [18]

Návrh kovacího nástroje vychází z rozměrů výkovku, u kterých je nutno zohlednit vliv smrštění materiálu po vychladnutí. Dále je nutno navrhnout tvar a rozměry výronkové drážky, určit vnější rozměry zápustky, upínání zápustky a stanovit materiál, ze kterého bude vyrobena.

♦ Materiál zápustky

Zápustka pro kování pojistky svorníku bude zhotovena z nízkolegované ušlechtilé nikel-chrom-molybden-vanadové oceli 1.2714 (55NiCrMoV7, 19663). Ocel je kalena v proudu vzduchu nebo v oleji, s velkou prokalitelností. Vykazuje velkou tvrdost po kalení, vysokou houževnatost, dobrou odolnost proti popouštění a dobrou pevnost za tepla. Je odolná proti prudkým tepelným změnám a tepelné únavě, dobře tvárná za tepla a dobře obrobitelná ve stavu žíhaném na měkko. Používá se pro výrobu nástrojů pro tváření za tepla jako jsou zápustky všech velikostí pro buchary a kovací lis. Kalení na vzduchu probíhá z teploty 860 až 900 °C, v oleji z teploty 830 až 870°C. Ocel 19663 má při pevnosti 1200 MPa vrubovou houževnatost asi 40 J·cm⁻². Její chemické složení je uvedeno v tabulce č.1.

Tab. 1 Chemické složení oceli 19663 [8], [12]

| Chemické složení [%] | | | | | | | | | Tvrdost | |
|----------------------|-------------|-------------|--------|--------|-------------|-------------|------------|-------------|-----------------|-----------|
| | | | | | | | | | Žíháno na měkko | Zušlecht. |
| C | Mn | Si | P max. | S max. | Cr | Ni | Mo | V | HB max. | HRC min. |
| 0,50 - 0,60 | 0,50 - 0,90 | 0,30 - 0,60 | 0,03 | 0,03 | 0,90 - 1,30 | 1,50 - 1,90 | 0,30- 0,50 | 0,10 - 0,25 | 255 | 52 |

♦ Vnější rozměry a upínání zápustky

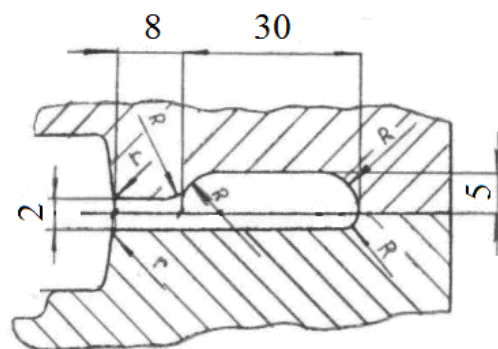
Vnější rozměry zápustky jsou voleny shodně se standardními rozměry zápustek pro buchary KJH 2 používaných kovárnou MSV Metal Studénka, a.s. dle interní výkresové dokumentace č. NK 62/2. Zápustky se upínají pomocí per a klínů, jejich rozměry jsou uvedeny v dokumentech NK 62/4 a NK 62/3a. Vnější rozměry zápustky tedy nejsou předmětem návrhu nástroje.

♦ Tvar a rozměry výronkové drážky

Vzhledem ke kovacímu stroji a rozměrům výkovku byl zvolen klasický zaoblený tvar výronkové drážky (obr. 25) dle normy ČSN 22 8308. Minimální výška můstku se vypočítá dle vztahu (2.4):

$$h = 0,015 \cdot \sqrt{S_D} = 0,015 \cdot \sqrt{1937} = 0,66 \text{ mm}$$

Skutečná výška můstku je podle zkušeností a vyrobitelnosti stanovena na 2 mm. Šířka můstku je 8 mm a šířka zásobníku 30 mm. Ostatní rozměry výronkové drážky spolu se všemi rozměry zápustky jsou uvedeny na výkrese zápustky viz Příloha 2.



