



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

VÝROBA OPĚRY TVÁŘENÍM PRODUCTION OF SUPPORT BY FORMING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ CAHA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. MILOSLAV KOPŘIVA

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Čaha

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:

Výroba opěry tvářením

v anglickém jazyce:

Production of support by forming

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě vypracované rešerše v daném oboru stanovit vhodnou technologii pro výrobu zadané součásti.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Literární rešerše problému
- 2) Stávající možnosti výroby
- 3) Návrh technologie výroby zadané součásti
- 4) Stanovení veškerých technologických dat a vypracování
- 5) Ekonomické zhodnocení
- 6) Závěr a návrh případných opatření

Seznam odborné literatury:

1. ELFMARK, J., et al. Tváření kovů. 1. vyd. Praha: SNTL Praha, 1992. 524 s. Technický průvodce; sv. 62. ISBN 80-03-00651-1.
2. NOVOTNÝ, K. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno : Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 str. Edit. VUT Brno. ISBN 80-214-0401-9
3. HAŠEK, V. Kování. 3. vyd. Praha : SNTL Praha, 1997. 732 str. ISBN 04-233-65.
4. DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K. Technologie tváření : plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno : CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
5. FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno : CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miloslav Kopřiva

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 18.11.2010




prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

CAHA Tomáš: Výroba opěry tvářením.

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia oboru B-STG předkládá návrh technologie výroby výkovku – dílce z tyče kruhového průřezu válcované za studena 14 220. Na základě literární studie problematiky zápustkového kování a výpočtu bylo navrženo kování v zápustce se spodním vyhazovačem, určeným ke snadnému vyjmutí výkovku z dutiny zápustky. Zápustka je kruhového průřezu a je upnuta rybinovou drážkou ve svislém kovacím lisu LZK 1600 (výrobce ŠMERAL Brno), se jmenovitou tvářecí silou 16 MN. Dolní i horní polovina zápustky jsou vyrobeny z oceli 19 662, tepelně zpracované pro účely kování.

Klíčová slova: Ocel 14 220, tvářením, zápustkové kování, tvářecí síla

ABSTRACT

CAHA Tomáš: Production of support by forming.

This project developed within the bachelor degree in B-STG present proposal forging technology - parts from bar of circular cross-section of cold rolled 14 220. Based on the literature study problems of die forging and calculation was designed die forging with bottom ejector, designed for easy removal of the forging from die cavity. Die is circular cross section and is clamped with a dovetail groove in vertical forging press LZK 1600 (manufacturer ŠMERAL Brno), with a nominal forging force of 16MN. The lower and upper half of the die is made of steel 19 662, heat treated for the purposes forging.

Key words: Steel 14 220, forming, die forging, forming force

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CAHA, T. Výroba opěry tvářením. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Miloslav Kopřiva.

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 Brně dne 18. 5. 2012

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Miloslavu Kopřivovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Úvod

1	MOŽNOSTI VÝROBY SOUČÁSTÍ [1][2][5][6][9][15].....	11
1.1	Obrábění	11
1.2	Slévárnství.....	12
1.3	Kování.....	12
2	ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ [1][2][4][5][7][8][11]	13
2.1	Definice kování, popis, historie	13
2.2	Volné kování.....	14
2.3	Kovací úkosy	14
2.4	Poloměry zaoblení	15
2.5	Přídavky a tolerance	15
2.6	Třídění výkovků do tříd	16
2.7	Základní charakteristika výkovků.....	18
2.8	Výronková drážka a určení jejich rozměrů.....	19
2.9	Ohřívací zařízení.....	20
2.10	Opal a smrštění	20
2.11	Dělicí rovina	21
2.12	Předkování děr	21
2.13	Ideální předkovek	22
2.14	Dělení zápusťkových dutin	22
2.15	Rozměry zápusťtek.....	22
2.16	Výpočet kovací síly	23
2.17	Upínání a vedení zápusťtek	24
2.18	Volba kovacího stroje	24
2.19	Kovací lis versus buchar	25
2.20	Vyhazovače.....	26
2.21	Ostřihování výkovků	26
2.22	Rovnání výkovků.....	27
2.23	Kalibrování výkovků	27
2.24	Kovací válce	27
2.25	Materiál zápusťtek.....	28
2.26	Vložkování zápusťtek.....	28
2.27	Simulace kování.....	29
3	STÁVAJÍCÍ MOŽNOSTI VÝROBY [2][5][15]	30
4	TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY [1][2][5][14]	32
4.1	Dělení materiálu.....	32
4.2	Indukční ohřev	32
4.3	Kování.....	33
4.4	Ostřížení.....	33
4.5	Tepelné zpracování a čištění.....	34

5	STANOVENÍ TECHNOLOGICKÝCH DAT [5][8][9][10][12][13][14]	35
5.1	Materiál výkovku.....	35
5.2	Zařazení výkovku podle třídy	35
5.3	Volba dělicí roviny	36
5.4	Návrh polotovaru	36
5.5	Výpočty objemů.....	37
5.6	Návrh výronkové drážky a střížné síly	37
5.7	Výpočet kovací síly výkovku	38
5.8	Výpočet kovací síly podle normy ČSN 22 8306	39
5.9	Kontrola kovací síly podle nomogramu	40
5.10	Rozměry zápustky	41
6	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [12][13][14]	42
7	ZÁVĚR.....	44

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam příloh

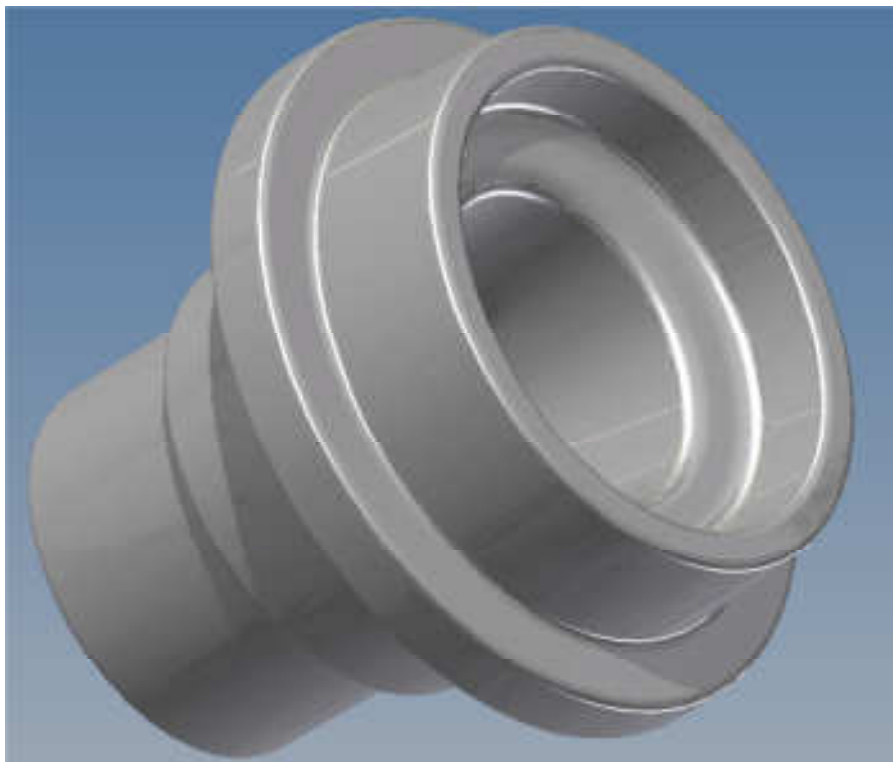
ÚVOD [1][2][3][4]

Technologie pochází ze dvou slov řeckého původu: „Techné“ neboli umění, řemeslo a „Logos“ neboli nauka. Doslovný překlad je tedy nauka o řemeslech. Nedílnou součástí strojírenské technologie je tváření (viz Obr. 1). Výrobní proces, při němž se vyrábí hutní polotovary a strojní součásti působením vnějších sil, aniž by byla porušena celistvost materiálu. Změna výchozího tvaru je způsobena plastickou deformací materiálu. První zmínky o plastické deformaci se datují koncem 19. století. Každý materiál má tvárnost nebo-li plasticitu, která udává do jaké míry je možno materiál tvářet. Závisí na vnitřní stavbě látky, chemickém složení, teplotě tvárného materiálu a na samotném tvářecím procesu. Při technologii tváření se řeší čtyři základní úlohy. Určení velikostí sil vzniklých při tvářecím procesu, určení velikostí a průběhů zatížení tvářeného tělesa, stanovení finální geometrie výrobku a stanovení kritických podmínek přetvoření. Překročení těchto podmínek způsobí porušení materiálu.



Obr. 1 Příklady součástí vyrobených objemovým tvářením

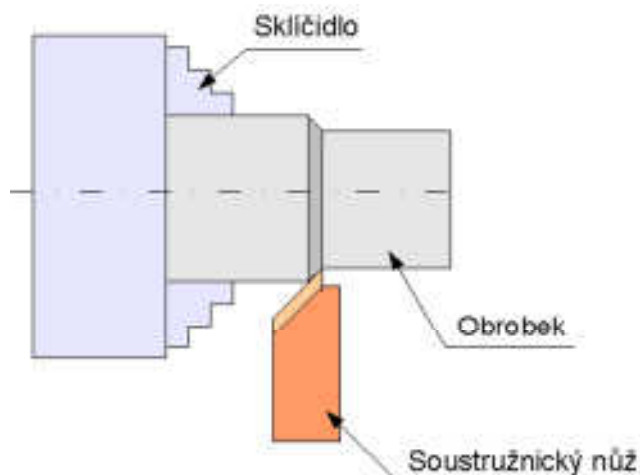
1 MOŽNOSTI VÝROBY SOUČÁSTÍ [1][2][5][6][9][15]



Obr. 2 Zadaná součást

1.1 Obrábění

Technologie obrábění je proces, při kterém dosahujeme požadovaného tvaru vnikáním řezného nástroje do povrchu polotovaru (viz Obr. 3). Je deformována struktura materiálu a tím i jeho mechanické vlastnosti. Obrábění probíhá postupným odebíráním daného množství



Obr. 3 Princip soustružení

materiálu, ten se nazývá přídavek na obrábění. Při obrábění je nutno dodržovat hlavní znaky: Hmatatelnost (nástroje, pracoviště, stroje), měřitelnost, kontrolu rozměrů a počítatelnost (počet obrobků, potřebných nástrojů, atd.), což vyžaduje kvalifikovanou obsluhu. Jedná se o třískové obrábění vnějších a vnitřních rotačních ploch jednobřitým nástrojem (soustružnickým nožem), přičemž nůž koná vedlejší pohyb a upnutý obrobek pohyb hlavní.

Soustružení lze rozdělit na čelní a podélné. Při čelním soustružení se obrábí plocha kolmá a osu rotace obrobku

(čelo). Rovněž je to operace, která se provádí ihned po upnutí polotovaru. Od obrobeného prvního čela se odvíjí všechny ostatní rozměry. Při podélném soustružení se obrábí plocha rovnoběžná s osou rotace obrobku (průměr). Součást je nejprve hrubována a následně obrobena na čisto ve finálním rozměru a kvalitě povrchu. Obrábění na čisto se provádí v radiálním i axiálním směru.

1.2 Slévárenství

Je technologický proces, při kterém se roztavený kov lije do formy (viz Obr. 4), která má tvar konečného výrobku zvětšený o technologické přídávky. Po úplném vyplnění formy a jejím zchlazení se získává konečný výrobek tzv. odlitek. Slévání se využívá především při výrobě složitých součástí, u kterých by byla výroba jinými technologiemi problematická. Ať už z důvodu velikosti nebo složitosti tvaru výrobku. Slévárenství představuje ekonomický způsob výroby



Obr. 4 Ukázka lití taveniny do formy

součásti z polotovaru. Při výrobě odlitku je nutno materiál nejprve roztavit na teplotu tavení a poté nalít do předem připravené formy. Ne všechny materiály jsou použitelné pro tento proces. Nejvhodnější jsou tzv. slévárenské slitiny, které splňují všechny podmínky. Zejména tavitelnost – schopnost slitiny přejít z tuhého skupenství do skupenství tekutého – tzv. vytvářet taveninu a zabíhavost – schopnost slitiny vyplnit co nejdokonaleji formu. To vše při zachování chemického složení a čistoty materiálu. Slévárenství se dělí na dvě základní skupiny – Hutní a Strojní. Hutní slévárenství probíhá v ocelárnách, kde se vyrábí hutní materiál určený pro další zpracování. Je odléván do tzv. kokil, forem jednoduchých tvarů. Produktem strojního slévárenství jsou velmi členité a tvarově složité odlitky (např.: bloky motorů, těles ústředního topení, strojů, atd.).

1.3 Kování

Tento technologický proces beztržkového obrábění probíhá za teploty kování. Jednoduché součásti je možno kovat i za studena. Materiál je působením vnějších sil (rázy) deformován do požadovaného tvaru (viz Obr. 5). Oproti ostatním metodám není porušena struktura materiálu, naopak se jeho houževnatost zvětšuje. Výsledkem tohoto procesu je součást zvětšená o přídávky na obrábění a technologické přídávky, tzv. výkovek.



Obr. 5 Výkovek z vřetenového lisu

Kování se dělí na volné, zápusťkové a rotační. Pro zadanou součást (viz. Obr. 2) je nejvhodnější zápusťkové kování, při kterém je materiál formován v zápusťce, která umožňuje výrobu složitějších tvarů s minimálními přídávky materiálu. Zápusťka je složena z horní pohyblivé poloviny a dolní pevné poloviny. Místo kde se setkávají, nazýváme dělicí rovina. Kolem celého obvodu zápusťky je umístěna výronková drážka do které uniká přebytečný kov. Její použití je podmíněno

složitostí výkovku. Hmotnost polotovaru je omezena na několik desítek kilogramů a díky vysoké ceně zápusťky je vhodný pouze pro sériovou výrobu.

K zápusťkovému kování je možno využít dvou typů strojů – Buchary a Lisy. Buchary pracují rychlým pohybem. Výkovek je většinou vyroben postupně jednotlivými rázy, dokud se obě části zápusťky nedotknou. U lisů je výška zdvihu pevně daná konstrukcí klikového mechanismu. Proces probíhá pomalu a části zápusťky se nedotýkají.

2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ [1][2][4][5][7][8][11]

2.1 Definice kování, popis, historie

Kování je technologický proces objemového tváření kovů, jehož výsledkem je výkovek. Většinou probíhá za kovací teploty, která se podle druhu materiálu pohybuje od 750°C do 1200°C. Kováním lze zpracovat tvárné kovy a jejich slitiny.

Při kování klademe důraz na minimální spotřebu materiálu, přesnost odpovídající požadavkům, vysoké mechanické vlastnosti a ekonomičnost výroby. Díky neporušení struktury kovu dochází ke zlepšení mechanických a fyzikálních vlastností. Kování spočívá v ohřevu materiálu na požadovanou teplotu, samotném přetvoření materiálu a zchladnutí. Při ohřevu by měla být dosažena kovací teplota v co nejkratším čase při zachování vnitřní a vnější jakosti materiálu. Kvalitním ohřevem se dosahuje lepší tvařitelnosti. Kování se dělí na volné a zápusťkové.

Zápusťkové kování

Při tomto kování nabývá výkovek finální tvar v dutině zápusťky, která je složena z horní a dolní poloviny. V každé polovině je vytvarována polovina výkovku, takovým způsobem, aby bylo možno výkovek vyjmout. Mezi polovinami zápusťky je dělicí rovina, po jejímž obvodu je umístěna výronková drážka pro odtok přebytečného materiálu. U tvarově jednodušších výkovků není nutno výronkovou drážku používat.

Historie kování

Kovářství je řemeslo zpracovávající ocel a její slitiny. Praktickou činnost kovářů označujeme za kování. Umění zpracovávat železo (železnou rudu) se stalo jedním ze základních podmínek pokroku starověkých civilizací.

První zmínky o zpracování železné rudy se datují na 3. tisíciletí př. n. l. převážně z oblasti Mezopotámie. Předměty potřebné k dennímu užitku se ale objevují až ve 12. stol. př. n. l. v Asii. Nejprudší rozvoj zpracování železa nastal v Halštatském období, kde byla používána především bronz. Prakticky všechny techniky využívané v 19. stol. n. l. se objevily již v římské kultuře. Po úpadku Keltů nastal v Evropě i úpadek kovářství. Návratu se



Obr. 7 Detail Paganiniho sochy na hradě Helfštýně



Obr. 6 Kovárna v roce 1568

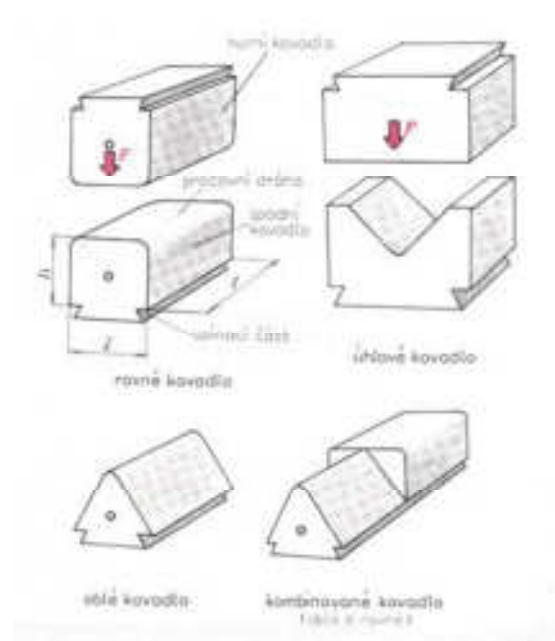
dočkalo až se vznikem Velké Moravy v 7. století. O 500 let později

se začalo kovářství rozpadat na specializované obory: kotlářství, výroba střelných zbraní, nožířství nebo zámečnictví (viz Obr. 6).

V husitském období emigrovala prakticky celá německá komunita a v Čechách rapidně klesla kvalita všech řemesel vč. kovářství. Velkého vrcholu dosáhlo až v období Baroka. Některé práce historických kovářů je možno vidět na hradě Helfštýně (viz Obr. 7).

2.2 Volné kování

Materiál je za kovací teploty postupně přetvářen pomocí kovádel, sekáčů nebo příložek a speciálním polohováním výkovku do požadovaného tvaru. Kovadla se dělí na rovinná, válcová a klínová (viz Obr. 8). Jejich rybinovité drážky slouží k výměně jednotlivých typů v kovacím stroji. Díry v přední stěně jsou používány pro manipulaci. Pracovní plochy kovádel jsou kaleny. Jako polotovary se používá ingot – produkt hutního slévárenství. Kovadla jsou upnuta do universálních kovacích strojů (bucharů, hydraulických lisů). Pro manipulaci s objemnějšími polotovary se využívají manipulátory. Jsou to kolejové nebo bezkolejové vozíky, které přepravují materiál o kovací teplotě. Volně kované výkovky mají vždy ten nejjednodušší tvar, velké úchytky rozměrů a hrubý nekvalitní povrch určený k dalšímu opracování.



Obr. 8 Druhy kovádel

2.3 Kovací úkosy

Aby bylo možné vyjmout výkovek ze zápustky, je nutno na plochy kolmé na dělicí rovinu (směr rázu kovacího stroje) navrhnout kovací úkosy. Jejich hodnoty se pohybují od 2° do 10° a závisí na tvaru výkovku a volbě kovacího stroje podle normy ČSN 42 9030 (viz. Tab. 1). Kovací úkosy se dělí na vnitřní a vnější. Mezi vnitřním úkosem a stěnou dutiny zápustky vzniká při chladnutí tlak, zatím co mezi vnějším úkosem a stěnou dutiny zápustky vzniká při chladnutí vůle (viz Obr. 9).

Tab. 1 Kovací úkosy

Úkosy	Vnitřní [°]	Vnější [°]
Běžné zápustky	3	7
Stroje bez vyhazovače	7	10
Stroje s vyhazovačem	2÷3	3÷5
Vodorovné stroje	0÷5	0÷5

správnou zabíhavost materiálu při vyplňování dutiny zápustky. Při malém úkosu je ztíženo tečení kovu, dochází k přechování a vytvářejí se přeložky. Úkosy znamenají materiál navíc, což způsobí nárůst bočních tlaků. Tomu se ale dá předejít vhodnou volbou dělicí roviny nebo otočením polohy výkovku. Pro mělké výkovky se používají větší hodnoty úkosů a pro hluboké výkovky menší hodnoty úkosů z důvodu příliš velkého množství přidaného materiálu. S rostoucí přesností výkovků klesá velikost úkosů.

V některých případech lze úkos úplně vynechat. To ale vyžaduje speciálně konstruovanou zápustku, vhodně zvolenou dělicí rovinu a použití vyhazovačů.



Obr. 9 Technologické úkosy

2.4 Poloměry zaoblení

Dobrému tečení materiálu zabraňují rohy a ostré hrany zápustky. Proto jsou všechny plochy v místě styku spojeny obecnými zakřivenými plochami definovanými poloměrem zaoblení (viz Obr. 10). Pokud je úhel mezi plochami větší než 180° , jedná se o poloměr vnější s označením „r“. Pokud je úhel mezi plochami menší než 180° , jedná se o poloměr vnitřní s označením „R“. Jejich další dělení je na horizontální a vertikální. Pokud plochy spojují dno a vertikální plochu, nazývají se horizontální. Pokud spojují dvě vertikální plochy, nazývají se vertikální.

Poloměry zaoblení zmenšují velikost napětí v oblasti ostrých hran, proto zvyšují mechanické vlastnosti výkovků. Čím je větší velikost zaoblení, tím víc klesá vliv napětí. Ve vykované oblasti nejsou deformovaná vlákna materiálu, proto je výkovek pevnější a odolnější vůči korozi než materiál obrobený třískovým obráběním. Stejně jako nesprávně zvolené technologické úkosity, tak i velikost zaoblení má vliv na tečení materiálu a tím i snižují pravděpodobnost vzniku přeložek. Příliš malé poloměry vyžadují větší kovací sílu, čímž se snižuje životnost zápustek, ale snižují spotřebu materiálu.

Velikosti zaoblení jsou uvedeny v normě ČSN 42 9030 (viz. Tab. 2). Volí se v závislosti na druhu použitého materiálu výkovku, typu tvářecího stroje, geometrii výkovku a na poměru

Tab. 2 Poloměry zaoblení

Hloubka [mm]		Poměr hloubky a přilehlé plochy [-]					
		<2		2<4		>4	
Od	Do	r [mm]	R [mm]	r [mm]	R [mm]	r [mm]	R [mm]
	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25

hloubky dutiny a šířky přilehlé plochy. Při volbě velikosti zaoblení je nutno zajistit konstantní vyplňování dutiny zápustky, tak aby nevznikaly vady a přeložky.



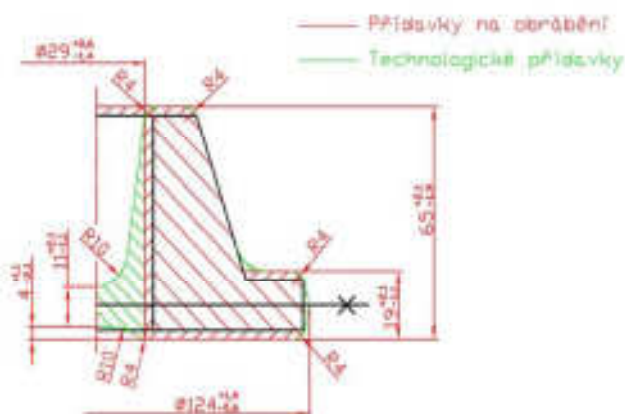
Obr. 10 Zaoblené hrany výkovku

2.5 Přídatky a tolerance

Rozměry výkovku jsou zvětšeny o technologické přídatky, kvůli správnému průběhu procesu kování a dodržení tvarů a rozměrů daných výkresem výkovku (viz Obr. 11).

Přídatky na obrábění

Pro dodržení požadované tvarové a rozměrové přesnosti a předepsané drsnosti povrchu je nutno výkovek zvětšit o hodnotu přídatku na obrábění. Tyto přídatky se přičítají pouze na plochy, které se budou po kování dále obrábět. V případě rotační plochy je třeba přídatky



Obr. 11 Příklady přídatků

zdvojnásobit. Jejich velikost je obvykle stejná pro všechny rozměry výkovku a je dána normou ČSN 42 9030 (viz Tab. 3). Určuje se v závislosti na jakosti kovaného materiálu,

Tab. 3 Přídavky na obrábění

Největší rozměr ve směru rázu [mm]		Největší výška hotového výrobku [mm]						
		Od		25	40	63	100	160
		Do	25	40	63	100	160	250
Od	do	Přídavky na obrábění ploch [mm]						
	25		1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	
40	63		1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5
63	100		2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0
100	160		2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5
160	250		2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5
250	400		2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0

celkových rozměrů výkovku a stupni přesnosti provedení.

Jakost, v tomto případě tvaritelnost materiálu, je zařazena do 5 stupňů. Čím je stupeň menší, tím je lepší tvaritelnost materiálu. Úchyly rozměrů a tvarů platí pro stupeň 3, pro stupeň 4 je nutno zvýšit velikost přídavku na obrábění o 20% a pro stupeň 5 je přídavek zvýšen o 40%.

Technologické přídavky

Technologické přídavky jsou používány z důvodu snadného průběhu procesu kování a vyjmutí výkovku ze zápusky (viz Obr. 11). Dále na zkvalitnění povrchu výkovku v místech, kde mohou vznikat trhliny, rozválcované bubliny nebo oduhličená vrstva. V případě předkování děr patří mezi technologické přídavky i blána. Hodnota přídavků je dána normou ČSN 42 9030 a závisí na tvarové složitosti výkovku a stupni přesnosti jednotlivých dílců. Mezi základní technologické přídavky patří technologické úkosy a poloměry zaoblení.

Tolerance rozměrů a tvarů výkovků

Mezní úchytky tvaru jsou dány geometrií výkovku a to přesazením, otřepem a prohnutím. Tolerance rozměrů určuje stupeň přesnosti výkovku a největší rozměr výkovku ve směru rázu. U rotačních součástí je to největší průměr a největší rozměr ve směru rázu. U nerotačních součástí je průměr výkovku nahrazen střední hodnotou největší šířky a délky. Hodnoty úchylek rozměrů jsou dány normou ČSN 42 9030.

