



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

KOVÁNÍ PODLOUHLÝCH VÝKOVKŮ

FORGING OBLONG FORGINGS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Chudý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Jan Chudý
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.
Akademický rok:	2019/20

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 podlouhlých výkovků

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Specifikum kování výkovků podlouhlých tvarů spočívá v nutnosti přerozdělení materiálu polotovaru podél jeho podélné osy. Páka řízení předních kol zemědělského stroje, je tvořena dvěma oky, která jsou spojena dříkem. S ohledem na funkci součásti je možné značnou část jejího povrchu zhotovit na hotovo již při přípravě polotovaru před jeho obráběním. Účelem práce je navrhnout a zpracovat postup výroby řešené součásti.

Cíle bakalářské práce:

- Provést návrh a analýzu možných způsobů výroby se zhodnocením jejich vhodnosti.
- Vybrat optimální technologii výroby, pro vybraný výrobní postup zpracovat literární studii.
- Sestavit technologický postup výroby doložený nezbytnými technologickými výpočty.
- Zpracovat výkresovou dokumentaci nástrojů.
- Zpracovat technicko–ekonomické zhodnocení navrženého řešení.

Seznam doporučené literatury:

HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. 2007: Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

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

ASM-Metals Handbook: Formig and Forging. 2004: Vol.14. USA ASM International. S.978. ISBN 0-87170-020-4.

LIDMILA, Zdeněk. 2008: Teorie a technologie tváření II. Brno: Univerzita obrany, 2008. 106 s. ISBN 978-80-7213-580-2.

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

CHUDÝ Jan: Kování podlouhlých výkovků.

Tato bakalářská práce je zaměřena na návrh technologického postupu výroby páky řízení předních kol zemědělského stroje. Materiálem součásti je nelegovaná ocel 12 060. Součástí práce je literární studie zaměřená na kování. Na základě této studie je navržen výkovek zadané součásti, který bude zpracován zápusťkovým kovááním na bucharu KHZ 4A. Po vykování je potřeba odstranit přebytečný materiál ve formě výronku a blány v otvoru pomocí ostřihovacího lisu LKOA 200. Zápusťka je zhotovena z legované nástrojové oceli 19 662. Součástí práce je výkresová dokumentace a technicko-ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova: ocel 12 060, zápusťkové kování, výkovek, výronek, buchar

ABSTRACT

CHUDÝ Jan: Forging oblong forgings.

This bachelor's thesis is focused on design of technological production procedure of front wheel-drive arm of agricultural machine. Material for construction of this part is unalloyed steel 12 060. Part of this thesis is literall study focused on forging. On basis of this study is designed required forged piece, which will be processed by swaging on hammer KHZ 4A. After swaging is needed removal of excess material in form of burr and stencil with trim pressing machine LKOA 200. Swadge is made of alloyed tool steel 19 662. Part of thesis is mechanical drawing documentation and technical-economical assessment.

Keywords: 12 060 steel, swaging, forged piece, burr, hammer

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CHUDÝ, Jan. *Kování podlouhlých výkovků*. Brno, 2020. (40s, 3 výkresy, 8 příloh.) Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V dne 26.6.2020

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Zdeňku Lidmilovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za finanční a psychickou podporu v době studia.

OBSAH

ZADÁNÍ

ABSTRAKT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

ÚVOD	10
1 ROZBOR ZADÁNÍ	11
1.1 Výrobní možnosti zadaného výrobku.....	11
2 TECHNOLOGIE KOVÁNÍ	13
2.1 Tvařitelnost kovů.....	13
2.1.1 Krystalická stavba kovů	13
2.1.2 Plastická deformace	14
2.3 Příprava materiálu pro kování a jeho dělení.....	15
2.3.1 Dělení materiálu	15
2.4 Ohřev ocelí na kovací teplotu a ohřívací zařízení	16
2.5 Kovací stroje.....	18
2.5.1 Kovací síla.....	18
2.5.2 Kovací práce.....	20
2.5.3 Lisy	20
2.5.4 Buchary.....	21
2.6 Zásady konstrukce výkovku	22
2.6.1 Základní konstrukční parametry.....	23
2.7 Konstrukce zápustky	24
2.8 Operace doprovázející kování v zápustkách	26
2.8.1 Předkování.....	26
2.8.2 Ostřížení výronku.....	27
2.8.3 Kalibrace výkovku	27
2.8.4 Tepelné zpracování výkovku po kování.....	27
3 TECHNOLOGICKÝ POSTUP S VÝPOČTY	29
3.1 Návrh výkovku	29
3.2 Návrh výronkové drážky	30
3.3 Návrh polotovaru.....	31
3.4 Výběr strojů pro výrobu zadané součásti	34
3.5 Návrh zápustky.....	36
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	37
5 ZÁVĚR	40

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD [1], [2], [3], [4]

Velká část věcí v lidském světě je vytvořena nějakou technologií. Každá má svou teorii, daný postup a předem známý cíl. V dnešní době můžeme pokládat strojírenství za elitu mezi obory.

Většina zpracovaného materiálu se neobejde bez odpadu, a to ve formě třísek nebo jiného odpadu, který se vrací do huti. Kov všeobecně je neobnovitelná surovina, a proto můžeme pokládat za úspěch, že jej dnes umíme recyklovat a následně znovu použít. V této technologii je spousta výrobních metod, které se neustále zlepšují a vyvíjejí. Jednou z nich je kování, které považujeme za nejprozkoumanější, protože už ve středověku se tímto způsobem vyráběly nástroje. Řadí se mezi nejpoužívanější díky minimálnímu odpadu z výrobku, ale hlavně proto, že má výsledný produkt velmi dobré mechanické vlastnosti.

Kovárny jsou stále nedílnou součástí strojírenských závodů. Je zde několik metod jako například volné kování a zápustkové kování. Používá se nejen ocel, ale lze touto cestou zpracovávat téměř všechny kovy. Výstupním celkem je výkovek, který lze vidět na obrázku 1.

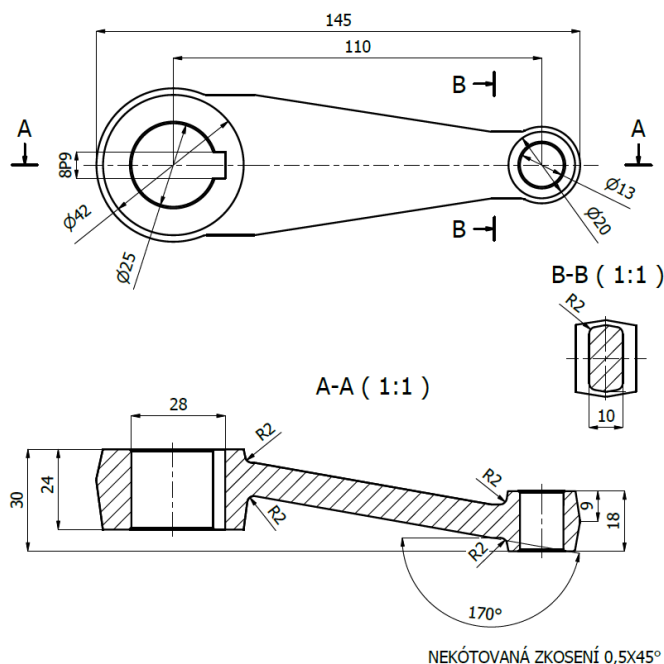


Obr. 1 Zápustkové výkovky [4]

1 ROZBOR ZADÁNÍ [5]

Zadanou součástí je páka řízení předních kol zemědělského stroje. Páka je tvořena dvěma oky, která jsou spojena dřikem. Základní rozměry a celkové schéma jsou na obrázku 2. Páka bude vyráběna v sérii 2 000 ks/rok z důvodu časové náročnosti výroby strojů, pro které bude tato součástka využívána.

Pro zadanou součást byl vybrán materiál označen dle ČSN jako 12 060, vhodný pro využití v namáhaných oblastech strojů jako jsou například hřídele, ozubená kola, čepy, páky atd. Jedná se o uklidněnou ušlechtilou ocel se známým chemickým složením (tab. 1). Tepelně neupravená ocel 12 060 se značí vyšší pevností v tahu $R_m = 750 - 900$ MPa a mez kluzu $R_e = 480$ MPa. Po tepelných úpravách jsou zaručeny lepší vlastnosti. U této oceli se doporučuje kovat při teplotách 800 až 1100 °C.



Obr. 2 Schéma zadané součásti

Tabulka 1 Chemické složení oceli 12 060 [5]

PRVEK		Cu	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
Obsah [hm. %]	min	0,52	0,5	0,15					
	max	0,6	0,8	0,4	0,04	0,04	0,25	0,3	0,4

1.1 Výrobní možnosti zadaného výrobku [6], [7], [8], [9]

Zadanou součást lze vyrobit více způsoby. Podle využití materiálu a požadavků na mechanické vlastnosti součástky, se volí ten nejvhodnější způsob výroby. Dále se musí prozkoumat, zda-li je výroba sériová či nikoli, a s tím související ekonomické využití. Pro výrobu páky řízení předních kol zemědělského stroje jsou vhodné tyto metody výroby:

- Obrábění – je to metoda, při které obráběná součást získává požadovaný tvar, rozměr a přesnost ubíráním materiálu. Pro řešenou součást, kde je požadováno minimum přesných, obráběných ploch se tato technologie jeví jako nevhodná.
- Odlévání – proces odlévání tekutého materiálu do forem. Vhodný pro malosériovou či kusovou výrobu a lze tvořit plné nebo duté výrobky. Výběr materiálu je velice omezený, jelikož musí splňovat jistá kritéria například skvělá tekutost (malá viskozita). Odlitky se používají především pro tvarově složité a příliš nenamáhané součástky (malé pevnostní charakteristiky). Výroba řešené součásti technologií odlévání by byla uskutečnitelná, ale s ohledem na funkci součásti a její značné namáhání v provozních podmínkách není vhodná.
- Kování – Kování je jedna z technologií objemového tváření materiálu probíhající za nadrekrytalizační (kovací) teploty. Dnes se mezi kování řadí i metody, které probíhají za polohřevu nebo za studena. Je to proces, při kterém dochází ke změně tvaru polotovaru a vlastností bez úběru materiálu – třísek. Jediným odpadem jsou odstraněné výronky a blány. Pevnost výkovku páky bude znatelně větší než u dvou předešlých možností. U kování se

pomocí lisu či bucharu plasticky deformuje materiál, čímž se zrna materiálu zplošťují a prodlužují a jejich hranice tak vytváří vláknitou texturu. Tím se součást stává pevnější. Pro porovnání, při obrábění se narušují vlákna a tím se zvyšuje křehkost a lámavost v těchto místech. S ohledem na uvedenou charakteristiku kování, volím pro výrobu zadané součásti tuto metodu.

2 TECHNOLOGIE KOVÁNÍ [7], [10], [11], [12]

Pro utváření požadovaných rozměrů, tvarů a vlastností je potřeba vnějších sil a ty jsou zajištěny již zmíněnými buchary a lisami. Kování můžeme dělit mnoha způsoby, ale nejčastější je podle charakteru toku materiálu:

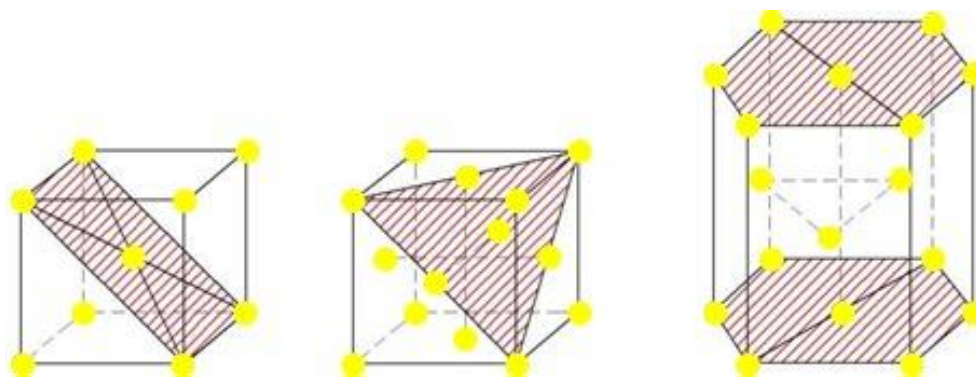
- Volné kování – požadovaný tvar se získává pomocí univerzálních kovadel a speciálním polohováním výkovku. Kovadla mají jednoduchý tvar, obvykle se používají rovinná, válcová, klínová apod. Volným kováním vytvoříme hrubý, nerovný povrch, který je potřeba minimálně jednou další operací upravit. Požadovanou kvalitu výkovku získáme přidáním kovářských přísad na místech, které se budou obrábět.
- Zápustkové kování – touto metodou je zpracováván kov ve tvárném stavu mezi dvěma polovinami nástroje – horní a dolní zápustkou, kde materiál získává potřebný tvar. Vložený materiál se utváří v dutině spodní zápustky, která má přibližný tvar výsledného výkovku, na kterou působí horní zápustka pomocí bucharů či lisů. Pro dokonalé zaplnění dutiny spodní zápustky je objem tvářeného materiálu naddimenzován. V místech budoucích otvorů se ponechává tenká vrstva materiálu tzv. blána a přebytečný materiál, který vteče mimo dutinu, se nazývá výronek. Blána a výronek musí být pro výsledný vzhled odstraněny.

2.1 Tvařitelnost kovů [3], [8], [10]

Tvařitelnost materiálů je schopnost plasticky se deformovat bez porušení soudržnosti. Za vhodných podmínek lze bez porušení tvářeného tělesa získat požadované rozměry a vlastnosti. Nejen vnitřní stavba tvářeného tělesa, ale i jeho chemické složení nebo způsob tváření jsou důležitými aspekty tvařitelnosti.

2.1.1 Krystalická stavba kovů [2], [3], [10], [13], [14]

Všechny kovy a jejich slitiny v pevném stavu mají krystalickou formu. Jejich krystalická stavba, která se značí geometrickou pravidelností v rozprostření atomů a molekul, podmiňuje jejich tepelné, magnetické, elektrické a mechanické vlastnosti. Při přeměně kovů z kapalného do tuhého stavu probíhá primární krystalizace. Jelikož část kovů má v závislosti na teplotě různé modifikace, dochází při jejich dalším ochlazení k překrytalizaci neboli sekundární krystalizaci, tj. přechod z jedné modifikace do druhé. Takto vzniklé krystalické stavby (mřížky) se promítají v kubické soustavě plošně centrované, kubické soustavě prostorově centrované a šesterečné soustavě těsně uspořádané, viz obr. 3



Obr. 3 Hlavní typy krystalových buněk kovů [2]

Mřížky však nejsou dokonalé, ale existují v nich různé typy poruch. Takovéto poruchy mají velký vliv na výsledné mechanické vlastnosti kovů a slitin. Podle velikosti a tvaru rozeznáváme tyto poruchy:

- Bodové poruchy – vakance
 - intersticie
 - substituce = původní atomy
 jsou nahrazeny jinými
- Čárové poruchy (dislokace) – hranové
 - šroubové
 - smíšené
- Plošné poruchy – hranice zrn
 - vrstevné chyby
 - plochy dvojčatění
- Prostorové poruchy – široké hranice zrn
 - vměstky

Na obr. 4a je zobrazena vakance, vyznačující se neobsazenými místy v částech krystalické mřížky. Naopak na obr. 4b se vyskytují v mezimřížkové poloze cizí atomy. Tato chyba se označuje jako intersticie. Obě bodové poruchy patří mezi nejčastější.

Makrostruktura kovů závisí na teplotě ochlazování a poměru mezi rychlostí vzniku krystalizačního zárodku k rychlosti jeho růstu. Struktury mohou být dvě – jemnozrnná a hrubozrnná. Pokud při slabém podchlazení je malý počet zárodků a velká rychlost růstu nových krystalů, vznikne hrubozrnná struktura. Naopak, pokud při silnějším podchlazení je velký počet zárodků a malá rychlost růstu, vznikne jemnozrnná struktura.