Obr. 25 Výronková drážka

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VÝROBY [18]

Výrobní náklady je možno rozdělit na přímé a nepřímé. Přímé náklady jsou závislé na velikosti výrobní série a materiálu vyráběné součásti. Nepřímé náklady jsou tzv. fixní a nezávisí na výrobku. Patří zde ceny energií, ceny nástrojů, mzdy pracovníků a výrobní režie. Tyto náklady nelze určit bez dalších podkladů, z toho důvodu jsou dále zpracovány pouze náklady týkající se spotřeby materiálu a výrobních časů. Ceny jsou udávány bez DPH.

♦ Vstupní hodnoty

- hmotnost výkovku $m_{\text{výkovek}} = 0,25$ kg, hmotnost polotovaru $m_{\text{pol}} = 0,29$ kg
- cena oceli 11375: 16,50 Kč/kg
- výkupní cena oceli: 3 Kč/kg
- výrobní série: $vs = 2700$ ks/rok

♦ Spotřeba materiálu na výkovek

- hmotnost tyče na polotovary

$$m_{\text{tyč}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{tyč}}^2}{4} \cdot l_{\text{tyč}} \cdot \rho \quad (4.1)$$

kde $m_{\text{tyč}}$ je hmotnost tyče [kg]
 $d_{\text{tyč}}$ je průměr tyče [m]
 $l_{\text{tyč}}$ je délka tyče [m]
 ρ je hustota materiálu tyče [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

$$m_{\text{tyč}} = \frac{\pi \cdot 0,03^2}{4} \cdot 6 \cdot 7850 = 33,29 \text{ kg}$$

- počet polotovarů z jedné tyče

$$n_{\text{pol}} = \frac{l_{\text{tyč}}}{l_{\text{pol}}} \quad (4.2)$$

kde n_{pol} je počet polotovarů [ks]
 $l_{\text{tyč}}$ je délka tyče [mm]
 l_{pol} je délka polotovaru [mm]

$$n_{\text{pol}} = \frac{6000}{52,2} = 114,94 \text{ ks} \Rightarrow 114 \text{ ks}$$

- délka nevyužitého konce tyče

$$l_k = l_{\text{tyč}} - n_{\text{pol}} \cdot l_{\text{pol}} \quad (4.3)$$

kde l_k je délka nevyužitého konce tyče [mm]
 $l_{\text{tyč}}$ je délka tyče [mm]
 n_{pol} je počet polotovarů [ks]
 l_{pol} je délka polotovaru [mm]

$$l_k = 6000 - 114 \cdot 52,2 = 49,2 \text{ mm}$$

- ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče na jeden výkovek

$$m_k = \frac{\pi \cdot d_{tyč}^2 \cdot l_k}{4 \cdot n_{pol}} \cdot \rho \cdot 10^{-6} \quad (4.4)$$

kde m_k je ztráta z nevyužitého konce tyče [kg]
 $d_{tyč}$ je průměr tyče [mm]
 l_k je délka nevyužitého konce tyče [mm]
 n_{pol} je počet polotovarů [ks]
 ρ je hustota materiálu tyče [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]

$$m_k = \frac{\pi \cdot 30^2 \cdot 52,2}{4 \cdot 114} \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 0,002 \text{ kg}$$

- Cena materiálu na jeden výkovek

$$c_{mat} = \frac{m_{tyč} \cdot 16,50}{n_{pol}} \quad (4.5)$$

kde c_{mat} je cena materiálu na výkovek [Kč]
 $m_{tyč}$ je hmotnost tyče [kg]
 n_{pol} je počet polotovarů [ks]

$$c_{mat} = \frac{33,29 \cdot 16,50}{114} = 4,82 \text{ Kč}$$

- Hmotnost odpadu na jeden výkovek

$$m_{odpad} = m_{pol} - m_{výkovek} - m_k \quad (4.6)$$

kde m_{odpad} je hmotnost odpadu [kg]
 m_{pol} je hmotnost polotovaru [kg]
 $m_{výkovek}$ je hmotnost výkovku [kg]
 m_k je ztráta z nevyužitého konce tyče [kg]