U úchylek tvaru se posuzují tyto aspekty:

- **Otřep:** zbytek výronku, který může zůstat na výkovku
- **Sestřížení:** stopa na výkovku po ostříhování
- **Jehla:** ostří, které může vzniknout na okraji střížné plochy
- **Dovolený průhyb:** úchylka střední přímky výkovku od roviny
- **Úchylka rovinnosti:** úchylka povrchové plochy výkovku od roviny

2.6 Třídění výkovků do tříd

Výkovky jsou, podle 5-ti místného čísla XXXX-X, zařazeny do tříd. Význam jednotlivých číslic:

1. číslice – Xxxx-x – Tvarový druh

- 4 – výkovky kruhového průřezu plné (viz Obr. 12)
- 5 – výkovky kruhového průřezu duté
- 6 – výkovky hranolovitých tvarů plné i duté
- 7 – výkovky kombinovaných tvarů plné i duté
- 8 – výkovky s ohnutou osou
- 9 – výkovky s lomenou dělicí plochou



Obr. 12 Výkovek kruhového průřezu plný

2. číslice – xXxx-x – Tvarová třída

- 1 – konstantní průřez
- 2 – kuželovité (jehlanovité, klínovité)
- 3 – jednostranně osazené
- 4 – oboustranně osazené
- 5 – osazené s kuželem (jehlanem, klínem)
- 6 – prosazené
- 7 – kombinované
- 8 – kombinované s kuželem (viz. Obr. 13)
- 9 – členité (u druhu 8 – výkovky háků)
- 0 – neobsazeno

- 1,2 – výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy
- 3,4,5 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu
- 6,7,8 – výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh strojích

Výkovky zařazené do třídy 0 a 9 se dále dělí na:

- 0 – převážně kruhový průřez
- 1 – převážně plochý průřez
- 2 – s hlavou a jedním ramenem
- 3 – s hlavou a více rameny
- 4 – jednostranně rozvidlené
- 5 – oboustranně rozvidlené
- 6 – zalomené
- 7 – šroubovitě (stoupání <1) – pouze u tvarového druhu 0
- 8 – šroubovitě (stoupání >1) – pouze u tvarového druhu 0

3. číslice – xxXx-x – Tvarová skupina

- 1÷4 – výkovky plné
- 5÷8 – výkovky duté

4. číslice – xxxX-x – Tvarová podskupina

- 1 – přesah v poměru L:B (D) nebo H:B (D)
- 2 – přesah v poměru H:H (D:D)
- 3 – přesah v poměru B:B
- 4 – přesah v poměru F:F
- 5 – přesah v hloubce dutiny nebo úhlu listů lopatek
- 6 – přesah v tloušťce dna nebo blány
- 7 – přesah v tloušťce stěny s nebo bez rozvidlení
- 8 – přesah v zaoblení přechodů a hran R,r
- 9 – kombinace několika přesahů
- 0 – bez přesahu



Obr. 13 Výkovek tvarové třídy 8 Hák



Obr. 14 Výkovky souměrné i nesouměrné

5. číslice – xxxx-X – Technologické hledisko

- 1 – výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy souměrné
- 2 – výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy nesouměrné
- 3 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu souměrné (viz Obr. 14)
- 4 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu nesouměrné (viz Obr. 14)
- 5 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu s ozubením
- 6 – výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech souměrné
- 7 – výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech nesouměrné
- 8 – výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech s ozubením
- 9 – výkovky s více dělicími plochami

2.7 Základní charakteristika výkovků

Výkovek je produkt technologického procesu kování. Jeho rozměry jsou odvozeny od rozměrů finálního výrobku, ale jsou zvětšeny o technologické přídavky, přídavky na obrábění, úkosity a zaoblení. Už samotný výrobní výkres výrobku by měl být přizpůsobený kování. Požadavky na konstrukci výkovků:

a) Požadavek na přesnost výkovku

Je volen s ohledem na velikost přídavku na obrábění a velikost tolerancí rozměrů. Pro standartní rozměry a tvary výkovků je tento přírůstek předepsán normou. Jakýkoliv přírůstek na výkovku znamená větší spotřebu drahého materiálu, proto se zvláště u tvarově složitých výkovků používají minimální či vůbec žádné přídavky. Výkovky se vyrábějí ve 4 druzích přesnosti:

- Obvyklé provedení
- Přesné provedení
- Velmi přesné provedení
- Provedení podle dohody

Výkovky vyrobené obvyklým provedením mají obvyklou přesnost, přídavky na obrábění a mezní úchytky rozměrů i tvarů. Výkovky vyrobené přesným provedením mají menší přídavky na obrábění a mezní úchytky rozměrů a tvarů. Zpřesnění se tedy týká všech aspektů volby přírůstků a tolerancí. Výkovky vyrobené velmi přesným provedením mají menší přídavky na obrábění a mezní úchytky rozměrů a tvarů než výkovky vyrobené přesným provedením.

b) Požadavky na mechanické vlastnosti, jakost povrchu a vnitřní vady

Jsou voleny s ohledem na průběh vláken ve výkovku. Mechanické hodnoty materiálu,



Obr. 15 Automatizovaná linka v kovárnách Hulín

uvedené ve strojnických tabulkách, platí podél vláken. V ostatních směrech jsou menší. Vnitřní a povrchové vady výrobku se tolerují, pokud neznemožňují správnou funkčnost výkovku při jeho dalším používání.

c) Požadavky na tvářecí zařízení

Jeho volba z velké části ovlivňuje přesnost, kvalitu a ekonomičnost výroby výkovku. Při použití bucharů nedosahujeme velké přesnosti a je nutno volit větší úkosy. Na klikových kovacíh lisech dosahujeme větší přesnosti, což umožňuje volbu menších kovacíh úkosů za použití vyhazovačů.

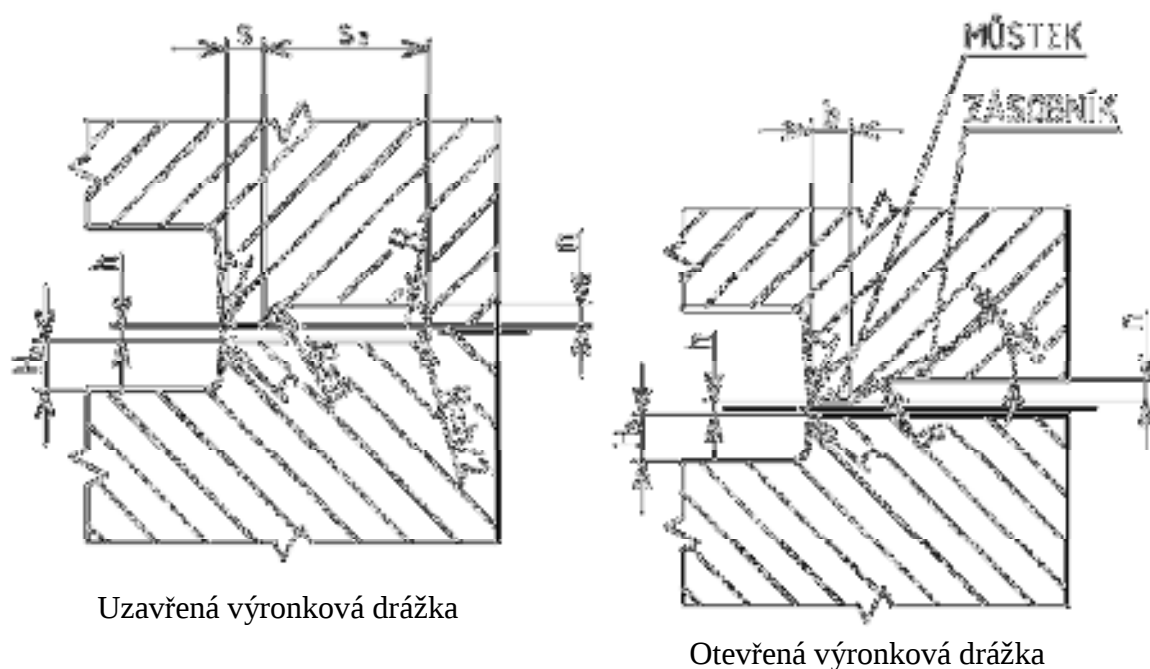
d) Požadavky na mechanizaci a automatizaci kovacího procesu

Zahrnují tvarové úpravy a přídatky výkovků, které umožňují manipulaci výrobků a jejich orientaci na automatických linkách (viz Obr. 15).

2.8 Výronková drážka a určení jejich rozměrů

Výronková drážka je prostor umístěný po obvodu celého výkovku v dělicí rovině (viz Obr. 16). Je navrhována buď se zápustkou, nebo je dána dolní úvratí kovacího stroje. Skládá se z můstku a zásobníku. Můstek slouží k regulaci tlaku v dutině zápustky. Geometricky složitější výkovky vyžadují vyšší tlak, tím pádem větší odpor a menší výšku můstku nebo větší šířku můstku. Objem výronku je dán množstvím kovaného materiálu.

Pro správnou funkci výronkové drážky je důležitá geometrie můstku. Pro jednoduché tvary se volí obdélníkový průřez, pro složitější tvar raidálně-axiální. Výškové rozměry se mohou měnit v závislosti na tuhosti nosné soustavy. Rozměry samotné výronkové drážky se liší podle typu kovacího stroje a jsou dány normou ČSN 22 8306 až 22 8309.



Obr. 16 Otevřená a uzavřená výronková drážka

a) Buchary

Šířka můstku

$$s = (0,015 \div 0,012) \cdot \sqrt{S_v} \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

kde: S_v [mm] je průmět plochy výkovku

0,015 pro malé výkovky a 0,012 pro velké výkovky.

b) Svislé kovací lisy

Rozměry můstku jsou dány dle normy ČSN 22 8306 (viz Tab. 4). Vychází ze jmenovité kovací síly „ F_j “, šířky můstku „ s “ a výšky můstku „ b “.

Tab. 4 Rozměry můstku výronkové drážky pro svislé kovací lisy

F_j [MN]	2,5	6,3	10	16	25	31,5	40	63
s [mm]	1÷1,5	1÷2	1,5÷2,5	2÷3	2,5÷4	2,5÷4,5	3,5÷5,5	4,5÷8
b [mm]	3÷5	3÷7	4÷7,5	5÷8	6÷10	6÷11	7÷12	9÷15

c) Vodorovné kovací lisy

Rozměry můstku jsou axiální (podélné), odstraněné obráběním nebo radiální (příčné), které se ostříhují přímo v zápustce. Šířka můstku se volí pro obě tyto varianty v závislosti na jmenovité síle kovacího stroje podle normy ČSN 22 8307.

2.9 Ohřívací zařízení

Prioritou ohřevu materiálu je dosažení kovací teploty v co nejkratším čase. Ohřev probíhá bez vzniku vad povrchové a vnitřní jakosti materiálu. Správně zvoleným ohřevem roste tvařitelnost a klesá deformační odpor. Ohřev charakterizuje součinitel tepelné vodivosti, měrná tepelná kapacita, hustota, součinitel teplotní vodivosti a mechanické vlastnosti.

Pro ohřev materiálu před kováním se používají elektrické a plynové pece. Pro výkovky větších rozměrů jsou využívány plynové pece. Pro výkovky menších rozměrů se užívají elektrické pece. Udávaný výkon pece je množství materiálu ohřátého za jednotku času. Pece delší než 3 metry, využívající výjezdovou nístěj, se nazývají vozové (viz Obr. 17). Narážecí pece jsou průběžné, z jedné strany je do pece strkacím zařízením dopraven polotovar a z druhé strany postupně vysunut ohřátý materiál. Průběžné pece se vyrábějí i jako karuselové, kdy je materiál uvnitř pece otáčen. V případě, že není potřeba ohřát celý materiál, využívá se pecí štěrbinových.

Ohřev může probíhat přímým průchodem proudu, nepřímým odporovým ohřevem nebo indukčním ohřevem. Ohřev přímým průchodem proudu je vhodný pro součásti s velkým poměrem délky ku šířce (průměru). Nepřímý odporový ohřev pracuje na principu odporových článků, což je oproti ostatním variantám pomalé. Nejvhodnější možností pro zadanou součást je indukční ohřev, který spočívá v umístění cívek v peci. Ty indukují vířivé proudy a pec tak dosahuje vysokých teplot v krátkém čase.



Obr. 17 Vozová pec
v Královopolské kovárně

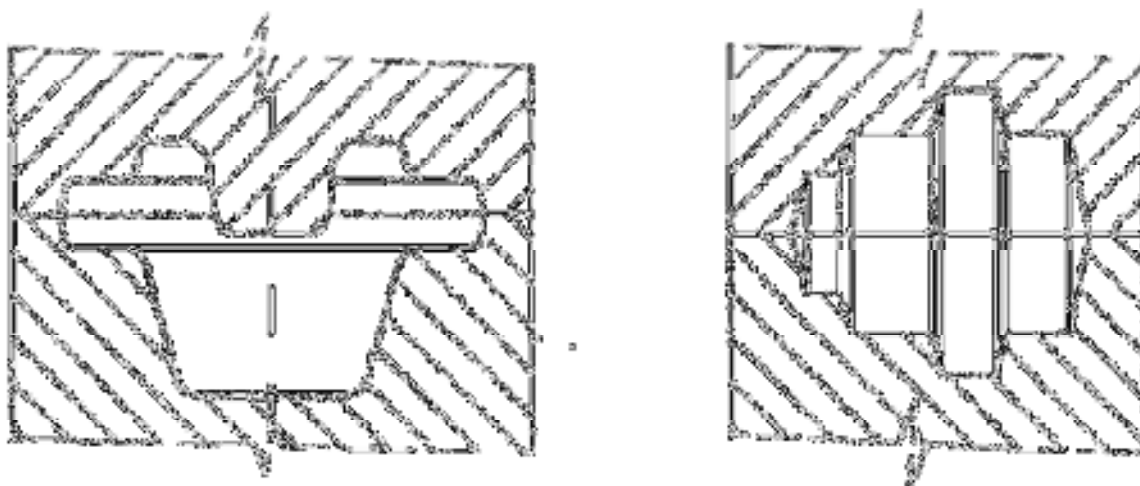
2.10 Opal a smršťení

Nepříznivý vliv, který vzniká na povrchu výkovku, nazýváme opal. Okolní atmosféra obsahuje kyslík, který při vysoké teplotě reaguje s železem a vytváří oxidy železa. Ty nazýváme okuje. Oxidace je zrychlovaná neustálým opadáváním okujů, které obsahují 71÷76% železa. To je ztráta 1÷3% materiálu na jeden ohřev. Odpadnuté okuje se nalepí na stěny pece a snižují tak její životnost. Proto je nezbytné, aby materiál prošel procesem odkujení. Snížení opalu lze dosáhnout rychlejším ohřevem nebo řízenou atmosférou v peci.

Díky působení tepelné roztažnosti dochází ke změně objemu ohřátého materiálu. Tento vliv je nutno uvažovat při volbě rozměrů polotovaru. Není-li dodržena teplota, pro kterou bylo smrštění vypočítáno, jmenovitý rozměr nebude přesný.

2.11 Dělicí rovina

V místě setkání horní a dolní poloviny zápustky vzniká dělicí rovina (viz Obr. 18). Je navržena tak, aby bylo vyjmutí výkovku z dutiny zápustky bezproblémové. Na umístění dělicí roviny závisí průběh vláken výkovku. Ve většině případů se volí v rovině, v případech kde to není možné, se volí lomená dělicí rovina. Musí být navržena tak, aby umožňovala předkování děr, ostřížení výkovku a co nejvíce minimalizovala náročnost výroby. Při špatném umístění může docházet k nárůstu odporu při zatékání kovu do dutiny a ten je protlačován. Většinou se volí kolmo na dva největší rozměry výkovku.



Obr. 18 Příklady umístění dělící roviny

2.12 Předkování děr

Průchozí díry u výkovků nelze vykovat celé. Proto se díry pouze předkovávají a zůstává v nich blána, jejíž tloušťka je dána výpočtem (2.2) nebo normou ČSN 42 9030. Blána může být navržena v různých tvarech (viz Obr. 19) a je po kování odstraněna odstřížením, stejně jako výronek. V případě silnější blány je proces ostřížení problematictější a vyžaduje větší střížnou sílu. V případě slabší blány je materiál rychle napěchován do výstupků v zápustce a způsobí nadměrné sevření výkovku.

$$s_b = 0,45 \cdot \sqrt{d_b - 0,25 \cdot h_b} + 0,6 \cdot \sqrt{h_b} \quad (2.2)$$

kde: s_b [mm] je šířka blány

d_b [mm] je průměr předkované díry

h_b [mm] je vzdálenost blány k okraji díry.



Obr. 19 Typy předkovaných blán



Obr. 20 Ideální předkověk

2.13 Ideální předkověk

Ne každou součást lze kovat z ingotů (polotovárů jednoduchých tvarů, tyčí). Proto se používá vícenásobný kovací proces. Ideální předkověk má kruhový průřez a umožňuje vykování materiálu do finálních tvarů a rozměrů. Jeho plocha se určuje i s výronkem a blánami. Plochy jednotlivých průřezů výkovku se promítnou na kruhovou plochu a jejich spojením dosáhneme tvaru ideálního předkovku (viz Obr. 20). Průměr a výška ideálního předkovku

jsou dány vztahy (2.3) a (2.4). Pro nejvhodnější volbu ideálního předkovku se výpočty provádějí ve více rovinách.

Průměr ideálního předkovku

$$d_{ip} = 1,13 \cdot \sqrt{S_{ip}} \text{ [mm]} \quad (2.3)$$

kde: d_{ip} [mm] je průměr ideálního předkovku

S_{ip} [mm²] je plocha průřezu výkovku.

Výška průřezového obrazce

$$h_{ip} = \frac{S_{ip}}{m} \text{ [mm]} \quad (2.4)$$

kde: h_{ip} [mm] je výška průřezového obrazce

m [mm] je šířka průřezového obrazce.

2.14 Dělení zápustkových dutin

Různé druhy dutin se používají při kování na bucharu. Postupové zápustky jsou umístěny v kovacím stroji a obsluha přemísťuje výkovek z jedné do druhé (viz Obr. 21). Výkovek je připravován v předkovacích a přípravných dutinách jednoduchého tvaru. Celý proces postupového kování je časově nevýhodný, proto se používá při výrobě malého množství kusů. Jakmile je výkovek předkován, umístí se do posledního typu dutiny – Kovací (dokovací) dutina. Tvar a rozměry této dutiny vychází z výkresu výkovku zvětšených o hodnotu smrštění. Stejně jako při předešlých způsobech kování je po celém obvodu výkovku umístěna výronková drážka skládající se z můstku a zásobníku.



Obr. 21 Příklad výkovku z postupové zápustky

2.15 Rozměry zápustek

K výrobě zápustek se používá nástrojová ocel v hodná pro prostředí se zvýšenými teplotami. Jsou vyráběny třískovým obráběním a pro zlepšení jejich mechanických vlastností dále tepelně zpracovány.

Rozměry zápustek se liší podle druhu použitého kovacího stroje. Zápustky použitelné pro buchar jsou z jednoho kusu a do kovacího stroje jsou připevněny klíny a rybinovitými drážkami. Zatímco zápustky pro kovací lisu jsou vyráběny z levnějších materiálů. Jako funkční plochy jsou zalisovány vložky do základního bloku zápustky. Upevnění do kovacího stroje je šroubové. Stanovení rozměrů konkrétní zápustky ovlivňuje smršťování materiálu výkovku a tolerance a mezní úchylky výkovku.

Kritéria pro volbu rozměrů zápustky:

- rozměry a jakost materiálu výkovku
- vzdálenost dutiny od okraje zápustky a její hloubka
- vzdálenost mezi jednotlivými dutinami
- způsob upnutí zápustky (velikost držáku zápustky)
- způsob vedení zápustky
- typ stroje a jeho velikost

2.16 Výpočet kovací síly

Výpočet kovací síly na klikovém kovacím lisu lze orientačně určit (viz Tab. 5) pro uhlíkové oceli nebo přesnějším výpočtem pomocí plochy průmětu výkovku.

— Tab. 5 Přibližná kovací síla

Tvar výkovku	Kovací síla F_k [kN]	Pevnost kovaného materiálu R_m [MPa]
Jednoduché výkovky	$40 \cdot S_c$	400
	$50 \cdot S_c$	600÷700
Složité výkovky	$56 \cdot S_c$	400
	$70 \cdot S_c$	600÷700

— kde: S_c je plocha průmětu výkovku.

Koeficient šířky plochy průmětu výkovku

$$s = 0,1725 \cdot G_0^{0,16} \cdot D_v^{0,5} \text{ [mm]} \quad (2.5)$$

kde: G_0 [kg] je hmotnost výkovku

D_v [mm] je největší průměr výkovku.

Šířka plochy průmětu výkovku

$$b = (3 \div 5)s \text{ [mm]}. \quad (2.6)$$

Plocha průmětu výkovku

$$S_c = \frac{\pi}{4} \cdot (D_v + 2b)^2 \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (2.7)$$

Pro výpočet přesné kovací síly je zvolen koeficient vlivu tvarové složitosti K_{ts} [-] a hodnota přetvárné pevnosti k_p [-] zvolena pro určitou teplotu dokování.

Přesná kovací síla

$$F_k = 0,6 \cdot S_c \cdot k_p \cdot K_{ts} \text{ [MN]}. \quad (2.8)$$

2.17 Upínání a vedení zápustek

Správnou a přesnou polohu zápustek pro buchary zajišťuje vedení (podélné, příčné a křížové) nebo vodící kolíky. Podélné vedení zamezuje příčnému posuvu, a proto se používá pro příčné zápustky. Příčné vedení zamezuje podélnému posuvu, a proto se používá pro podélné zápustky. Křížové vedení zamezuje posuv v obou směrech. Jeho šířka je o polovinu větší než délka. V případě zápustek s lomenou dělicí plochou se používá zámek.

Vodící kolíky jsou dva až čtyři v jedné zápustce a jsou umístěny v rozích zápustky. Další možností je využití kontrolního rohu. Ten tvoří dvě na sebe kolmé přesně opracované stěny zápustky. K upínání zápustek pro buchary jsou využity rybinové drážky se středícím perem (viz Obr. 22). Zápustka je vložena do bucharu a do vzniklé mezery je zatlačeno středící pero s podélným úkosem.

Protože jsou zápustky pro kovací lisy složeny z více kusů, upíná se každá vložka zvlášť. Držák kovací vložky zajišťuje správnou a přesnou polohu pomocí vodících kolíků, které jsou v něm zalisovány. Samotný držák je připevněn ke kovacímu stroji šroubovým spojem. Jeho poloha je zajištěna distančními vložkami. Do jednoho držáku mohou být umístěny maximálně tři kovací vložky, což omezuje kovat jeden výkovek ve třech operacích.



Obr. 22 Příklad upnutí pomocí rybinové drážky

2.18 Volba kovacího stroje

Při výběru vhodného typu kovacího stroje pro zadaný výkovek je zohledňován tvar, hmotnost a sériovost výkovku (viz Tab. 6).

Na bucharu je nutné se vyhýbat zdlouhavému prodlužování dříků, vyhýbat se výkovkům s velkou hlavou, což vyžaduje pěchování. Dále rozvidleným výkovkům, které vyžadují náročnější přípravné operace. Výkovkům extrémně malých a naopak velkých rozměrů. Nutně používat větší úkosity a poloměry zaoblení.

Pro kování na kovacím lisu nejsou vhodné výkovky s dlouhou osou, velkými tolerancemi a úkosity. Poloměry zaoblení jsou stejné jako na bucharu. V některých případech jsou vyloučené přípravné operace jako prodlužování nebo rozdělování. Lze však předkovat i hluboké otvory.

Tab. 6 Volba typu kovacího stroje

Tvar	Rotační	Klikový, třecí a hydraulický lis
	Nerotační	Šabotový nebo protiběžný buchar
Hmotnost	Malá	Buchar
	Střední (cca do 60 kg)	Lis
	Střední	Buchar
	Velká	Protiběžný buchar nebo hydraulický lis
Sériovost	Malá a střední	Buchar nebo vřetenový a hydraulický lis
	Vysoká	Klikový lis

2.19 Kovací lis versus buchar

Buchar

Buchar je tvářecí stroj pracující rázem (viz Obr. 23). Výkovek je kován dopadem beranu bucharu na šabotu. Deformační práce potřebná ke tváření vzniká z potenciální energie beranu. Kování na bucharu probíhá většinou ve více po sobě jdoucích operacích (úderech). Výkovek dostane finální tvar po dosednutí horní zápustky na dolní, kdy materiál vyplní celý prostor dutiny zápustky. Z tohoto důvodu musí být dosedací plochy částí obou polovin zápustky. Díky vzniku setrvačných sil při opakujícím se procesu kování dochází k velmi dobrému zatékání kovu do dutiny. Proto je buchar vhodný pro výkovky s vysokými výstupky nebo tenkými žebry. Kvůli velkým rázům se zápustky zhotovují jako velké bloky, ve kterých jsou umístěny všechny dutiny. Dutina s největší potřebnou silou na její vyplnění je umístěna uprostřed zápustky. Vzhledem k velkým rázům nelze zaručit příliš přesné vedení a buchar tedy není vhodný pro přesnější kování. Je u něj i obtížná automatizace a mechanizace výroby. Oproti tomu je výhodnou volbou pro členité výkovky a výkovky malých rozměrů.



Obr. 23 Buchar

Kovací lis



Obr. 24 Klikový kovací lis

Klikový kovací lis je tvářecí stroj pracující se stejným zdvihem beranu (viz Obr. 24). Výkovek tedy musí být zhotoven na jeden zdvih v jedné dutině. Výška tohoto zdvihu je dána typem mechanismu lisu (klikový, vřetenový a hydraulický). Pohyb beranu lisu je pomalý a oproti bucharu nevznikají žádné rázy. Výkovek je tvářen tlakem a dotyk horní poloviny zápustky a výkovku je podstatně delší než u bucharu. To umožňuje vyváženější vyplnění zápustky. Horní a dolní polovina zápustky na sebe nikdy nedosednou. Výška můstku výronkové drážky se rovná dolní úvrati stroje. Zápustky jsou opatřeny vložkami a umístěny v držácích. Držák zajišťuje přesnou pozici zápustky a proto je lis vhodnější pro přesné výkovky. Do lisu s klikovým mechanismem je možno umístit tři zápustky, což umožňuje tři operace na jednu výšku zdvihu. Lis s vřetenovým mechanismem umožňuje pouze jednu zápustku s jednou dutinou. Kovací lis je ideální pro sériovou plně automatizovanou výrobu.

2.20 Vyhazovače

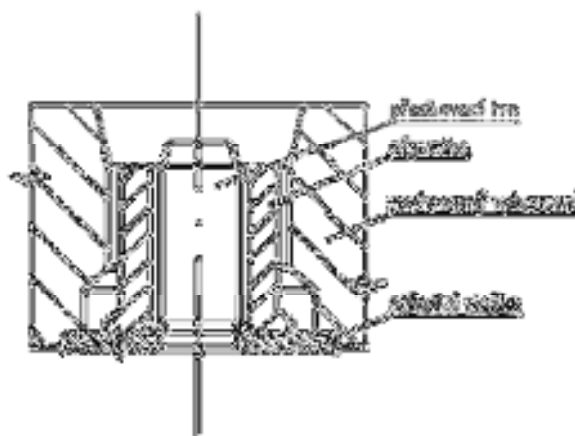
Při dokončení technologického procesu kování je nutno výkovek vyjmout z dutiny zápustky. To ovlivňují tyto faktory:

- hloubka dutiny zápustky
- tření
- tvar a rozměry výkovku
- technologické úkosy
- mazání
- odstraňování okují

Pokud je vyjmutí výkovku problematické, používají se vyhazovače. Ty mohou působit

v určitém místě výkovku nebo po celé jeho ploše. Podle způsobu jejich

konstrukce se dělí na prstencové (viz Obr. 25), kolíkové a vložkové. V závislosti na velikosti tlaku vzniklého v zápustce se volí příslušný typ vyhazovače. Pro výkovky se zahluobením ve středu jsou nejvhodnější vyhazovače prstencové. Pro umístění v jakémkoliv místě výkovku se používají vyhazovače kolíkové. Při použití vyhazovačů je možné použít menších technologických úkosů a poloměrů zaoblení, což snižuje náklady na materiál výkovku.



Obr. 25 Prstencový vyhazovač

2.21 Ostřihování výkovků

Výkovek vyjmutý ze zápustky je pro další zpracování zbaven přebytečného materiálu v podobě předkovaného děru (blány) a výronku. Proces odstranění blány nazýváme děrování a proces odstranění výronku ostřihování (viz Obr. 26). To se provádí na ostřihovacích lisech.

V případě rozměrnějších výkovků se ostřihuje ještě za tepla, u menších i za studena. Při plně automatizované výrobě jsou ostřihovací lisy součástí výrobní linky. Volba ostřihovacího lisu závisí na kovacím stroji, geometrii výronku nebo blány a síle potřebné k ostřížení podle vzorce (2.9).

Výpočet síly pro ostřížení výronku

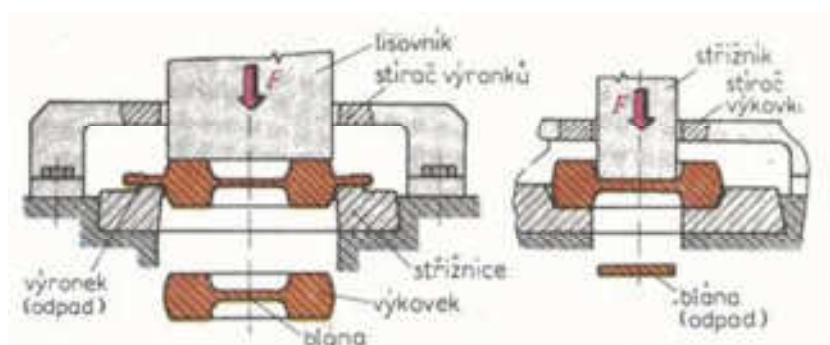
$$F_0 = 1,7 \cdot 0,8 \cdot o_{v\gamma r} \cdot \sigma_s \cdot h_{v\gamma r} \text{ [kN]} \quad (2.9)$$

kde: $o_{v\gamma r}$ [mm] je obvod výronku

$h_{v\gamma r}$ [mm] je výška výronku

σ_s [MPa] je napětí ve stříhu.