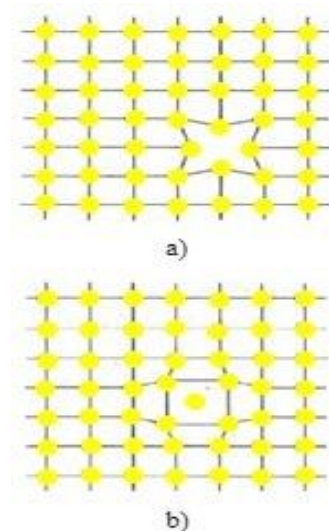
2.1.2 Plastická deformace [2], [10], [15], [16]

Působením vnějších sil na tvářený materiál v něm vzniká určité napětí. Pokud napětí nepřesáhne hodnotu meze kluzu daného materiálu, probíhá pouze pružná (elastická) deformace. Pomínutím účinků takového napětí se atomy materiálu vrátí do původního stavu. V případě, že se nejedná o křehký materiál, dochází k plastické (trvalé) deformaci. Každou plastickou deformaci doprovází deformace pružná.

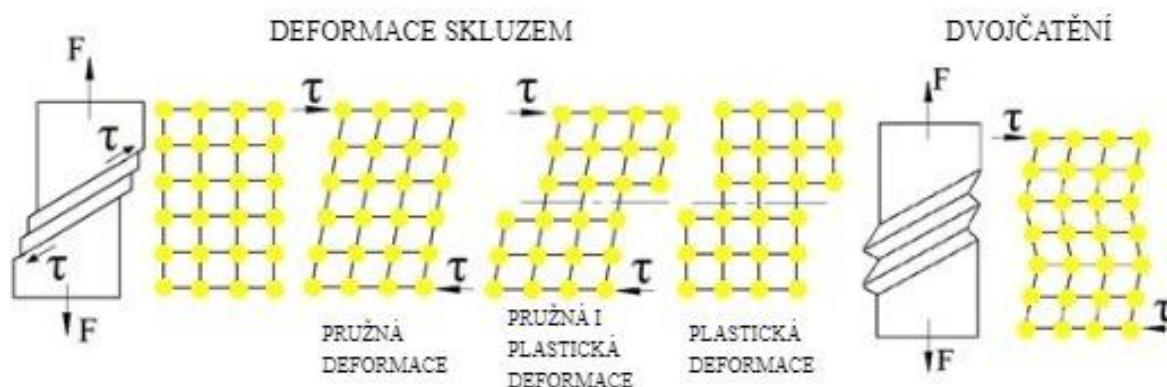
Kluz probíhá postupně v rovinách krystalu jedné tenké vrstvy oproti druhé. Mezi rovinami postižené kluzem, zůstávají nedeformované vrstvy.

Dosažením kritického smykového napětí probíhá deformace viditelnou rychlostí. Pokud kritické smykové napětí vzroste, současně s ním roste i deformace. Opakovaným překračováním meze kluzu se materiál zpevňuje. To může ale vyvolat mřížkové poruchy.

Plastické deformace lze dosáhnout i jiným způsobem – dvojčatěním. Jedná se o natočení části mřížky do polohy, která je vhodná pro vznik kluzu. Oba způsoby deformace jsou znázorněny na obrázku 5.



Obr. 4 Bodové poruchy.
a) vakance; b) intersticie
[14]



Obr. 5 Schématické znázornění pružné a plastické deformace skluzem a dvojčatěním [2]

2.3 Příprava materiálu pro kování a jeho dělení [3], [10], [16]

Pro zápuštkové výkovky se používají polotovary vyrobené válcováním za tepla. Jedná se například o ocelové bloky, sochory nebo tyče.

Materiál je nutné správně uskladnit, aby nezměnil některé dané vlastnosti. Sklad by měl být dostatečně velký, vytápěný a s hodně nízkou hodnotou vlhkosti kvůli zamezení vzniku rzi. Skladování by mělo mít svůj řád a smysluplnost. Úzké tyče se skladují v příhradách nebo stojanech. Tyče větších průměrů se uskladňují na zemi a jsou prokládány dřevem či kovem.

Každá jedna tyč musí být označena štítkem se značkou oceli nebo barvou podle ČSN 42 0010. Podobné či stejné průměry jiných druhů oceli se nesmějí skladovat vedle sebe, aby nedošlo k záměně.

Jelikož odběratelé hotových součástí procházejí namátkově výrobky a provádí hloubkové kontroly, je při přebírání koupeného polotovaru nutná vstupní kontrola materiálu. Měla by zjistit:

- počet tyčí, rozměry a váhu dodané oceli podle dodacího listu
- provedení a jakost oceli
- zpracovatelnost oceli za tepla

Zkouší se tvrdost materiálu podle Brinella a jiskřením. V ojedinělých případech se prozkoumává chemické složení, ale to je velice nákladné.

2.3.1 Dělení materiálu [8], [10], [16], [18], [19]

Materiál dodávaný do kováren je obvykle v délkách (2 až 12 m), proto je ve většině případů materiál nutno dělit, a to s odpadem nebo ekonomičtěji, bez odpadu. Vše závisí na rozměrech polotovarů a zařízení, které je k dispozici. Volba způsobu dělení má i další aspekty – geometrie polotovaru, velikost série a produktivita, náklady na nástroje a materiál.

- Stříhání – nejlevnější, nejvýkonnější a ekonomicky výhodný způsob. Při oddělování materiálu nevzniká žádný odpad. I když střížná plocha nemusí být kolmá k ose tyče a rovná, pořad stříhání patří mezi nejrozšířenější způsoby dělení. Další nevýhodou je deformační zpevnění vzniklé v okolí stříhu. Většina ocelí s nízkým obsahem C se stříhá za studena. U velkých průřezů a u vysokouhlíkových ocelí se musí polotovar předeřhřát, aby se snížila potřebná střížná síla a zabránilo vzniku trhlin.
- Lámání – provádí se speciálními lámacími stroji. Materiály s mezí pevnosti menší než 600 MPa se pouze ohnou, proto lze metodu lámání provádět jen s pevnými polotovary. Nevýhodou mohou být nepřesné zlomy, jiné délky a hmotnosti a trhliny, které se mohou šířit dál do materiálu. Tohle lze omezit zářezem nad místem zlomu, který se provádí pilou nebo plamenem (= další stroj).

- Řezání – základní způsob, kterým se dělí neželezné kovy, oceli a slitiny, ale především ty materiály a průřezy, které nelze dělit stříháním. Při řezání vzniká odpad úměrný k tloušťce řezného nástroje (1 až 8 mm). Jedná se o ekonomicky velmi nevýhodný způsob, jelikož již zmíněné řezné nástroje se rychle opotřebují. Výhodou ale je, že polotovary po vykonání dělení nemá žádné známky deformace, má vysokou jakost řezné plochy a zaručenou kolmost řezu. Navíc se stroje pro řezání vyznačují nižší výkonností než stroje pro jiné způsoby dělení. Řezání lze provádět různými typy pil – rámovými, pásovými (obr. 6) nebo kotoučovými. Výběr typu je závislý na průřezu materiálu a požadavcích na rychlost řezání.

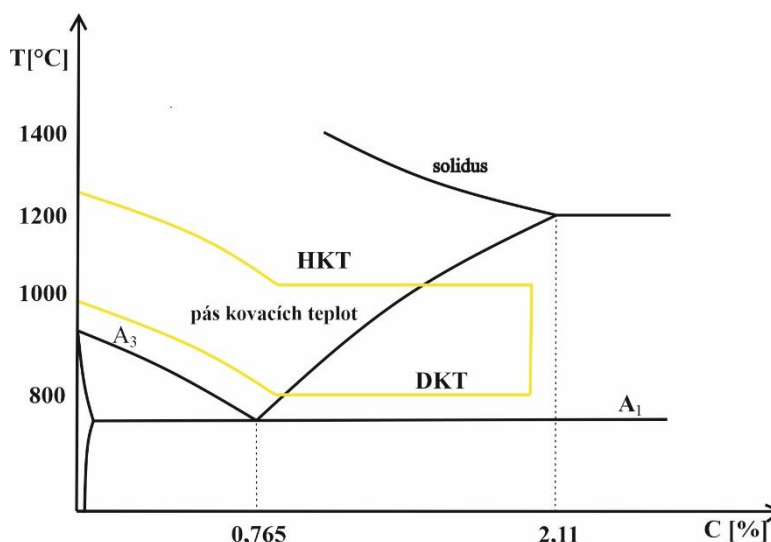


Obr. 6 Pásová pila [19]

2.4 Ohřev ocelí na kovací teplotu a ohřívací zařízení [3], [8], [10], [11], [17], [20], [21], [22], [23]

Před samotným kovááním se musí materiál rovnoměrně zahřát na správnou teplotu. Nestejnoměrně ohřátý materiál způsobuje značné vady výsledného výkovku např. nestejnou tloušťku materiálu. Ohřevem by nemělo dojít ke změně povrchové či vnitřní jakosti. Nejideálnějším průběhem můžeme částečně potlačit některé průvodní jevy v podobě oduhličení, opalu, zhrubnutí zrna apod. Dosáhnutím optimální počáteční kovací teploty snížíme potřebnou tvářecí práci a správným ohřevem dokážeme zachovat jakost i celistvost ohřívajícího materiálu. I když jsou při vyšších teplotách menší odpory proti deformaci, tak struktura materiálu hrubne, klesá houževnatost a roste již zmíněná tvorba okují a oduhličení.

Na obr.7 je znázorněna oblast kovacích teplot, která je ohraničená horní hranicí kovacích teplot (HKT) a dolní hranicí (DKT). HKT je rovna teplotě solidu sníženou o 150 až 200 °C a má být vždy nižší než kritická teplota růstu zrna. DKT se liší jak pro podeutektoidní, tak i pro nadeutektoidní oceli. Pro podeutektoidní je dolní kovací teplota rovna teplotě A_3 zvýšené o 50 °C a pro nadeutektoidní oceli je rovna teplotě A_1 , taktéž zvýšené o 50 °C.



Obr. 7 Kovací teploty oceli [11]

Z počátku má být ohřev oceli pomalý asi do teploty 650 °C, potom může být do dosažení vysokých kovacích teplot (cca 1100 °C) rychlejší. (To platí při ohřívání velkých polotovarů, kde mohou v důsledku dilatací vznikat velká pnutí mezi povrchem a centrálními částmi). Ohřev

se provádí při nízkých nebo vysokých teplotách. Je pravidlem, že čím vyšší teplota oceli, tím má světlejší barvu např. 520–580 °C barva černohnědá, 830–880 °C barva světle červená, 1250–1350 °C barva bílá.

Pro stanovení optimálního ohřívacího režimu je potřebné znát některé fyzikální veličiny související s teplotou – součinitel tepelné vodivosti, měrná tepelná kapacita, hustota, součinitel teplotní vodivosti, teplotní délková roztažnost a mechanické vlastnosti.

Se stoupající rychlosti ohřevu se snižuje jeho doba a zvyšují se tepelná pnutí. Ohřívání polotovary se poté dělí na tenké (možnost zanedbání tepelného pnutí) a tlusté (vznikají nebezpečná tepelná pnutí). Hranice mezi nimi se orientačně udává kolem 100 mm. V kovárnách se využívají k ohřevu polotovaru pece plynové a elektrické, ale jejich konstrukce se liší v závislosti na velikosti ohříváního materiálu, výkonu pece a zdroje tepla.

Ohřev velkých polotovarů se provádí v plynových pecích (stavěných jako komorové)

a jejich výkon, určený poměrem hmotnosti ohřátého materiálu za čas, dosahuje až několika desítek tun za 24 hodin. Asi rozměrově největší se staví pece vozové, které většinou dosahují více jak 3 metry. Toto označení se používá kvůli možnosti vyjet s nístějí pro snadnější ukládání a vyjímání vsázky. Častější využití však připadá narážecím pecím, do kterých spadají například průběžné pece – materiál je z boční strany pece pokládán na posuvné zařízení, tím je postrkován dovnitř pece a z ní je pak pomocí dalších postupujících polotovarů vysouván ven.



Obr. 8 Karuselová pec [22]

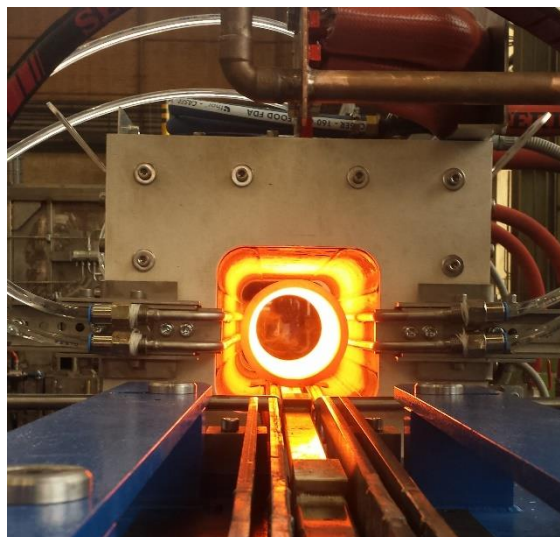
Válcovitě stavěné průběžné pece se označují jako karuselové (obr. 8), u nichž lze materiál vkládat i vyjímát z otvorů blízko sebe. Dno pece se konstrukčně liší podle výkonnosti – pro menší výkonnost mají tvar talíře, pro velkou výkonnost tvar prstence. K ohřívání konců tyčí a trubek slouží štěrbinová pec, kde se ohřívá štěrbinou konce ohříváního polotovaru.

Elektrický ohřev, používaný zejména pro menší polotovary, využívají odporové a indukční pece. Odporové zařízení dělíme na:

- Zařízení s přímým průchodem proudu – jedná se o přímý ohřev jen štíhlých polotovarů (tyče, dráty, trubky, ...). Elektrodami napojenými na transformátor je ohříván materiál. Speciální elektrody se proti zahřívání chladí vodou. Výhodami jsou malá spotřeba energie, velká rychlost ohřevu a jednoduchost.
- Zařízení s nepřímým ohřevem – v dnešní době často nahrazován indukčním ohřevem. Využívá odporové články, které jsou součástí elektrických komorových pecí. Zařízení je vhodné pro ohřev barevných kovů, kde teplota nepřesáhne 1000 °C.

Indukční ohřev (obr. 9) tkví v principu indukovaní vířivých proudů v materiálu, který se nachází v magnetickém poli cívky. Velmi výkonný s rychlým nestejným ohřevem.

Intenzita proudu klesá směrem ke středu materiálu – asi 85% tepla pohltí vrchní vrstva materiálu do určité hloubky zvané hloubka vniku. Ta je ovlivněna kmitočtem proudu, který napájí ohřívací cívku – induktor, a elektrickými a magnetickými vlastnostmi materiálu. V tabulce 2 je vidět, že s klesajícím kmitočtem roste hloubka vniku. Nevýhodou je, že minimální kmitočet přerušuje intenzitu elektrického pole, a proto se ve většině případů volí kompromis mezi poměrem kmitočtu a hloubkou vniku.



Obr. 9 Indukční pec [23]

Přidáváním materiálu do okolí induktoru, po průměru i délce, je zvyšována jeho účinnost. Při špatném zaplnění může dojít k přehřátí a pálení konců polotovaru. Cívka se chladí vodou nebo chladicí kapalinou tekoucí v jejím vinutí z měděné trubky.

Indukční ohřev je skoro desetkrát rychlejší než ohřev plynem. Snižuje oduhličením a oxidaci materiálu, výhodou je i snadná automatizace a mechanizace.

Tabulka 2 Doporučený kmitočet pro indukční ohřev [11]

Průměr polotovaru [mm]	15 až 40	22 až 70	35 až 120	50 až 170	170 až 800
Kmitočet [Hz]	10 000	4 400	2 000	1 000	50

2.5 Kovací stroje [11]

V minulosti se kovalo za použití kladiva, kovadliny a výhně. Tyto nástroje a kováře jako takové postupem času vystřídali kovací stroje. Primárně je lze dělit na lisy a buchary. Pro správný výběr stroje je potřeba znát buďto rázovou práci (buchary) anebo kovací sílu (lisy).