$$m_{odpad} = 0,29 - 0,25 - 0,002 = 0,038 \text{ kg}$$

- Cena z prodeje odpadu na výkovek

$$c_{odpad} = m_{odpad} \cdot 3 \quad (4.7)$$

kde c_{odpad} je cena z prodeje odpadu [Kč]
 m_{odpad} je hmotnost odpadu [kg]

$$c_{odpad} = 0,038 \cdot 3 = 0,114 \text{ Kč}$$

- Celková cena výkovku

$$c_c = c_{mat} - c_{odpad} \quad (4.8)$$

kde c_c je celková cena výkovku [Kč]
 c_{mat} je cena za materiál [Kč]
 c_{odpad} je cena z prodeje odpadu [Kč]

$$c_c = 4,82 - 0,114 = 4,71 \text{ Kč}$$

Výsledná cena není směrodatná, neboť zahrnuje pouze spotřebu materiálu.

♦ Počet výkovek za směnu

- Čas na jeden výkovek – takt: 20 s
- Pracovní doba = 7,5 pracovních hodin za směnu => 27000 s/směna

$$n_{smena} = \frac{smena}{takt} = \frac{27000}{20} = 1350ks \quad (4.9)$$

♦ Spotřeba materiálu pro výrobní sérii 2700 ks/rok

- Potřebný počet tyčí

$$n_{tyč} = \frac{vs}{n_{pol}} \quad (4.10)$$

kde $n_{tyč}$ je potřebný počet tyčí [ks]
 vs je velikost výrobní série [ks/rok]
 n_{pol} je počet polotovarů z jedné tyče [ks]

$$n_{tyč} = \frac{2700}{114} = 23,68 \Rightarrow 24 \text{ ks}$$

Výsledek je nutno zaokrouhlit na nejbližší vyšší celé číslo, pro výrobní sérii bude tedy potřeba 24 ks šestimetrových tyčí.

- Celková cena tyčí

$$c_{Ctyč} = n_{tyč} \cdot m_{tyč} \cdot 16,50 \quad (4.11)$$

kde $c_{tyč}$ je celková cena tyčí na sérii [Kč]
 $n_{tyč}$ je potřebný počet tyčí [ks]
 $m_{tyč}$ je hmotnost jedné tyče [kg]

$$c_{Ctyč} = 24 \cdot 33,29 \cdot 16,50 = 13182,84 \text{ Kč}$$

Pro zajištění výroby je nutno postupně nakoupit 24 tyčí v celkové ceně 13183 Kč.

5 ZÁVĚRY

Pro výkovek pojistky svorníku byl navržen nový výrobní postup s ohledem na sériovost výroby, použití a požadované vlastnosti pojistky a minimalizaci výrobních nákladů. Jako ideální pro výrobu byla zvolena technologie zápustkového kování, která zajistí dodržení požadovaných mechanických vlastností pojistky při relativně nízkých výrobních nákladech a časové náročnosti.

Výchozím polotovarem byl zvolen ocelový špalík o průměru 30 mm a o vypočtené délce 52,2 mm. Polotovar je stříhán z tyče oceli 11 375 o délce 6 m na nůžkách ScPK 800.1 o jmenovité síle 8000 kN. Vypočtená střížná síla činí 279,35 kN. Dále je polotovar ohříván na teplotu 1100 °C v jednokomorové průběžné plynové peci.

Pro kování pojistky byl narozdíl od původního technologického postupu, zahrnujícího několik různých strojů, zvolen hydraulicko-pneumatický buchar KJH 2 o jmenovité hodnotě rázové práce 20 kJ. Tento kovací stroj je dostatečný vzhledem k vypočtené kovací práci 17663 J. Technologický postup kování zahrnuje nejprve pēchování kvůli opadání okujů a snadnějšímu ustavení výkovku v předkovací dutině. Po dvou úderech beranu bucharu se výkovek přemístí z předkovací do dokončovací dutiny, kde opět po dvou úderech získá konečný tvar. Součástí práce byl návrh kovací zápustky včetně vytvoření výkresové dokumentace.