Výpočet síly pro ostřížení blány je stejný, pouze jsou dány hodnoty obvodu a výšky pro blánu. V případě ostřížení výronku a blány v jedné operaci jsou obě síly sečteny.



Ostřihování výronku

Děrování blány

Obr. 26 Ostřihování a děrování výkovku

2.22 Rovnání výkovků

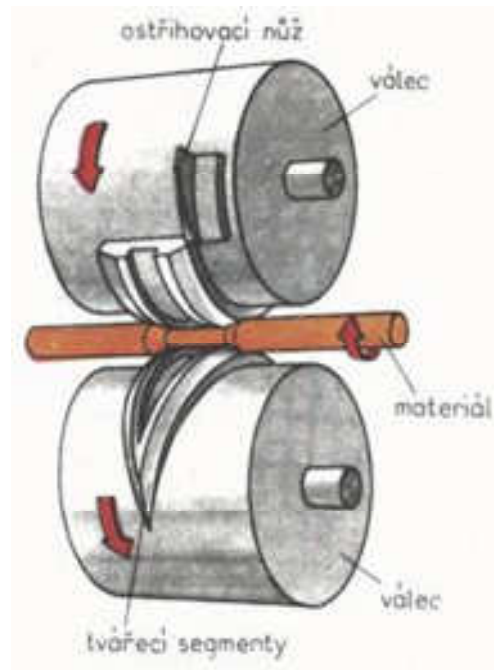
Protože je výkovek ohříván na vysoké teploty, dochází k jeho deformaci (zkřivení). Pokud toto zkřivení vybočuje z tolerancí zadaných na výkrese je nutno výkovek rovnat. Nejčastěji se rovnání provádí za studena v rovnacích zápustkách. Je možné výkovek rovnat už v dokončovací dutině zápustky za tepla, to ale snižuje její životnost. Rovnací nástroje jsou omezeny tlakem potřebným k narovnání výkovku. Pokud je výkovek rovnán už za tepla, má lepší mechanické vlastnosti a materiálovou strukturu. Podle křivosti os a úhlu zkřivení se určuje i zkřivení celého výkovku a tím pádem i nutnost procesu rovnání.

2.23 Kalibrování výkovků

Po ostřížení a rovnání výkovku se provádí poslední dokončovací operace kalibrování. Ta zajistí přesnost, hmotnost a drsnost povrchu výkovku požadovanou na výkrese. Při přesném kalibrování není nutno výkovek dále obrábět. Tento proces je možno realizovat na jakémkoliv tvářecím stroji určeném pro zápustkové kování. Kalibrování je možné za tepla i za studena. Při větším přídávku na kalibrování za tepla hrozí okujení a vznik výronku malých rozměrů. Ten je ihned po kalibrování odstraněn z důvodu opakovaného zkřivení výkovku. U ostřížení takto malého výronku hrozí vznik trhlin v jeho oblasti, proto se odstraňuje třískovým obráběním. Kalibrování za studena prováděné na razících lisech (viz Obr. 27) je přesnější než za tepla, ale vyžaduje využití dvojnásobné síly. Kalibrovat lze plošně, objemově nebo kombinovaně. Plošně se kalibrují rovnoběžné plochy za předpokladu změny rozměrů ploch na ně kolmých. Objemové kalibrování zajišťuje zpřesnění všech rozměrů výkovku.



Obr. 27 Kalibrovací lis



Obr. 28 Příčné klínové válcování

2.24 Kovací válce

U výkovků s rozdílnými kruhovými průřezy se využívají kovací válce. Takové výkovky jsou náročné na přesunutí materiálu pouze v jednom podélném směru. Tento proces se nazývá příčné klínové válcování. Osy kovacích válců a výkovku jsou rovnoběžné. Kovací válce se otáčejí proti sobě a jsou na nich umístěny pracovní klíny (viz Obr. 28). Při jejich otáčení je výkovek ohřátý na kovací teplotu vtahován mezi válce ručně nebo automatizovanou linkou. Hlavní předností je rozšíření nebo zúžení materiálu. Velikost a tvar tohoto zúžení jsou dány geometrií klínů. Konečného tvaru výkovku je dosaženo po otočení válců o jednu otočku. Tento proces umožňuje výrobu složitých přechodů průměrů na jednu operaci i jeho odstřížení. Příčné podélné válcování se využívá při výrobě složitých rotačních výkovků, ale především pro výrobu podlouhlých předkovků sériové výroby. Jako polotovary jsou využívány tyče kruhového nebo čtvercového průřezu.

2.25 Materiál zápustek

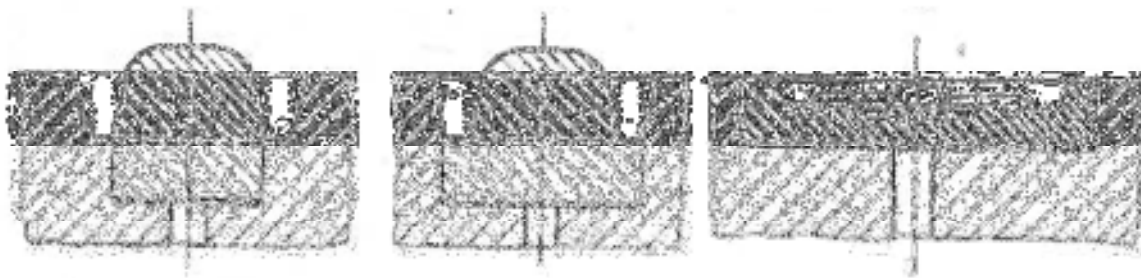
Na materiál zápustek jsou kladeny velmi vysoké požadavky, protože jsou namáhány jak mechanicky tak tepelně. Materiál zápustky by měl mít vysokou tvrdost, houževnatost, žáruvzdornost, žárupevnost, necitlivost proti kolísání teplot, dobrou obrobitelnost a zároveň nízkou cenu. Životnost zápustky roste s vhodnou volbou materiálu. Nejčastěji se používají legované nástrojové oceli třídy 19 (viz Tab. 7). V případě vložkování je tento materiál použit pouze na vložky a ne celou zápustku.

Tab. 7 Oceli pro zápustky

Ocel	Vlastnosti	Použití
19 103	Malá pevnost za tepla, odolnost proti úderům	Méně namáhané zápustky s tvrdým povrchem a mělkou dutinou
19 132	Malá pevnost za tepla, odolnost proti úderům	
19 152	Malá pevnost za tepla, velká houževnatost, odolnost proti úderům	
19 423	Malá pevnost za tepla, dobrá houževnatost, odolnost proti tlaku	
19 552	Dobrá pevnost za tepla, odolnost proti tlaku, úderu, opotřebení, tepelné úpravě	Malé vložky a zápustky při větším tepelném namáhání pro buchary a lisys
19 642	Odolnost proti změnám teplot, opotřebení, úderu, tlaku a tepelné úpravě	Zápustky všech velikostí s velkou trvanlivostí pro lisys a buchary
19 650	Dobrá pevnost za tepla, odolnost proti tlaku, úderu a opotřebení	Zápustky všech velikostí s velkou trvanlivostí pro kování neželezných kovů i ocelí a vložek
19 662	Dobrá pevnost za tepla, odolnost proti tlaku, velká houževnatost, odolnost proti změnám teplot	Zápustky s pevností pod 1300 MPa pro buchary s hlubokou dutinou, vložky a razníky pro vodorovné kovací lisys
19 663	Velká houževnatost, odolnost proti změnám teplot, popuštění a tepelné únavě	Zápustky s pevností nad 1300 MPa s hlubokou a tvarově členitou dutinou, vložky a razníky pro vodorovné kovací lisys
19 720	Velká pevnost za tepla, odolnost proti tepelné únavě	Malé zápustky, vložky a trny do velkých zápustek
19 721	Velká pevnost za tepla, odolnost proti tepelné únavě, dobrá houževnatost	
19 723	Velká pevnost za tepla, dobrá houževnatost	
19 740	Dobrá pevnost za tepla, dobrá houževnatost, odolnost proti opotřebení a tepelné únavě	Malé zápustky pro šrouby, matice, nýty, kde stačí malá pevnost za tepla

2.26 Vložkování zápustek

Z důvodu úspory materiálu a zvýšení životnosti zápustky se používají vložky. Ty jsou vyrobeny z kvalitního materiálu třídy 19 a celé torso zápustky z levnějšího, což je ekonomicky výhodné při pořizování zápustky i při případné opravě. Při poškození funkčních ploch se vymění pouze vložka a ne celá zápustka. V horní polovině zápustky musí být vložky zajištěny, protože by mohli vypadnout. Vložky jsou v zápustce nalistovány s přesahem H8/u7. Podle geometrie výkovku je možné volit několik druhů vložek (viz Obr. 29).

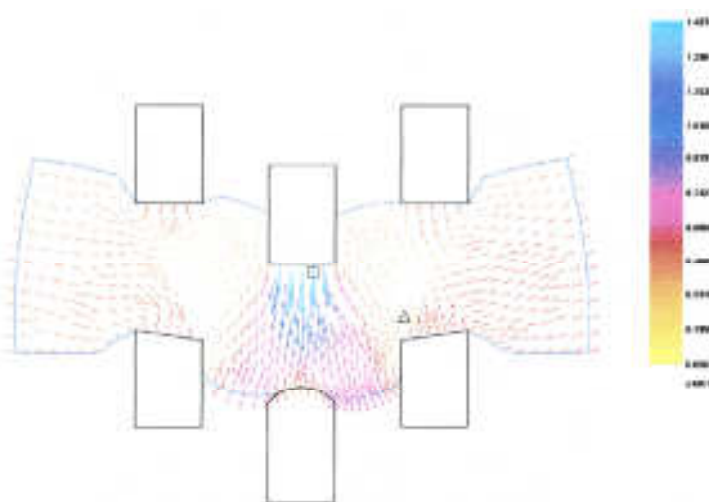


Obr. 29 Příklady vložkování zápustek

2.27 Simulace kování

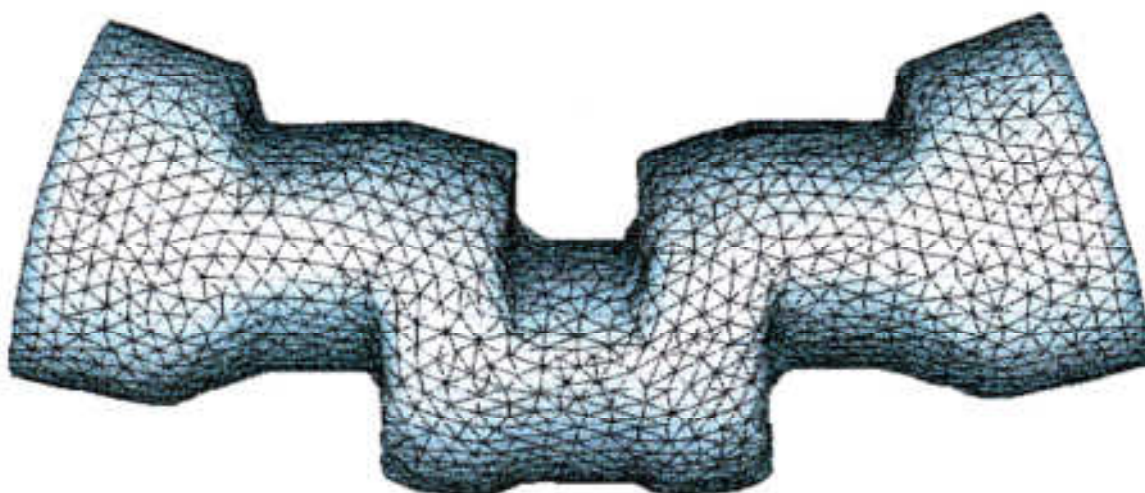
3D simulace tvářecích procesů umožňuje zjistit a analyzovat chování materiálu v jednotlivých krocích. Na základě závěrů z 3D simulace lze proces optimalizovat a vyvarovat se chyb ve výrobě, což znamená snížení velké části nákladů při zavádění výroby nové součásti.

Technologie jednotlivých kroků a přechod mezi nimi během výpočtu je velice komplikovaný. Každá operace závisí na té předešlé a proto je nutno provádět systematickou kontrolu výpočtů a minimalizovat tak rozdíl mezi simulovaným procesem a procesem probíhajícím v realitě.



Obr. 30 Ukázka toku materiálu při použití více druhů kovadel

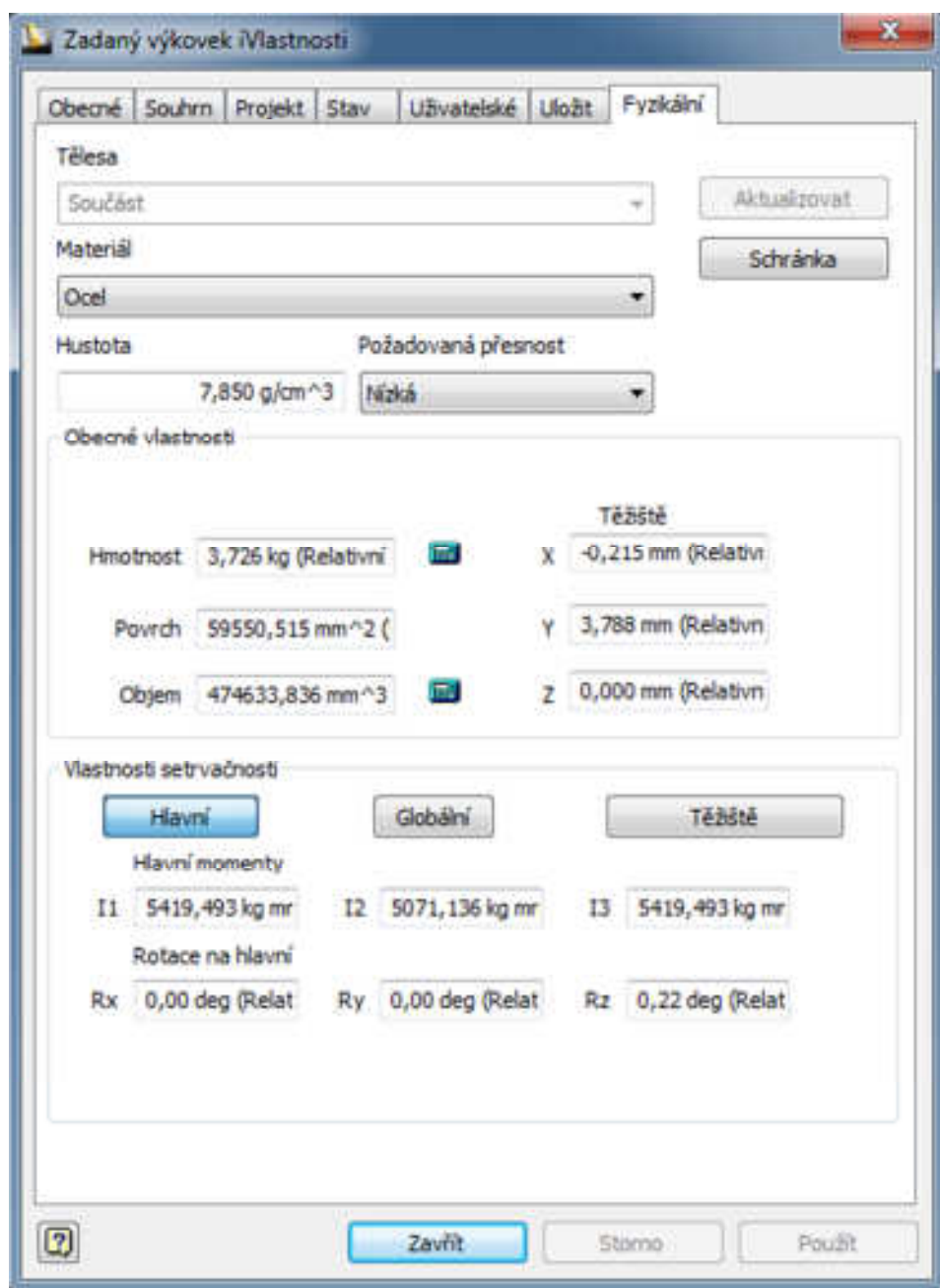
Ukázková simulace kování klikových hřídelů volným kovááním je efektivní metodou z hlediska náročnosti na kovací stroje, přípravky, čas a počet ohřevů v peci. To se používá především při výrobě předkovků. Během simulace byla provedena řada návrhů technologie kování s odlišnými druhy kovadel (viz Obr. 30). Výsledky jednotlivých operací byly porovnány na výsledném výkovku (viz Obr. 31).



Obr. 31 výsledný výkovek

3 STÁVAJÍCÍ MOŽNOSTI VÝROBY [2][5][15]

Objem, hmotnost, povrch a další fyzikální parametry hotového výkovku jsou vypočítány programem Autodesk Inventor 2012 (viz Obr. 32).



Obr. 32 Fyzikální parametry hotového výkovku

Soustružení

Vzhledem ke geometrii zadaného výkovku volím polotovar kruhové tyče Ø125 x 115 mm. Pro objem polotovaru platí:

$$V_{ps} = \frac{\pi \cdot d_{ps}^2}{4} \cdot v_{ps} = \frac{3,14 \cdot 125^2}{4} \cdot 115 = 1411262,325 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.1)$$

kde: V_{ps} [mm³] je objem polotovaru pro soustružení
 d_{ps} [mm] je průměr polotovaru pro soustružení
 v_{ps} [mm] je výška polotovaru pro soustružení.

Zbytkový materiál:

$$V_{zps} = V_{ps} - V_v = 1411262,325 - 474633,836 = 936628,489 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.2)$$

kde: V_{zps} [mm³] je zbytkový materiál z polotovaru pro soustružení

V_v [mm³] je objem hotové součásti.

Procentuální vyjádření:

$$P_z = \frac{V_{zps}}{V_{ps}} \cdot 100 = \frac{936628,489}{1411262,325} \cdot 100 = 66,4 \text{ [%]} \quad (3.3)$$

kde: P_z [%] je procentuální vyjádření zbytkového materiálu pro soustružení.

Soustružení je třískové obrábění, které poškozuje vnitřní strukturu materiálu a tím snižuje jeho vlastnosti. Úkosity na všech rotačních plochách zadané součásti znemožňují dobré upnutí do hlavy soustruhu. Hlavním důvodem pro vyloučení výroby touto cestou je příliš velká neekonomičnost výroby. Ze zakoupeného polotovaru je 66,4% nevyužitých.

Slévárnství

Zadaná součást nemá žádné velké překážky, které by znemožňovaly výrobu litím. Nemá složité výstupky nebo žebra, které by znemožnily zatékání taveniny. Nízko a středně legovaný materiál 14 220 je vhodný pro odlitky. Výroba by byla problematičtější, protože z hlediska úspory materiálu by se díra v součásti odlévala celá a bylo by nutné použití jader. Odlitý materiál nesplňuje požadovanou strukturu, součást musí být prokovaná, proto výroba litím nepřipadá v úvahu.

Zápustkové kování

Zápustkové kování je beztřískové tváření. Nenarušuje vnitřní strukturu materiálu, naopak zvyšuje houževnatost a zajistí požadované prokování materiálu. Materiál 14 220 je vhodný pro technologický proces zápustkového kování. Umožňuje součást vyrobít v požadované přesnosti tvaru a rozměrů. Úkosity na válcových plochách součásti jsou vhodné pro zápustku a umožňují snadné zvolení přímé dělicí roviny bez zalomení. Jedná se o sériovou výrobu. Kovací lis zajistí plně automatizovanou výrobní linku.

4 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY [1][2][5][14]

Technologický postup je zvolen na základě stanovení technologických dat (viz Tab. 8).

Tab. 8 Technologický postup výroby zadané součásti

Číslo	Operace	Stroj
1	Dělení materiálu	Pásová pila BS - 229HV
2	Indukční ohřev na 1050 °C	Indukční ohříváč KSO 250/10-A30
3	Kování	Klikový lis Šmeral LZK 1600
4	Ostřížení	Ostříhovací lis Šmeral LKO 315
5	Tepelné zpracování ke snížení vnitřního pnutí	Žíhací pec bez řízené atmosféry
6	Čištění – otryskání	Tryskač ATS
7	Kontrola kvality	

4.1 Dělení materiálu

Pro dělení zvoleného polotovaru kruhové tyče $\varnothing 70\text{--}3000$ [mm] volím pásovou pilu BS-229HV (viz Obr. 33). Pila je dodávána firmou Uni-max. Masivní konstrukce z odlitku zajišťuje dobrou stabilitu stroje. Disponuje velkým prořezem, hydraulicky ovládanou rychlostí přísuvu pásu do řezu. Pilový pás je vybaven chlazením. Sklopné čelisti svěráku zajišťují libovolnou změnu úhlu řezu. Tento stroj je určen pro řezání běžných kovů, které odpovídají stanovené kapacitě. Obsluha a údržba tohoto stroje obsahuje určitá rizika, která si vyžadují kvalifikovanější obsluhu. Potřebné technické parametry jsou uvedeny v tabulce (viz. Tab. 9).

Tab. 9 Technické parametry pily

Motor	400 [V] / 50 [Hz]
Výkon	0,75 [kW]
Rychlost pásu pily	25÷95 [m/min]
Velikost pásu	27x0,9x2655 [mm]
Rozměry pily	1380x460x1050 [mm]
Hmotnost pily	140 [kg]
Hlučnost	max. 80 [dB]



Obr. 33 Pásová pila BS-229HV

4.2 Indukční ohřev

Polotovar bude na kovací teplotu ohříván středofrekvenčním ohříváčem KSO 250/10-A30 (viz Obr. 34). Tento ohříváč je určen pro ohřev přířezů kruhového nebo čtvercového průřezu na kovací teplotu. Jeho součástí je výklopník palet, který vysype paletu do vibračního zásobníku. Z něj pokračují výkovky jeden za druhým po automatizovaném páse přímo do induktoru. V případě zadané součásti není nutné pořizovat kladkový

Tab. 10 Technické parametry ohříváče

Ohříváný materiál		Magnetická ocel
Rozměry přířezů	Průměr	20÷80 [mm]
	Délka	max. 500 [mm]
Max. teplota ohřívání přířezů		1250 [°C]
Max. ohřáté množství		625 [kg/h]
Výkon		250 [kW]
Vstupní napětí		3x340 [V]
Spotřeba chladicí vody		6,5 [m ³ /h]
Příkon		315 [kVA]
Kmitočet		2÷6 [kHz]

vytahovač. Výkovky budou vlivem gravitační síly padat na pevný žlábek. V průběhu ohřevu zajišťuje oddělovací zařízení, aby nedošlo ke vzájemnému slepení kusů. Ohřev výkovků je kontrolován a špatně ohřáté kusy nejsou vpuštěny do lisu. Teplota každého kusu je měřena bezdotykovými snímači teploty. Technické parametry středofrekvenčního ohřívače jsou uvedeny v tabulce (viz Tab. 10).

4.3 Kování

Kování bude probíhat v jedné operaci. Z hlediska požadavků na vyráběnou součást a ekonomičnost výroby je nejvhodnější stroj kovací lis LZK 1600 (viz Obr. 35). Pohyb beranu je ovládán příčně uloženou klikovou hřídelí. Lis je určen pro přesné zápustkové kování a kalibrování výkovků za tepla. Zvláště pak pro zpracování složitých, objemově i mechanicky náročných zápustkových výkovků. Stojan lisu je z lité oceli s mechanismem pro představení a uvolnění beranu. Jeho parametry jsou uvedeny v tabulce (viz Tab. 11).

Tab. 11 Parametry lisu LZK 1600

Jmenovitá tvářecí síla	16 [MN]
Počet zdvihů	85 [min ⁻¹]
Výška zdvihu	280 [mm]
Sevření	760 [mm]
Průchod	1230 [mm]
Pracovní plocha stolu	1180x1120 [mm]
Pracovní plocha beranu	1000x920 [mm]
Výška lisu	5900 [mm]
Šířka lisu	3150 [mm]
Hloubka lisu	2980 [mm]
Hmotnost lisu	85 [tun]

4.4 Ostřížení

Ostřížení výronku bude probíhat za tepla ihned po procesu kování. Ze vzorce (4.9) a (4.10) pro ostříhovací síly vyplývá volba ostříhovacího lisu Šmeral LKO 315 (viz Obr. 36). Jedná se o dvoubodový jednočinný klikový lis, který je určen pro tvářecí práce za tepla, ostříhování výkovků. Je zvláště vhodný pro ostříhování a kalibrování složitých zápustkových výkovků pro automobily, traktory nebo letecký průmysl. Konstrukce lisu je z lité oceli s podélně uloženou klikovou hřídelí a mechanismem pro přestavení beranu. Stroj je vybaven pomocným



Obr. 34 Středofrekvenční ohřívač KSO 250/10-A30



Obr. 35 Klikový kovací lis LZK 1600

beranem pro razící operace. Lis je vybaven horním vyhazovačem a elektrickým nožním spouštěčem. Technické parametry ostříhovacího lisu jsou uvedeny v tabulce (viz Tab. 12).



Obr. 36 Ostříhovací lis LKO 315

Tab. 12 Technické parametry
ostříhovacího lisu LKO 315

Jmenovitá síla	3150 [kN]
Sevření	600 [mm]
Průchod	1400 [mm]
Upínací plocha stolu	1380x950 [mm]
Upínací plocha beranu;	1380x950 [mm]
Zdvih	200 [mm]
Počet zdvihů	44 [min ⁻¹]
Výkon	36 [kW]

4.5 Tepelné zpracování a čištění

Na zadaný výkovek nejsou kladeny žádné požadavky na tepelné zpracování, proto pro výrobu plně postačuje žíhání ke snížení vnitřního pnutí. Materiál je tepelně namáhán, vzniká v něm vnitřní pnutí, které může způsobit zkřivení geometrie výkovku, zborcení nebo lom součástí. Žíhání ke snížení vnitřního pnutí spočívá v pomalém ohřevu na teplotu žíhání 450÷650 [°C], výdrži na této teplotě po dobu přibližně 1 hodiny, následným ochlazením v peci na teplotu 200 [°C] a konečným dochlazením na teplotu vzduchu. Žíhání probíhá v žíhacích pecích vakuových, s řízenou nebo neřízenou atmosférou. Proces žíhání ve vakuu zaručuje lesklý povrch součástí. Celý proces je kontrolován termočlánky. Pece s řízenou atmosférou zabraňují procesu okujení a prodlužují životnost materiálu. V případě, že nezáleží na kvalitě povrchu, nebo je součást dále obráběna využívají se žíhací pece bez řízené atmosféry.

Po tepelném zpracování je výkovek otryskán v Tryskači ATS (viz Obr. 37). ATS tryskače jsou vhodné pro tryskání výrobků jak při kusové, tak i malosériové výrobě. Lze je tedy zařadit do plně automatizované linky. Jsou určeny pro čištění povrchu součástí v průmyslových provozech.



Obr. 37 Tryskač ATS

5 STANOVENÍ TECHNOLOGICKÝCH DAT [5][8][9][10][12][13][14]

5.1 Materiál výkovku

Ocel 14 220

ČSN 41 4220

EURO 16MnCr5

Jedná se o mangan chromovou ocel k cementování (viz Tab. 13). Ocel je vhodná k objemovému tváření za tepla i za studena (viz Tab. 14). Je dobře obrobitelná a svařitelná. Ocel má velkou pevnost v jádře, např. při výrobě hřídelí, ozubených kol, pístních čepů, zubových spojek, atd.