2.5.1 Kovací síla [2], [11], [24]

Výpočet kovací síly je založen na přirozeném deformačním odporu materiálu za kovacích teplot a velikosti (hmotnosti) výkovku. Dále jsou důležitou součástí rozměry výronkové drážky, poměr tření mezi kovaným materiálem a povrchem záпустky a tvar výkovku.

Potřebnou kovací sílu lze vypočítat několika metodami:

- Výpočet podle Gubkina – kov v okolí dělicí roviny je plasticky deformován, zbytek zůstává tuhý → zjednodušení určení deformačního odporu a kovací síly

$$F = |\sigma_{zstř}| \cdot S_{výr} + |\sigma_{zmax}| \cdot S_c \quad (2.1)$$

kde: $S_{výr}$ – průmět plochy výronku a můstku výronku [cm^2],

$\sigma_{zstř}$ – střední hodnota osového napětí ve výronku [MPa],

S_c – průmět plochy výkovku a můstku výronku [cm^2],

$$-\sigma_{zstř} = \sigma_p \left(1 + f \frac{S_m}{h_v} \right) \quad (2.2)$$

kde: σ_p – přetvárná pevnost [MPa],

f – součinitel tření,

s_m – šířka můstku výronkové drážky [mm],
 h_v – výška můstku výronkové drážky [mm],

σ_{zmax} – maximální hodnota osového napětí na vstupu z výronkové drážky do výkovku [MPa],

$$\sigma_{zmax} = -\sigma_p \left[1 + 2f \frac{s}{h_v} \right] \quad (2.3)$$

- Výpočet podle Storoževa – obdobné smýšlení jako Gubkin = kovací síla je určena součtem síly potřebné pro přetvoření výronku a síly nutné k přetvoření kovu v zápustce

KRUHOVÝ VÝKOVEK

$$F = \sigma_p \cdot \left\{ \left(1,5 + \frac{s}{2 \cdot h_v} \right) \cdot S_{výr} + \left[1,25 \left(\ln \frac{D_v}{h_v} + 2 \frac{h_v}{D_v} \right) + \frac{s}{h_v} - 0,375 \right] \cdot S_c \right\} \quad (2.4)$$

kde: D_v – průměr výkovku

OBDELNÍKOVÝ VÝKOVEK

$$F = \sigma_p \cdot \left\{ \left(1,5 + \frac{s}{2 \cdot h_v} \right) \cdot S_{výr} + \left[1,25 \left(\ln \frac{a}{h_v} + 2 \frac{h_v}{a} \right) + \frac{s}{h_v} - 0,25 \right] \cdot S_c \right\} \quad (2.5)$$

kde: a – velikost strany výkovku

- Výpočet podle Tomlenova – deformační odpor ve výronkové drážce se mění závisle na změně teploty a rozměrů. Součtem normálové a tečné složky kovací síly je dána celková kovací síla

$$F_N = 2\pi \sum_{j=1}^n S_j \cdot r_j \quad (2.6)$$

kde: r_j – délka úseků (od těžiště po střed výkovku) pod čarou def. odporů [mm]

S_j – dílčí plochy v úsecích r_j pod čarou deformačních odporů [mm²]

$$S_j = \frac{1}{2} (\sigma_{j-1} + \sigma_j) \cdot \Delta r_j \quad (2.7)$$

$$F_T = \pi \cdot f \cdot \sigma_p \sum_{j=1}^n D_j \cdot \Delta z_j \quad (2.8)$$

kde: f – součinitel tření v intervalu $\langle 0,35; 0,45 \rangle$ [-]

D_j – průměr součásti [mm]

z_j – průřez součásti [mm]

$$F_C = F_N + F_T \quad (2.9)$$

- Výpočet pomocí nomogramu podle ČSN 22 8306 se vzorcem () – jedná se o přibližný výsledek, založeno na teorii Tomlenova

$$F = S_c \cdot \sigma_d \quad (2.10)$$

kde: σ_d – deformační odpor [MPa],

$$\sigma_d = \sigma_p \cdot K_{TS} \quad (2.11)$$

kde: K_{TS} – součinitel tvarové složitosti [-].

2.5.2 Kovací práce [2], [11], [24]

Ke kování kruhového výkovku pomocí bucharu, kde jeho průměr $D_v < 600\text{mm}$, se práce vypočte podle vzorce (2.12).

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

Výkovky mohou být i nekruhového tvaru. Práce pro takové výkovky se vypočítá ze stejného vzorce jako pro kruhové, ale místo hodnoty D_v se dosadí tzv. redukovaný průřez.

$$D_{red} = 1,13\sqrt{S_D} \quad (2.13)$$

kde: S_D – průmět plochy výkovku v ploše kolmé ke směru rázu [cm^2]

$$A_n = A \left(1 + 0,1\sqrt{\frac{L_D}{B_{Dstř}}}\right) \quad (2.14)$$

kde: L_D – délka výkovku [cm],

$B_{Dstř}$ – střední šířka výkovku, tj. plocha výkovku dělená délkou [cm]

$$B_{Dstř} = \frac{S_{výk}}{L_D} \quad (2.15)$$

kde: $S_{výk}$ – plocha výkovku [cm^2]

Velikost padacích bucharů se stanovuje na podkladě hmotnosti beranu, určená vztahem:

$$\text{jednočinný buchar} \quad m = \frac{A}{1,1} \text{ [kg]} \quad (2.16)$$

$$\text{dvočinný buchar} \quad m = \frac{A}{1,8 \div 2,8} \text{ [kg]} \quad (2.17)$$

2.5.3 Lisy [1], [2], [3], [8], [10], [18], [25]

Pro kování se používají klikové kovací lisy, a to svislý klikový kovací lis, vodorovný kovací klikový lis a nebo lisy vřetenové.

- Vřetenové lisy – víceúčelový (univerzální) tvářecí stroj s dlouhým zdvihem. Elektromotor roztáčí setrvačnick napojený na vřeteno, který převádí všechnu svou energii do beranu. Ten je zavěšen na konci vřetena. Vřetenové lisy spadají do stejné skupiny strojů jako buchary. Beran se pohybuje poměrně pomalu a stejně jako u klikových lisů se doporučuje kovat na jednu operaci, výjimečně na více. Používají se k malosériovému kování v otevřených i uzavřených zápustkách, v zápustkách se svisle děleným spodním dílem, při rovnání, děrování, ohýbání, protahování a nebo kalibrování. Používá se také hydraulický pohon pro beran.
- Svislé klikové lisy (obr. 10) – obdobný princip jako u vřetenových lisů. Elektromotor pohání setrvačnick. Při elektrickém impulzu je uvolněna brzda a propojí se klikový hřídel se setrvačnickem. Začne se pohybovat



Obr. 10 Svislý kovací lis firmy ŠMERAL [25]

beran. Při jeho zdvihu se aktivují vyhazovače. Dalším impulzem se vypne spojka a brzda zastaví chod lisu. Výkovek lze tvářet jen v jedné operaci, jak je uvedeno u vřetenových lisů. Všechny ostatní operace jsou zbytečné, pokud výkovek nepřesuneme do jiné zápustky. Na polotovar působí beran klidným tlakem a jeho zdvih je konstantní. Před samotným kovááním je potřeba materiál ohřát pomocí indukce, aby se předešlo zakování okují do výkovku. Výhodou je již zmíněná možnost použití dvou vyhazovačů – horní a dolní. Z toho důvodu je možné zvolit dvakrát až třikrát menší boční úkosy v porovnání s bucharem nebo kovat zcela bez úkosů (ojediněle). Díky výraznému bočnímu tečení kovu jsou klikové lisy vhodné pro pýchování a vytlačování.

- Vodorovné lisy – elektromotorem poháněný setrvačnický pohybuje ozubenými koly, které jsou napojené na klikový hřídel, ojníci a beran. Hřídel ovládá pomocí kladek sáně, které pohybem vpřed narovnávají mechanismus přitlačující beran. Kove se zpravidla na čtyři operace, tudíž ve čtyřech dutinách umístěných vedle sebe nebo nad sebou. Stroj je konstrukčně odlišný než ostatní lisy – obsahuje jeden svěrací a jeden pýchovací beran, kove v třídílných zápustkách se dvěma na sebe kolmými dělicími rovinami.

2.5.4 Buchary [1], [2], [3], [8], [10], [18], [25], [26]

Oproti lisu vykazují buchary vysokou dopadovou rychlost beranu. Kove se několika údery s postupným zaplňováním dutin v zápustce a samotné kováání je doprovázeno silnými otřesy. S tím je úzce spojeno větší opadávání okují, které se nezatlačují do kovaného materiálu, a také snížená přesnost vedení beranu. Komplikovanější může být mechanizace a automatizace výroby. Díky těmto rázům a setrvačným silám se kov dokáže lépe dostat do horní zápustky, kde mohou být vysoké výstupky a tenká žebra výkovku. Kování na bucharech je vhodnou metodou pro malosériovou výrobu drobných výkovků (dláta, kleště, ...), ale také pro těžké a rozměrné výkovky (kliková hřídel, náprava automobilu, ...). Buchary dělíme na šabotové (padací) a bezšabotové.

- Padací buchary – úder vykonávají pouze volným pádem. Rozlišujeme padací buchary podle způsobu zvedání beranu a to parní, vzduchové nebo třecí. U parních a vzduchových je beran vytlačován pomocí par nebo stlačeného vzduchu. Jakmile se uzavře přívod tohoto ‘pohonu’, beran padá samovolně dolů. Berany u třecích padacích bucharů jsou zdvihány prknem, lanem, pásem nebo řetězem vedoucí přes kladku, která je poháněna elektromotorem nebo třecí spojkou.
- Protiúderné (protiběžné) buchary – jsou to buchary s bezšabotovou konstrukcí (= místo šaboty je další beran) konající obrovské údery. Označení protiúderné nebo protiběžné získali podle horního a dolního beranu, které se pohybují proti sobě a utváří výkovek. Výhodou bezšabotového bucharu je jeho hmotnost, která je daleko menší než se šabotou. Jsou poháněny párou nebo vzduchem, a proto při nedostatečném množství těchto hmot by se nemuseli od sebe berany oddělat. To je opatřeno nepatrně větší hmotností spodního beranu.

- Pneumaticko-hydraulické buchary (obr. 11) – jedná se v podstatě o protiběžné buchary. Horní beran je zvedán hydraulicky, ale spodní beran, který je navíc spojen s celým rámem stroje a tvoří jakousi sestavu, je zvedán pneumaticky. Je vhodný ke kování plochých a tenkých výkovků (ojnice, komunální nářadí, ...) v jedné dutině. Energie pro zvedání beranu je získána tlakovou kapalinou.



Obr. 11 Pneumaticko-hydraulický buchar [25]

I když kování na bucharech probíhá více údery, tak hloubka prokování je celkem malá, protože část energie vstřebává stroj. Na rozdíl od lisů, kde působící plynulý tlak dosahuje celkové prokování polotovaru. V této práci budeme i tak uvažovat o použití bucharu.

2.6 Zásady konstrukce výkovku [3], [11]

Tvar a rozměry výkovku jsou maximálně ovlivněny výkresem součásti. Do výkresu výkovku je potřeba vypsát všechny potřebné rozměry a řezy, a také všechny úchytky. Na výkresu součásti mohou být uvedeny nějaké specifika a požadavky pro výkovek viz následující rozdělení.

- Požadavky na přesnost výkovku – zhotovení výkovku je prováděno s vysokou přesností, s minimálními nebo žádnými přídávky. Velikost přídavek na obrábění a tolerance rozměrů jsou pro zápusťkové výkovky obvykle předepsány normou.

Tabulka 3 Hloubka tolerovaných vad [3]

Průměr tyče [mm]	Dovolená hloubka povrchových vad [mm]	Dovolená hloubka rýh po odstr. vadách [mm]
5-13	0,4	1
13,5-25	0,5	1,5
26-50	0,75	2,5
51-75	1	3
76-100	1,25	4
102-150	1,75	4,5
160-210	2,25	6

- Požadavky na jakost povrchu, vnitřní vady a mechanické vlastnosti – na povrchu výkovku mohou vznikat během kování vady (záseky,

přeložky, šupiny, trhlíny, ...), které se do jisté hloubky přídávku tolerují, viz tabulka 3. Někdy jsou vady hlubší, než je výška přídávku a způsobují zmetkovitost výkovku. Dovolují se také vnitřní vady, ale jen za předpokladu, že nijak nebudou ovlivňovat funkčnost výkovku. Mezi vnitřní vady patří dutiny, trhlíny, vměstky, pórovitost a další. Požadavky na mechanické vlastnosti se rozumí průběh vláken ve výkovku. Průběh vláken je zpravidla v podélném směru. Takové pravidlo platí i pro materiálové listy ocelí, v kterých jsou uvedeny mechanické hodnoty. Pokud je průběh vláken jiným směrem než podélným, mohou se mechanické hodnoty začít snižovat. Norma udává maximální povolené procentuální snížení.

- Použité tvářecí zařízení – výběr stroje, kterým bude kováno, ovlivní přesnost a konstrukci výkovku. Kování na bucharech má obecně nejmenší přesnost a výkovku je potřeba přidělit větší úkosy pro lepší vyjmutí ze zápustky. Na kovacíh klikových lisech lze kovat s vyšší přesností. Lisy obsahují vyhazovače, které vysouvají hotový výkovek. To umožní konstrukci výkovku s menšími úkosy.
- Požadavky na mechanizaci a automatizaci – v některých případech je potřeba upravit tvar výkovku např. přidáním stopky pro přenášení.

Pro zajištění kvality povrchu a přesnosti rozměrů se jmenovité rozměry zvětšují o přídatky technologické (zaoblení hran a přechodů, předkování blány a volba úkosů) a přídatky na obrábění, volí se poloha dělicí plochy a určují se tolerance rozměrů.

2.6.1 Základní konstrukční parametry [2], [3], [10], [11], [24], [27]

- Dělicí plocha – zajišťuje snadné vyjmutí výkovku ze zápustkové dutiny. Výkovek je dělicí plochou rozdělen na část kovanou v horní zápustce a část kovanou v dolní zápustce. Dělicí plocha vede největším průřezem výkovku a ve většině případů se jedná o rovnou dělicí plochu. V ojedinělých případech je dělicí plocha lomená a aby se zabránilo posouvání horní zápustky vůči spodní a naopak, způsobené úderem při kování, je potřeba vyrovnat posouvající síly kování dvojkusu.
- Přídatky na obrábění – předepisují se na místech, kde je důležitá dobrá drsnost povrchu a nelze jej získat kováním. Z norem lišících se pro různé druhy materiálu se určují velikosti přídatků. Norma ČSN 42 9030 stanovuje přídatky pro ocelové výkovky. Udává, že pro všechny rozměry výkovku jsou přídatky stejné a k určení hodnoty přídatku na obrábění je potřeba největší výška hotové součásti a největší rozměr kolmý ke směru rázu. Pro nerotační ocelové výkovky to je největší délka a šířka výkovku kolmá ke směru rázu. Stejným způsobem se určují přídatky pro výkovky neželezných kovů sepsané v normě ČSN 42 0240.
- Volba úkosů – zjednodušují vyjímání výkovků ze zápustek, a proto se realizují na plochách, které jsou kolmé k dělicí rovině. Rozlišují se úkosy vnější a vnitřní, přičemž vnitřní úkosy se volí větší z důvodu smršťování výkovku, viz tabulka 4 vyjmuta z normy ČSN 42 9030.

Tabulka 4 Úkosy zápustkových výkovků [27]

	Vnější	Vnitřní
Běžné úkosy	3°	7°
Úkosy pro buchary a lisy bez vyhazovače	7°	10°
Úkosy pro lisy s vyhazovačem	2° až 3°	3° až 5°
Vodorovné kovací stroje	0° až 5°	0° až 5°

- Zaoblení hran a přechodů – je důležité pro správné tečení materiálu do zápustky a do míst, kde by se materiál nedostal (ostré hrany). Rádiusy se rozdělují na vnější 'r' a vnitřní 'R'. Velikost zaoblení hran (tabulka 5) je přiřazena dle normy ČSN 42 9030 ke všem hodnotám poměru výšky a šířky.