Ostřihování výronku bylo navrženo na klikovém lise LKO 315 o jmenovité tvářecí síle 3150 kN. Výkovky budou ostřihovány za tepla ihned po dokončení kovacích operací. Síla na ostřihování výronku byla vypočtena na 272 kN. Dále budou výkovky přepraveny k otryskání na pásový tryskač B10x12,5R.

Z technicko-ekonomického zhodnocení vyplývá že cena materiálu na jeden výkovek činí 4,71 Kč. Pro výrobu celé série 2700 ks pojistek bude potřeba 24 ks šestimetrových tyčí v celkové ceně 13183 Kč.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ASM-Metals Handbook: *Formig and Forging*. Vol.14. USA ASM International, 2004. S.978. ISBN 0-87170-020-4
2. Citace PRO [online]. 2013 [cit. 2014-02-20]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/>
3. ČERMÁK, Jan. *Základy konstrukce zápuštěk: Podklady pro předmět projekt 2 – část kování*[online]. 2003[cit. 2014-02-04]. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/PRO2/kov_konstrukce_zapustek.pdf
4. ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: SNTL, 1992, 524 s. ISBN 80-03-00651-1
5. EMCT Machinery. *Billet Shears* [online]. [cit. 2014-03-06]. Dostupné z: <http://www.emct.lt/en/shears/billet-shears/billet-shear-jelsingrad-scpk-i-800-1/id-728>
6. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9
7. FOREJT, Milan. *Teorie tváření: Návod do cvičení* [online]. Brno, 2004[cit. 2014-02-12]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/teorie_tvareni__navody_do_cviceni__forejt.pdf
8. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli (odborná kniha)*. 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
9. HAŠEK, Vladimír. *Kování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1965.
10. HERMAN, Aleš. *Lití na vytavitelný model* [online]. [cit. 2014-01-27]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/MPL/presne%20lití%20na%20vytavitelny%20model.pdf>
11. HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. *Metal Forming: Mechanics and Metalurgy*. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
12. JKZ Bučovice a. s. *Nástrojová ocel 19663* [online]. 2010[cit. 2014-02-13]. Dostupné z: <http://jkz.cz/produkty/nastrojova-ocel-12714>
13. LENFELD, Petr. *Technologie objemového tváření - Kování* [online]. Liberec, [cit. 2014-01-27]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm
14. LENFELD, Petr. *Technologie tváření kovů* [online]. Liberec, [cit. 2014-01-28]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
15. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření II*. 1.vyd. UO Brno. 2008. 106 s. ISBN 978-80-7231-580-2
16. MAŇAS, Stanislav. *Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje* [online]. Praha, 2007[cit. 2014-1-25]. Dostupné z: http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12135-VSZ/download/obor_stud/VSZ_-_2351054/VSZ_-_Tvareci_stroje.pdf
17. MERKUR robot. *Lis vřetenový dvoukotoučový Lvr400a3* [online]. [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: http://merkurrobot.cz/?attachment_id=1372
18. MSV Metal Studénka, a.s. [online]. [cit. 2014-02-09]. Dostupné z: <http://msvmetal.eu/>
19. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-04016.
20. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje* [online]. 2002[cit. 2014-02-02]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/vyrobní_stroje_a_zarizení__novotny.pdf