Tab. 13 Chemické složení oceli 14 220 (hm. %)

Norma	C	Mn	Si	Cr	P	S
Dle ČSN	0,14÷0,19	1,10÷1,40	0,17÷0,37	0,80÷1,10	Max. 0,035	Max 0,035

Tab. 14 Vlastnosti oceli 14 220

Vlastnost	Hodnota
Mez kluzu $R_{p0,2}$	min 590 [MPa]
Mez pevnosti R_m	min. 785 [MPa]
Tvrdość HB	min. 152 [HB]
Modul pružnosti v tahu E	206 [GPa]
Modul pružnosti ve smyku G	79 [GPa]
Kování	800÷1250 [°C]
Normalizační žíhání	880÷920 [°C]
Žíhání na měkko	680÷720 [°C]
Cementování	840÷870 [°C]
Kalení	810÷840 [°C]
Popouštění	150÷200 [°C]

5.2 Zařazení výkovku podle třídy

Podle své geometrie je výkovek zařazen do tříd (viz Tab. 15), jeho označení tedy je:

7960-3

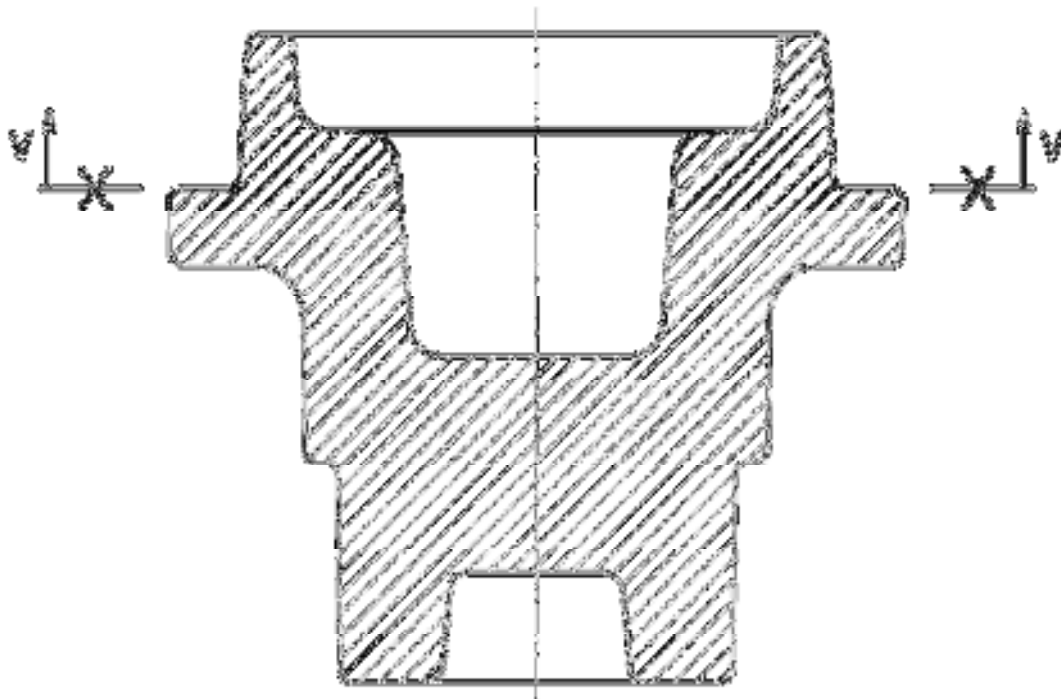
Tab. 15 Zařazení výkovku do tříd

Tvarový druh	7	Výkovky kombinovaných tvarů plné i duté
Tvarová třída	9	Výkovky jednostranně osazené
Tvarová skupina	6	Výkovky krátké
Tvarová podskupina	0	Výkovky bez přesahu
Technologické hledisko	3	Výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu souměrné

Výkovek nemá žádné složité výstupky nebo žebra. Nevyžaduje tedy velkých rázů, kterých je schopený buchar. Proto jako typ stroje volím klikový svislý lis. Všechny výpočty budou přizpůsobeny tomuto typu stroje. Zadaný výkovek je opatřen všemi přídávky a zaobleními podle normy ČSN 42 9030, proto není nutno žádné přidávat.

5.3 Volba dělicí roviny

Dělicí rovina je volena s ohledem na úkosy zadaného výkovku (viz Obr. 38). Podle úhlů úkosů by nebylo možné dělicí rovinu umístit do jiného místa výkovku, tak aby neznemožňovala vyjmutí výkovku z dutin horní i dolní zápustky.



Obr. 38 Volba dělicí roviny výkovku

5.4 Návrh polotovaru

Pokud nebude splněn štíhlostní poměr $\lambda=(1,5\div2,8)$, může polotovaru při začátku petchování vybočit do strany. Pro zadanou součást volím $\lambda=2$.

Výpočet průměru polotovaru

$$D_0 = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_c}{\lambda}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{537760,136}{2}} = 69,700 \text{ [mm]} \quad (5.1)$$

kde: D_0 [mm] je průměr polotovaru
 λ [-] je štíhlostní poměr
 V_c [mm³] je celkový objem výkovku.

Výpočet délky polotovaru

$$L_0 = \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot D_0^2} = \frac{4 \cdot 537760,136}{\pi \cdot 70^2} = 139,734 \text{ [mm]} \quad (5.2)$$

kde: L_0 je délka polotovaru.

Po zaokrouhlení a přidání 2 mm na dělení materiálu volím polotovaru o rozměrech $\varnothing 70$ -142 [mm] ČSN 42 0220. Kruhové tyče válcované za studena jsou dodávány firmou Feron.

Kontrola štíhlostního poměru

$$\lambda = \frac{L_0}{D_0} = \frac{140}{70} = 2 \text{ [-]} = (1,5 \div 2,8) \text{ [-]}. \quad (5.3)$$

Zvolený polotovaru splňuje podmínku štíhlostního poměru. Při počátečním petchování nebude docházet k vybočení materiálu do strany.

5.5 Výpočty objemu

Výkovek bude na kovací teplotu ohříván indukčním ohřevem, proto je opal 1,3% objemu výkovku.

$$V_{op} = V_v \cdot 0,013 = 474633,836 \cdot 0,013 = 6170,240 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.4)$$

kde: V_{op} je objem materiálu na opal

V_v je objem hotového výkovku.

Objem materiálu na výronek je 10÷15% objemu výkovku. Pro zadanou součást volím 12%.

$$V_{výr} = V_v \cdot 0,12 = 474633,836 \cdot 0,12 = 56956,060 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.5)$$

kde: $V_{výr}$ je objem materiálu potřebný na výronkovou drážku.

Celkový objem výkovku

$$V_c = V_v + V_{výr} + V_{op} = 474633,836 + 56956,060 + 6170,240 = 537760,136 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.6)$$

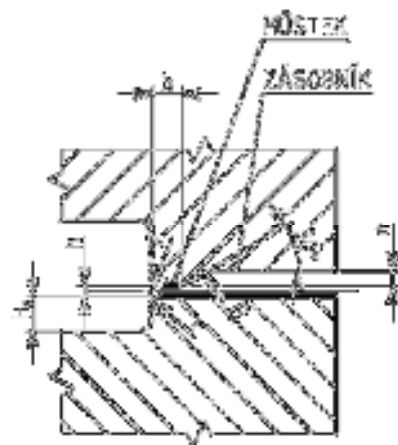
kde: V_c [mm³] je celkový objem výkovku.

5.6 Návrh výronkové drážky a střížné síly

Pro svislý kovací lis se používá otevřená výronková drážka (viz Obr. 39). Rozměry výronkové drážky jsou určeny podle síly lisu (viz Tab. 16). Čím větší je potřebný tlak na kování, tím musí být menší výška výronku „h“ a širší můstek „b“. Pro jmenovitou sílu listu volím $h_{výr} = 2,5$ [mm], $b_{výr} = 6$ [mm] a $r_{výr} = 2$ [mm].

Tab. 16 Parametry výronkové drážky

Síla lisu [MN]	$h_{výr}$ [mm]	$b_{výr}$ [mm]	$b_{zvýr}$ [mm]	$r_{výr}$ [mm]
2	1÷1,5	3÷5	25	1÷1,5
6,3	1÷2	3÷7	25	
10	1,5÷2,5	4÷7,5	30	
16	2÷3	5÷8	32	1,5÷2,5
25	2,5÷4	6÷10	38	
31,5	2,5÷4,5	6÷11	40	2÷3
40	3,5÷5,5	7÷12	42	
63	4,5÷8	9÷15	50	2÷5



Obr. 39 Otevřená výronková drážka

Výpočet síly pro ostřížení výronku

$$F_{ov} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot o_{výr} \cdot \sigma_s \cdot h_{výr} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot \pi \cdot 123,1 \cdot 90 \cdot 2 \cdot 2,5 = 236,679 \text{ [kN]} \quad (5.7)$$

kde: $o_{výr}$ [mm] je obvod výronku

σ_s [MPa] je mez pevnosti materiálu pro danou teplotu

$h_{výr}$ [mm] je výška můstku výronkové drážky.

Výpočet síly pro ostřížení blány

$$F_{ob} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot o_b \cdot \sigma_s \cdot h_b = 1,7 \cdot 0,8 \cdot \pi \cdot 29 \cdot 90 \cdot 2 \cdot 36,5 = 814,052 \text{ [kN]} \quad (5.8)$$

kde: o_b [mm] je obvod blány

σ_s [MPa] je mez pevnosti materiálu pro danou teplotu

h_b [mm] je výška blány.

Pro zkrácení výrobního času bude ostřížení výronku a blány probíhat v jedné operaci. Výsledná síla bude tedy součet síly potřebné na ostřížení výronku a síly potřebné na ostřížení blány.

Výsledná ostříhovací síla

$$F_o = F_{ov} + F_{ob} = 236,679 + 814,052 = 1050,731 \text{ [kN]} \quad (5.9)$$

kde: F_o [kN] je výsledná ostříhovací síla.

5.7 Výpočet kovací síly výkovku

Koeficient šířky plochy průmětu výkovku

$$s = 0,1725 \cdot G_0^{0,16} \cdot D_v^{0,5} = 0,1725 \cdot 3,726^{0,16} \cdot 123,1^{0,5} = 2,362 \text{ [mm]} \quad (5.10)$$

kde: G_0 [kg] je hmotnost výkovku

D_v [mm] je největší průměr výkovku.

Šířka plochy průmětu výkovku

$$b = (3 \div 5)s = 4 \cdot s = 4 \cdot 2,362 = 9,448 \text{ [mm]}. \quad (5.11)$$

Plocha průmětu výkovku

$$S_c = \frac{\pi}{4} \cdot (D_v + 2b)^2 = \frac{\pi}{4} \cdot (123,1 + 2 \cdot 9,448)^2 = 15835,876 \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (5.12)$$

Pro výpočet přesné kovací síly je zvolen koeficient vlivu tvarové složitosti $K_{ts} = 1,17$ [-] (viz Tab. 17) a hodnota přetvárné pevnosti $k_p = 121$ [-] (viz Tab. 18) zvolena pro teplotu kování 1050 °C.

Tab. 17 Koeficient vlivu tvarové složitosti

Stupeň	Tvar výkovku	K_{ts} [-]
I.	Jednoduché kompaktní součásti	1
II.	Kompaktní, málo členité součásti	1,08
III.	Součásti s vysokým stupněm deformace	1,17
IV.	Rozvidlené součásti	1,25
V.	Součásti s malými toušťkami a přechody	1,33
VI.	Součásti s extrémně malou tloušťkou průřezu	1,42

Tab. 18 Hodnoty přetvárné pevnosti

Materiál dle ČSN	Kovací teplota [°C]						
	900	950	1000	1050	1100	1150	1200
12 050	149	128	108	91	80	71	68
12 060	148	118	102	90	82	73	67
13 240	196	171	150	130	102	96	80
14 100	165	132	111	99	91	85	
14 220	184	159	139	121	106	91	76

Přesná kovací síla

$$F_k = 0,6 \cdot S_c \cdot k_p \cdot K_{ts} = 0,6 \cdot 15835,876 \cdot 121 \cdot 1,17 = 13,451 \text{ [MN]}. \quad (5.13)$$

5.8 Výpočet kovací síly podle normy ČSN 22 8306

Pro výpočet kovací síly podle normy ČSN je nutno vypočítat napětí ve všech odlišných průřezích (viz Obr. 40). Kovací teplotu, hmotnost polotovaru a druh materiálu už známe. Zbývá určit pevnost oceli za kovací teploty $R_{mT} = 41 \text{ [MPa]}$ (viz Tab. 19) a součinitel snížení plasticity materiálu $C_0 = 4 \text{ [-]}$ daný normou ČSN 22 8306.

Tab. 19 Pevnost oceli za kovací teploty

Oceli třídy 14			$R_{mT} \text{ [MPa]}$					
Jakost	Tvářecí teplota kování [°C]	Střední deformační rychlost [v/s]	Teplota tváření [°C]					
			800	900	950	1000	1100	1200
14 109	1050÷800	0,02	128	82	65	52	34	23
14 120	1250÷800		87	80	69	55	38,5	26,5
14 220	1250÷800		126	86	70	59	40	27
14 260	1100÷800		140	84	70	58	41	27
14 331	1150÷800		145	91	73	60	42	28
14 340	1100÷800		140	98	81	67	47	32

Výpočet napětí v jednotlivých průřezích (viz Tab. 20)

$$\sigma_0 = 1,285 \cdot R_{mT} \cdot C_0 = 1,285 \cdot 41 \cdot 4 = 210,740 \text{ [MPa]} \quad (5.14)$$

kde: $\sigma_0 \text{ [MPa]}$ je napětí v můstku výronkové drážky

$R_{mT} \text{ [MPa]}$ je pevnosti oceli za kovací teploty

$C_0 \text{ [-]}$ je součinitel snížení plasticity materiálu.

$$\text{I. } \sigma_I = \sigma_0 + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_I}{h_I} = 210,740 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{12}{13} = 362,125 \text{ [MPa]} \quad (5.15)$$

$$\text{II. } \sigma_{II} = \sigma_I + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{II}}{h_{II}} = 362,125 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{14}{39} = 420,996 \text{ [MPa]} \quad (5.16)$$

$$\text{III. } \sigma_{III} = \sigma_{II} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{III}}{h_{III}} = 420,996 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{28,5}{93} = 471,254 \text{ [MPa]} \quad (5.17)$$

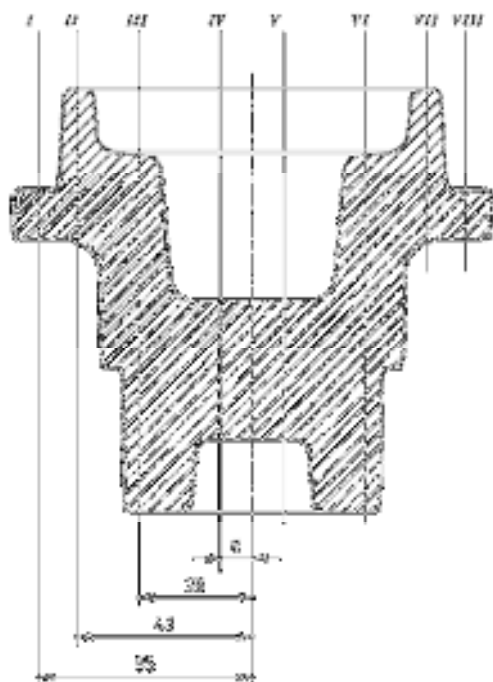
$$\text{IV. } \sigma_{IV} = \sigma_{III} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{IV}}{h_{IV}} = 471,254 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{16}{36,5} = 543,144 \text{ [MPa]} \quad (5.18)$$

$$\text{V. } \sigma_V = \sigma_{IV} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_V}{h_V} = 543,144 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{16}{36,5} = 615,035 \text{ [MPa]} \quad (5.19)$$

$$\text{VI. } \sigma_{VI} = \sigma_V + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{VI}}{h_{VI}} = 615,035 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{28,5}{93} = 665,293 \text{ [MPa]} \quad (5.20)$$

$$\text{VII. } \sigma_{VII} = \sigma_{VI} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{VII}}{h_{VII}} = 665,293 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{14}{39} = 724,165 \text{ [MPa]} \quad (5.21)$$

$$\text{VIII. } \sigma_{VIII} = \sigma_{VII} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{VIII}}{h_{VIII}} = 724,165 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{12}{13} = 875,550 \text{ [MPa]} \quad (5.22)$$



Tab. 20 Napětí v jednotlivých průřezech

Plocha	$\sigma \cdot b$ [MPa]	x_i [mm]	$\sigma \cdot x_i$
I	362,125*12	55	239002,500
II	420,996*14	45	265277,480
III	471,254*28,5	29	389491,431
IV	543,144*16	8	69522,432
V	615,035*16	8	78724,48
VI	665,293*28,5	29	549864,665
VII	724,165*14	45	456223,950
VIII	875,550*12	55	577863,000
Σ			2625919,938

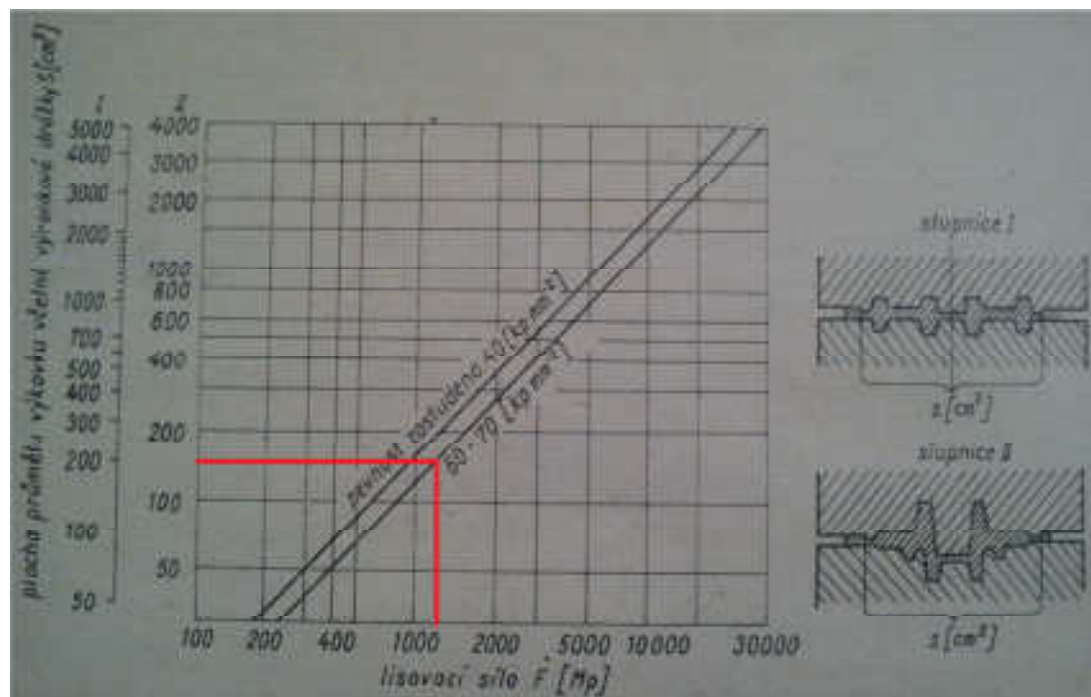
Obr. 40 Průřezy, ve kterých je počítáno napětí

Kovací síla

$$F_{kn} = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{I}^{VIII} (\sigma_i \cdot x_i) = 2 \cdot \pi \cdot 2625919,938 = 16,490 \text{ [MN]} \quad (5.23)$$

kde: x [mm] je vzdálenost od nulového bodu.

5.9 Kontrola kovací síly podle nomogramu



Obr. 41 Nomogram pro určení kovací síly EMUCO

Kovací síla vychází 13,451 MN a podle normy ČSN 16,490 MN. Kontrola v nomogramu kovací síly EMUCO (viz. Obr. 41) prokázala, že použití lisu o jmenovité kovací síle 16 MN bude dostačující. Výpočet podle normy ČSN také počítá s určitou rezervou. Hodnota R_{mT} a konečná volba stroje byla provedena na základě zkušeností vedoucího bakalářské práce.

5.10 Rozměry zápustky

Horní i dolní polovina zápustky jsou kruhového průřezu, který je určený výpočtem. Materiál zápustky je 19 662 (NiCrMoV).

Průměr kovací zápustky

$$D_z \geq D_v + 0,2 \cdot (D_v + H_{vyt}) + 10 = 123,1 + 0,2 \cdot (123,1 + 13,2) + 10 = 160,360 \quad (5.24)$$

kde: D_z [mm] je minimální průměr kovací zápustky.

Z katalogu firmy ŠMERAL je tento průměr pevně daný. Pro lis LZK 1600 je $D_z = 275$ [mm].

Průměr kolíkového vyhazovače

$$d'_k = d_k - \Delta = 38 - 0,3 = 37,7 \text{ [mm]} \quad (5.25)$$

kde: d'_k [mm] je jmenovitý průměr vyhazovače

d_k [mm] je průměr díry pro vyhazovač

Δ [mm] je vůle ve vedení vyhazovače.

Všechny rozměry zápustky, vyhazovače a výkovku jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci (viz. Příloha 1÷7).

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [12][13][14]

Zadané a zvolené parametry:

Sériovost $N = 180000$ [ks/rok]

Polotovar $\varnothing 70$ -142 [mm]

Hutní materiál kruhová tyč $\varnothing 70$ -3000 [mm] ČSN 42 5510

Počet kusů z 1 tyče

$$n_k = \frac{l_t}{l_p} = \frac{3000}{142} = 21,126 \Rightarrow 21 \text{ [ks]} \quad (6.1)$$

kde: n_k [ks] je počet kusů z 1 tyče

l_t [mm] je délka tyče

l_p [mm] je délka polotovaru.

Počet tyčí za rok

$$n_r = \frac{N}{n_k} = \frac{180000}{21} = 8571,429 \Rightarrow 8572 \text{ [ks/rok]} \quad (6.2)$$

kde: n_r [ks/rok] počet tyčí za 1 rok

N [ks/rok] počet polotovarů za 1 rok.

Hmotnost polotovaru

$$m_p = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot l_p \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,07^2}{4} \cdot 0,142 \cdot 7850 = 4,299 \text{ [kg]} \quad (6.3)$$

kde: m_p [kg] je hmotnost polotovaru

d_p [mm] je průměr polotovaru

ρ [kg/m³] je hustota materiálu.

Hmotnost tyče

$$m_t = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot l_t \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,07^2}{4} \cdot 3 \cdot 7850 = 90,585 \text{ [kg]} \quad (6.4)$$

kde: m_t [kg] je hmotnost tyče.

Hmotnost tyčí za 1 rok

$$m_r = m_t \cdot n_r = 90,585 \cdot 8572 = 776494,620 \text{ [kg/rok]} \quad (6.5)$$

kde: m_r [kg] je hmotnost tyčí za 1 rok.

Délka nevyužitého zbytku tyče

$$l_z = l_t - (l_p \cdot n_k) = 3000 - (142 \cdot 21) = 18 \text{ [mm]} \quad (6.6)$$

kde: l_z [mm] je délka nevyužitého zbytku tyče.

Hmotnost nevyužitého zbytku tyče

$$m_z = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot l_z \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,07^2}{4} \cdot 0,018 \cdot 7850 = 0,544 \text{ [kg]} \quad (6.7)$$

kde: m_z [kg] je hmotnost nevyužitého zbytku tyče.

Hmotnost zbytku připadající na 1 kus

$$m_{z1} = \frac{m_z}{n_k} = \frac{0,544}{21} = 0,026 \text{ [kg/ks]} \quad (6.8)$$

kde: m_{z1} [kg] je hmotnost zbytku připadající na 1 kus.

Norma spotřeby materiálu

$$N_{sm}=m_p+m_{z1}=4,299+0,026=4,325 \text{ [kg]} \quad (6.9)$$

kde: N_{sm} [kg] je norma spotřeby materiálu.

Stupeň využití materiálu

$$k_m=\frac{G_0}{N_{sm}}=\frac{3,726}{4,325}=0,86 \text{ [-]} \quad (6.10)$$

kde: k_m [-] je stupeň využití materiálu

G_0 [kg] je hmotnost hotového výrobku.

Cena za 1 kg kruhové válcované tyče $\varnothing 70$ [mm] je uvedena z ceníku firmy Vlastro s.r.o.

Cena materiálu na 1 kus

$$C_{ks}=m_p \cdot C_{kg}=4,299 \cdot 28,5=122,5 \text{ [Kč]} \quad (6.11)$$

kde: C_{ks} [Kč] je cena materiálu za 1 kus

C_{kg} [Kč/kg] je cena materiálu za kilogram.

Cena jedné tyče

$$C_t=m_t \cdot C_{kg}=90,585 \cdot 28,5 = 2581,673 \Rightarrow 2582 \text{ [Kč]} \quad (6.12)$$

kde: C_t [Kč] je cena 1 tyče.

Cena materiálu za rok

$$C_r=n_r \cdot C_t=8572 \cdot 2582= 22132904 \text{ [Kč]} \quad (6.13)$$

kde: C_r [Kč] je cena materiálu za 1 rok.

Náklady na výrobu

Náklady na výrobu jsou pouze orientační (viz. Tab. 21). U každé firmy jsou individuální.

Tab. 21 Náklady na jednotlivé operace

Proces	Stroj	Náklady na hodinu [Kč]	Čas na seřízení [min]	Čas 1 operace [min]	Náklady na seřízení [Kč]	Náklady na operaci [Kč]
Dělení	BS-229HV	700	15	1	175	7
Ohřev	KSO 250/10-A30	1000	60	5	1000	50
Kování	ŠMERAL LZK 1600	1500	60	0,4	1500	10
Ostřížení	ŠMERAL LKO 315	1000	60	0,4	100	6,7
Otryskání	Tryskač ATS	300	10	1,5	50	7,5
Celkem		4500	205	8,3	3725	81,2

Celkové náklady na výrobu jednoho kusu jsou 81,2 [Kč]. S připočítanou cenou materiálu jsou náklady na 1 kus 204 [Kč]. Výroba zadané součásti zápusťkovým kovááním je ekonomická a splňuje všechny požadavky na kvalitu její výroby.

7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo určit způsob výroby opěry tvářením. Literární rešerše se zabývá druhy kování a možnostmi jejich uplatnění. Konkrétněji zápustkovým kovááním, které je neoptimálnějším řešením pro zadanou součást. Při obrábění vzniká velké množství přebytečného materiálu a výroba je tak velice neekonomická. Při výrobě litím nedosáhneme požadované vnitřní struktury materiálu.

Produktem technologického procesu kování je výkovek. Ten však nezaručuje dokonalou přesnost a drsnost povrchu, proto je prvním krokem při výrobě stanovení přídavek na obrábění, technologických přídavek, zaoblení a úkosů. Poté je výkovek podle své geometrie zařazen do tříd, které mají velký vliv na volbu dalších kritérií výroby. Zápustkové kováání je možné realizovat na bucharech nebo kovacích lisech. Výběr vhodného kovacího stroje určuje geometrie a požadovaná kvalita výkovku. Od této volby se pak odvíjí konstrukce zápustek, volba dělicí roviny, využití vyhazovačů a typ výronkové drážky. Po výpočtu kovací síly určíme sílu, která je potřebná na ostřížení výronku a blan. To může být provedeno za tepla i za studena. Výkovek je po dobu kování tepelně namáhán, proto je nutné počítat se mrštěním po zchladnutí výkovku, opalem a vznikem vnitřního napětí. To může mít za následek zkřivení výkovku nebo vznik trhlin. Zamezuje se mu žíháním ke snížení vnitřního pnutí. Po dokončení celého procesu kování a tepelného zpracování je výkovek otryskán a tím zbaven veškerých nečistot zbylých na povrchu. Většina výkovků je dále zpracovávána, např. obráběním.

Při automatizaci celého procesu se stává kováání velice výhodnou metodou výroby součástí. Vývoj nových materiálů a maziv prodlužuje životnost zápustek i strojů. Jedná se o beztržkové obrábění, které je velice výhodné při úspoře hutního materiálu a zkvalitnění struktury součástí.