Tabulka 5 Doporučené poloměry zaoblení [27]

Výška h		Poloměry zaoblení hran a přechodů při poměru					
		h/f ≤ 2		2 < h/f ≤ 4		h/f > 4	
od	do	r	R	r	R	r	R
	25	2	6	2	8	3	10
20	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25

- Předkování blány – pokud je otvor ve výkresu součásti většího průměru (cca $d > 20$ mm) musí se předkovávat. Tím vzniká v oblasti otvoru blána rovnoběžná s dělicí rovinou, která nemusí dělicí rovinu kopírovat. Blána je odstraněna po dokončení kování na ostříhovacím lisu. Tloušťka blány se získá výpočtem podle vzorce:

$$s = 0,45\sqrt{D_o - 0,25h - 5} + 0,6\sqrt{h} \quad (2.18)$$

kde: D_o – průměr kovaného otvoru [mm],
 h – polovina výšky oka výkovku [mm].

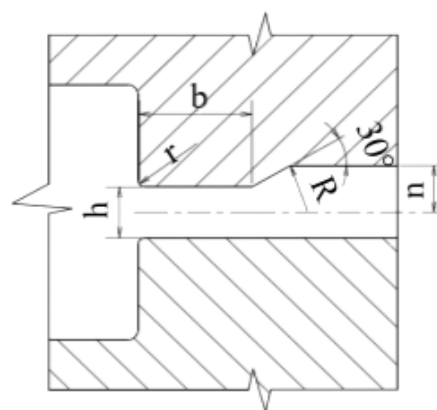
- Tolerance rozměrů a mezní úchytky – jsou maximální dovolená nepřesnost výroby. ČSN 42 9030 vychází ze stupně přesnosti výkovku a největších rozměrů výkovku ve směru kolmo k rázu a ve směru rázu. V tabulkách jsou vypsány jen úchytky pro vnější rozměry. Úchytky pro vnitřní rozměry jsou stejné jako pro vnější rozměry, ale je potřeba zapisovat tyto úchytky se záporným znaménkem. Stupeň přesnosti je obvykle určován spíše menší, ale výkovek stále musí splňovat funkčnost. Přidáním čísla (1 až 4) za normu se označuje způsob provedení: ČSN 42 9030.1 – obvyklé provedení, .2 – přesné provedení, .3 – velmi přesné provedení a .4 – provedení dle dohody.

2.7 Konstrukce zápustky [2], [10], [11], [20], [25], [28]

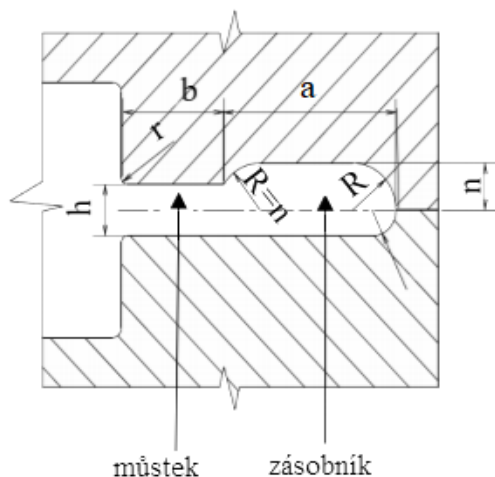
Tvar dutiny zápustky pro kování je dán tvarem výkovku a jeho výkresem. Všechny rozměry výkovku nad 10 mm musí být pro vytvoření dutiny zvětšeny o míru smrštění.

Zápustky pro buchar i pro lis se tvarově liší. Je to způsobeno tvarem výronkové drážky a charakterem vnějších tvarů v závislosti na odlišném upínání.

- Výronková drážka – tvořena v oblasti dělicí plochy. Je složena z můstku a zásobníku. Můstek je konstruován tak, aby brzdil vytékání kovu ze zápustky. Výška můstku, vypočtena podle vzorce (2.19), musí být tak velká, aby došlo k úplnému zaplnění zápustkové dutiny. Přebytný kov vtéká přes můstek do zásobníku. U tvarově složitějších zápustek se předpokládá větší výtok materiálu, a proto se zásobník konstruuje oboustranně tzn. v horní i spodní zápustce. Pro zápustkové kování na kovacích lisech se používá otevřená výronková drážka (obr. 12) a pro kování na bucharech drážka uzavřená (obr. 13). Horní a dolní zápustka se při



Obr. 12 Otevřená výronková drážka [28]



Obr. 13 Uzavřená výronková drážka [28]

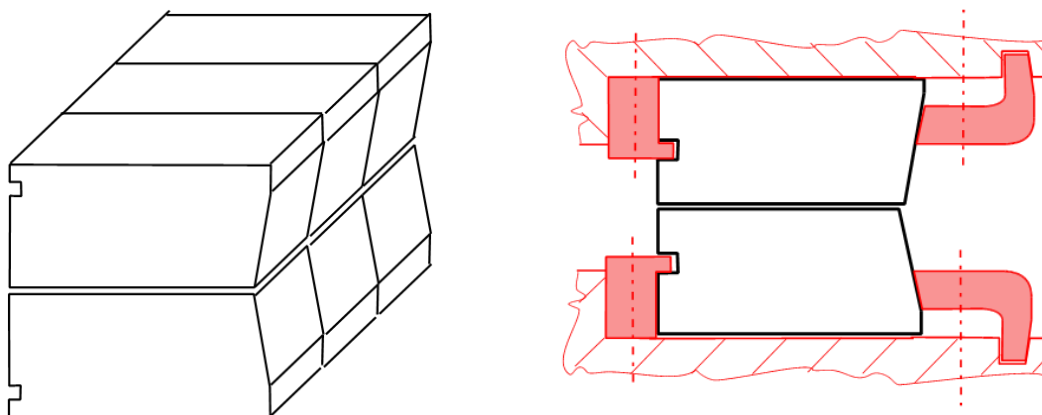
roviny (2.20).

$$r_p = \frac{\sqrt{S_D}}{200} + 0,04 \cdot H_D \quad (2.20)$$

kde: H_D – výška osy drážky ode dna [mm].

- Vnější tvar – vychází z principu kování (jak je popsáno v kapitole 2.5.3 a 2.5.4) a ze způsobu upínání zápustek do kovacího stroje.

Zápustky do svislých klikových lisů se upínají s využitím upínače zápustek. Upínač zápustek je standardně konstruován pro upnutí tří sad zápustek, z nichž se dvě využívají pro předkování a jedna je dokovací. K upínání zápustek do upínače se využívají příložky a šrouby, viz obr. 14.



Obr. 14 Tvar a upínání zápustek do svislých kovacích lisů [25]

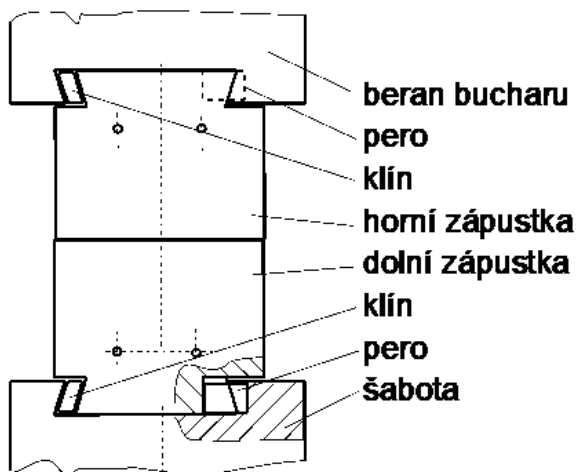
kování na lisech nikdy nedotkne, vždy musí mezi nimi zůstat mezera shodná s výškou můstku.

$$h_m = (0,012 \div 0,015) \sqrt{S_D} \quad (2.19)$$

Pro velké výkovky je určena hodnota 0,012, naopak pro malé výkovky slouží hodnota 0,015.

Uzavřené výronkové drážky mají tři druhy tvarů (typů) – typ I. Obvyklý, typ II. Obvyklý, typ III. Pro složité výkovky s oboustranným zásobníkem.

U všech tří typů je potřeba vypočítat přechod tvaru (r_p), viz obr. 12 a obr. 13, do dělicí



Obr. 15 Upínání zápustek do bucharu [25]

Horní i dolní zápustka do bucharu je vždy vytvořena jako blok, v němž je vytvořena jedna, případně více pracovních dutin. Vzhledem k charakteru práce se k upnutí zápustkových bloků do bucharu využívají rybinové drážky, klíny a pera, obr. 15.

2.8 Operace doprovázející kování v zápustkách [10], [11]

Aby se docílilo finálního vzhledu výkovku, je zapotřebí projít několika operacemi. Patří zde předkování, ostřížení výronku, dokončovací operace v podobě rovnání či kalibrace výkovku a teplené zpracování po kování.

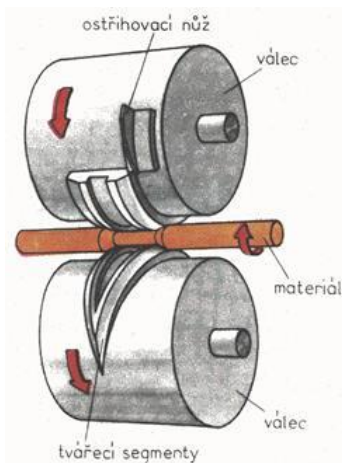
2.8.1 Předkování [7], [8], [10], [11], [18]

Jedná se o proces důležitý při kování složitých tvarů (např. podélné výkovky s proměnným průřezem, rozvidlené výkovky nebo výkovky s ohnutou hlavní osou). Předkovek udává přibližný tvar výkovku a předkování je mnohdy důležitější než samotné dokování.

Předkování u svislých klikových lisů se uskutečňuje v předkovacích zápustkách, které jsou upnuty spolu s dokovací zápustkou v upínači (držáku) zápustek. Standardně se používají dvě předkovací a jedna dokovací zápustka umístěná v ose lisu.

Předkování u bucharů se realizuje dvěma způsoby:

- Postupová zápustka – polotovár je postupně vkládán do různých dutin – přípravná, předkovací a dokovací, které jsou součástí jednoho zápustkového bloku. V přípravné dutině se připraví polotovár tak, že je rozdělen podél vodorovné osy a vytváří základní tvary výkovku. Předkovací dutina vytvoří skoro přesný tvar, jen vyšší. Vložením polotovaru do dokovací dutiny získáme konečný vzhled výkovku s výronkem. Dokovací dutina neobsahuje výronkovou drážku a nemá velké úkosy a zaoblení na rozdíl od přípravné a předkovací. Tato metoda je velmi časově náročná, proto je vhodnější pro malosériovou výrobu.
- Samostatný kovací stroj – menší výkovky pomocí válcovacího stroje, rozměrnější pomocí stroje pro volné kování. Příprava výkovku válcováním se provádí příčným klínovým válcováním (PKV) viz obr. 16 nebo podélným válcováním. V dnešní době se předkování u bucharu řeší nejčastěji vývalky z PKV. Princip příčného klínového válcování spočívá ve tváření ohřáté tyče (na kovací teplotu) pomocí pracovních segmentů připevněných na rotujících válcích. Tvar segmentů je přizpůsoben potřebnému tvaru vývalku. Pro snadnější vložení polotovaru mezi segmenty jsou válce natočeny. Při spuštění procesu se válce narovnají a segmenty se zaboří do polotovaru. Ty pak vytváří potřebný vývalek. Na válcích je připevněn nůž, který v poslední fázi válcování oddělí vývalek od zbytku tyče.



Obr. 16 Schéma příčného klínového válcování (PKV) [7]

2.8.2 Ostřížení výronku [8], [10], [25]

Při zápusťkovém kování v otevřených zápusťkách vzniká na výkovku výronek. Ten se tvoří podle tvaru výkovku na vnějších či vnitřních stěnách, mohou ním být spojeny i dvojkusy výkovků. Pro získání požadovaného tvaru je nutné výronek odstranit. To se provádí za tepla či za studena na ostříhovacích lisech (obr. 17) pomocí ostříhovadel nebo děrovadel (pro díry). Velikost a tvar střížnice je dána obrysem výkovku a střížník kopíruje skutečné rozměry.

Pro ostřížení výronku, či děrování je potřeba znát střížnou sílu (2.21) a dle výsledku najít vhodný lis.

$$P = 1,7 \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot o \cdot 2s = 2,7 \cdot R_m \cdot o \cdot s \quad (2.21)$$

kde: R_m – mez pevnosti [MPa],

o – obvod výronku (pro děrování – obvod děrovaného otvoru) [mm]

s – tloušťka výronku (pro děrování – tloušťka blány) [mm]

Pokud je potřeba ostříhnout výronek i děrovat, výsledná střížná síla bude rovna součtu jednotlivých sil potřebných k děrování a ostřížení.



Obr. 17 Ostříhovací lis [25]

2.8.3 Kalibrace výkovku [3], [8], [10]

Po ostřížení výronku je možné, že se výkovek nějakým způsobem ohne či zkroutí. Kalibrací získáme výkovek s hladkým povrchem a přesnými rozměry.

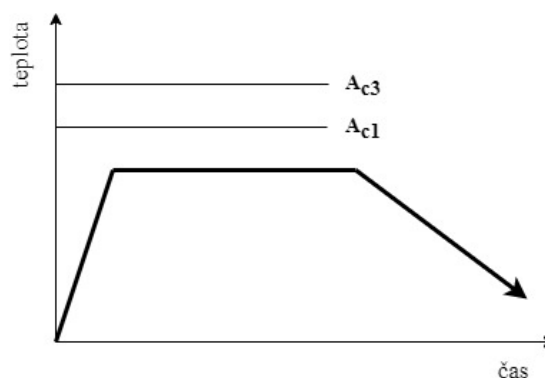
Používá se dokovací teploty, tj. ihned po ostřížení výronku, aby se zamezilo vzniku nových okují. Pokud výkovek obsahuje přídavky na kalibraci, vznikne na něm malý výronek, který je potřeba ostříhnout za studena, aby se výkovek nezkroutil.

Při kalibraci za studena je používáno razicích lisů, přičemž se zpravidla kalibrují pouze funkční plochy, které budou dále dosedat na jiné součásti. Kalibrováním se současně zvyšuje i pevnost kovaného materiálu.

2.8.4 Tepelné zpracování výkovku po kování [3], [10], [29], [30]

Účelem tepelného zpracování je odstranit vzniklá vnitřní pnutí, zabránit vzniku trhlin a zlepšit mechanické vlastnosti a obrobiteľnosť výkovku. To zajistíme žiháním, pro nějž je charakteristická malá ochlazovací rychlost.

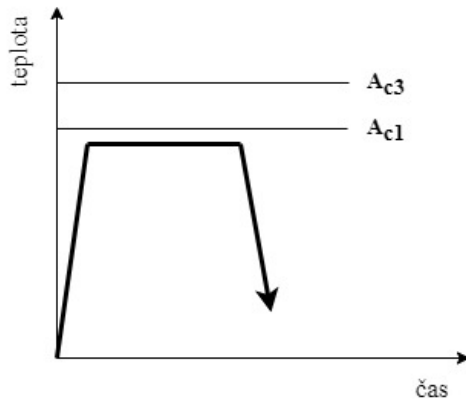
- Žihání ke snížení pnutí (obr. 18) – dalšími operacemi (např. obrábění, svařování, ...) se může výkovek zkroutit, dokonce nevratně zničit. Proto je důležité snížit vnitřní pnutí pomocí žihání tím, že se sníží mez kluzu. To probíhá při nižších teplotách (cca 600 °C), dále se ochlazuje v uzavřené peci a následně v otevřené peci vzduchem. Celý proces probíhá velice pomalu.
- Žihání na měkko (obr. 19) – provádí se z důvodu snížení tvrdosti a pro zlepšení obrobiteľnosti. Žihání je dlouhodobé



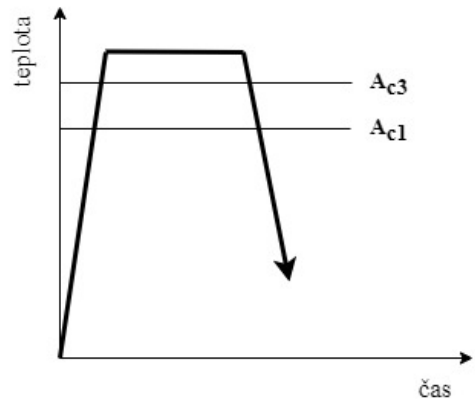
Obr. 18 Žihání ke snížení pnutí [29]

v okolí teploty A_{c1} ($700\text{ }^{\circ}\text{C}$) probíhající v peci s ochranou atmosférou nebo ve vakuové peci. Použití těchto typů pecí je z důvodu zamezení oxidace a oduhličení.