21. OSTROJ a.s. *Kování zápusťkových výkovků* [online]. [cit. 2014-02-21]. Dostupné z: <http://www.ostroj.cz/kovani-zapustkovych-vykovku>
22. PRATO, spol. s r.o. *Aktuální nabídka: Šmeral KJH GO* [online]. 2010 [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: <http://www.prato.cz/cgi-bin/602cgi8/is-prato/web/nabs.htw?lang=0&mn=3&pmn=0&str=8>
23. PRATO, spol. s r.o. *Aktuální nabídka: Šmeral LKO 315 Pr* [online]. 2010 [cit. 2014-02-09]. Dostupné z: <http://www.prato.cz/cgi-bin/602cgi8/is-prato/web/nabs.htw?lang=0&mn=3%20&pmn=0&str=3>
24. PRUMYSL.CZ. *Český informační portál* [online]. [cit. 2014-02-24]. Dostupné z: <http://www.prumysl.cz/seco-rozsiruje-produktovou-radu-frez-pro-frezovani-do-rohu-turbo-10/>
25. SPO ZLÍN. *Výroba přesných odlitek* [online]. [cit. 2014-02-24]. Dostupné z: <http://www.spo-zlin.cz/cs/odlitky/>
26. ŠPINLEROVÁ, Marie. *Technologie: Obor Nástrojař* [online]. 2007 [cit. 2014-02-10]. Dostupné z: <http://sst.opava.cz/technologie/technologie.pdf>
27. ZÍTKO, Martin. *Vagóny - technická řešení: Uložení vozové skříň na podvozku* [online]. 2013 [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: <http://www.vagony.cz/pojezdy/torny/kulova.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Označení | Legenda | Jednotka |
|----------------------|--|----------|
| A | rázová práce bucharu | [J] |
| a | délka výkovku | [mm] |
| A ₁ | eutektoidní teplota | [°C] |
| A ₃ | teplota překrystalizace tuhého roztoku austenitu | [°C] |
| A _n | rázová práce bucharu pro nekruhové výkovky | [J] |
| B _{Ds} | střední šířka výkovku | [cm] |
| c _c | celková cena výkovku | [Kč] |
| c _{mat} | cena materiálu na výkovek | [Kč] |
| C _o | souhrnný koeficient | [-] |
| c _{odpad} | cena z prodeje odpadu vztažená na výkovek | [Kč] |
| c _{tyč} | celková cena tyčí na sérii | [Kč] |
| D | průměr výkovku s výronkem | [mm] |
| d | průměr výkovku | [mm] |
| D _D | průměr výkovku (platí když $D_D \leq 60$) | [cm] |
| D _{Dred} | redukovaný průměr výkovku | [cm] |
| D _p | průměr polotovaru | [mm] |
| d _{tyč} | průměr tyče | [m] |
| f | součinitel tření | [-] |
| F _C | celková kovací síla podle Tomlenova | [N] |
| F _{kov} | kovací síla | [N] |
| F _N | normálová složka kovací síly | [N] |
| F _s | střížná síla | [N] |
| F _{sv} | síla na ostřížení výronku | [N] |
| F _T | tečná složka kovací síly | [N] |
| G | hmotnost beranu bucharu | [kg] |
| h | výška můstku výronkové drážky | [mm] |
| H | výška pádu beranu | [m] |
| H _D | výška dutiny | [mm] |
| L _D | délka výkovku | [cm] |
| l _k | délka nevyužitého konce tyče | [mm] |
| L _p | délka polotovaru = l _{pol} | [mm] |
| l _{tyč} | délka tyče | [m] |
| m | hmotnost beranu bucharu | [kg] |
| m _k | ztráta z nevyužitého konce tyče | [kg] |
| m _{odpad} | hmotnost odpadového materiálu | [kg] |
| m _{pol} | hmotnost polotovaru | [kg] |
| m _{tyč} | hmotnost tyče | [kg] |
| m _{výkovek} | hmotnost výkovku | [kg] |
| n | výška zásobníku výronkové drážky | [mm] |
| n _{pol} | počet kusů polotovaru z jedné tyče | [ks] |
| n _s | koeficient zahrnující vliv vnějších podmínek | [-] |
| n _{směna} | počet výkovků za směnu | [ks] |
| n _{tyč} | potřebný počet tyčí | [ks] |
| o | obvod výkovku | [mm] |
| r | vnitřní poloměr dutiny | [mm] |
| R | vnější poloměr dutiny | [mm] |