Pro technologický postup zadaného výkovku doporučuji zkušební provoz a v případě nutnosti použití i horního vyhazovače.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DVOŘÁK, Milan. *TECHNOLOGIE II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. ISBN 80-214-2683-7. 238 s.
- [2] LIDMILA, Zdeněk a Emil SVOBODA. *Strojírenská Technologie*. Brno: Fakulta vojenských technologií, 2006. ISBN 978-80-7231-220-7. 250 s.
- [3] FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. ISBN 80-214-2764-7. 167 s.
- [4] LENFELD, Petr. *Technologie: Tváření kovů, Tváření plastů*. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/uvod.htm
- [5] SPIŠÁK, Emil a Miroslav TOMÁŠ. *Teória konvenčných technológií*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2009. Edícia študijnej literatury. ISBN 978--80-553-0201-0.
- [6] SprutCAM [online]: *Metody obrábění*. Dostupné z: <http://www.sprutcam.cz/metody-obrabeni/soustruzeni>
- [7] FROLEC, Ivo. *Kovářství*. Praha: Grada Publishing a.s., 2003. ISBN 80-247-0611-3. 156 s.
- [8] HRUBÝ, Jiří, Stanislav RUSZ a Radek ČADA. *Strojírenské tváření*. Ostrava: Technická univerzita Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1218-5. 152 s.
- [9] LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření II*. Brno: Fakulta vojenských technologií, 2008. ISBN 978-80-7231-580-2. 113 s.
- [10] ČERMÁK, Jan. *Podklady pro projekt 2: část kování*. Odbor tváření, slévání a svařování. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/PRO2/kov_kapacitni_vypocty.pdf
- [11] KOUTSKÝ, Jaroslav a Dušan KEŠNER. *Simulace technologického postupu kování hřídelí*. Západočeská univerzita. Plzeň. Dostupné z: http://www.metal2012.com/files/proceedings/metal_01/papers/122.pdf
- [12] Fakulta strojního inženýrství. odbor tváření. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/databaze_modelu_soubory/ocel_14220.pdf
- [13] FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Brno: CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7. 167 s.
- [14] FISCHER, Ulrich. *Základy strojnictví*. 4. vydání. Praha: Europa-Sobotáles, 2004. ISBN 80-86706-09-5. 296 s.
- [15] SOBEK, Evžen. *Základy konstruování: návody pro konstrukční cvičení*. Brno: CERM, 2004. ISBN 80-7204-331-5. 111 s.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
B	Šířka výkovku	[mm]
b	Šířka plochy průmětu výkovku	[mm]
b_{I-VIII}	Šířka v jednotlivých průřezích výkovku	[mm]
$b_{výr}$	Šířka můstku výronkové drážky	[mm]
$b_{zvýr}$	Šířka výronkové drážky	[mm]
C_0	Součinitel snížení plasticity materiálu	[-]
C_{kg}	Cena materiálu za kilogram	[Kč/kg]
C_{ks}	Cena materiálu za 1 kus	[Kč]
C_r	Cena materiálu za 1 rok	[Kč/rok]
C_t	Cena tyče	[Kč]
D	Průměr výkovku	[mm]
d'_k	Jmenovitý průměr vyhazovače	[mm]
d_b	Průměr blány	[mm]
d_{ip}	Průměr ideálního předkovku	[mm]
d_k	Průměr díry pro vyhazovač	[mm]
d_p	Průměr polotovaru	[mm]
d_{ps}	Průměr polotovaru pro soustružení	[mm]
d_{pt}	Průměr trnu vyhazovače	[mm]
D_{pt}	Průměr osazení trnu vyhazovače	[mm]
D_v	Průměr výkovku	[mm]
D_z	Vnější průměr zápustky	[mm]
F_j	Jmenovitá síla kovacího stroje	[MN]
F_k	Kovací síla	[MN]
F_o	Celková síla ostřížení	[kN]
F_{ob}	Síla pro ostřížení blány	[kN]
F_{ov}	Síla pro ostřížení výronku	[kN]
G_0	Hmotnost hotového výkovku	[kg]
H	Výška výkovku	[mm]
h_b	Vzdálenost od okraje díry	[mm]
h_{I-VIII}	Výška v jednotlivých průřezích výkovku	[mm]
h_{ip}	Výška průřezového obrazce	[mm]
$h_{výr}$	Výška můstku výronkové drážky	[mm]
$H_{výr}$	Výška ode dna dolní zápustky k můstku	[mm]
k_m	Stupeň využití materiálu	[-]
k_p	Hodnota přetvárné pevnosti	[-]
K_{ts}	Koeficient vlivu tvarové složitosti	[-]
L	Délka výkovku	[mm]
l_p	Délka polotovaru	[mm]
l_t	Délka tyče	[mm]
l_z	Délka nevyužitého zbytku tyče	[mm]
m	Šířka průřezového obrazce	[mm]
m_p	Hmotnost polotovaru	[kg]
m_r	Hmotnost tyčí za 1 rok	[kg/rok]
m_t	Hmotnost tyče	[kg]
m_z	Hmotnost nevyužitého zbytku tyče	[kg]
m_{z1}	Hmotnost nevyužitého zbytku tyče připadající na 1 kus	[kg]
N	Sériovost	[ks/rok]
n_k	Počet kusů z jedné tyče	[ks]
n_r	Počet tyčí za 1 rok	[ks/rok]

N_{sm}	Norma spotřeby materiálu	[kg]
$o_{výr}$	Obvod výronku	[mm]
P_z	Procentuální vyjádření zbytkového materiálu pro soustružení	[%]
r	Poloměr zaoblení zápustky vnější hrany	[mm]
R	Poloměr zaoblení zápustky vnitřní hrany	[mm]
R_m	Pevnost kovaného materiálu	[MPa]
R_{mT}	Pevnost oceli za kovací teploty	[MPa]
s	Koeficient šířky plochy průmětu výkovku	[mm]
s_b	Šířka blány	[mm]
S_c	Plocha průmětu výkovku	[mm ²]
S_{ip}	Plocha průřezu výkovku	[mm]
V_c	Celkový objem výkovku	[mm ³]
V_{op}	Objem materiálu na opal	[mm ³]
V_{ps}	Objem polotovaru pro soustružení	[mm ³]
v_{ps}	Výška polotovaru pro soustružení	[mm]
V_v	Objem zadaného výkovku	[mm ³]
$V_{výr}$	Objem materiálu na výronek	[mm ³]
V_{zps}	Objem zbytkového materiálu z polotovaru pro soustružení	[mm ³]
Δ	Vůle ve vedení vyhazovače	[mm]
λ	Štíhlostní poměr	[-]
ρ	Hustota oceli	[kg/m ³]
$\sigma_{0÷VIII}$	Napětí v jednotlivých průřezech	[MPa]
σ_s	Mez pevnosti ve stříhu	[MPa]

SEZNAM PŘÍLOH

Číslo	Název	Číslo výkresu
Příloha 1	Studený výkovek	2012-BP-CAHA-01
Příloha 2	Teplý výkovek	2012-BP-CAHA-02
Příloha 3	Technologický postup	2012-BP-CAHA-03
Příloha 4	Sestava zápustek	2012-BP-CAHA-04
Příloha 5	Horní zápustka	2012-BP-CAHA-05
Příloha 6	Dolní zápustka	2012-BP-CAHA-06
Příloha 7	Vyhazovač	2012-BP-CAHA-07



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

VÝROBA OPĚRY TVÁŘENÍM PRODUCTION OF SUPPORT BY FORMING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ CAHA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. MILOSLAV KOPŘIVA

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Čaha

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:

Výroba opěry tvářením

v anglickém jazyce:

Production of support by forming

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě vypracované rešerše v daném oboru stanovit vhodnou technologii pro výrobu zadané součásti.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Literární rešerše problému
- 2) Stávající možnosti výroby
- 3) Návrh technologie výroby zadané součásti
- 4) Stanovení veškerých technologických dat a vypracování
- 5) Ekonomické zhodnocení
- 6) Závěr a návrh případných opatření

Seznam odborné literatury:

1. ELFMARK, J., et al. Tváření kovů. 1. vyd. Praha: SNTL Praha, 1992. 524 s. Technický průvodce; sv. 62. ISBN 80-03-00651-1.
2. NOVOTNÝ, K. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno : Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 str. Edit. VUT Brno. ISBN 80-214-0401-9
3. HAŠEK, V. Kování. 3. vyd. Praha : SNTL Praha, 1997. 732 str. ISBN 04-233-65.
4. DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K. Technologie tváření : plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno : CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
5. FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno : CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miloslav Kopřiva

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 18.11.2010




prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

CAHA Tomáš: Výroba opěry tvářením.

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia oboru B-STG předkládá návrh technologie výroby výkovku – dílce z tyče kruhového průřezu válcované za studena 14 220. Na základě literární studie problematiky zápustkového kování a výpočtu bylo navrženo kování v zápustce se spodním vyhazovačem, určeným ke snadnému vyjmutí výkovku z dutiny zápustky. Zápustka je kruhového průřezu a je upnuta rybinovou drážkou ve svislém kovacím lisu LZK 1600 (výrobce ŠMERAL Brno), se jmenovitou tvářecí silou 16 MN. Dolní i horní polovina zápustky jsou vyrobeny z oceli 19 662, tepelně zpracované pro účely kování.

Klíčová slova: Ocel 14 220, tvářením, zápustkové kování, tvářecí síla

ABSTRACT

CAHA Tomáš: Production of support by forming.

This project developed within the bachelor degree in B-STG present proposal forging technology - parts from bar of circular cross-section of cold rolled 14 220. Based on the literature study problems of die forging and calculation was designed die forging with bottom ejector, designed for easy removal of the forging from die cavity. Die is circular cross section and is clamped with a dovetail groove in vertical forging press LZK 1600 (manufacturer ŠMERAL Brno), with a nominal forging force of 16MN. The lower and upper half of the die is made of steel 19 662, heat treated for the purposes forging.

Key words: Steel 14 220, forming, die forging, forming force

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CAHA, T. Výroba opěry tvářením. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Miloslav Kopřiva.

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 Brně dne 18. 5. 2012

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Miloslavu Kopřivovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Úvod

1	MOŽNOSTI VÝROBY SOUČÁSTÍ [1][2][5][6][9][15].....	11
1.1	Obrábění	11
1.2	Slévárnství.....	12
1.3	Kování.....	12
2	ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ [1][2][4][5][7][8][11]	13
2.1	Definice kování, popis, historie	13
2.2	Volné kování.....	14
2.3	Kovací úkosy	14
2.4	Poloměry zaoblení	15
2.5	Přídavky a tolerance	15
2.6	Třídění výkovků do tříd	16
2.7	Základní charakteristika výkovků.....	18
2.8	Výronková drážka a určení jejich rozměrů.....	19
2.9	Ohřívací zařízení.....	20
2.10	Opal a smršťení	20
2.11	Dělicí rovina	21
2.12	Předkování děr	21
2.13	Ideální předkovek	22
2.14	Dělení zápusťkových dutin	22
2.15	Rozměry zápusťtek.....	22
2.16	Výpočet kovací síly	23
2.17	Upínání a vedení zápusťtek	24
2.18	Volba kovacího stroje	24
2.19	Kovací lis versus buchar	25
2.20	Vyhazovače.....	26
2.21	Ostřihování výkovků	26
2.22	Rovnání výkovků.....	27
2.23	Kalibrování výkovků	27
2.24	Kovací válce	27
2.25	Materiál zápusťtek.....	28
2.26	Vložkování zápusťtek.....	28
2.27	Simulace kování.....	29
3	STÁVAJÍCÍ MOŽNOSTI VÝROBY [2][5][15]	30
4	TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY [1][2][5][14]	32
4.1	Dělení materiálu.....	32
4.2	Indukční ohřev	32
4.3	Kování.....	33
4.4	Ostřížení.....	33
4.5	Tepelné zpracování a čištění.....	34

5	STANOVENÍ TECHNOLOGICKÝCH DAT [5][8][9][10][12][13][14]	35
5.1	Materiál výkovku.....	35
5.2	Zařazení výkovku podle třídy	35
5.3	Volba dělicí roviny	36
5.4	Návrh polotovaru	36
5.5	Výpočty objemů.....	37
5.6	Návrh výronkové drážky a střížné síly	37
5.7	Výpočet kovací síly výkovku	38
5.8	Výpočet kovací síly podle normy ČSN 22 8306	39
5.9	Kontrola kovací síly podle nomogramu	40
5.10	Rozměry zápustky	41
6	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [12][13][14]	42
7	ZÁVĚR.....	44

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam příloh

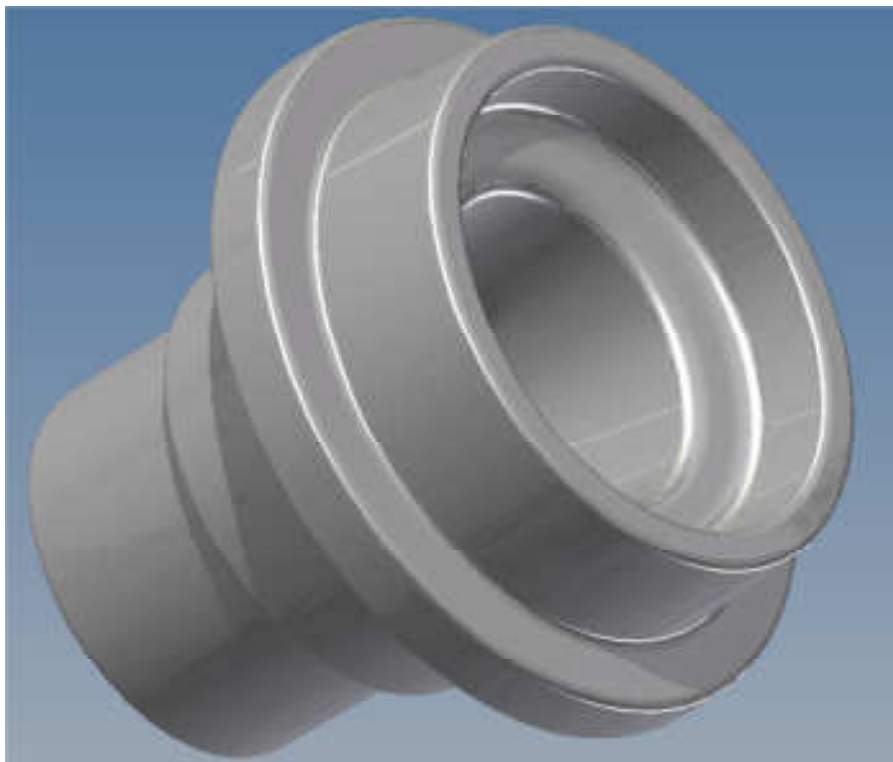
ÚVOD [1][2][3][4]

Technologie pochází ze dvou slov řeckého původu: „Techné“ neboli umění, řemeslo a „Logos“ neboli nauka. Doslovný překlad je tedy nauka o řemeslech. Nedílnou součástí strojírenské technologie je tváření (viz Obr. 1). Výrobní proces, při němž se vyrábí hutní polotovary a strojní součásti působením vnějších sil, aniž by byla porušena celistvost materiálu. Změna výchozího tvaru je způsobena plastickou deformací materiálu. První zmínky o plastické deformaci se datují koncem 19. století. Každý materiál má tvárnost nebo-li plasticitu, která udává do jaké míry je možno materiál tvářet. Závisí na vnitřní stavbě látky, chemickém složení, teplotě tvárného materiálu a na samotném tvářecím procesu. Při technologii tváření se řeší čtyři základní úlohy. Určení velikostí sil vzniklých při tvářecím procesu, určení velikostí a průběhů zatížení tvářeného tělesa, stanovení finální geometrie výrobku a stanovení kritických podmínek přetvoření. Překročení těchto podmínek způsobí porušení materiálu.



Obr. 1 Příklady součástí vyrobených objemovým tvářením

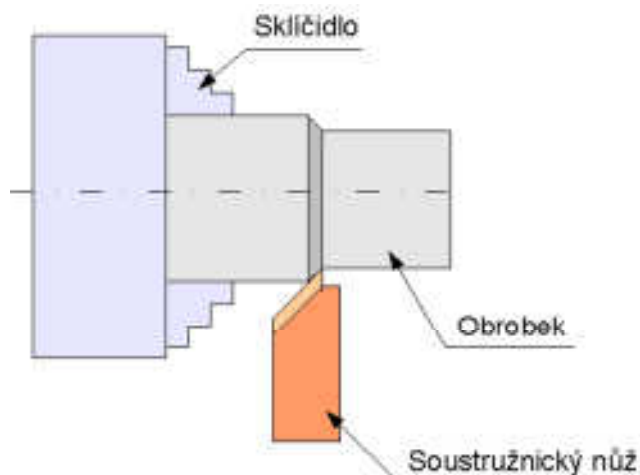
1 MOŽNOSTI VÝROBY SOUČÁSTÍ [1][2][5][6][9][15]



Obr. 2 Zadaná součást

1.1 Obrábění

Technologie obrábění je proces, při kterém dosahujeme požadovaného tvaru vnikáním řezného nástroje do povrchu polotovaru (viz Obr. 3). Je deformována struktura materiálu a tím i jeho mechanické vlastnosti. Obrábění probíhá postupným odebíráním daného množství



Obr. 3 Princip soustružení

materiálu, ten se nazývá přídavek na obrábění. Při obrábění je nutno dodržovat hlavní znaky: Hmatatelnost (nástroje, pracoviště, stroje), měřitelnost, kontrolu rozměrů a počítatelnost (počet obrobků, potřebných nástrojů, atd.), což vyžaduje kvalifikovanou obsluhu. Jedná se o třískové obrábění vnějších a vnitřních rotačních ploch jednobřitým nástrojem (soustružnickým nožem), přičemž nůž koná vedlejší pohyb a upnutý obrobek pohyb hlavní.

Soustružení lze rozdělit na čelní a podélné. Při čelním soustružení se obrábí plocha kolmá a osu rotace obrobku

(čelo). Rovněž je to operace, která se provádí ihned po upnutí polotovaru. Od obrobeného prvního čela se odvíjí všechny ostatní rozměry. Při podélném soustružení se obrábí plocha rovnoběžná s osou rotace obrobku (průměr). Součást je nejprve hrubována a následně obrobena na čisto ve finálním rozměru a kvalitě povrchu. Obrábění na čisto se provádí v radiálním i axiálním směru.

1.2 Slévárenství

Je technologický proces, při kterém se roztavený kov lije do formy (viz Obr. 4), která má tvar konečného výrobku zvětšený o technologické přídávky. Po úplném vyplnění formy a jejím zchlazení se získává konečný výrobek tzv. odlitek. Slévání se využívá především při výrobě složitých součástí, u kterých by byla výroba jinými technologiemi problematická. Ať už z důvodu velikosti nebo složitosti tvaru výrobku. Slévárenství představuje ekonomický způsob výroby



Obr. 4 Ukázka lití taveniny do formy

součásti z polotovaru. Při výrobě odlitku je nutno materiál nejprve roztavit na teplotu tavení a poté nalít do předem připravené formy. Ne všechny materiály jsou použitelné pro tento proces. Nejvhodnější jsou tzv. slévárenské slitiny, které splňují všechny podmínky. Zejména tavitelnost – schopnost slitiny přejít z tuhého skupenství do skupenství tekutého – tzv. vytvářet taveninu a zabíhavost – schopnost slitiny vyplnit co nejdokonaleji formu. To vše při zachování chemického složení a čistoty materiálu. Slévárenství se dělí na dvě základní skupiny – Hutní a Strojní. Hutní slévárenství probíhá v ocelárnách, kde se vyrábí hutní materiál určený pro další zpracování. Je odléván do tzv. kokil, forem jednoduchých tvarů. Produktem strojního slévárenství jsou velmi členité a tvarově složité odlitky (např.: bloky motorů, těles ústředního topení, strojů, atd.).

1.3 Kování

Tento technologický proces beztržiskového obrábění probíhá za teploty kování. Jednoduché součásti je možno kovat i za studena. Materiál je působením vnějších sil (rázy) deformován do požadovaného tvaru (viz Obr. 5). Oproti ostatním metodám není porušena struktura materiálu, naopak se jeho houževnatost zvětšuje. Výsledkem tohoto procesu je součást zvětšená o přídávky na obrábění a technologické přídávky, tzv. výkovek.



Obr. 5 Výkovek z vřetenového lisu

Kování se dělí na volné, zápustkové a rotační. Pro zadanou součást (viz. Obr. 2) je nejvhodnější zápustkové kování, při kterém je materiál formován v zápustce, která umožňuje výrobu složitějších tvarů s minimálními přídávky materiálu. Zápustka je složena z horní pohyblivé poloviny a dolní pevné poloviny. Místo kde se setkávají, nazýváme dělicí rovina. Kolem celého obvodu zápustky je umístěna výronková drážka do které uniká přebytečný kov. Její použití je podmíněno

složitostí výkovku. Hmotnost polotovaru je omezena na několik desítek kilogramů a díky vysoké ceně zápustky je vhodný pouze pro sériovou výrobu.

K zápustkovému kování je možno využít dvou typů strojů – Buchary a Lisy. Buchary pracují rychlým pohybem. Výkovek je většinou vyroben postupně jednotlivými rázy, dokud se obě části zápustky nedotknou. U lisů je výška zdvihu pevně daná konstrukcí klikového mechanismu. Proces probíhá pomalu a části zápustky se nedotýkají.

2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ [1][2][4][5][7][8][11]

2.1 Definice kování, popis, historie

Kování je technologický proces objemového tváření kovů, jehož výsledkem je výkovek. Většinou probíhá za kovací teploty, která se podle druhu materiálu pohybuje od 750°C do 1200°C. Kováním lze zpracovat tvárné kovy a jejich slitiny.

Při kování klademe důraz na minimální spotřebu materiálu, přesnost odpovídající požadavkům, vysoké mechanické vlastnosti a ekonomičnost výroby. Díky neporušení struktury kovu dochází ke zlepšení mechanických a fyzikálních vlastností. Kování spočívá v ohřevu materiálu na požadovanou teplotu, samotném přetvoření materiálu a zchladnutí. Při ohřevu by měla být dosažena kovací teplota v co nejkratším čase při zachování vnitřní a vnější jakosti materiálu. Kvalitním ohřevem se dosahuje lepší tvařitelnosti. Kování se dělí na volné a zápusťkové.

Zápusťkové kování

Při tomto kování nabývá výkovek finální tvar v dutině zápusťky, která je složena z horní a dolní poloviny. V každé polovině je vytvarována polovina výkovku, takovým způsobem, aby bylo možno výkovek vyjmout. Mezi polovinami zápusťky je dělicí rovina, po jejímž obvodu je umístěna výronková drážka pro odtok přebytečného materiálu. U tvarově jednodušších výkovků není nutno výronkovou drážku používat.

Historie kování

Kovářství je řemeslo zpracovávající ocel a její slitiny. Praktickou činnost kovářů označujeme za kování. Umění zpracovávat železo (železnou rudu) se stalo jedním ze základních podmínek pokroku starověkých civilizací.

První zmínky o zpracování železné rudy se datují na 3. tisíciletí př. n. l. převážně z oblasti Mezopotámie. Předměty potřebné k dennímu užitku se ale objevují až ve 12. stol. př. n. l. v Asii. Nejprudší rozvoj zpracování železa nastal v Halštatském období, kde byla používána především bronz. Prakticky všechny techniky využívané v 19. stol. n. l. se objevily již v římské kultuře. Po úpadku Keltů nastal v Evropě i úpadek kovářství. Návratu se



Obr. 7 Detail Paganiniho sochy na hradě Helfštýně



Obr. 6 Kovárna v roce 1568

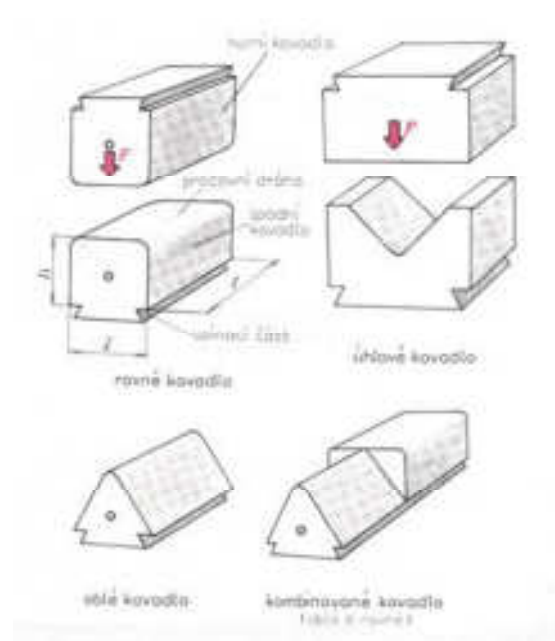
dočkalo až se vznikem Velké Moravy v 7. století. O 500 let později

se začalo kovářství rozpadat na specializované obory: kotlářství, výroba střelných zbraní, nožířství nebo zámečnictví (viz Obr. 6).

V husitském období emigrovala prakticky celá německá komunita a v Čechách rapidně klesla kvalita všech řemesel vč. kovářství. Velkého vrcholu dosáhlo až v období Baroka. Některé práce historických kovářů je možno vidět na hradě Helfštýně (viz Obr. 7).

2.2 Volné kování

Materiál je za kovací teploty postupně přetvářen pomocí kovel, sekáčů nebo příložek a speciálním polohováním výkovku do požadovaného tvaru. Kovadla se dělí na rovinná, válcová a klínová (viz Obr. 8). Jejich rybinovité drážky slouží k výměně jednotlivých typů v kovacím stroji. Díry v přední stěně jsou používány pro manipulaci. Pracovní plochy kovel jsou kaleny. Jako polotovary se používá ingot – produkt hutního slévárenství. Kovadla jsou upnuta do universálních kovacích strojů (bucharů, hydraulických lisů). Pro manipulaci s objemnějšími polotovary se využívají manipulátory. Jsou to kolejové nebo bezkolejové vozíky, které přepravují materiál o kovací teplotě. Volně kované výkovky mají vždy ten nejjednodušší tvar, velké úchytky rozměrů a hrubý nekvalitní povrch určený k dalšímu opracování.



Obr. 8 Druhy kovel

2.3 Kovací úkosy

Aby bylo možné vyjmout výkovek ze zápustky, je nutno na plochy kolmé na dělicí rovinu (směr rázu kovacího stroje) navrhnut kovací úkosy. Jejich hodnoty se pohybují od 2° do 10° a závisí na tvaru výkovku a volbě kovacího stroje podle normy ČSN 42 9030 (viz. Tab. 1). Kovací úkosy se dělí na vnitřní a vnější. Mezi vnitřním úkosem a stěnou dutiny zápustky vzniká při chladnutí tlak, zatím co mezi vnějším úkosem a stěnou dutiny zápustky vzniká při chladnutí vůle (viz Obr. 9).

Tab. 1 Kovací úkosy

Úkosy	Vnitřní [°]	Vnější [°]
Běžné zápustky	3	7
Stroje bez vyhazovače	7	10
Stroje s vyhazovačem	2÷3	3÷5
Vodorovné stroje	0÷5	0÷5

správnou zabíhavost materiálu při vyplňování dutiny zápustky. Při malém úkosu je ztíženo tečení kovu, dochází k přechování a vytvářejí se přeložky. Úkosy znamenají materiál navíc, což způsobí nárůst bočních tlaků. Tomu se ale dá předejít vhodnou volbou dělicí roviny nebo otočením polohy výkovku. Pro mělké výkovky se používají větší hodnoty úkosů a pro hluboké výkovky menší hodnoty úkosů z důvodu příliš velkého množství přidaného materiálu. S rostoucí přesností výkovků klesá velikost úkosů.

V některých případech lze úkos úplně vynechat. To ale vyžaduje speciálně konstruovanou zápustku, vhodně zvolenou dělicí rovinu a použití vyhazovačů.



Obr. 9 Technologické úkosy

2.4 Poloměry zaoblení

Dobrému tečení materiálu zabraňují rohy a ostré hrany zápustky. Proto jsou všechny plochy v místě styku spojeny obecnými zakřivenými plochami definovanými poloměrem zaoblení (viz Obr. 10). Pokud je úhel mezi plochami větší než 180° , jedná se o poloměr vnější s označením „r“. Pokud je úhel mezi plochami menší než 180° , jedná se o poloměr vnitřní s označením „R“. Jejich další dělení je na horizontální a vertikální. Pokud plochy spojují dno a vertikální plochu, nazývají se horizontální. Pokud spojují dvě vertikální plochy, nazývají se vertikální.

Poloměry zaoblení zmenšují velikost napětí v oblasti ostrých hran, proto zvyšují mechanické vlastnosti výkovků. Čím je větší velikost zaoblení, tím víc klesá vliv napětí. Ve vykované oblasti nejsou deformovaná vlákna materiálu, proto je výkovek pevnější a odolnější vůči korozi než materiál obrobený třískovým obráběním. Stejně jako nesprávně zvolené technologické úkosity, tak i velikost zaoblení má vliv na tečení materiálu a tím i snižují pravděpodobnost vzniku přeložek. Příliš malé poloměry vyžadují větší kovací sílu, čímž se snižuje životnost zápustek, ale snižují spotřebu materiálu.

Velikosti zaoblení jsou uvedeny v normě ČSN 42 9030 (viz. Tab. 2). Volí se v závislosti na druhu použitého materiálu výkovku, typu tvářecího stroje, geometrii výkovku a na poměru

Tab. 2 Poloměry zaoblení

Hloubka [mm]		Poměr hloubky a přilehlé plochy [-]					
		<2		2<4		>4	
Od	Do	r [mm]	R [mm]	r [mm]	R [mm]	r [mm]	R [mm]
	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25

hloubky dutiny a šířky přilehlé plochy. Při volbě velikosti zaoblení je nutno zajistit konstantní vyplňování dutiny zápustky, tak aby nevznikaly vady a přeložky.