- Normalizační žíhání (obr. 20) – jen u uhlíkových a nízkolegovaných ocelí, nejčastější tepelná úprava. Ohřátí oceli až do teplot $30\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$ nad teplotu A_{c3} , následuje časová prodleva, při které dochází k austenitizaci a pokračuje ochlazováním na vzduchu. Provádí se také dvojitá normalizace tzn. prvně zahřátí na teplotu $80\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$ nad A_{c3} a po ochlazení zase ohřát, nyní na teplotu $20\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$ nad A_{c3} . Dosáhne se tím většího zjemnění zrna.



Obr. 19 Žíhání na měkko [29]



Obr. 20 Normalizační žíhání [29]

3 TECHNOLOGICKÝ POSTUP S VÝPOČTY

Studie z předchozí kapitoly bude použita k propočtům nutným ke správnému technologickému postupu pro kování páky řízení předních kol u zemědělského stroje. Součást se bude vyrábět zápustkovým kováním za pomoci bucharu. Díky výpočtům se také vyberou správné stroje pro všechny potřebné operace.

3.1 Návrh výkovku [27], [31]

Při navrhování výkovku se vychází z výkresu součásti. Konstrukční parametry a požadavky pro konstrukci výkovku jsou uvedeny v kapitole 2.6.

- Dělicí plocha – dle výkresu součásti lze vypočítat, že dělicí rovina bude atypická. Kvůli výškovému odsazení ok spojených dřikem je nutné zvolit lomenou dělicí plochu. Dělicí plocha v oblasti dřiku nebude tedy kolmá ke směru rázu, což při kování zapříčiní vznik sil na ráz kolmých. Vzhledem k malým rozměrům výkovku bude tedy vhodné eliminovat tyto síly kováním dvojkusů.
- Přídavky na obrábění – plochy výkovku, které budou dosedat na další součásti, nelze vyhotovit s vhodnou drsností kováním. Proto je nutné připočítat přídavky na obrábění. V tomto případě se jedná o otvory a čela ok. Výška výkovku je 35,5 mm a největší délka je 145 mm. Z tabulky v příloze 1 proto volím přídavky na obrábění 2,5 mm.
- Volba úkosů – z výkresu součásti je vidno, že vnější úkosy jsou součástí hotového výrobku. Nutná je volba pouze vnitřních úkosů. Volím tedy z tabulky 4 běžnou hodnotu pro zápustkové kování 7°.
- Zaoblení hran a přechodů – v příloze 2 lze vidět, které hrany a přechody je potřeba zaoblit. Hodnota zaoblení je dána poměrem příslušné šířky a výšky. Výšku je také potřeba zařadit do správného intervalu hodnot.

Následující výpočet názorně ukáže výpočet jednoho ze zaoblení.

Zaoblení $r_1 \rightarrow \frac{h_1}{f_1} = \frac{17,5}{41,8} = 0,42 \rightarrow 0,42 < 2$; výška pak náleží do intervalu $\langle 0; 25 \rangle$ mm. Z tabulky 5 je zřejmé, že zaoblení r_1 přísluší hodnota 2 mm. Všechny vypočtené hodnoty zaoblení jsou v tabulce 6.

Tabulka 6 Vypočtené hodnoty zaoblení

	Výška h	Šířka f	Poměr	Hodnota zaoblení
r_1	17,5	40,59	0,43	2
r_2	11,5	11,2	1,03	2
r_3	11,5	40,59	0,28	2
r_4	11,5	19,9	0,58	2
R_2	11,5	11,2	1,03	6

- Předkování blány – v tomto konkrétním případě se bude předkovávat pouze větší otvor o průměru 25 mm. Menší otvor o průměru 13 mm bude zhotoven s technologickým přídavkem a bude se vyvrtávat po dokončení kování. Uprostřed výšky oka vznikne blána a její tloušťka je spočítána pomocí vzorce (2.18). Dle výkresu je hodnota $h = 14,5$ mm.

$$s = 0,45\sqrt{25 - 0,25 \cdot 14,5 - 5} + 0,6\sqrt{14,5} = 4,1 \text{ mm} \quad (2.18)$$

Norma ČSN 42 9030 udává nejmenší dovolenou tloušťku blány. K jejímu určení je potřeba znát největší výšku výkovku ($h = 35,5 \text{ mm}$) a největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu ($B = 46 \text{ mm}$). K těmto hodnotám přísluší tloušťka blány 6 mm.

Vypočtená hodnota je menší než normou doporučená nejmenší tloušťka. Z tohoto důvodu se budeme přiklánět k hodnotě 6 mm z této normy.

- Tolerance rozměrů a mezní úchytky – kombinací norem ČSN 42 9030 a ČSN 42 9002 bylo zjištěno, že budoucí výkovek patří do tvarového druhu 0 (= výkovky s lomenou dělicí plochou) a třídy 3 (= s hlavou a jedním ramenem). Dále se zjistilo, že tvarová skupina spadá do skupiny 8. To znamená, že stupeň přesnosti pro obvyklé provedení je 7 jak ve směru rovnoběžném, tak kolmém na ráz.

Mezní úchytky pro tento stupeň přesnosti s rozměry potřebnými k určení jsou $\begin{matrix} +2,2 \\ -1,1 \end{matrix}$ a tolerance 3,3 mm.

3.2 Návrh výronkové drážky [31]

Jelikož se pro kování použije buchar, výronková drážka bude uzavřená s použitím typu I. obvyklý. Její tvar je zobrazen na obr. 13 v kapitole 2.7. Zásobník bude umístěn v horní zápustce. K navržení výronkové drážky byla použita norma ČSN 22 8308.

Pro následující výpočty je potřeba zjistit průmět plochy do dělicí roviny kolmo ke směru rázu. Tato hodnota by byla složitá na výpočet, proto byla vypočítána pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2020, ve kterém byl model výkovku vypracován a její hodnota je $4600,36 \text{ mm}^2$

Je potřeba zjistit rádius přechodu tvaru do dělicí roviny.

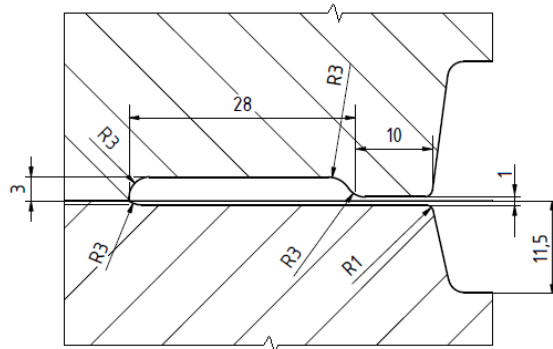
$$r = \frac{\sqrt{4600,36}}{200} + 0,04 \cdot 17,5 = 1,04 \approx 1 \text{ mm} \quad (2.20)$$

Jedná se o malý výkovek, s maximálním rozměrem 145 mm, a proto je do vzorce (2.19) dosazena hodnota 0,015.

$$h = 0,015 \cdot \sqrt{4600,36} = 1,02 \approx 1 \text{ mm} \quad (2.19)$$

Výška h a rádius přechodu r byli zaokrouhleny na nejbližší celé číslo. Další rozměry jsou tabelizovány v této normě. V příloze 3 tohoto dokumentu je tato tabulka vyobrazena. Abychom z tabulky získali nezbytné rozměry, je potřeba určit druh operace. V tomto případě se bude jednat o složité protlačování, pro které jsou dány rozměry zakreslené v obr. 21.

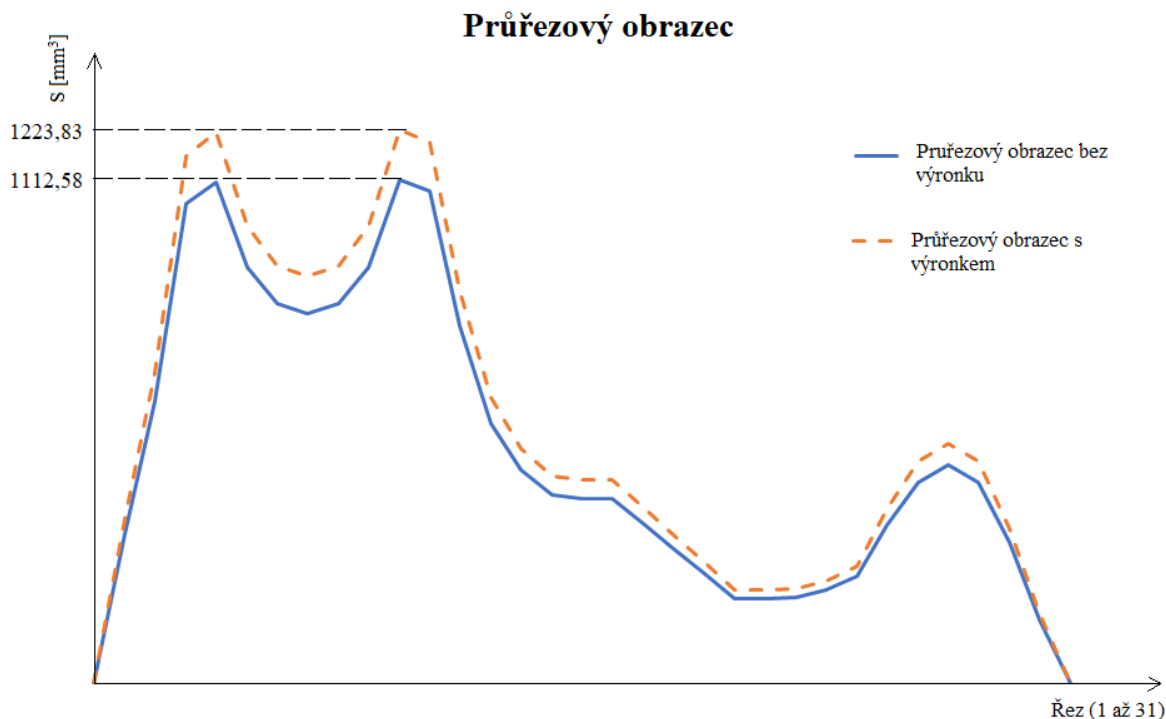
Podle normy ČSN 22 8308 je hloubka zásobníku stejná jako jeho poloměr zaoblení.



Obr. 21 Rozměry výronkové drážky zápustky pro zadanou součást

3.3 Návrh polotovaru [11], [24], [32]

Pro získání rozměrů výchozího polotovaru je u podlouhlých výkovků potřeba vytvořit průřezový obrazec (obr. 22). Vedením řezů na výkovku (ve směru rázu) ve vhodných místech, se zjistí pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2020 plošné obsahy těchto průřezů. Přičtením 10 % k plochám každého průřezu, získáme plochu výkovku s výronkem. Hodnoty těchto průřezů jsou v příloze 4. Vynesením hodnot do grafu se získá průřezový obrazec.



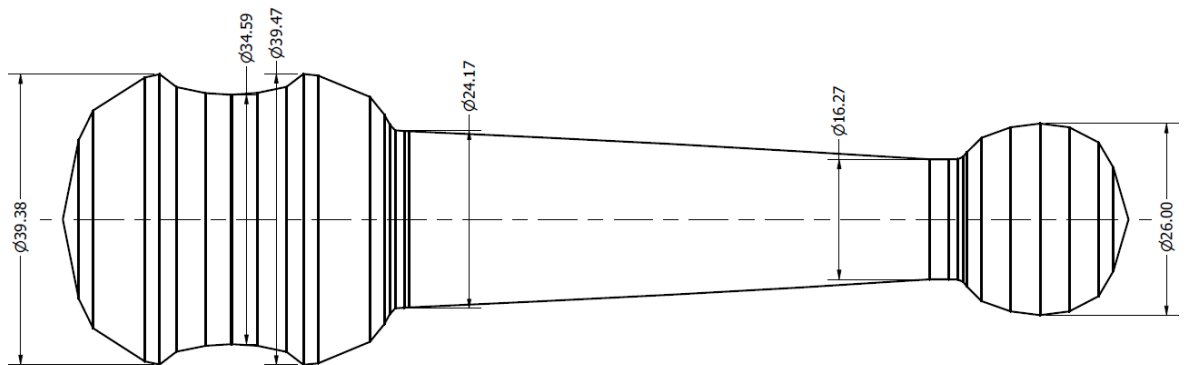
Obr. 22 Průřezový obrazec

Průřezový obrazec slouží k vytvoření tvaru ideálního předkovku. Hodnoty ploch průřezového obrazce s výronkem se přepočítají na plochy kruhového průřezu. Z takových kruhových průřezů se následně získá tvar ideálního předkovku (obr. 23) vytvořeného programem Autodesk Inventor Professional 2020. Následující výpočet předvede způsob výpočtu kruhového průřezu pro největší plochu průřezu s výronkem, který je $1223,83 \text{ mm}^3$. Ostatní vypočtené hodnoty jsou taktéž součástí přílohy 4 této práce.

$$D = \sqrt{\frac{S \cdot 4}{\pi}} \quad (3.1)$$

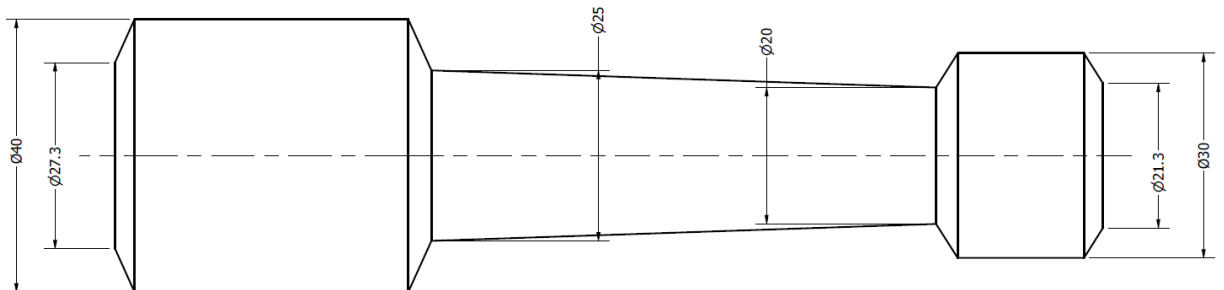
kde: S – plocha průřezu [mm^2].

$$D = \sqrt{\frac{1223,83 \cdot 4}{\pi}} = 39,47 \text{ mm}$$



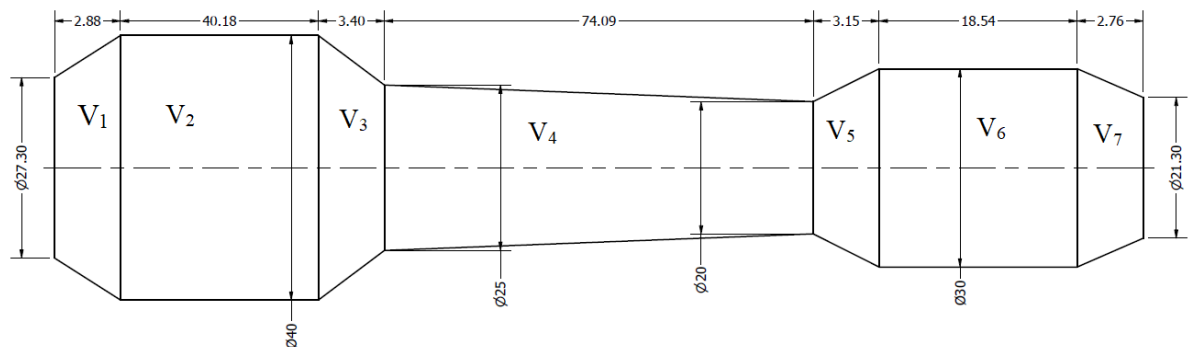
Obr. 23 Ideální předkovka

Příprava výkovku před kováním (= předkování) bude operací PKV, viz kapitola 2.8.1. Z tohoto důvodu a kvůli složitosti tvaru ideálního předkovku je nutné tento tvar zjednodušit. Jednodušší tvar získáme převedením ideálního předkovku na předkovku skutečný (vývalek) viz obr. 24. Rozměry byly zaokrouhleny, případně zvětšeny na rozměry dostupné u prodejců materiálu.