| | | |
|----------------------|---|----------------------------|
| R_a | průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu | [μm] |
| R_m | mez pevnosti v tahu stříhaného materiálu | [MPa] |
| R_{mt} | mez pevnosti v tahu stříhaného materiálu při dané teplotě | [MPa] |
| s | šířka můstku výronkové drážky | [mm] |
| S_D | plocha výkovku v dělicí rovině | [cm^2] |
| S_j | dílčí plochy v úsecích Δr_j | [mm^2] |
| S_p | obsah průřezu polotovaru | [mm^2] |
| $S_{\text{výkovku}}$ | plocha průmětu výkovku bez výronku do dělicí roviny | [mm^2] |
| $S_{\text{výř}}$ | plocha výronkové drážky | [mm^2] |
| s_z | šířka zásobníku výronkové drážky | [mm] |
| T_{REK} | teplota rekrytalizace | [K] |
| T_{TAV} | teplota tavení | [K] |
| V_p | objem výchozího polotovaru | [mm^3] |
| v_s | velikost výrobní série | [ks/rok] |
| V_v | objem výkovku | [mm^3] |
| z_n | výška řezu | [mm] |
| α | úkos vnější stěny dutiny při kování na bucharu | [$^\circ$] |
| β | úkos vnitřní stěny dutiny při kování na bucharu | [$^\circ$] |
| Δr_n | šířka průřezu o výšce z_n | [mm] |
| Δr_j | dílčí úseky tvaru výkovku | [mm] |
| η_0 | účinnost bucharu | [-] |
| ρ | hustota materiálu | [kg/m^3] |
| σ_{dn} | deformační odpor | [MPa] |
| σ_p | přetvárný odpor materiálu | [MPa] |
| σ_{p^*} | přirozený přetvárný odpor s vlivem poklesu teploty | [MPa] |
| τ_{fj} | smyková napětí | [MPa] |
| τ_{max} | maximální skluzové napětí | [MPa] |
| τ_s | je střížný odpor | [MPa] |

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1 Výkres výkovku
Název: POJISTKA SVORNÍKU
Číslo výkresu: 2014_BP_145365_01
- Příloha č. 2 Výkres zápustky
Název: POJISTKA SVORNÍKU
Číslo výkresu: 2014_BP_145365_02

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obr. 1 Příklady výkovků | 9 |
| Obr. 2 Pojistka svorníku | 10 |
| Obr. 3 Kulová torna | 10 |
| Obr. 4 Třískové obrábění..... | 11 |
| Obr. 5 Přesné odlitky | 11 |
| Obr. 6 Zápustkové výkovky | 11 |
| Obr. 7 Pružná a plastická deformace skluzem..... | 12 |
| Obr. 8 Deformace dvojčatěním | 12 |
| Obr. 9 Vliv teploty na přetvárný odpor | 13 |
| Obr. 10 Pásma kovacíh teplot v diagramu Fe-Fe ₃ C..... | 13 |
| Obr. 11 Kovací režim v závislosti na velikosti zrna a kovací teplotě | 14 |
| Obr. 12 Válcový induktor..... | 16 |
| Obr. 13 Vřetenový lis Lvr400a3..... | 17 |
| Obr. 14 Typy výronkových drážek pro zápustky bucharů dle ČSN 22 8308..... | 20 |
| Obr. 15 Typy výronkových drážek pro kovací lisy dle ČSN 22 8306 | 20 |
| Obr. 16 Příklad postupové zápustky pro buchar | 21 |
| Obr. 17 Upínání zápustek pro buchary | 21 |
| Obr. 18 Rozložení deformačních odporů na výkovku..... | 25 |
| Obr. 19 Diagram pro určení souhrnného koeficientu | 25 |
| Obr. 20 Pojistka svorníku | 27 |
| Obr. 21 Strojní nůžky ScPK 800.1 | 28 |
| Obr. 22 Schéma postupu kování..... | 29 |
| Obr. 23 Hydraulicko-pneumatický buchar KJH 2..... | 30 |
| Obr. 24 Klikový lis LKO 315 | 31 |
| Obr. 25 Výronková drážka | 32 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tab. 1 Chemické složení oceli 19663 | 32 |
|---|----|