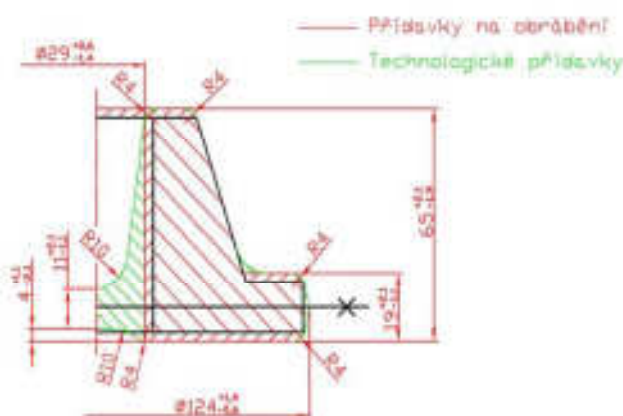
Obr. 10 Zaoblené hrany výkovku

2.5 Přídavky a tolerance

Rozměry výkovku jsou zvětšeny o technologické přídavky, kvůli správnému průběhu procesu kování a dodržení tvarů a rozměrů daných výkresem výkovku (viz Obr. 11).

Přídavky na obrábění

Pro dodržení požadované tvarové a rozměrové přesnosti a předepsané drsnosti povrchu je nutno výkovek zvětšit o hodnotu přídavku na obrábění. Tyto přídavky se přičítají pouze na plochy, které se budou po kování dále obrábět. V případě rotační plochy je třeba přídavky



Obr. 11 Příklady přídavků

zdvojnásobit. Jejich velikost je obvykle stejná pro všechny rozměry výkovku a je dána normou ČSN 42 9030 (viz Tab. 3). Určuje se v závislosti na jakosti kovaného materiálu,

Tab. 3 Přídavky na obrábění

Největší rozměr ve směru rázu [mm]		Největší výška hotového výrobku [mm]						
		Od		25	40	63	100	160
		Do	25	40	63	100	160	250
Od	do	Přídavky na obrábění ploch [mm]						
	25		1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	
40	63		1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5
63	100		2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0
100	160		2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5
160	250		2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5
250	400		2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0

celkových rozměrů výkovku a stupni přesnosti provedení.

Jakost, v tomto případě tvaritelnost materiálu, je zařazena do 5 stupňů. Čím je stupeň menší, tím je lepší tvaritelnost materiálu. Úchyly rozměrů a tvarů platí pro stupeň 3, pro stupeň 4 je nutno zvýšit velikost přídavku na obrábění o 20% a pro stupeň 5 je přídavek zvýšen o 40%.

Technologické přídavky

Technologické přídavky jsou používány z důvodu snadného průběhu procesu kování a vyjmutí výkovku ze zápustky (viz Obr. 11). Dále na zkvalitnění povrchu výkovku v místech, kde mohou vznikat trhliny, rozválcované bubliny nebo oduhličená vrstva. V případě předkování děr patří mezi technologické přídavky i blána. Hodnota přídavků je dána normou ČSN 42 9030 a závisí na tvarové složitosti výkovku a stupni přesnosti jednotlivých dílců. Mezi základní technologické přídavky patří technologické úkosy a poloměry zaoblení.

Tolerance rozměrů a tvarů výkovků

Mezní úchytky tvaru jsou dány geometrií výkovku a to přesazením, otřepem a prohnutím. Tolerance rozměrů určuje stupeň přesnosti výkovku a největší rozměr výkovku ve směru rázu. U rotačních součástí je to největší průměr a největší rozměr ve směru rázu. U nerotačních součástí je průměr výkovku nahrazen střední hodnotou největší šířky a délky. Hodnoty úchylek rozměrů jsou dány normou ČSN 42 9030.

U úchylek tvaru se posuzují tyto aspekty:

- **Otřep:** zbytek výronku, který může zůstat na výkovku
- **Sestřížení:** stopa na výkovku po ostříhování
- **Jehla:** ostří, které může vzniknout na okraji střížné plochy
- **Dovolený průhyb:** úchylka střední přímky výkovku od roviny
- **Úchylka rovinnosti:** úchylka povrchové plochy výkovku od roviny

2.6 Třídění výkovků do tříd

Výkovky jsou, podle 5-ti místného čísla XXXX-X, zařazeny do tříd. Význam jednotlivých číslic:

1. číslice – Xxxx-x – Tvarový druh

- 4 – výkovky kruhového průřezu plné (viz Obr. 12)
- 5 – výkovky kruhového průřezu duté
- 6 – výkovky hranolovitých tvarů plné i duté
- 7 – výkovky kombinovaných tvarů plné i duté
- 8 – výkovky s ohnutou osou
- 9 – výkovky s lomenou dělicí plochou



Obr. 12 Výkovek kruhového průřezu plný

2. číslice – xXxx-x – Tvarová třída

- 1 – konstantní průřez
- 2 – kuželovité (jehlanovité, klínovité)
- 3 – jednostranně osazené
- 4 – oboustranně osazené
- 5 – osazené s kuželem (jehlanem, klínem)
- 6 – prosazené
- 7 – kombinované
- 8 – kombinované s kuželem (viz. Obr. 13)
- 9 – členité (u druhu 8 – výkovky háků)
- 0 – neobsazeno

- 1,2 – výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy
- 3,4,5 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu
- 6,7,8 – výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh strojích

Výkovky zařazené do třídy 0 a 9 se dále dělí na:

- 0 – převážně kruhový průřez
- 1 – převážně plochý průřez
- 2 – s hlavou a jedním ramenem
- 3 – s hlavou a více rameny
- 4 – jednostranně rozvidlené
- 5 – oboustranně rozvidlené
- 6 – zalomené
- 7 – šroubovitě (stoupání <1) – pouze u tvarového druhu 0
- 8 – šroubovitě (stoupání >1) – pouze u tvarového druhu 0

3. číslice – xxXx-x – Tvarová skupina

- 1÷4 – výkovky plné
- 5÷8 – výkovky duté

4. číslice – xxxX-x – Tvarová podskupina

- 1 – přesah v poměru L:B (D) nebo H:B (D)
- 2 – přesah v poměru H:H (D:D)
- 3 – přesah v poměru B:B
- 4 – přesah v poměru F:F
- 5 – přesah v hloubce dutiny nebo úhlu listů lopatek
- 6 – přesah v tloušťce dna nebo blány
- 7 – přesah v tloušťce stěny s nebo bez rozvidlení
- 8 – přesah v zaoblení přechodů a hran R,r
- 9 – kombinace několika přesahů
- 0 – bez přesahu



Obr. 13 Výkovek tvarové třídy 8 Hák



Obr. 14 Výkovky souměrné i nesouměrné

5. číslice – xxxx-X – Technologické hledisko

- 1 – výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy souměrné
- 2 – výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy nesouměrné
- 3 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu souměrné (viz Obr. 14)
- 4 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu nesouměrné (viz Obr. 14)
- 5 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu s ozubením
- 6 – výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech souměrné
- 7 – výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech nesouměrné
- 8 – výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech s ozubením
- 9 – výkovky s více dělicími plochami

2.7 Základní charakteristika výkovků

Výkovek je produkt technologického procesu kování. Jeho rozměry jsou odvozeny od rozměrů finálního výrobku, ale jsou zvětšeny o technologické přídavky, přídavky na obrábění, úkosity a zaoblení. Už samotný výrobní výkres výrobku by měl být přizpůsobený kování. Požadavky na konstrukci výkovků:

a) Požadavek na přesnost výkovku

Je volen s ohledem na velikost přídavku na obrábění a velikost tolerancí rozměrů. Pro standartní rozměry a tvary výkovků je tento přírůstek předepsán normou. Jakýkoliv přírůstek na výkovku znamená větší spotřebu drahého materiálu, proto se zvláště u tvarově složitých výkovků používají minimální či vůbec žádné přídavky. Výkovky se vyrábějí ve 4 druzích přesnosti:

- Obvyklé provedení
- Přesné provedení
- Velmi přesné provedení
- Provedení podle dohody

Výkovky vyrobené obvyklým provedením mají obvyklou přesnost, přídavky na obrábění a mezní úchytky rozměrů i tvarů. Výkovky vyrobené přesným provedením mají menší přídavky na obrábění a mezní úchytky rozměrů a tvarů. Zpřesnění se tedy týká všech aspektů volby přídávky a tolerancí. Výkovky vyrobené velmi přesným provedením mají menší přídavky na obrábění a mezní úchytky rozměrů a tvarů než výkovky vyrobené přesným provedením.

b) Požadavky na mechanické vlastnosti, jakost povrchu a vnitřní vady

Jsou voleny s ohledem na průběh vláken ve výkovku. Mechanické hodnoty materiálu,



Obr. 15 Automatizovaná linka v kovárnách Hulín

uvedené ve strojnických tabulkách, platí podél vláken. V ostatních směrech jsou menší. Vnitřní a povrchové vady výrobku se tolerují, pokud neznemožňují správnou funkčnost výkovku při jeho dalším používání.

c) Požadavky na tvářecí zařízení

Jeho volba z velké části ovlivňuje přesnost, kvalitu a ekonomičnost výroby výkovku. Při použití bucharů nedosahujeme velké přesnosti a je nutno volit větší úkosy. Na klikových kovacíh lisech dosahujeme větší přesnosti, což umožňuje volbu menších kovacíh úkosů za použití vyhazovačů.

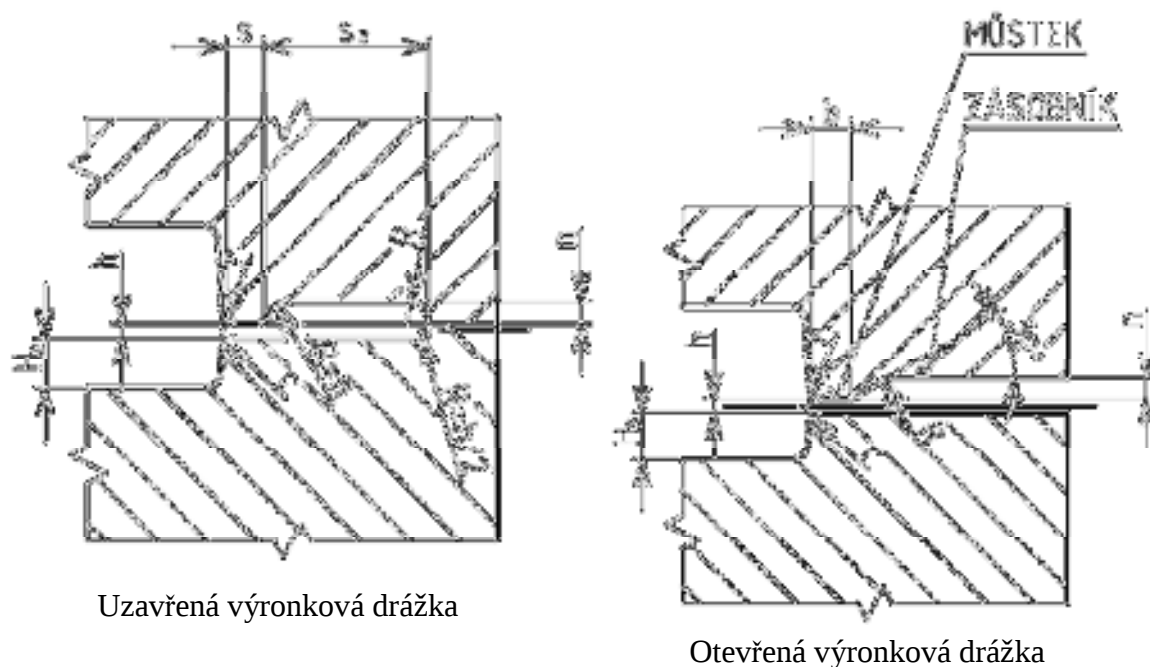
d) Požadavky na mechanizaci a automatizaci kovacího procesu

Zahrnují tvarové úpravy a přídatky výkovků, které umožňují manipulaci výrobků a jejich orientaci na automatických linkách (viz Obr. 15).

2.8 Výronková drážka a určení jejich rozměrů

Výronková drážka je prostor umístěný po obvodu celého výkovku v dělicí rovině (viz Obr. 16). Je navrhována buď se zápustkou, nebo je dána dolní úvratí kovacího stroje. Skládá se z můstku a zásobníku. Můstek slouží k regulaci tlaku v dutině zápustky. Geometricky složitější výkovky vyžadují vyšší tlak, tím pádem větší odpor a menší výšku můstku nebo větší šířku můstku. Objem výronku je dán množstvím kovaného materiálu.

Pro správnou funkci výronkové drážky je důležitá geometrie můstku. Pro jednoduché tvary se volí obdélníkový průřez, pro složitější tvar raidálně-axiální. Výškové rozměry se mohou měnit v závislosti na tuhosti nosné soustavy. Rozměry samotné výronkové drážky se liší podle typu kovacího stroje a jsou dány normou ČSN 22 8306 až 22 8309.



Obr. 16 Otevřená a uzavřená výronková drážka

a) Buchary

Šířka můstku

$$s = (0,015 \div 0,012) \cdot \sqrt{S_v} \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

kde: S_v [mm] je průmět plochy výkovku

0,015 pro malé výkovky a 0,012 pro velké výkovky.

b) Svislé kovací lisy

Rozměry můstku jsou dány dle normy ČSN 22 8306 (viz Tab. 4). Vychází ze jmenovité kovací síly „ F_j “, šířky můstku „ s “ a výšky můstku „ b “.

Tab. 4 Rozměry můstku výronkové drážky pro svislé kovací lisy

F_j [MN]	2,5	6,3	10	16	25	31,5	40	63
s [mm]	1÷1,5	1÷2	1,5÷2,5	2÷3	2,5÷4	2,5÷4,5	3,5÷5,5	4,5÷8
b [mm]	3÷5	3÷7	4÷7,5	5÷8	6÷10	6÷11	7÷12	9÷15

c) Vodorovné kovací lisy

Rozměry můstku jsou axiální (podélné), odstraněné obráběním nebo radiální (příčné), které se ostříhují přímo v zápustce. Šířka můstku se volí pro obě tyto varianty v závislosti na jmenovité síle kovacího stroje podle normy ČSN 22 8307.

2.9 Ohřívací zařízení

Prioritou ohřevu materiálu je dosažení kovací teploty v co nejkratším čase. Ohřev probíhá bez vzniku vad povrchové a vnitřní jakosti materiálu. Správně zvoleným ohřevem roste tvařitelnost a klesá deformační odpor. Ohřev charakterizuje součinitel tepelné vodivosti, měrná tepelná kapacita, hustota, součinitel teplotní vodivosti a mechanické vlastnosti.

Pro ohřev materiálu před kováním se používají elektrické a plynové pece. Pro výkovky větších rozměrů jsou využívány plynové pece. Pro výkovky menších rozměrů se užívají elektrické pece. Udávaný výkon pece je množství materiálu ohřátého za jednotku času. Pece delší než 3 metry, využívající výjezdovou nístěj, se nazývají vozové (viz Obr. 17). Narážecí pece jsou průběžné, z jedné strany je do pece strkacím zařízením dopraven polotovar a z druhé strany postupně vysunut ohřátý materiál. Průběžné pece se vyrábějí i jako karuselové, kdy je materiál uvnitř pece otáčen. V případě, že není potřeba ohřát celý materiál, využívá se pecí štěrbinových.

Ohřev může probíhat přímým průchodem proudu, nepřímým odporovým ohřevem nebo indukčním ohřevem. Ohřev přímým průchodem proudu je vhodný pro součásti s velkým poměrem délky ku šířce (průměru). Nepřímý odporový ohřev pracuje na principu odporových článků, což je oproti ostatním variantám pomalé. Nejvhodnější možností pro zadanou součást je indukční ohřev, který spočívá v umístění cívek v peci. Ty indukují vířivé proudy a pec tak dosahuje vysokých teplot v krátkém čase.

2.10 Opal a smršťení

Nepříznivý vliv, který vzniká na povrchu výkovku, nazýváme opal. Okolní atmosféra obsahuje kyslík, který při vysoké teplotě reaguje s železem a vytváří oxidy železa. Ty nazýváme okuje. Oxidace je zrychlovaná neustálým opadáváním okujů, které obsahují 71÷76% železa. To je ztráta 1÷3% materiálu na jeden ohřev. Odpadnuté okuje se nalepí na stěny pece a snižují tak její životnost. Proto je nezbytné, aby materiál prošel procesem odkujení. Snížení opalu lze dosáhnout rychlejším ohřevem nebo řízenou atmosférou v peci.

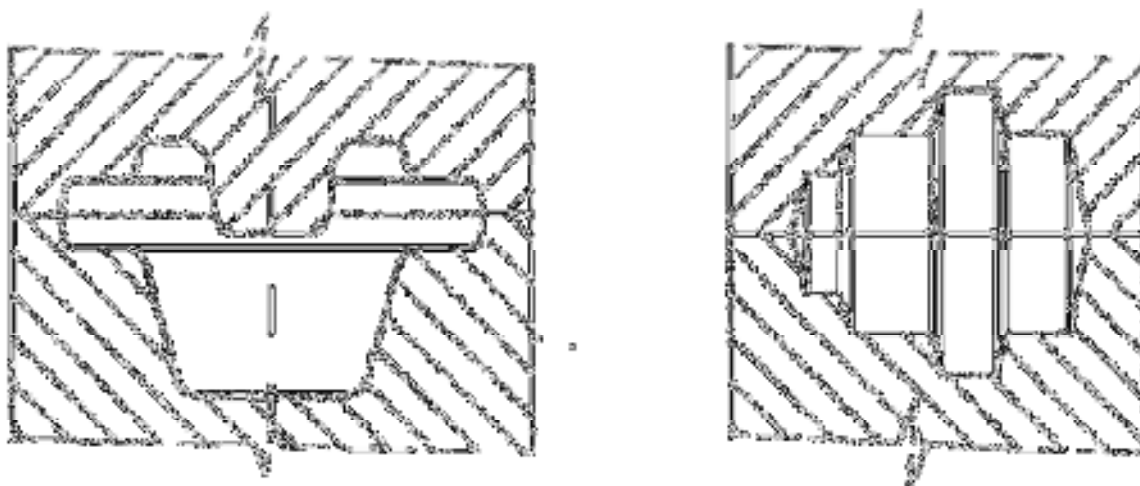


Obr. 17 Vozová pec
v Královopolské kovárně

Díky působení tepelné roztažnosti dochází ke změně objemu ohřátého materiálu. Tento vliv je nutno uvažovat při volbě rozměrů polotovaru. Není-li dodržena teplota, pro kterou bylo smrštění vypočítáno, jmenovitý rozměr nebude přesný.

2.11 Dělicí rovina

V místě setkání horní a dolní poloviny zápustky vzniká dělicí rovina (viz Obr. 18). Je navržena tak, aby bylo vyjmutí výkovku z dutiny zápustky bezproblémové. Na umístění dělicí roviny závisí průběh vláken výkovku. Ve většině případů se volí v rovině, v případech kde to není možné, se volí lomená dělicí rovina. Musí být navržena tak, aby umožňovala předkování děr, ostřížení výkovku a co nejvíce minimalizovala náročnost výroby. Při špatném umístění může docházet k nárůstu odporu při zatékání kovu do dutiny a ten je protlačován. Většinou se volí kolmo na dva největší rozměry výkovku.



Obr. 18 Příklady umístění dělicí roviny

2.12 Předkování děr

Průchozí díry u výkovků nelze vykovat celé. Proto se díry pouze předkovávají a zůstává v nich blána, jejíž tloušťka je dána výpočtem (2.2) nebo normou ČSN 42 9030. Blána může být navržena v různých tvarech (viz Obr. 19) a je po kování odstraněna odstřížením, stejně jako výronek. V případě silnější blány je proces ostřížení problematictější a vyžaduje větší střížnou sílu. V případě slabší blány je materiál rychle napěchován do výstupků v zápustce a způsobí nadměrné sevření výkovku.

$$s_b = 0,45 \cdot \sqrt{d_b - 0,25 \cdot h_b} + 0,6 \cdot \sqrt{h_b} \quad (2.2)$$

kde: s_b [mm] je šířka blány

d_b [mm] je průměr předkované díry

h_b [mm] je vzdálenost blány k okraji díry.



Obr. 19 Typy předkovaných blán



Obr. 20 Ideální předkověk

2.13 Ideální předkověk

Ne každou součást lze kovat z ingotů (polotovarů jednoduchých tvarů, tyčí). Proto se používá vícenásobný kovací proces. Ideální předkověk má kruhový průřez a umožňuje vykování materiálu do finálních tvarů a rozměrů. Jeho plocha se určuje i s výronkem a blánami. Plochy jednotlivých průřezů výkovku se promítnou na kruhovou plochu a jejich spojením dosáhneme tvaru ideálního předkovku (viz Obr. 20). Průměr a výška ideálního předkovku

jsou dány vztahy (2.3) a (2.4). Pro nejvhodnější volbu ideálního předkovku se výpočty provádějí ve více rovinách.

Průměr ideálního předkovku

$$d_{ip} = 1,13 \cdot \sqrt{S_{ip}} \text{ [mm]} \quad (2.3)$$

kde: d_{ip} [mm] je průměr ideálního předkovku

S_{ip} [mm²] je plocha průřezu výkovku.

Výška průřezového obrazce

$$h_{ip} = \frac{S_{ip}}{m} \text{ [mm]} \quad (2.4)$$

kde: h_{ip} [mm] je výška průřezového obrazce

m [mm] je šířka průřezového obrazce.

2.14 Dělení zápustkových dutin

Různé druhy dutin se používají při kování na bucharu. Postupové zápustky jsou umístěny v kovacím stroji a obsluha přemísťuje výkovek z jedné do druhé (viz Obr. 21). Výkovek je připravován v předkovacích a přípravných dutinách jednoduchého tvaru. Celý proces postupového kování je časově nevýhodný, proto se používá při výrobě malého množství kusů. Jakmile je výkovek předkován, umístí se do posledního typu dutiny – Kovací (dokovací) dutina. Tvar a rozměry této dutiny vychází z výkresu výkovku zvětšených o hodnotu smrštění. Stejně jako při předešlých způsobech kování je po celém obvodu výkovku umístěna výronková drážka skládající se z můstku a zásobníku.



Obr. 21 Příklad výkovku z postupové zápustky

2.15 Rozměry zápustek

K výrobě zápustek se používá nástrojová ocel v hodná pro prostředí se zvýšenými teplotami. Jsou vyráběny třískovým obráběním a pro zlepšení jejich mechanických vlastností dále tepelně zpracovány.

Rozměry zápustek se liší podle druhu použitého kovacího stroje. Zápustky použitelné pro buchar jsou z jednoho kusu a do kovacího stroje jsou připevněny klíny a rybinovitými drážkami. Zatímco zápustky pro kovací lisu jsou vyráběny z levnějších materiálů. Jako funkční plochy jsou zalisovány vložky do základního bloku zápustky. Upevnění do kovacího stroje je šroubové. Stanovení rozměrů konkrétní zápustky ovlivňuje smršťování materiálu výkovku a tolerance a mezní úchylky výkovku.

Kritéria pro volbu rozměrů zápustky:

- rozměry a jakost materiálu výkovku
- vzdálenost dutiny od okraje zápustky a její hloubka
- vzdálenost mezi jednotlivými dutinami
- způsob upnutí zápustky (velikost držáku zápustky)
- způsob vedení zápustky
- typ stroje a jeho velikost

2.16 Výpočet kovací síly

Výpočet kovací síly na klikovém kovacím lisu lze orientačně určit (viz Tab. 5) pro uhlíkové oceli nebo přesnějším výpočtem pomocí plochy průmětu výkovku.

— Tab. 5 Přibližná kovací síla

Tvar výkovku	Kovací síla F_k [kN]	Pevnost kovaného materiálu R_m [MPa]
Jednoduché výkovky	$40 \cdot S_c$	400
	$50 \cdot S_c$	600 ÷ 700
Složené výkovky	$56 \cdot S_c$	400
	$70 \cdot S_c$	600 ÷ 700

— kde: S_c je plocha průmětu výkovku.

Koeficient šířky plochy průmětu výkovku

$$s = 0,1725 \cdot G_0^{0,16} \cdot D_v^{0,5} \text{ [mm]} \quad (2.5)$$

kde: G_0 [kg] je hmotnost výkovku

D_v [mm] je největší průměr výkovku.

Šířka plochy průmětu výkovku

$$b = (3 \div 5)s \text{ [mm]}. \quad (2.6)$$

Plocha průmětu výkovku

$$S_c = \frac{\pi}{4} \cdot (D_v + 2b)^2 \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (2.7)$$

Pro výpočet přesné kovací síly je zvolen koeficient vlivu tvarové složitosti K_{ts} [-] a hodnota přetvárné pevnosti k_p [-] zvolena pro určitou teplotu dokování.

Přesná kovací síla

$$F_k = 0,6 \cdot S_c \cdot k_p \cdot K_{ts} \text{ [MN]}. \quad (2.8)$$

2.17 Upínání a vedení zápustek

Správnou a přesnou polohu zápustek pro buchary zajišťuje vedení (podélné, příčné a křížové) nebo vodící kolíky. Podélné vedení zamezuje příčnému posuvu, a proto se používá pro příčné zápustky. Příčné vedení zamezuje podélnému posuvu, a proto se používá pro podélné zápustky. Křížové vedení zamezuje posuv v obou směrech. Jeho šířka je o polovinu větší než délka. V případě zápustek s lomenou dělicí plochou se používá zámek.

Vodící kolíky jsou dva až čtyři v jedné zápustce a jsou umístěny v rozích zápustky. Další možností je využití kontrolního rohu. Ten tvoří dvě na sebe kolmé přesně opracované stěny zápustky. K upínání zápustek pro buchary jsou využity rybinové drážky se středícím perem (viz Obr. 22). Zápustka je vložena do bucharu a do vzniklé mezery je zatlačeno středící pero s podélným úkosem.

Protože jsou zápustky pro kovací lisy složeny z více kusů, upíná se každá vložka zvlášť. Držák kovací vložky zajišťuje správnou a přesnou polohu pomocí vodících kolíků, které jsou v něm zalisovány. Samotný držák je připevněn ke kovacímu stroji šroubovým spojem. Jeho poloha je zajištěna distančními vložkami. Do jednoho držáku mohou být umístěny maximálně tři kovací vložky, což omezuje kovat jeden výkovek ve třech operacích.



Obr. 22 Příklad upnutí pomocí rybinové drážky

2.18 Volba kovacího stroje

Při výběru vhodného typu kovacího stroje pro zadaný výkovek je zohledňován tvar, hmotnost a sériovost výkovku (viz Tab. 6).

Na bucharu je nutné se vyhýbat zdlouhavému prodlužování dříků, vyhýbat se výkovkům s velkou hlavou, což vyžaduje pěchování. Dále rozvidleným výkovkům, které vyžadují náročnější přípravné operace. Výkovkům extrémně malých a naopak velkých rozměrů. Nutně používat větší úkosity a poloměry zaoblení.

Pro kování na kovacím lisu nejsou vhodné výkovky s dlouhou osou, velkými tolerancemi a úkosity. Poloměry zaoblení jsou stejné jako na bucharu. V některých případech jsou vyloučené přípravné operace jako prodlužování nebo rozdělování. Lze však předkovat i hluboké otvory.