Obr. 24 Skutečný předkovka

Výchozím polotovarem bude tyč a její průměr bude stejný jako největší průměr vývalku, tudíž 40 mm. Pro další výpočty bude zapotřebí celého objemu vývalku, který bude stejný jako objem potřebného polotovaru. Je potřeba vývalek rozdělit na části, pro jejichž výpočet objemu známe vzorce, viz obr. 25.



Obr. 25 Schéma rozdělení předkovku pro výpočet objemu

Části označené V_2 a V_6 mají tvar válce. Ostatní části jsou ve tvaru komolého kužele. Objem válce se vypočítá dle vzorce (3.2) a objem komolého kužele dle vzorce (3.3).

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot v \quad (3.2)$$

kde: r_v – poloměr válce [mm],
 v_v – výška válce [mm].

$$V = \frac{\pi \cdot h}{3} (r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2) \quad (3.3)$$

kde: h_k – výška kužele [mm],
 r_1 – poloměr horní podstavy [mm],
 r_2 – poloměr dolní podstavy [mm].

$$V_1 = \frac{\pi \cdot 2,88}{3} (13,65^2 + 13,65 \cdot 20 + 20^2) = 2\,591,66 \text{ mm}^3$$

$$V_2 = \pi \cdot 20^2 \cdot 40,18 = 50\,491,68 \text{ mm}^3$$

$$V_3 = \frac{\pi \cdot 3,4}{3} (12,5^2 + 12,5 \cdot 20 + 20^2) = 2\,870,63 \text{ mm}^3$$

$$V_4 = \frac{\pi \cdot 74,09}{3} (12,5^2 + 12,5 \cdot 10 + 10^2) = 29\,579,99 \text{ mm}^3$$

$$V_5 = \frac{\pi \cdot 3,15}{3} (15^2 + 15 \cdot 10 + 10^2) = 1\,566,87 \text{ mm}^3$$

$$V_6 = \pi \cdot 15^2 \cdot 18,54 = 13\,105,15 \text{ mm}^3$$

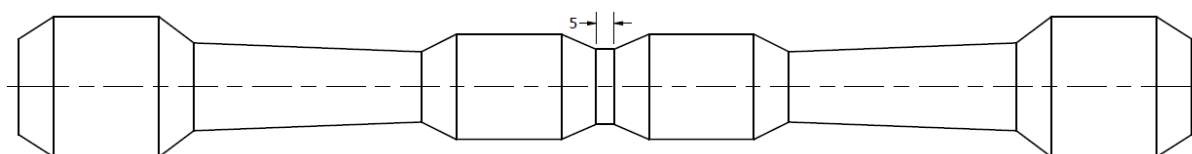
$$V_7 = \frac{\pi \cdot 2,76}{3} (15^2 + 15 \cdot 10,65 + 10,65^2) = 1\,439,85 \text{ mm}^3$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7$$

$$V = 2\,591,66 + 50\,491,68 + 2\,870,63 + 29\,579,99 + 1\,566,87 + 13\,105,15 + 1\,439,85$$

$$V = \mathbf{101\,645,83 \text{ mm}^3}$$

Při výpočtu objemu se nesmí zapomenout, že se kove dvojkus, jak bylo zmíněno v kapitole 3.1. Objem tedy bude dvojnásobný, s připočítaným objemem válce, který tyto dvojkusy spojuje viz obr. 26.



Obr. 26 Znárodnění skutečného vývalku pro dvojkus

$$V_{spoje} = \pi \cdot 10,65^2 \cdot 5 = 1\,781,636 \text{ mm}^3$$

$$V_{dvojkusu} = (101\,645,83 \cdot 2) + 1\,781,636 = \mathbf{205\,073,3 \text{ mm}^3}$$

Důležitým údajem je také hmotnost vývalku, která se vypočítá pomocí vzorce (3.4).

$$m = V \cdot \rho \quad (3.4)$$

kde: V – objem vývalku dvojkusu [m^3] – $205\,073,3 \text{ mm}^3 = 0,0002050733 \text{ m}^3$,
 ρ – hustota materiálu [kg/m^3].

$$m = 0,0002050733 \cdot 7\,870$$

$$m = \mathbf{1,61 \text{ kg}}$$

Výpočet objemu a hmotnosti vývalku byl ověřen pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2020, ve kterém byl model vytvořen. Objem zjištěný programem

byl 205 053,28 mm³ a hmotnost 1,61 kg. Jelikož se tyto hodnoty téměř shodují s vypočítanými hodnotami, lze výpočty označit za správné a s nimi dále pracovat.

Délka polotovaru bude vypočtena z celkového objemu polotovaru podle vzorce (3.5).

$$V = \frac{\pi \cdot D_t^2}{4} \cdot h_t \quad (3.5)$$

kde: D_t – průměr tyče [mm],

h_t – výška tyče [mm].

$$205\,073,3 = \frac{\pi \cdot 40^2}{4} \cdot h_t \rightarrow h_t = \frac{205\,073,3 \cdot 4}{\pi \cdot 40^2}$$

$$h = \mathbf{163,19\ mm}$$

Polotovar (tyč) potřebný pro výrobu vývalku o průměru 40 mm nabízí firma FERONA a.s. Materiál prodávají kusově po 6 metrech. Potřebné množství kusů tyčí pro sériovou výrobu 2000 ks/rok bude vypočteno v některé z dalších kapitol.

3.4 Výběr strojů pro výrobu zadané součásti [25], [31], [32], [33]

- **DĚLENÍ MATERIÁLU** – pro dělení materiálu dodávaný firmou FERONA a.s. o průměru 40 mm byla zvolena metoda řezání. I když je to metoda ekonomicky nevýhodná, tak s ohledem na nízkou výrobní sérii a kvalitu dělení tímto způsobem, je vhodná. Byla vybrána pásová pila PEGAS 230x280 SHI-LR (obr. 27) od firmy PEGAS-GONDA s.r.o. Jedná se o poloautomatickou pásovou pilu, která prořízne plné tyče až do průměru 150 mm. Technické parametry stroje jsou uvedeny v příloze 5.
- **OHŘEV MATERIÁLU** – jako nejvýhodnější byl zvolen ohřev pomocí indukce. Tento způsob ohřevu je rychlý a snižuje oduhlíčení a oxidaci materiálu. Polotovar o průměru 40 mm spadá podle tabulky 2 do prvních tří intervalů s kmitočtem 2 000 až 10 000 Hz. V prvním případě se jedná o hraniční hodnotu a ve třetím případě o hodnotu blízkou nejnižšího průměru. Proto je volen interval průměru 22 až 70 mm s frekvencí kmitočtu 4400 Hz.
- **PŘEDKOVÁNÍ POLOTOVARU** – jelikož se bude kovat na bucharech, volím příčné klínové válcování. Princip této metody je popsán v kapitole 2.8.1. Stroj bude od firmy ŠMERAL Brno a.s. a jeho volba závisí na průměru zpracovávaných průřezů. Polotovar o průměru 40 mm spadá do intervalu průměrů průřezů 35 až 80 pro stroj



Obr. 27 Pásová pila PEGAS 230x280 SHI-LR [33]



Obr. 28 Stroj pro příčné klínové válcování ULS 70 [25]

ULS 70 (obr. 28). Firma ŠMERAL u tohoto stroje zaručuje zvýšení životnosti zápustek až o 300%.

- VOLBA KOVACÍHO STROJE – jak už bylo několikrát zmíněno, kování bude probíhat za pomoci bucharu. Volba bucharu je závislá na velikosti kovací práce posledního úderu, který tváří dva kusy výkovku naráz. V tomto úderu je odpor tvářeného materiálu proti deformaci největší. Výkovek je nekruhového tvaru a všechny vstupní hodnoty jsou převedeny na centimetry. Výpočet práce je dle kapitoly 2.8.1 následující.

$$B_{Dstř} = \frac{30\,033,57}{295} [mm] = \frac{300,336}{29,5} [cm] = \mathbf{10,18\,cm} \quad (2.15)$$

$$D_{red} = 1,13\sqrt{9062,71} [mm] = 1,13\sqrt{90,63} [cm] = \mathbf{10,76\,cm} \quad (2.13)$$

Hodnota přetvárného odporu (σ_p) za dané teploty kování, která bude 900 °C, je uvedena v tabulce normy ČSN 22 8308. Hodnoty v této tabulce jsou v zastaralých jednotkách – k_p/mm^2 , a proto je důležité naši hodnotu převést na správné jednotky – *MPa*. Tato tabulka je v příloze 6.

PŘEVOD: $1\,k_p/mm^2 = 9,8067\,MPa$

$$\sigma_p = 11,5 \frac{k_p}{mm^2} = 11,5 \cdot 9,8067 = \mathbf{112,78\,MPa}$$

$$A = 18(1 - 0,005 \cdot 10,76) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{10,76}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot 10,76^2) \cdot 10,76 \cdot 112,78 = \mathbf{19\,175,73\,J} \quad (2.12)$$

$$A_n = 19\,175,73 \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{29,5}{10,18}}\right) = 22\,440,02\,J \cong \mathbf{22,44\,kJ} \quad (2.14)$$

Kování bude probíhat na pneumaticko-hydraulických bucharcích (KHZ), které nabízí firma ŠMERAL Brno a.s. Vypočítaná tvářecí práce (firma ŠMERAL Brno a.s. uvádí “tvářecí energie”) je rozhodující pro volbu bucharu. Energie potřebná pro kování zadané součásti je 22,44 kJ a proto volím buchar KHZ 4A (obr. 29), jehož tvářecí energie je až 50 kJ.

Tabulka 7 Technické parametry bucharu [25]

Tvářecí energie [kJ]	50
Upínací plocha zápustek [mm]	300x570
Nejmenší výška zápustek [mm]	350
Max. zdvih beranu [mm]	500
Počet zdvihů beranu [min^{-1}]	18
Celkový výkon	55
Rozměry stroje (VxŠxH)	3,6 x 3,1 x 2,3



Obr. 29 Pneumaticko-hydraulický buchar KHZ 4A [25]

- VOLBA OSTRÍHOVACÍHO LISU – k získání požadovaného tvaru výkovku je v našem případě potřeba ostříhnout výronek a děrovat jednu díru s blánou. I když

bude probíhat kování dvojkusů, ostříhovat dva kusy najednou nelze. Jelikož tyto operace proběhnou po kování, bude teplota při ostříhování a děrování o něco nižší než při samotném kování. Teplota bude 800 °C a mez pevnosti materiálu, potřebná pro výpočet střížné síly je 550 MPa. Obvod výkovku a obvod díry je zjištěn pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2020. Střížná síla je vypočtena dle rovnice z kapitoly 2.8.2 (2.21).

$$P_{ostř} = 2,7 \cdot 550 \cdot 334,95 \cdot 1 \quad (2.21)$$

$$P_{ostř} = 497\,400,75 \text{ N} \cong \mathbf{497,401 \text{ kN}}$$

$$P_{děr} = 2,7 \cdot 550 \cdot 78,54 \cdot 6 \quad (2.21)$$

$$P_{děr} = 699\,791,4 \text{ N} \cong \mathbf{699,791 \text{ kN}}$$

$$P_C = P_{ostř} + P_{děr} = \mathbf{1\,197,2 \text{ kN}}$$

Celková síla potřebná k ostřížení výronku a k děrování otvoru o průměru 25 mm byla vypočítána na 1 197,2 kN. Pro takovou tvářecí sílu firma ŠMERAL Brno a.s. nabízí lis LKOA 200 zobrazen na obrázku 30. Technické parametry tohoto lisu jsou v příloze 7.



Obr. 30 Ostříhovací lis LKOA 200 [25]

3.5 Návrh zápusťky [31]

Při návrhu zápusťky bylo vycházeno z normy ČSN 22 8308. Rozměry zápusťky závisí na zvoleném kovacím stroji a rozměrech držáků zápusťek, které jsou uvedeny v tabulkách této normy. Tato tabulka je v příloze 8.

Zápusťka bude tvořena z materiálu ČSN 19 662. Tento materiál je vhodný pro zápusťky při kování za tepla. Kovací dutina má tvar výkovku zvětšeného o míru smrštění, což v případě běžné oceli je 1 %. Výkres je uveden ve výkresové dokumentaci této práce.

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [20], [24]

Firma vyrábějící produkty přijímá zakázky na základě zisku. Důležité je vytvořit plán výroby a k němu technicko-ekonomické zhodnocení. Takovým zhodnocením je získána přibližná cena nákladů pro výrobu zadané součásti. Poté záleží na vyrábějící firmě, jak moc chtějí takovou zakázku získat a s ohledem na tržní ceny stanovit kalkulaci ceny zákazníkovi.

- SPOTŘEBA MATERIÁLU – materiál 12 060 dodává firma FERONA a.s. ve formě ocelových tyčí s kruhovým průřezem o průměru 40 mm. Délka jedné tyče je 6 m a délka polotovaru potřebného pro výrobu dvojkusů výkovku je 163,19 mm

- Počet kusů vývalků dvojkusů z jedné tyče

$$n_{ks} = \frac{l_t}{l_{\text{šp}} + t_p} = \frac{6000}{163,19 + 0,9} = 36,57 \cong \mathbf{36 \text{ ks}} \quad (4.1)$$

kde: l_t – délka dodávané tyče [mm]

$l_{\text{šp}}$ – potřebná délka pro výrobu 1 ks (špalíku) [mm]

t_p – tloušťka pilového pásu [mm]

Celkový počet přířezů je 36 ks, z kterých lze zhotovit 72 ks výkovků.

- Počet tyčí za rok

$$n_t = \frac{Q_r}{n_{ks}} = \frac{2000}{72} = 27,78 \cong \mathbf{28 \text{ ks}} \quad (4.2)$$

kde: Q_r – počet vyrobených kusů za rok [-]

Celkový počet tyčí je 28 ks.

- Délka nevyužitých zbytků tyčí za rok

$$l_{zr} = (l_t - n_{ks} \cdot l_{\text{šp}}) \cdot n_t = (6 - 36 \cdot 0,163) \cdot 28 = \mathbf{3,7 \text{ m}} \quad (4.3)$$

kde: l_t – délka dodávané tyče [m]

$l_{\text{šp}}$ – potřebná délka pro výrobu 1 ks (špalíku) [m]

Délka nevyužitých zbytků tyčí je 3,7 m.

• VÁHOVÉ PROPOČTY

- Hmotnost tyče

$$m_t = \frac{\pi \cdot D_t^2}{4} \cdot l_t \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,04^2}{4} \cdot 6 \cdot 7850 = \mathbf{59,19 \text{ kg}} \quad (4.4)$$

kde: l_t – délka dodávané tyče [m]

D_t – průměr dodávané tyče [m]

ρ – hustota oceli [kg/m^3]

Hmotnost tyče je 59,19 kg.

- Hmotnost tyčí za rok

$$m_{tr} = m_t \cdot n_t = 59,19 \cdot 28 = \mathbf{1\ 657,32 \text{ kg}} \quad (4.5)$$

Hmotnost potřebných tyčí je 1 657,32 kg.

- Hmotnost nevyužitých zbytků tyčí za rok

$$m_{zr} = \frac{\pi \cdot D_t^2}{4} \cdot l_{zr} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,04^2}{4} \cdot 3,7 \cdot 7850 = \mathbf{36,5 \text{ kg}} \quad (4.6)$$

Hmotnost nevyužitých zbytků tyčí je 36,5 kg.

- Hmotnost odpadu z jednoho kusu

$$m_{o1} = m_p - m_s = 1,61 - 0,419 = \mathbf{1,191\ kg}$$
 (4.7)

kde: m_s – hmotnost součásti [kg]

Hmotnost odpadu při výrobě jednoho kusu je 1,191 kg.

- Hmotnost odpadu z výroby celé série

$$m_{oc} = m_{o1} \cdot Q_r = 1,191 \cdot 2000 = \mathbf{2\ 382\ kg}$$
 (4.8)

Hmotnost odpadu z výroby celé série je 2 382 kg.

- Celková hmotnost odpadů

$$m_{Co} = m_{oc} + m_{zr} = 2\ 382 + 36,5 = \mathbf{2\ 418,5\ kg}$$
 (4.9)

Celková hmotnost odpadu je 2 418,5 kg.

• NÁKLADY NA MATERIÁL

- Cena materiálu na jednu součást

$$N_m = C_m \cdot m_p = 24,68 \cdot 1,61 = \mathbf{39,73\ Kč}$$
 (4.10)

kde: C_m – cena materiálu, dle firmy Ferona a.s. [Kč/kg]

m_p – hmotnost polotovaru [kg]

Cena materiálu na výrobu jedné součásti je 39,73 Kč.

- Cena jedné tyče

$$N_t = C_m \cdot m_t = 24,68 \cdot 59,19 = \mathbf{1\ 460,81\ Kč}$$
 (4.11)

Cena jedné tyče je 1 460,81 Kč.

- Cena tyčí za rok

$$N_r = C_m \cdot m_{tr} = 24,68 \cdot 1\ 657,32 = \mathbf{40\ 902,66\ Kč}$$
 (4.12)

Cena tyčí potřebných pro výrobu celé série je 40 902,66 Kč.

• NÁKLADY NA VÝROBU ZÁPUŠTKOVÝM KOVÁNÍM A NÁSLEDNÝM OBRÁBĚNÍM

- Mzdy dělníků za výrobu jednoho kusu kováním

$$M_{V1} = \frac{T_{kk}}{60} \cdot M_{hv} = \frac{2,5}{60} \cdot 150 = \mathbf{6,25\ Kč}$$
 (4.13)

kde: T_{kk} – výrobní čas jedné součásti kováním [min]

M_{hv} – hodinová mzda dělníka [Kč/h]

Mzda dělníků za výrobu jednoho kusu kováním je 6,25 Kč.

- Mzdy dělníků za výrobu celé série kováním

$$M_{V1S} = M_{V1} \cdot Q_r = 6,25 \cdot 2000 = \mathbf{12\ 500\ Kč}$$
 (4.14)

Mzda dělníků za výrobu celé série je 12 500 Kč.

- Mzdy dělníků za dokončení výroby jednoho kusu obráběním

$$M_{V2} = \frac{T_{ko}}{60} \cdot M_{hv} = \frac{4}{60} \cdot 150 = \mathbf{10\ Kč}$$
 (4.15)

kde: T_{ko} – čas pro dokončení jedné součásti obráběním [min]

Mzda dělníků za dokončení výroby jednoho kusu obráběním je 10 Kč.

- Mzdy dělníků za dokončení výroby celé série obráběním

$$M_{V2S} = M_{V2} \cdot Q_r = 10 \cdot 2000 = \mathbf{20\ 000\ Kč} \quad (4.16)$$
Mzda dělníků za dokončení výroby celé série obráběním je 20 000 Kč.
- Mzdy dělníků na výrobu celkem

$$M_C = M_{V1S} + M_{V2S} = 12\ 500 + 20\ 000 = \mathbf{32\ 500\ Kč} \quad (4.17)$$
Celková mzda dělníků za výrobu je 32 500 Kč.
- Investiční návrat za odpad

$$N_o = C_{vo} \cdot m_{Co} = 2,5 \cdot 2\ 418,5 = \mathbf{5\ 371,25\ Kč} \quad (4.18)$$
kde: C_{vo} – výkupní cena ocelového odpadu [Kč]
Investiční návrat za odpad je 5 371,25 Kč.
- Dílenská režie pro zápusťkové kování – činí 1000 % z mezd dělníků

$$D_{rk} = 10 \cdot M_{V1S} = 10 \cdot 12\ 500 = \mathbf{125\ 000\ Kč} \quad (4.19)$$
Dílenská režie pro zápusťkové kování je 125 000 Kč.
- Dílenská režie pro dokončení součásti obráběním – činí 650 % z mezd dělníků

$$D_{ro} = 6,5 \cdot M_{V2S} = 6,5 \cdot 20\ 000 = \mathbf{130\ 000\ Kč} \quad (4.20)$$
Dílenská režie pro dokončení součásti obráběním je 130 000 Kč.
- Dílenská režie celkově

$$D_C = D_{rk} + D_{ro} = 125\ 000 + 130\ 000 = \mathbf{255\ 000\ Kč} \quad (4.21)$$
Celková dílenská režie pro výrobu celé série je 255 000 Kč.
- Podnikatelská režie – činí 200 % z mezd dělníků

$$D_P = 2 \cdot M_C = 2 \cdot 32\ 500 = \mathbf{65\ 000\ Kč} \quad (4.22)$$
Podnikatelská režie je 65 000 Kč.
- Zvláštní náklady
Cena zápusťek a nástrojů použitých při výrobě je odhadem stanovena na

$$D_z = \mathbf{700\ 000\ Kč}.$$

CELKOVÉ NÁKLADY

$$N = M_C + N_r - N_o + D_C + D_P + D_z$$

$$N = 32\ 500 + 40\ 902,66 - 5\ 371,25 + 255\ 000 + 65\ 000 + 700\ 000$$

$$N = \mathbf{1\ 088\ 031,41\ Kč}$$

Celkové náklady na výrobu zadané součásti ve výrobní sérii 2000 ks/rok byla stanovena na 1 088 031,41 Kč. Tato cena je pouze orientační vzhledem na odhad ceny použitých strojů. Hodinová mzda se v různých podnicích může také lišit.

5 ZÁVĚR

Účelem této práce bylo navrhnout a zpracovat výrobní postup páky řízení předních kol zemědělského stroje. K vypracování správného výrobního postupu bylo potřeba provést návrh a analýzu možných způsobů výroby, vybrat nejvhodnější způsob výroby a zpracovat k němu literární studii. Výrobní postup byl dále potřeba prověřit výpočty. Úkolem bylo také zpracovat výkresovou dokumentaci a technicko-ekonomické zhodnocení.

Zadaná součást bude vyráběna z materiálu ČSN 12 060, vhodného na součásti strojů, které jsou méně namáhány, jako například čepy, spojky, páky, pístnice a další. Součást se dá vyrobít obráběním, litím, nebo kováním. Přes všechny klady a zápory byl vybrán způsob objemového tváření, kování. Kování bylo zúženo na konkrétnější zápustkové kování, k němuž byla zpracována literární studie. Na základě této studie byl zpracován technologický postup výroby. Kování bude doprovázeno rázy bucharu. Byl navržen výkovek a výronková drážka pomocí norem ČSN 42 9030, ČSN 42 9002 a ČSN 22 8308. Kvůli výškovému odsazení ok, spojených dříkem, byla dělicí rovina určena jako lomená. K zamezení sil, vzniklých lomenou dělicí plochou, je potřeba výkovek kovat jako dvojkus.

Rozměry polotovaru jsou u podlouhlých výkovek získány pomocí průřezového obrazce, který byl zpracován na základě průřezů výkovku. Z průřezového obrazce byl vytvořen ideální předkovek. Kování složitých součástí je potřeba zajistit předkovací operací. Za nejvhodnější způsob předkování bylo vybráno příčné klínové válcování (PKV) strojem ULS 70 firmy Šmeral Brno a.s. Zjednodušením ideálního předkovku kvůli PKV byl získán konečný tvar skutečného předkovku neboli vývalku, z kterého byl získán finální rozměr polotovaru.

Materiál pro výrobu součásti bude dodáván firmou Ferona a.s. ve formě kruhových tyčí o průměru 40 mm v délce 6 metrů. Vzhledem k velikosti výrobní série bylo dělení materiálu zvoleno metodou řezání. Byla vybrána pásová pila PEGAS 230x280 SHI-LR značky Pegas-Gonda. Výpočtem byla stanovena velikost kovací práce posledního úderu a zvolen buchar KHZ 4A s tvářecí energií až 50 kJ. Otvory součásti jsou rozdílných průměrů a zhotovit kováním lze jen větší díru o průměru 25 mm. V této díře vznikne blána, kterou je potřeba po kování odstranit. S blánou se musí odstranit také vzniklý výronek okolo výkovku. K této operaci byl zvolen ostříhovací lis LKOA 200 od firmy Šmeral Brno a.s. Menší díru je potřeba vytvořit po kování vrtáním.

Zápustka byla zhotovena na základě rozměrů držáků dle ČSN 22 8308 a zvoleného bucharu. Materiál ČSN 19 662 byl určen jako vhodný pro výrobu této zápustky.

Součástí práce je výkresová dokumentace zadané součásti, výkovku a zápustky.

Na závěr byly provedeny technicko-ekonomické propočty. Byly zjištěny celkové náklady na výrobu zadané součásti v sérii 2000 kusů za rok, které činí 1 088 031,41 Kč. Tato cena se může v různých podnicích lišit a nelze na ni brát zřetel.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [34]

1. FUCHS, Otto. *Kování a zařízení v kovárně: příručka pro provoz, konstrukci a vyučování*. Praha: Práce, 1954, 244 s. Knižnice Svazu zaměstnanců strojírenství.
2. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
3. MAÁR, Karol. *Kovanie*. Košice: Edičné stredisko TU v Košiciach, 1991, 317 s. ISBN 80-7099-073-2.
4. Zápustkové výkovky. In: *UNEX* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.unex.cz/cs/odlitky-a-vykovky/zapustkove-vykovky>
5. *Ocel k zušlechťování ČSN 12 060, C55*. [online]. Pardubice: T-PROM s.r.o., [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <http://www.tprom.cz/wiki/ocel/12060>
6. Technologie tváření kovů, TECHNOLOGIE II. In: *Katedra strojírenské fakulty, Oddělení tváření kovů a plastů*, Liberec [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
7. Technologie tváření kovů, TECHNOLOGIE II. In: *Katedra strojírenské fakulty, Oddělení tváření kovů a plastů*, Liberec [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm
8. ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1992, 528 s. Technický průvodce. ISBN 80-03-00651-1.
9. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010. ISBN 978-80-248-2274-7.
10. HAŠEK, Vladimír. *Kování*. Praha: SNTL, 1965, 730 s. ISBN 04-223-65
11. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření II*. Brno: Univerzita obrany, 2008, 106 s. ISBN 978-80-7213-580-2.
12. ASM-Metals Handbook: Forming and Forging. 2004: Vol.14. USA ASM International. S.978. ISBN 0-87170-020-4.
13. MICHNOVÁ, Lenka. *Úvod do metalurgie* [online]. Praha, 2015 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: http://vyvoj.csvs.cz/projekty/2014_veda_pro_zivot/data/15_KA3_Lenka_%20Michnova_Uvod_do_metalografie_metodicka_prirucka.pdf
14. *Poruchy krystalové mřížky* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz/struktura-a-vlastnosti-latek/poruchy-krystalove-mrizky>

15. LENFELD, Petr. *Technologie II*. 3. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016. ISBN 978-80-7494-304-1.
16. ČADA, Radek. *Technologie I* [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007 [cit. 2020-06-22]. ISBN 978-80-248-2126-9. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/TECH1/Technologie-I.pdf>
17. SUCHOPÁREK, Rudolf. *Základy zápuštkového kování oceli*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956, 380 s.
18. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
19. PILOUS ARG 250 pásová pila na kov. In: *Fipas: pily na kov* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: https://www.fipas.cz/pilous-arg-250-pasova-pila-na-kov?gclid=Cj0KCQjwirz3BRD_ARIsAImf7LNrR75rwQz3h2vZ5yGhB0BZcshEqqq95-vgkgXP-zTN2MivZypWFekaAiezEALw_wcB
20. SVOZILOVÁ, Lucie. *Výroba ozubeného pastorku* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=191712. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce doc. Ing. Lidmila Zdeněk, CSc.
21. *Indukce. ROBOTERM* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.roboterm.cz/>
22. Karuselové pece. In: *E-therm: technologická zařízení* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.ethermtz.cz/vyrobyky/karuselove-pece/>
23. Indukční ohřev. In: *Rajmont* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.rajmont.cz/produkty-indukcni-ohrev/?video=17>
24. PŘÍKASKÝ, Jakub. *Kování podlouhlých výkovků* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=173470. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce doc. Ing. Lidmila Zdeněk, CSc.
25. *Šmeral: Šmeral a.s. - Výrobce tvářecích strojů* [online]. Brno: Šmeral Brno, [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/>.
26. *Moderní technologie využívané v kovářství: Buchary* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <http://vzdelavaniirs.cz/moderni-technologie-vyuzivane-v-kovarstvi/buchary>

27. ČSN 42 9030. *Výkovky ocelové zápustkové: Přídavky na obrábění, mezní úchytky rozměrů a tvarů*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1986, 22 s. MDT 621.73.043.
28. ČSN 22 8308. *Zápustky pro buchary: Směrnice pro konstrukci*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1971.
29. VĚCHET, Stanislav a Karel NĚMEC. *Tepelné zpracování ocelí* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2810347/>
30. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 398 s. ISBN 80-7204-248-3.
31. ČSN 42 9002. *Rozdělení zápustkových výkovků podle složitosti tvaru*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1968, 36 s. DT 669-134:621.73.043.
32. *Ferona a.s.* [online]. Praha: Ferona, [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/detail/23948/tyc-ocelova-kruhova-valcovana-za-tepla-en-10060-prumer-40>.
33. Pásové pily na kov. In: *PEGAS-GONDA* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.pegas-gonda.cz/cs/product/15/230x280-shi-lr-akcni-cena-poloautomaticka-pasova-pila-na-kov-pegas-230x280-shi-lr>
34. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Kovací práce	[J]
A _n	Kovací práce nekruhových výkovků	[J]
a	Velikost strany výkovku	[mm]
B _{dstř}	Střední šířka výkovku	[cm]
C _m	Cena materiálu	[Kč/kg]
C _{vo}	Výkupní cena ocelového odpadu	[Kč]
D	Průměr ideálního předkovku v místě průřezu	[mm]
D _c	Celková dílenská režie	[Kč]
D _j	Průměr součásti	[mm]
D _o	Průměr kovaného otvoru	[mm]
D _p	Podnikatelská režie	[Kč]
D _{red}	Redukovaný průřez	[mm]
D _{rk}	Dílenská režie pro zápusťkové kování	[Kč]
D _{ro}	Dílenská režie pro dokončení součásti obráběním	[Kč]
D _t	Průměr tyče	[mm]
D _v	Průměr výkovku	[mm]
D _z	Zvláštní náklady	[Kč]
F	Kovací síla	[N]
F _C	Celková kovací síla	[N]
F _N	Normálová složka kovací síly	[N]
F _T	Tečná složka kovací síly	[N]
f	Součinitel tření	[-]
H _D	Výška osy drážky ode dna	[mm]
h	Polovina výšky oka výkovku	[mm]
h _k	Výška kužele	[mm]
h _m	Výška můstku	[mm]
h _t	Výška tyče	
h _v	Výška můstku výronkové drážky	[mm]
K _{TS}	Součinitel tvarové složitosti	[-]
L _D	Délka výkovku	[mm]
l _{šp}	Délka špalíku	[mm]
l _t	Délka dodávané tyče	[mm]
l _{zr}	Délka nevyužitých zbytků tyčí za rok	[m]
M _C	Celkové mzdy dělníku na výrobu	[Kč]
M _{hv}	Hodinová mzda dělníka	[Kč]
M _{V1}	Mzdy dělníků za výrobu jednoho kusu kování	[Kč]
M _{V1S}	Mzdy dělníků za výrobu celé série kování	[Kč]
M _{V2}	Mzdy dělníků za dokončení jedné součásti obráběním	[Kč]
M _{V2S}	Mzdy dělníků za dokončení výroby celé série obráběním	[Kč]
m	Hmotnost	[kg]
m _{Co}	Celková hmotnost odpadu	[kg]
m _{oc}	Hmotnost odpadu z výroby celé série	[kg]
m _{o1}	Hmotnost odpadu z jednoho kusu	[kg]
m _p	Hmotnost polotovaru	[kg]
m _s	Hmotnost součásti	[kg]
m _t	Hmotnost tyče	[kg]
m _{tr}	Hmotnost tyčí za rok	[kg]