Tab. 6 Volba typu kovacího stroje

Tvar	Rotační	Klikový, třecí a hydraulický lis
	Nerotační	Šabotový nebo protiběžný buchar
Hmotnost	Malá	Buchar
	Střední (cca do 60 kg)	Lis
	Střední	Buchar
	Velká	Protiběžný buchar nebo hydraulický lis
Sériovost	Malá a střední	Buchar nebo vřetenový a hydraulický lis
	Vysoká	Klikový lis

2.19 Kovací lis versus buchar

Buchar

Buchar je tvářecí stroj pracující rázem (viz Obr. 23). Výkovek je kován dopadem beranu bucharu na šabotu. Deformační práce potřebná ke tváření vzniká z potenciální energie beranu. Kování na bucharu probíhá většinou ve více po sobě jdoucích operacích (úderech). Výkovek dostane finální tvar po dosednutí horní zápustky na dolní, kdy materiál vyplní celý prostor dutiny zápustky. Z tohoto důvodu musí být dosedací plochy částí obou polovin zápustky. Díky vzniku setrvačných sil při opakujícím se procesu kování dochází k velmi dobrému zatékání kovu do dutiny. Proto je buchar vhodný pro výkovky s vysokými výstupky nebo tenkými žebry. Kvůli velkým rázům se zápustky zhotovují jako velké bloky, ve kterých jsou umístěny všechny dutiny. Dutina s největší potřebnou silou na její vyplnění je umístěna uprostřed zápustky. Vzhledem k velkým rázům nelze zaručit příliš přesné vedení a buchar tedy není vhodný pro přesnější kování. Je u něj i obtížná automatizace a mechanizace výroby. Oproti tomu je výhodnou volbou pro členité výkovky a výkovky malých rozměrů.



Obr. 23 Buchar

Kovací lis



Obr. 24 Klikový kovací lis

Klikový kovací lis je tvářecí stroj pracující se stejným zdvihem beranu (viz Obr. 24). Výkovek tedy musí být zhotoven na jeden zdvih v jedné dutině. Výška tohoto zdvihu je dána typem mechanismu lisu (klikový, vřetenový a hydraulický). Pohyb beranu lisu je pomalý a oproti bucharu nevznikají žádné rázy. Výkovek je tvářen tlakem a dotyk horní poloviny zápustky a výkovku je podstatně delší než u bucharu. To umožňuje vyváženější vyplnění zápustky. Horní a dolní polovina zápustky na sebe nikdy nedosednou. Výška můstku výronkové drážky se rovná dolní úvrati stroje. Zápustky jsou opatřeny vložkami a umístěny v držácích. Držák zajišťuje přesnou pozici zápustky a proto je lis vhodnější pro přesné výkovky. Do lisu s klikovým mechanismem je možno umístit tři zápustky, což umožňuje tři operace na jednu výšku zdvihu. Lis s vřetenovým mechanismem umožňuje pouze jednu zápustku s jednou dutinou. Kovací lis je ideální pro sériovou plně automatizovanou výrobu.

2.20 Vyhazovače

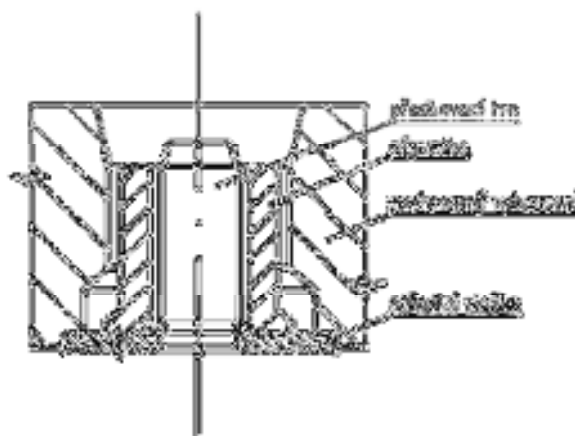
Při dokončení technologického procesu kování je nutno výkovek vyjmout z dutiny zápustky. To ovlivňují tyto faktory:

- hloubka dutiny zápustky
- tření
- tvar a rozměry výkovku
- technologické úkosy
- mazání
- odstraňování okují

Pokud je vyjmutí výkovku problematické, používají se vyhazovače. Ty mohou působit

v určitém místě výkovku nebo po celé jeho ploše. Podle způsobu jejich

konstrukce se dělí na prstencové (viz Obr. 25), kolíkové a vložkové. V závislosti na velikosti tlaku vzniklého v zápustce se volí příslušný typ vyhazovače. Pro výkovky se zahluobením ve středu jsou nejvhodnější vyhazovače prstencové. Pro umístění v jakémkoliv místě výkovku se používají vyhazovače kolíkové. Při použití vyhazovačů je možné použít menších technologických úkosů a poloměrů zaoblení, což snižuje náklady na materiál výkovku.



Obr. 25 Prstencový vyhazovač

2.21 Ostřihování výkovků

Výkovek vyjmutý ze zápustky je pro další zpracování zbaven přebytečného materiálu v podobě předkovaného děru (blány) a výronku. Proces odstranění blány nazýváme děrování a proces odstranění výronku ostřihování (viz Obr. 26). To se provádí na ostřihovacích lisech.

V případě rozměrnějších výkovků se ostřihuje ještě za tepla, u menších i za studena. Při plně automatizované výrobě jsou ostřihovací lisy součástí výrobní linky. Volba ostřihovacího lisu závisí na kovacím stroji, geometrii výronku nebo blány a síle potřebné k ostřížení podle vzorce (2.9).

Výpočet síly pro ostřížení výronku

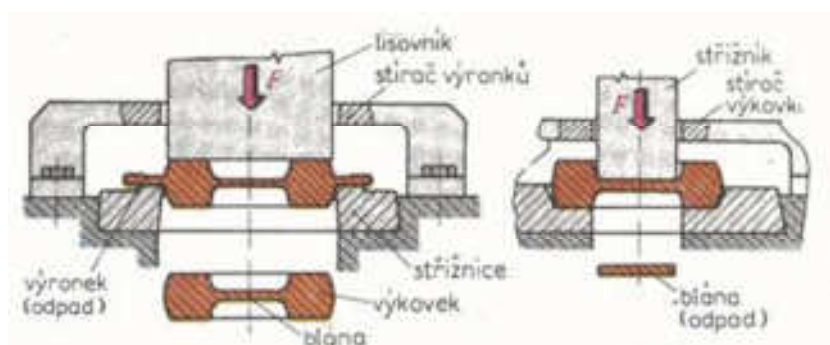
$$F_0 = 1,7 \cdot 0,8 \cdot o_{výr} \cdot \sigma_s \cdot h_{výr} \text{ [kN]} \quad (2.9)$$

kde: $o_{výr}$ [mm] je obvod výronku

$h_{výr}$ [mm] je výška výronku

σ_s [MPa] je napětí ve stříhu.

Výpočet síly pro ostřížení blány je stejný, pouze jsou dány hodnoty obvodu a výšky pro blánu. V případě ostřížení výronku a blány v jedné operaci jsou obě síly sečteny.



Ostřihování výronku

Děrování blány

Obr. 26 Ostřihování a děrování výkovku

2.22 Rovnání výkovků

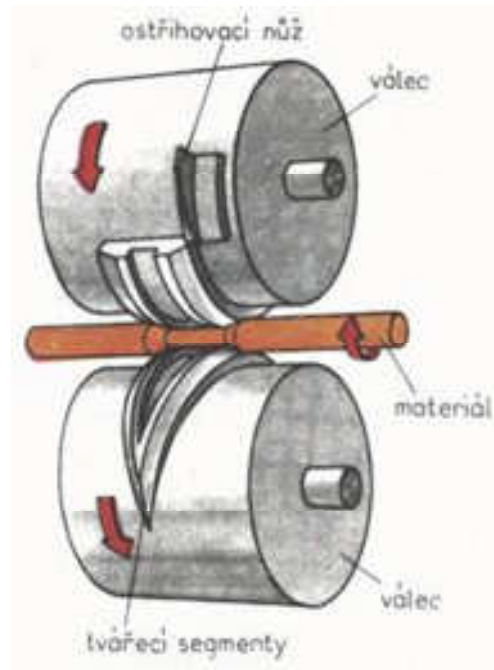
Protože je výkovek ohříván na vysoké teploty, dochází k jeho deformaci (zkřivení). Pokud toto zkřivení vybočuje z tolerancí zadaných na výkrese je nutno výkovek rovnat. Nejčastěji se rovnání provádí za studena v rovnacích zápustkách. Je možné výkovek rovnat už v dokončovací dutině zápustky za tepla, to ale snižuje její životnost. Rovnací nástroje jsou omezeny tlakem potřebným k narovnání výkovku. Pokud je výkovek rovnán už za tepla, má lepší mechanické vlastnosti a materiálovou strukturu. Podle křivosti os a úhlu zkřivení se určuje i zkřivení celého výkovku a tím pádem i nutnost procesu rovnání.

2.23 Kalibrování výkovků

Po ostřížení a rovnání výkovku se provádí poslední dokončovací operace kalibrování. Ta zajistí přesnost, hmotnost a drsnost povrchu výkovku požadovanou na výkrese. Při přesném kalibrování není nutno výkovek dále obrábět. Tento proces je možno realizovat na jakémkoliv tvářecím stroji určeném pro zápustkové kování. Kalibrování je možné za tepla i za studena. Při větším přídávku na kalibrování za tepla hrozí okujení a vznik výronku malých rozměrů. Ten je ihned po kalibrování odstraněn z důvodu opakovaného zkřivení výkovku. U ostřížení takto malého výronku hrozí vznik trhlin v jeho oblasti, proto se odstraňuje třískovým obráběním. Kalibrování za studena prováděné na razících lisech (viz Obr. 27) je přesnější než za tepla, ale vyžaduje využití dvojnásobné síly. Kalibrovat lze plošně, objemově nebo kombinovaně. Plošně se kalibrují rovnoběžné plochy za předpokladu změny rozměrů ploch na ně kolmých. Objemové kalibrování zajišťuje zpřesnění všech rozměrů výkovku.



Obr. 27 Kalibrovací lis



Obr. 28 Příčné klínové válcování

2.24 Kovací válece

U výkovků s rozdílnými kruhovými průřezy se využívají kovací válece. Takové výkovky jsou náročné na přesunutí materiálu pouze v jednom podélném směru. Tento proces se nazývá příčné klínové válcování. Osy kovacích válců a výkovku jsou rovnoběžné. Kovací válece se otáčejí proti sobě a jsou na nich umístěny pracovní klíny (viz Obr. 28). Při jejich otáčení je výkovek ohřátý na kovací teplotu vtahován mezi válce ručně nebo automatizovanou linkou. Hlavní předností je rozšíření nebo zúžení materiálu. Velikost a tvar tohoto zúžení jsou dány geometrií klínů. Konečného tvaru výkovku je dosaženo po otočení válců o jednu otočku. Tento proces umožňuje výrobu složitých přechodů průměrů na jednu operaci i jeho odstřížení. Příčné podélné válcování se využívá při výrobě složitých rotačních výkovků, ale především pro výrobu podlouhlých předkovek sériové výroby. Jako polotovary jsou využívány tyče kruhového nebo čtvercového průřezu.

2.25 Materiál zápustek

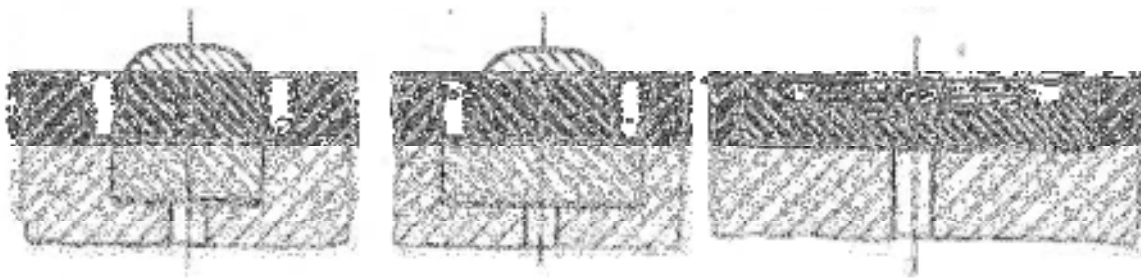
Na materiál zápustek jsou kladeny velmi vysoké požadavky, protože jsou namáhány jak mechanicky tak tepelně. Materiál zápustky by měl mít vysokou tvrdost, houževnatost, žáruvzdornost, žárupevnost, necitlivost proti kolísání teplot, dobrou obrobitelnost a zároveň nízkou cenu. Životnost zápustky roste s vhodnou volbou materiálu. Nejčastěji se používají legované nástrojové oceli třídy 19 (viz Tab. 7). V případě vložkování je tento materiál použit pouze na vložky a ne celou zápustku.

Tab. 7 Oceli pro zápustky

Ocel	Vlastnosti	Použití
19 103	Malá pevnost za tepla, odolnost proti úderům	Méně namáhané zápustky s tvrdým povrchem a mělkou dutinou
19 132	Malá pevnost za tepla, odolnost proti úderům	
19 152	Malá pevnost za tepla, velká houževnatost, odolnost proti úderům	
19 423	Malá pevnost za tepla, dobrá houževnatost, odolnost proti tlaku	
19 552	Dobrá pevnost za tepla, odolnost proti tlaku, úderu, opotřebení, tepelné úpravě	Malé vložky a zápustky při větším tepelném namáhání pro buchary a lisys
19 642	Odolnost proti změnám teplot, opotřebení, úderu, tlaku a tepelné úpravě	Zápustky všech velikostí s velkou trvanlivostí pro lisys a buchary
19 650	Dobrá pevnost za tepla, odolnost proti tlaku, úderu a opotřebení	Zápustky všech velikostí s velkou trvanlivostí pro kování neželezných kovů i ocelí a vložek
19 662	Dobrá pevnost za tepla, odolnost proti tlaku, velká houževnatost, odolnost proti změnám teplot	Zápustky s pevností pod 1300 MPa pro buchary s hlubokou dutinou, vložky a razníky pro vodorovné kovací lisys
19 663	Velká houževnatost, odolnost proti změnám teplot, popuštění a tepelné únavě	Zápustky s pevností nad 1300 MPa s hlubokou a tvarově členitou dutinou, vložky a razníky pro vodorovné kovací lisys
19 720	Velká pevnost za tepla, odolnost proti tepelné únavě	Malé zápustky, vložky a trny do velkých zápustek
19 721	Velká pevnost za tepla, odolnost proti tepelné únavě, dobrá houževnatost	
19 723	Velká pevnost za tepla, dobrá houževnatost	
19 740	Dobrá pevnost za tepla, dobrá houževnatost, odolnost proti opotřebení a tepelné únavě	Malé zápustky pro šrouby, matice, nýty, kde stačí malá pevnost za tepla

2.26 Vložkování zápustek

Z důvodu úspory materiálu a zvýšení životnosti zápustky se používají vložky. Ty jsou vyrobeny z kvalitního materiálu třídy 19 a celé torso zápustky z levnějšího, což je ekonomicky výhodné při pořizování zápustky i při případné opravě. Při poškození funkčních ploch se vymění pouze vložka a ne celá zápustka. V horní polovině zápustky musí být vložky zajištěny, protože by mohli vypadnout. Vložky jsou v zápustce nalistovány s přesahem H8/u7. Podle geometrie výkovku je možné volit několik druhů vložek (viz Obr. 29).

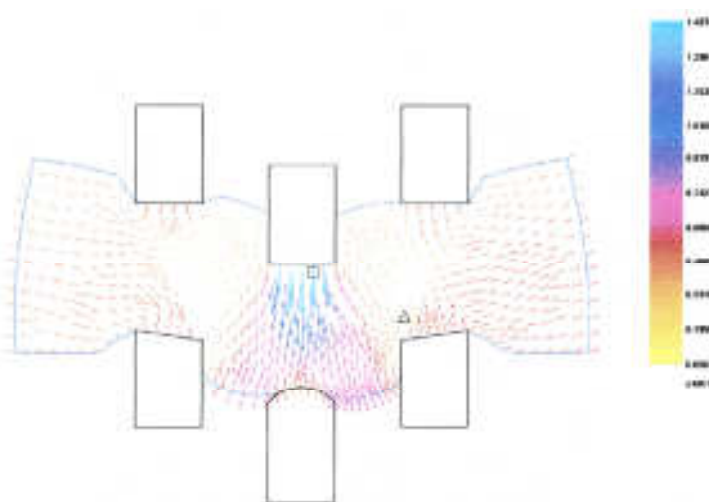


Obr. 29 Příklady vložkování zápustek

2.27 Simulace kování

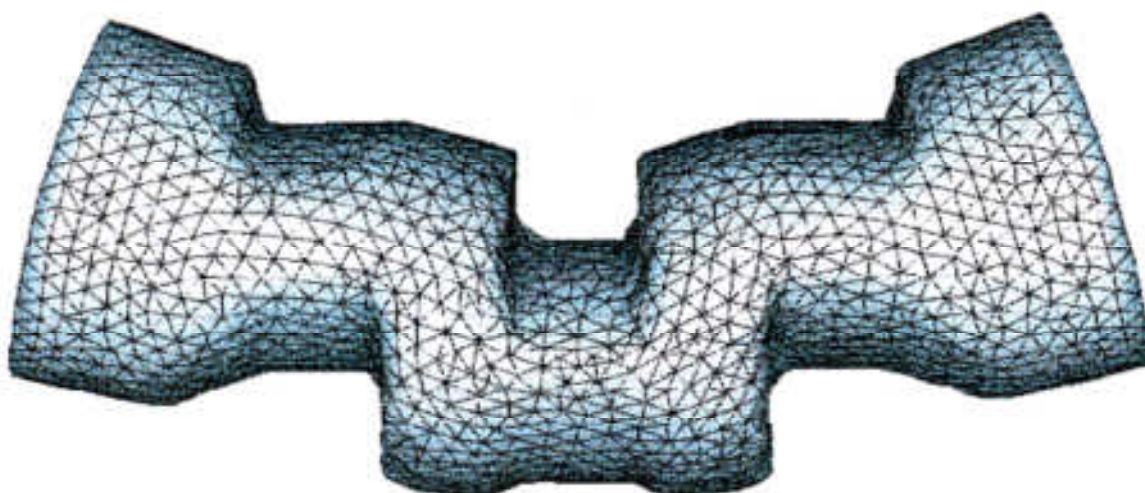
3D simulace tvářecích procesů umožňuje zjistit a analyzovat chování materiálu v jednotlivých krocích. Na základě závěrů z 3D simulace lze proces optimalizovat a vyvarovat se chyb ve výrobě, což znamená snížení velké části nákladů při zavádění výroby nové součásti.

Technologie jednotlivých kroků a přechod mezi nimi během výpočtu je velice komplikovaný. Každá operace závisí na té předešlé a proto je nutno provádět systematickou kontrolu výpočtů a minimalizovat tak rozdíl mezi simulovaným procesem a procesem probíhajícím v realitě.



Obr. 30 Ukázka toku materiálu při použití více druhů kovadel

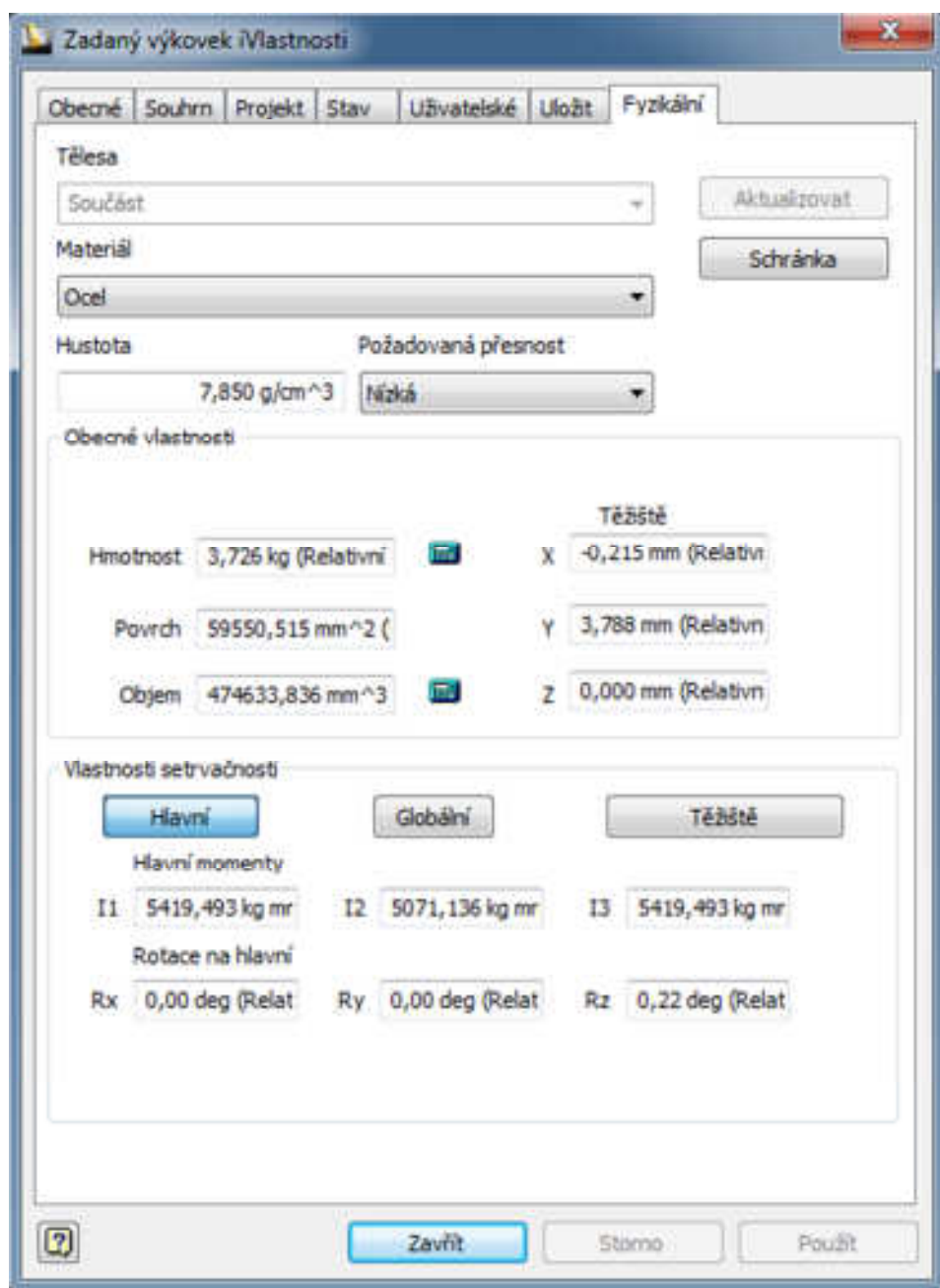
Ukázková simulace kování klikových hřídelů volným kovááním je efektivní metodou z hlediska náročnosti na kovací stroje, přípravky, čas a počet ohřevů v peci. To se používá především při výrobě předkovků. Během simulace byla provedena řada návrhů technologie kování s odlišnými druhy kovadel (viz Obr. 30). Výsledky jednotlivých operací byly porovnány na výsledném výkovku (viz Obr. 31).



Obr. 31 výsledný výkovek

3 STÁVAJÍCÍ MOŽNOSTI VÝROBY [2][5][15]

Objem, hmotnost, povrch a další fyzikální parametry hotového výkovku jsou vypočítány programem Autodesk Inventor 2012 (viz Obr. 32).



Obr. 32 Fyzikální parametry hotového výkovku

Soustružení

Vzhledem ke geometrii zadaného výkovku volím polotovar kruhové tyče Ø125 x 115 mm. Pro objem polotovaru platí:

$$V_{ps} = \frac{\pi \cdot d_{ps}^2}{4} \cdot v_{ps} = \frac{3,14 \cdot 125^2}{4} \cdot 115 = 1411262,325 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.1)$$

kde: V_{ps} [mm³] je objem polotovaru pro soustružení
 d_{ps} [mm] je průměr polotovaru pro soustružení
 v_{ps} [mm] je výška polotovaru pro soustružení.

Zbytkový materiál:

$$V_{zps} = V_{ps} - V_v = 1411262,325 - 474633,836 = 936628,489 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.2)$$

kde: V_{zps} [mm³] je zbytkový materiál z polotovaru pro soustružení

V_v [mm³] je objem hotové součásti.

Procentuální vyjádření:

$$P_z = \frac{V_{zps}}{V_{ps}} \cdot 100 = \frac{936628,489}{1411262,325} \cdot 100 = 66,4 \text{ [%]} \quad (3.3)$$

kde: P_z [%] je procentuální vyjádření zbytkového materiálu pro soustružení.

Soustružení je třískové obrábění, které poškozuje vnitřní strukturu materiálu a tím snižuje jeho vlastnosti. Úkosity na všech rotačních plochách zadané součásti znemožňují dobré upnutí do hlavy soustruhu. Hlavním důvodem pro vyloučení výroby touto cestou je příliš velká neekonomičnost výroby. Ze zakoupeného polotovaru je 66,4% nevyužitých.

Slévárnství

Zadaná součást nemá žádné velké překážky, které by znemožňovaly výrobu litím. Nemá složité výstupky nebo žebra, které by znemožnily zatékání taveniny. Nízko a středně legovaný materiál 14 220 je vhodný pro odlitky. Výroba by byla problematičtější, protože z hlediska úspory materiálu by se díra v součásti odlévala celá a bylo by nutné použití jader. Odlitý materiál nesplňuje požadovanou strukturu, součást musí být prokovaná, proto výroba litím nepřipadá v úvahu.

Zápustkové kování

Zápustkové kování je beztřískové tváření. Nenarušuje vnitřní strukturu materiálu, naopak zvyšuje houževnatost a zajistí požadované prokování materiálu. Materiál 14 220 je vhodný pro technologický proces zápustkového kování. Umožňuje součást vyrobít v požadované přesnosti tvaru a rozměrů. Úkosity na válcových plochách součásti jsou vhodné pro zápustku a umožňují snadné zvolení přímé dělicí roviny bez zalomení. Jedná se o sériovou výrobu. Kovací lis zajistí plně automatizovanou výrobní linku.

4 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY [1][2][5][14]

Technologický postup je zvolen na základě stanovení technologických dat (viz Tab. 8).

Tab. 8 Technologický postup výroby zadané součásti

Číslo	Operace	Stroj
1	Dělení materiálu	Pásová pila BS - 229HV
2	Indukční ohřev na 1050 °C	Indukční ohříváč KSO 250/10-A30
3	Kování	Klikový lis Šmeral LZK 1600
4	Ostřížení	Ostříhovací lis Šmeral LKO 315
5	Tepelné zpracování ke snížení vnitřního pnutí	Žíhací pec bez řízené atmosféry
6	Čištění – otryskání	Tryskač ATS
7	Kontrola kvality	

4.1 Dělení materiálu

Pro dělení zvoleného polotovaru kruhové tyče $\varnothing 70\text{--}3000$ [mm] volím pásovou pilu BS-229HV (viz Obr. 33). Pila je dodávána firmou Uni-max. Masivní konstrukce z odlitku zajišťuje dobrou stabilitu stroje. Disponuje velkým prořezem, hydraulicky ovládanou rychlostí přísuvu pásu do řezu. Pilový pás je vybaven chlazením. Sklopné čelisti svěráku zajišťují libovolnou změnu úhlu řezu. Tento stroj je určen pro řezání běžných kovů, které odpovídají stanovené kapacitě. Obsluha a údržba tohoto stroje obsahuje určitá rizika, která si vyžadují kvalifikovanější obsluhu. Potřebné technické parametry jsou uvedeny v tabulce (viz. Tab. 9).

Tab. 9 Technické parametry pily

Motor	400 [V] / 50 [Hz]
Výkon	0,75 [kW]
Rychlost pásu pily	25÷95 [m/min]
Velikost pásu	27x0,9x2655 [mm]
Rozměry pily	1380x460x1050 [mm]
Hmotnost pily	140 [kg]
Hlučnost	max. 80 [dB]



Obr. 33 Pásová pila BS-229HV

4.2 Indukční ohřev

Polotovar bude na kovací teplotu ohříván středofrekvenčním ohříváčem KSO 250/10-A30 (viz Obr. 34). Tento ohříváč je určen pro ohřev přířezů kruhového nebo čtvercového průřezu na kovací teplotu. Jeho součástí je výklopník palet, který vysype paletu do vibračního zásobníku. Z něj pokračují výkovky jeden za druhým po automatizovaném páse přímo do induktoru. V případě zadané součásti není nutné pořizovat kladkový

Tab. 10 Technické parametry ohříváče

Ohříváný materiál		Magnetická ocel
Rozměry přířezů	Průměr	20÷80 [mm]
	Délka	max. 500 [mm]
Max. teplota ohřívání přířezů		1250 [°C]
Max. ohřáté množství		625 [kg/h]
Výkon		250 [kW]
Vstupní napětí		3x340 [V]
Spotřeba chladicí vody		6,5 [m ³ /h]
Příkon		315 [kVA]
Kmitočet		2÷6 [kHz]

vytahovač. Výkovky budou vlivem gravitační síly padat na pevný žlábek. V průběhu ohřevu zajišťuje oddělovací zařízení, aby nedošlo ke vzájemnému slepení kusů. Ohřev výkovků je kontrolován a špatně ohřáté kusy nejsou vpouštěny do lisu. Teplota každého kusu je měřena bezdotykovými snímači teploty. Technické parametry středofrekvenčního ohřívače jsou uvedeny v tabulce (viz Tab. 10).