m_{zr}	Hmotnost nevyužitých zbytků tyčí za rok	[kg]
N	Celkové náklady	[Kč]
N_m	Cena materiálu na jednu součást	[Kč]
N_o	Investiční návrat za odpad	[Kč]
N_t	Cena jedné tyče	[Kč]
N_r	Cena tyčí za rok	[Kč]
n_{ks}	Počet kusů vývalků dvojkusů z jedné tyče	[ks]
n_t	Počet tyčí za rok	[ks]
o	Obvod výronku / obvod blány	[mm]
P	Střížná síla	[N]
Q_r	Počet vyrobených kusů za rok	[-]
R	Hodnota vnitřního zaoblení	[mm]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_m	Pevnost v tahu	[MPa]
r	Hodnota vnějšího zaoblení	[mm]
r_j	Délka úseků pod čarou deformačních odporů	[mm]
r_p	Přechod tvaru do dělicí roviny	[mm]
r_v	Poloměr válce	[mm]
r_1	Poloměr horní podstavy	[mm]
r_2	Poloměr dolní podstavy	[mm]
S	Plocha průřezu	[mm ²]
S_C	Průmět plochy výkovku a můstku výronku	[cm ²]
S_D	Průmět plochy výkovku v ploše kolmé ke směru rázu	[cm ²]
S_j	Dílicí plochy v úsecích r_j pod čarou deformačních odporů	[mm]
$S_{výk}$	Plocha výkovku	[cm ²]
$S_{výr}$	Průmět plochy výronku a můstku výronku	[cm ²]
s	Tloušťka výronku / tloušťka blány	[mm]
s_m	Šířka můstku výronkové drážky	[mm]
T_{kk}	Výrobní čas jedné součásti kováním	[min]
T_{ko}	Čas pro dokončení jedné součásti obráběním	[min]
t_p	Tloušťka pilového pásu	[mm]
V	Objem	[mm ³]
v_v	Výška válce	[mm]
z_j	Průřez součásti	[mm]
ρ	Hustota oceli	[kg/m ³]
σ_d	Deformační odpor	[MPa]
σ_p	Přetvárná pevnost	[MPa]
σ_{zmax}	Maximální hodnota osového napětí na vstupu z výronkové drážky do výronku	[MPa]
$\sigma_{zstř}$	Střední hodnota osového napětí ve výronku	[MPa]

Zkratky:

DKT	Dolní kovací teploty
HKT	Horní kovací teploty
PKV	Příčné klínové válcování

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Zápustkové výkovky [4]	13
Obr. 2 Schéma zadané součásti [-]	11
Obr. 3 Hlavní typy krystalových buněk kovů [2]	13
Obr. 4 Bodové poruchy. a) vakance; b) intersticie [14]	14
Obr. 5 Schématické znázornění pružné a plastické deformace skluzem a dvojčatěním [2]	15
Obr. 6 Pásová pila [19]	16
Obr. 7 Kovací teploty oceli [11]	16
Obr. 8 Karuselová pec [22]	17
Obr. 9 Indukční pec [23]	18
Obr. 10 Svislý kovací lis firmy ŠMERAL [25]	20
Obr. 11 Pneumaticko-hydraulický buchar [25]	22
Obr. 12 Otevřená výronková drážka [28]	24
Obr. 13 Uzavřená výronková drážka [28]	25
Obr. 14 Tvar a upínání zápustek do svislých kovacích lisů [25]	25
Obr. 15 Upínání zápustek do bucharu [25]	26
Obr. 16 Schéma příčného klínového válcování (PKV) [7]	26
Obr. 17 Ostřihovací lis [25]	27
Obr. 18 Žihání ke snížení pnutí [29]	27
Obr. 19 Žihání na měkko [29]	28
Obr. 20 Normalizační žihání [29]	28
Obr. 21 Rozměry výronkové drážky zápustky pro zadanou součást [-]	30
Obr. 22 Průřezový obrazec [-]	31
Obr. 23 Ideální předkovek [-]	32
Obr. 24 Skutečný předkovek [-]	32
Obr. 25 Schéma rozdělení předkovku pro výpočet objemu [-]	32
Obr. 26 Znázornění skutečného vývalku pro dvojkus [-]	33
Obr. 27 Pásová pila PEGAS 230x280 SHI-LR [33]	34
Obr. 28 Stroj pro příčné klínové válcování ULS 70 [25]	34
Obr. 29 Pneumaticko-hydraulický buchar KHZ 4A [25]	35
Obr. 30 Ostřihovací lis LKOA 200 [25]	36

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Chemické složení oceli 12 060 [5]	11
Tabulka 2 Doporučený kmitočet pro indukční ohřev [11]	18
Tabulka 3 Hloubka tolerovaných vad [3]	22
Tabulka 4 Úkosy zápusťkových výkovků [27]	23
Tabulka 5 Doporučené poloměry zaoblení [27]	24
Tabulka 6 Vypočtené hodnoty zaoblení [-]	29
Tabulka 7 Technické parametry bucharu [25]	35

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Pridavky na obrábění ČSN 42 9030 [27]
- Příloha 2 Potřebné zaoblení hran a přechodů
- Příloha 3 Hodnoty pro výronkovou drážku ČSN 22 8308 [28]
- Příloha 4 Hodnoty průřezů [-]
- Příloha 5 Technické parametry pásové pily [33]
- Příloha 6 Pevnosti ocelí za kovací teploty ČSN 22 8308 [28]
- Příloha 7 Technické parametry ostřihovacího lisu [25]
- Příloha 8 Upínací možnosti bucharů – rozměry upínačů/držáků zápustek ČSN 22 8308 [28]

SEZNAM VÝKRESŮ

- | | |
|------------------------|--------------|
| Výkres páky řízení | BP-01-191984 |
| Výkres výkovku | BP-02-191984 |
| Výkres kovací zápustky | BP-03-191984 |

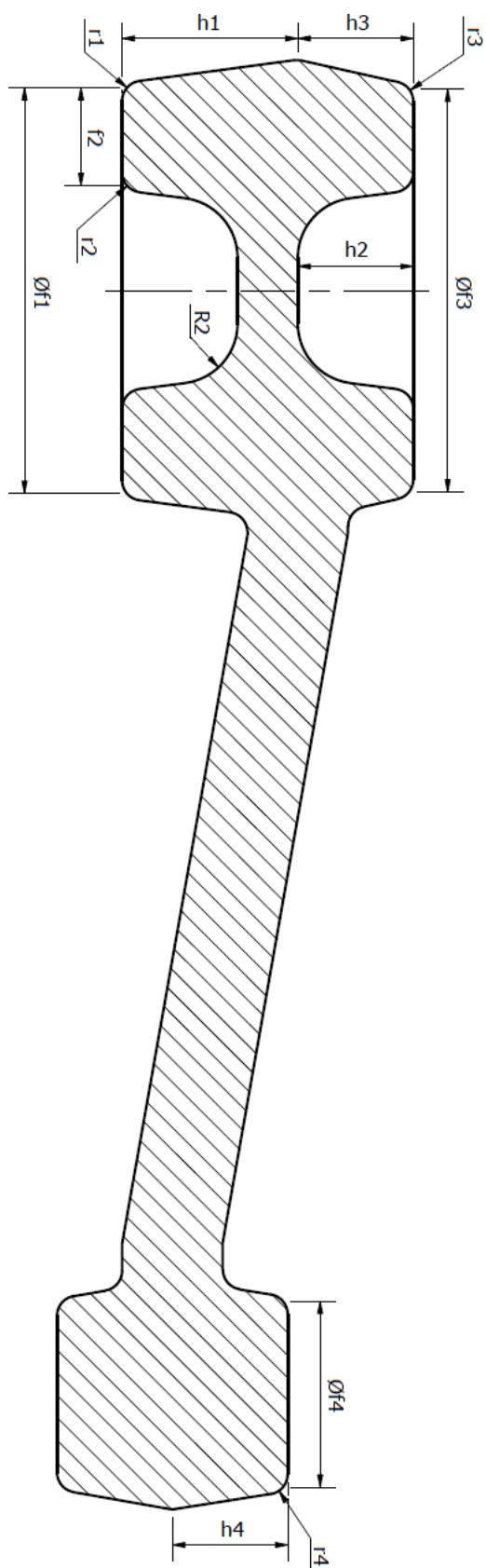
Příloha 1 Přidavky na obrábění ČSN 42 9030 [27]

Tab. 1. PŘÍDAVKY NA OBRÁBĚNÍ PLOCH PRO OBVYKLÉ PROVEDENÍ

Rozměry v mm

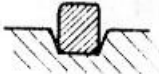
Největší průměr, střední hodnota šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu		Největší výška hotového výrobku							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes	do	Přidavky na obrábění ploch							
	25	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0			
25	40	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5		
40	63	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5		
63	100	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	
100	160	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	
160	250	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5
250	400	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0
400	630	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
630	1000	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0

Příloha 2 Potřebné zaoblení hran a přechodů



Příloha 3 Hodnoty pro výronkovou drážku ČSN 22 8308 [28]

Tab. 7. HODNOTY PRO VÝRONKOVOU DRÁŽKU TYP I., II., III.










Čís.	h	n	Pěchování			Protlačování					
						jednoduché			složené		
			s	s_z	$F_{výr}$	s	s_z	$F_{výr}$	s	s_z	$F_{výr}$
1	0,6	3	6	18	0,52	6	20	0,61	8	22	0,74
2	0,8	3	6	20	0,69	7	22	0,77	9	25	0,88
3	1,0	3	7	22	0,80	8	25	0,91	10	28	1,04
4	1,6	3,5	8	22	1,02	9	25	1,13	11	30	1,55
5	2,0	4	9	25	1,36	10	28	1,53	12	32	1,77
6	3,0	5	10	28	2,01	12	32	2,33	14	38	2,78
7	4,0	6	11	30	2,68	14	38	3,44	16	42	3,85
8	5,0	7	12	32	3,43	15	40	4,34	18	46	5,06
9	6,0	8	13	35	4,35	16	42	5,30	20	50	6,42
10	8,0	10	14	38	6,01	18	46	7,45	22	55	9,03
11	10,0	12	15	40	7,68	20	50	9,88	25	60	12,08

$F_{výr}$ platí pouze pro výronkovou drážku typ I. a II.

Příloha 4 Hodnoty průřezů

Řez	Plocha řezu	Plocha s výronkem	Průměr id. výkovku
1	332,453	365,698	21,58
2	624,462	686,908	29,57
3	1060,588	1166,647	38,54
4	1107,059	1217,765	39,38
5	936,905	1030,596	36,21
6	870,571	957,628	34,92
7	854,52	939,972	34,59
8	870,571	957,628	34,92
9	936,905	1030,596	36,21
10	1112,576	1223,834	39,47
11	1088,773	1197,65	39,05
12	789,774	868,757	33,26
13	575,745	633,32	28,4
14	472,62	519,882	25,73
15	417,188	458,907	24,17
16	409,4	450,34	23,95
17	408,913	449,804	23,93
18	353,851	389,236	22,26
19	298,851	328,736	20,46
20	243,851	268,236	18,48
21	188,902	207,792	16,27
22	188,914	207,805	16,27
23	191,159	210,275	16,36
24	206,056	226,662	16,99
25	236,48	260,128	18,2
26	350,531	385,584	22,16
27	446,088	490,697	25
28	482,531	530,784	26
29	446,088	490,697	25
30	311,004	342,104	20,87
31	141,149	155,264	14,06

Příloha 5 Technické parametry pásové pily [33]

Rezné parametry						
						
	D [mm]	230	190	100	170	x
	D [mm]	150*	110*	80*	110*	x
	axb [mm]	280x210	180x170	100x70	170x120	280x120

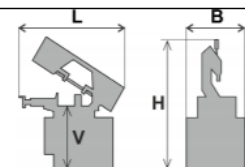
*doporučené hodnoty, + HP = rozměr omezený horním přítlakem

Nejmenší odřezek	mm	3
Nejmenší dělitelný průměr	mm	5
Nejmenší zbytek při jednom řezu	mm	30

Výkonnostní parametry	
Pohon pilového pásu	kW 1,0
Pohon hydraulického agregátu	kW 0,44
Čerpadlo chladící emulze	kW 0,045
Celkový příkon	kW 3,33
Řezná rychlost – plynule nastavitelná	m/min 20-100
Rozměr pilového pásu	mm 2720x27x0,9
Elektrické zapojení	3x400V, 50 Hz, TN-S
Distributor RM	kW 0,1

Pracovní pohyby		
Posuv ramene do řezu	Hydraulicky	
Posuv materiálu	Manuálně	
Upínání materiálu	Hydraulicky	
Napínání pásu	Manuálně	
Čistění pilového pásu	Pasivní kartáč	
Chlazení	Výkon = 16,0 [l/min]	Obsah nádrže = 12,0 [l]

Rozměry					
Délka	Šířka	Výška max		Výška min	Výška stolu
[L]	[B]	[Hmax]	[Hmin]	[V]	(kg)
2340	1050	1890	1370	795	420



Příloha 6 Pevnosti ocelí za kovací teploty ČSN 22 8308 [28]

Tab. 2. PEVNOST OCELI ZA KOVACÍ TEPLoty σ_s (kp/mm²)

T' °C	Pevnost oceli σ_{pl} kp/mm ²				Ložiskový materiál
	40	60	80	100	
	Pevnost oceli za kovací teploty				
1300	1,4	2,0	2,4	3,0	—
1200	1,8	2,2	3,6	5,0	—
1100	2,2	3,6	5,1	6,8	3,5
1000	3,0	5,4	7,5	10,9	6,0
900	4,5	7,5	11,5	15,9	9,0
800	6,6	11,1	15,5	23,0	14,0
700	9,5	15,0	25,0	33,0	—

Přesnější hodnoty jednotlivých materiálů jsou v materiálových listech

Tab. 3. PEVNOST NEŽELEZNÝCH KOVŮ ZA KOVACÍ TEPLoty σ_s (kp/mm²)

T' °C	Měď	Bronz	Hliníkový bronz	Mosaz	Slitiny hliníku	Dural
	423001	423045 423046 423047	423053	423213 423223 423231	424201 424400 424412	424250
	Pevnost neželezných kovů za kovací teploty					
900	0,8	2,0	—	—	—	—
850	1,0	2,5	2,0	0,8	—	—
800	1,5	3,0	5,5	1,0	—	—
750	—	9,0	14,0	1,5	—	—
700	—	—	—	2,0	—	—
500	—	—	—	—	1,5	2,8
450	—	—	—	—	2,0	3,2
400	—	—	—	—	2,5	4,0
350	—	—	—	—	3,0	6,0

Pro neuvedené materiály platí hodnoty z materiálových listů.

Příloha 7 Technické parametry ostříhovacího lisu [25]

TECHNICKÁ DATA

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

Příloha 8 Rozměry upínačů/držáků zápustek ČSN 22 8308 [28]

**UPÍNACÍ MOŽNOSTI BUCHARŮ KHZ — rozměry upínačů
— držáků zápustek (mm)**

Buchar	KHZ 2	KHZ 4	KHZ 8
A	426	560	650
B	470	600	830
C	420	560	650
D	470	600	730
E _{min}	250	350	400
F	40	50	60
G	125	150	150
H	286	300	342
I	270	310	380
J	335	385	465
K	140	170	220
L	220	240	300
P	430	600	690
Ø d	20	36	45
α	78°	78°	78°
β	80°	78° 80°	80°
V		úkos 1:100	