4.3 Kování

Kování bude probíhat v jedné operaci. Z hlediska požadavků na vyráběnou součást a ekonomičnost výroby je nejvhodnější stroj kovací lis LZK 1600 (viz Obr. 35). Pohyb beranu je ovládán příčně uloženou klikovou hřídelí. Lis je určen pro přesné zápustkové kování a kalibrování výkovků za tepla. Zvláště pak pro zpracování složitých, objemově i mechanicky náročných zápustkových výkovků. Stojan lisu je z lité oceli s mechanismem pro představení a uvolnění beranu. Jeho parametry jsou uvedeny v tabulce (viz Tab. 11).

Tab. 11 Parametry lisu LZK 1600

Jmenovitá tvářecí síla	16 [MN]
Počet zdvihů	85 [min ⁻¹]
Výška zdvihu	280 [mm]
Sevření	760 [mm]
Průchod	1230 [mm]
Pracovní plocha stolu	1180x1120 [mm]
Pracovní plocha beranu	1000x920 [mm]
Výška lisu	5900 [mm]
Šířka lisu	3150 [mm]
Hloubka lisu	2980 [mm]
Hmotnost lisu	85 [tun]

4.4 Ostřížení

Ostřížení výronku bude probíhat za tepla ihned po procesu kování. Ze vzorce (4.9) a (4.10) pro ostříhovací síly vyplývá volba ostříhovacího lisu Šmeral LKO 315 (viz Obr. 36). Jedná se o dvoubodový jednočinný klikový lis, který je určen pro tvářecí práce za tepla, ostříhování výkovků. Je zvláště vhodný pro ostříhování a kalibrování složitých zápustkových výkovků pro automobily, traktory nebo letecký průmysl. Konstrukce lisu je z lité oceli s podélně uloženou klikovou hřídelí a mechanismem pro přestavení beranu. Stroj je vybaven pomocným



Obr. 34 Středofrekvenční ohřívač KSO 250/10-A30



Obr. 35 Klikový kovací lis LZK 1600

beranem pro razící operace. Lis je vybaven horním vyhazovačem a elektrickým nožním spouštěčem. Technické parametry ostříhovacího lisu jsou uvedeny v tabulce (viz Tab. 12).



Obr. 36 Ostříhovací lis LKO 315

Tab. 12 Technické parametry
ostříhovacího lisu LKO 315

Jmenovitá síla	3150 [kN]
Sevření	600 [mm]
Průchod	1400 [mm]
Upínací plocha stolu	1380x950 [mm]
Upínací plocha beranu;	1380x950 [mm]
Zdvih	200 [mm]
Počet zdvihů	44 [min ⁻¹]
Výkon	36 [kW]

4.5 Tepelné zpracování a čištění

Na zadaný výkovek nejsou kladeny žádné požadavky na tepelné zpracování, proto pro výrobu plně postačuje žihání ke snížení vnitřního pnutí. Materiál je tepelně namáhán, vzniká v něm vnitřní pnutí, které může způsobit zkřivení geometrie výkovku, zborcení nebo lom součásti. Žihání ke snížení vnitřního pnutí spočívá v pomalém ohřevu na teplotu žihání 450÷650 [°C], výdrži na této teplotě po dobu přibližně 1 hodiny, následným ochlazením v peci na teplotu 200 [°C] a konečným dochlazením na teplotu vzduchu. Žihání probíhá v žihacích pecích vakuových, s řízenou nebo neřízenou atmosférou. Proces žihání ve vakuu zaručuje lesklý povrch součásti. Celý proces je kontrolován termočlánky. Pece s řízenou atmosférou zabraňují procesu okujení a prodlužují životnost materiálu. V případě, že nezáleží na kvalitě povrchu, nebo je součást dále obráběna využívají se žihací pece bez řízené atmosféry.

Po tepelném zpracování je výkovek otryskán v Tryskači ATS (viz Obr. 37). ATS tryskače jsou vhodné pro tryskání výrobků jak při kusové, tak i malosériové výrobě. Lze je tedy zařadit do plně automatizované linky. Jsou určeny pro čištění povrchu součástí v průmyslových provozech.



Obr. 37 Tryskač ATS

5 STANOVENÍ TECHNOLOGICKÝCH DAT [5][8][9][10][12][13][14]

5.1 Materiál výkovku

Ocel 14 220

ČSN 41 4220

EURO 16MnCr5

Jedná se o mangan chromovou ocel k cementování (viz Tab. 13). Ocel je vhodná k objemovému tváření za tepla i za studena (viz Tab. 14). Je dobře obrobitelná a svařitelná. Ocel má velkou pevnost v jádře, např. při výrobě hřídelí, ozubených kol, pístních čepů, zubových spojek, atd.

Tab. 13 Chemické složení oceli 14 220 (hm. %)

Norma	C	Mn	Si	Cr	P	S
Dle ČSN	0,14÷0,19	1,10÷1,40	0,17÷0,37	0,80÷1,10	Max. 0,035	Max 0,035

Tab. 14 Vlastnosti oceli 14 220

Vlastnost	Hodnota
Mez kluzu $R_{p0,2}$	min 590 [MPa]
Mez pevnosti R_m	min. 785 [MPa]
Tvrdost HB	min. 152 [HB]
Modul pružnosti v tahu E	206 [GPa]
Modul pružnosti ve smyku G	79 [GPa]
Kování	800÷1250 [°C]
Normalizační žíhání	880÷920 [°C]
Žíhání na měkko	680÷720 [°C]
Cementování	840÷870 [°C]
Kalení	810÷840 [°C]
Popouštění	150÷200 [°C]

5.2 Zařazení výkovku podle třídy

Podle své geometrie je výkovek zařazen do tříd (viz Tab. 15), jeho označení tedy je:

7960-3

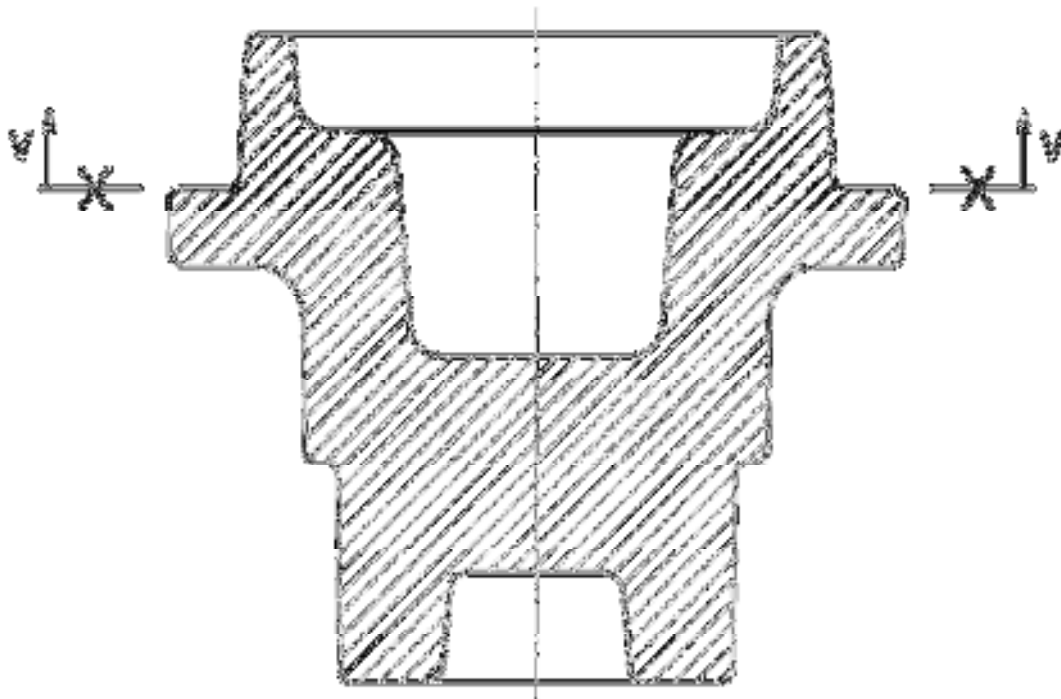
Tab. 15 Zařazení výkovku do tříd

Tvarový druh	7	Výkovky kombinovaných tvarů plné i duté
Tvarová třída	9	Výkovky jednostranně osazené
Tvarová skupina	6	Výkovky krátké
Tvarová podskupina	0	Výkovky bez přesahu
Technologické hledisko	3	Výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu souměrné

Výkovek nemá žádné složité výstupky nebo žebra. Nevyžaduje tedy velkých rázů, kterých je schopený buchar. Proto jako typ stroje volím klikový svislý lis. Všechny výpočty budou přizpůsobeny tomuto typu stroje. Zadaný výkovek je opatřen všemi přídávky a zaobleními podle normy ČSN 42 9030, proto není nutno žádné přidávat.

5.3 Volba dělicí roviny

Dělicí rovina je volena s ohledem na úkosy zadaného výkovku (viz Obr. 38). Podle úhlů úkosů by nebylo možné dělicí rovinu umístit do jiného místa výkovku, tak aby neznemožňovala vyjmutí výkovku z dutin horní i dolní zápustky.



Obr. 38 Volba dělicí roviny výkovku

5.4 Návrh polotovaru

Pokud nebude splněn štíhlostní poměr $\lambda=(1,5\div2,8)$, může polotovár při začátku pýchování vybočit do strany. Pro zadanou součást volím $\lambda=2$.

Výpočet průměru polotovaru

$$D_0 = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_c}{\lambda}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{537760,136}{2}} = 69,700 \text{ [mm]} \quad (5.1)$$

kde: D_0 [mm] je průměr polotovaru
 λ [-] je štíhlostní poměr
 V_c [mm³] je celkový objem výkovku.

Výpočet délky polotovaru

$$L_0 = \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot D_0^2} = \frac{4 \cdot 537760,136}{\pi \cdot 70^2} = 139,734 \text{ [mm]} \quad (5.2)$$

kde: L_0 je délka polotovaru.

Po zaokrouhlení a přidání 2 mm na dělení materiálu volím polotovár o rozměrech $\varnothing 70$ -142 [mm] ČSN 42 0220. Kruhové tyče válcované za studena jsou dodávány firmou Feron.

Kontrola štíhlostního poměru

$$\lambda = \frac{L_0}{D_0} = \frac{140}{70} = 2 \text{ [-]} = (1,5 \div 2,8) \text{ [-]}. \quad (5.3)$$

Zvolený polotovár splňuje podmínku štíhlostního poměru. Při počátečním pýchování nebude docházet k vybočení materiálu do strany.

5.5 Výpočty objemu

Výkovek bude na kovací teplotu ohříván indukčním ohřevem, proto je opal 1,3% objemu výkovku.

$$V_{op} = V_v \cdot 0,013 = 474633,836 \cdot 0,013 = 6170,240 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.4)$$

kde: V_{op} je objem materiálu na opal

V_v je objem hotového výkovku.

Objem materiálu na výronek je 10÷15% objemu výkovku. Pro zadanou součást volím 12%.

$$V_{výr} = V_v \cdot 0,12 = 474633,836 \cdot 0,12 = 56956,060 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.5)$$

kde: $V_{výr}$ je objem materiálu potřebný na výronkovou drážku.

Celkový objem výkovku

$$V_c = V_v + V_{výr} + V_{op} = 474633,836 + 56956,060 + 6170,240 = 537760,136 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.6)$$

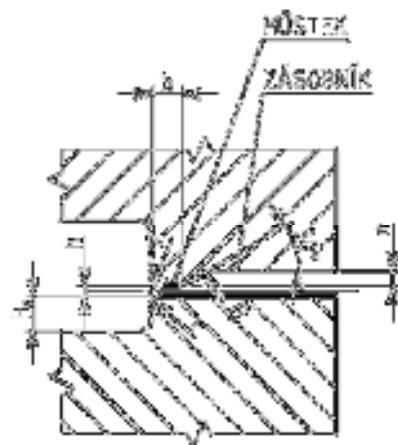
kde: V_c [mm³] je celkový objem výkovku.

5.6 Návrh výronkové drážky a střížné síly

Pro svislý kovací lis se používá otevřená výronková drážka (viz Obr. 39). Rozměry výronkové drážky jsou určeny podle síly lisu (viz Tab. 16). Čím větší je potřebný tlak na kování, tím musí být menší výška výronku „h“ a širší můstek „b“. Pro jmenovitou sílu listu volím $h_{výr} = 2,5$ [mm], $b_{výr} = 6$ [mm] a $r_{výr} = 2$ [mm].

Tab. 16 Parametry výronkové drážky

Síla lisu [MN]	$h_{výr}$ [mm]	$b_{výr}$ [mm]	$b_{zvýr}$ [mm]	$r_{výr}$ [mm]
2	1÷1,5	3÷5	25	1÷1,5
6,3	1÷2	3÷7	25	
10	1,5÷2,5	4÷7,5	30	
16	2÷3	5÷8	32	1,5÷2,5
25	2,5÷4	6÷10	38	
31,5	2,5÷4,5	6÷11	40	2÷3
40	3,5÷5,5	7÷12	42	
63	4,5÷8	9÷15	50	2÷5



Obr. 39 Otevřená výronková drážka

Výpočet síly pro ostřížení výronku

$$F_{ov} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot o_{výr} \cdot \sigma_s \cdot h_{výr} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot \pi \cdot 123,1 \cdot 90 \cdot 2 \cdot 2,5 = 236,679 \text{ [kN]} \quad (5.7)$$

kde: $o_{výr}$ [mm] je obvod výronku

σ_s [MPa] je mez pevnosti materiálu pro danou teplotu

$h_{výr}$ [mm] je výška můstku výronkové drážky.

Výpočet síly pro ostřížení blány

$$F_{ob} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot o_b \cdot \sigma_s \cdot h_b = 1,7 \cdot 0,8 \cdot \pi \cdot 29 \cdot 90 \cdot 2 \cdot 36,5 = 814,052 \text{ [kN]} \quad (5.8)$$

kde: o_b [mm] je obvod blány

σ_s [MPa] je mez pevnosti materiálu pro danou teplotu

h_b [mm] je výška blány.

Pro zkrácení výrobního času bude ostřížení výronku a blány probíhat v jedné operaci. Výsledná síla bude tedy součet síly potřebné na ostřížení výronku a síly potřebné na ostřížení blány.

Výsledná ostříhovací síla

$$F_o = F_{ov} + F_{ob} = 236,679 + 814,052 = 1050,731 \text{ [kN]} \quad (5.9)$$

kde: F_o [kN] je výsledná ostříhovací síla.

5.7 Výpočet kovací síly výkovku

Koeficient šířky plochy průmětu výkovku

$$s = 0,1725 \cdot G_0^{0,16} \cdot D_v^{0,5} = 0,1725 \cdot 3,726^{0,16} \cdot 123,1^{0,5} = 2,362 \text{ [mm]} \quad (5.10)$$

kde: G_0 [kg] je hmotnost výkovku

D_v [mm] je největší průměr výkovku.

Šířka plochy průmětu výkovku

$$b = (3 \div 5)s = 4 \cdot s = 4 \cdot 2,362 = 9,448 \text{ [mm]}. \quad (5.11)$$

Plocha průmětu výkovku

$$S_c = \frac{\pi}{4} \cdot (D_v + 2b)^2 = \frac{\pi}{4} \cdot (123,1 + 2 \cdot 9,448)^2 = 15835,876 \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (5.12)$$

Pro výpočet přesné kovací síly je zvolen koeficient vlivu tvarové složitosti $K_{ts} = 1,17$ [-] (viz Tab. 17) a hodnota přetvárné pevnosti $k_p = 121$ [-] (viz Tab. 18) zvolena pro teplotu kování 1050 °C.

Tab. 17 Koeficient vlivu tvarové složitosti

Stupeň	Tvar výkovku	K_{ts} [-]
I.	Jednoduché kompaktní součásti	1
II.	Kompaktní, málo členité součásti	1,08
III.	Součásti s vysokým stupněm deformace	1,17
IV.	Rozvidlené součásti	1,25
V.	Součásti s malými toušťkami a přechody	1,33
VI.	Součásti s extrémně malou tloušťkou průřezu	1,42

Tab. 18 Hodnoty přetvárné pevnosti

Materiál dle ČSN	Kovací teplota [°C]						
	900	950	1000	1050	1100	1150	1200
12 050	149	128	108	91	80	71	68
12 060	148	118	102	90	82	73	67
13 240	196	171	150	130	102	96	80
14 100	165	132	111	99	91	85	
14 220	184	159	139	121	106	91	76

Přesná kovací síla

$$F_k = 0,6 \cdot S_c \cdot k_p \cdot K_{ts} = 0,6 \cdot 15835,876 \cdot 121 \cdot 1,17 = 13,451 \text{ [MN]}. \quad (5.13)$$

5.8 Výpočet kovací síly podle normy ČSN 22 8306

Pro výpočet kovací síly podle normy ČSN je nutno vypočítat napětí ve všech odlišných průřezích (viz Obr. 40). Kovací teplotu, hmotnost polotovaru a druh materiálu už známe. Zbývá určit pevnost oceli za kovací teploty $R_{mT} = 41 \text{ [MPa]}$ (viz Tab. 19) a součinitel snížení plasticity materiálu $C_0 = 4 \text{ [-]}$ daný normou ČSN 22 8306.

Tab. 19 Pevnost oceli za kovací teploty

Oceli třídy 14			$R_{mT} \text{ [MPa]}$					
Jakost	Tvářecí teplota kování [°C]	Střední deformační rychlost [v/s]	Teplota tváření [°C]					
			800	900	950	1000	1100	1200
14 109	1050÷800	0,02	128	82	65	52	34	23
14 120	1250÷800		87	80	69	55	38,5	26,5
14 220	1250÷800		126	86	70	59	40	27
14 260	1100÷800		140	84	70	58	41	27
14 331	1150÷800		145	91	73	60	42	28
14 340	1100÷800		140	98	81	67	47	32

Výpočet napětí v jednotlivých průřezích (viz Tab. 20)

$$\sigma_0 = 1,285 \cdot R_{mT} \cdot C_0 = 1,285 \cdot 41 \cdot 4 = 210,740 \text{ [MPa]} \quad (5.14)$$

kde: $\sigma_0 \text{ [MPa]}$ je napětí v můstku výronkové drážky

$R_{mT} \text{ [MPa]}$ je pevnosti oceli za kovací teploty

$C_0 \text{ [-]}$ je součinitel snížení plasticity materiálu.

$$\text{I. } \sigma_I = \sigma_0 + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_I}{h_I} = 210,740 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{12}{13} = 362,125 \text{ [MPa]} \quad (5.15)$$

$$\text{II. } \sigma_{II} = \sigma_I + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{II}}{h_{II}} = 362,125 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{14}{39} = 420,996 \text{ [MPa]} \quad (5.16)$$

$$\text{III. } \sigma_{III} = \sigma_{II} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{III}}{h_{III}} = 420,996 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{28,5}{93} = 471,254 \text{ [MPa]} \quad (5.17)$$

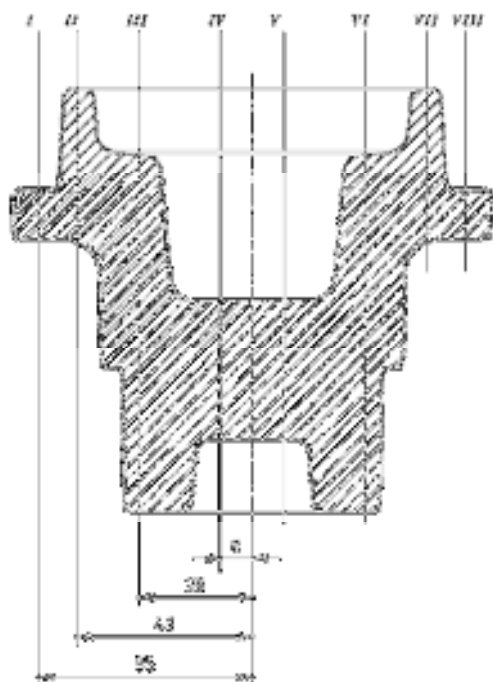
$$\text{IV. } \sigma_{IV} = \sigma_{III} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{IV}}{h_{IV}} = 471,254 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{16}{36,5} = 543,144 \text{ [MPa]} \quad (5.18)$$

$$\text{V. } \sigma_V = \sigma_{IV} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_V}{h_V} = 543,144 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{16}{36,5} = 615,035 \text{ [MPa]} \quad (5.19)$$

$$\text{VI. } \sigma_{VI} = \sigma_V + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{VI}}{h_{VI}} = 615,035 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{28,5}{93} = 665,293 \text{ [MPa]} \quad (5.20)$$

$$\text{VII. } \sigma_{VII} = \sigma_{VI} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{VII}}{h_{VII}} = 665,293 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{14}{39} = 724,165 \text{ [MPa]} \quad (5.21)$$

$$\text{VIII. } \sigma_{VIII} = \sigma_{VII} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{VIII}}{h_{VIII}} = 724,165 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{12}{13} = 875,550 \text{ [MPa]} \quad (5.22)$$



Tab. 20 Napětí v jednotlivých průřezech

Plocha	$\sigma \cdot b$ [MPa]	x_i [mm]	$\sigma \cdot x_i$
I	362,125*12	55	239002,500
II	420,996*14	45	265277,480
III	471,254*28,5	29	389491,431
IV	543,144*16	8	69522,432
V	615,035*16	8	78724,48
VI	665,293*28,5	29	549864,665
VII	724,165*14	45	456223,950
VIII	875,550*12	55	577863,000
Σ			2625919,938

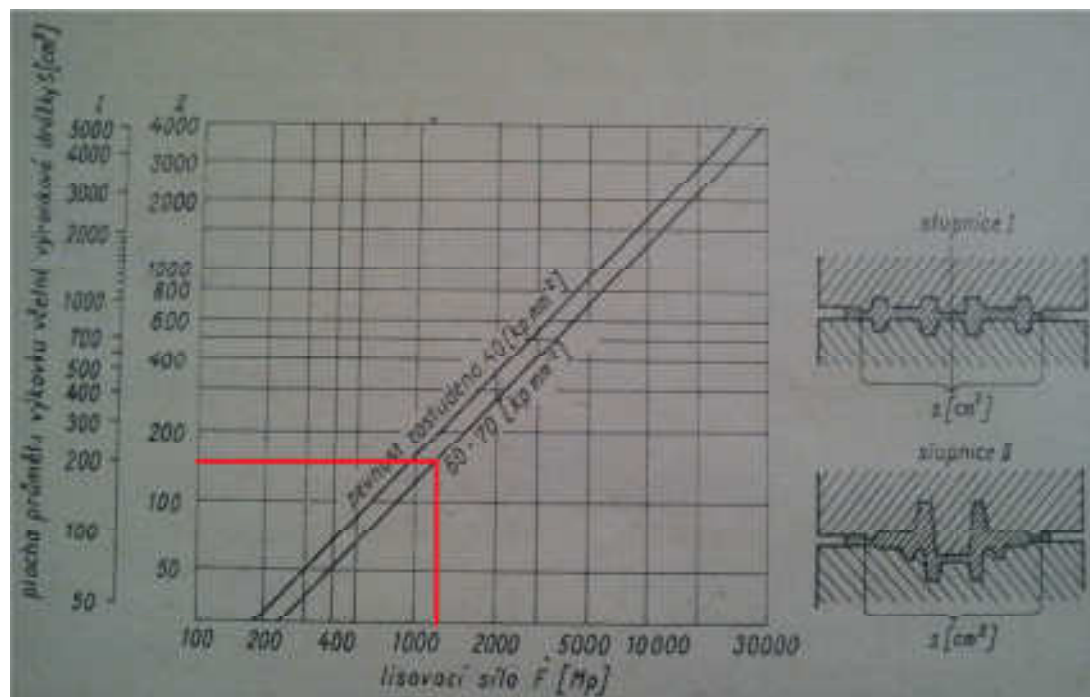
Obr. 40 Průřezy, ve kterých je počítáno napětí

Kovací síla

$$F_{kn} = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{I}^{VIII} (\sigma_i \cdot x_i) = 2 \cdot \pi \cdot 2625919,938 = 16,490 \text{ [MN]} \quad (5.23)$$

kde: x [mm] je vzdálenost od nulového bodu.

5.9 Kontrola kovací síly podle nomogramu



Obr. 41 Nomogram pro určení kovací síly EMUCO

Kovací síla vychází 13,451 MN a podle normy ČSN 16,490 MN. Kontrola v nomogramu kovací síly EMUCO (viz. Obr. 41) prokázala, že použití lisu o jmenovité kovací síle 16 MN bude dostačující. Výpočet podle normy ČSN také počítá s určitou rezervou. Hodnota R_{mT} a konečná volba stroje byla provedena na základě zkušeností vedoucího bakalářské práce.

5.10 Rozměry zápustky

Horní i dolní polovina zápustky jsou kruhového průřezu, který je určený výpočtem. Materiál zápustky je 19 662 (NiCrMoV).

Průměr kovací zápustky

$$D_z \geq D_v + 0,2 \cdot (D_v + H_{vyt}) + 10 = 123,1 + 0,2 \cdot (123,1 + 13,2) + 10 = 160,360 \quad (5.24)$$

kde: D_z [mm] je minimální průměr kovací zápustky.

Z katalogu firmy ŠMERAL je tento průměr pevně daný. Pro lis LZK 1600 je $D_z = 275$ [mm].

Průměr kolíkového vyhazovače

$$d'_k = d_k - \Delta = 38 - 0,3 = 37,7 \text{ [mm]} \quad (5.25)$$

kde: d'_k [mm] je jmenovitý průměr vyhazovače

d_k [mm] je průměr díry pro vyhazovač

Δ [mm] je vůle ve vedení vyhazovače.

Všechny rozměry zápustky, vyhazovače a výkovku jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci (viz. Příloha 1÷7).

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [12][13][14]

Zadané a zvolené parametry:

Sériovost $N = 180000$ [ks/rok]

Polotovar $\varnothing 70-142$ [mm]

Hutní materiál kruhová tyč $\varnothing 70-3000$ [mm] ČSN 42 5510

Počet kusů z 1 tyče

$$n_k = \frac{l_t}{l_p} = \frac{3000}{142} = 21,126 \Rightarrow 21 \text{ [ks]} \quad (6.1)$$

kde: n_k [ks] je počet kusů z 1 tyče

l_t [mm] je délka tyče

l_p [mm] je délka polotovaru.

Počet tyčí za rok

$$n_r = \frac{N}{n_k} = \frac{180000}{21} = 8571,429 \Rightarrow 8572 \text{ [ks/rok]} \quad (6.2)$$

kde: n_r [ks/rok] počet tyčí za 1 rok

N [ks/rok] počet polotovarů za 1 rok.

Hmotnost polotovaru

$$m_p = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot l_p \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,07^2}{4} \cdot 0,142 \cdot 7850 = 4,299 \text{ [kg]} \quad (6.3)$$

kde: m_p [kg] je hmotnost polotovaru

d_p [mm] je průměr polotovaru

ρ [kg/m³] je hustota materiálu.

Hmotnost tyče

$$m_t = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot l_t \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,07^2}{4} \cdot 3 \cdot 7850 = 90,585 \text{ [kg]} \quad (6.4)$$

kde: m_t [kg] je hmotnost tyče.

Hmotnost tyčí za 1 rok

$$m_r = m_t \cdot n_r = 90,585 \cdot 8572 = 776494,620 \text{ [kg/rok]} \quad (6.5)$$

kde: m_r [kg] je hmotnost tyčí za 1 rok.

Délka nevyužitého zbytku tyče

$$l_z = l_t - (l_p \cdot n_k) = 3000 - (142 \cdot 21) = 18 \text{ [mm]} \quad (6.6)$$

kde: l_z [mm] je délka nevyužitého zbytku tyče.

Hmotnost nevyužitého zbytku tyče

$$m_z = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot l_z \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,07^2}{4} \cdot 0,018 \cdot 7850 = 0,544 \text{ [kg]} \quad (6.7)$$

kde: m_z [kg] je hmotnost nevyužitého zbytku tyče.

Hmotnost zbytku připadající na 1 kus

$$m_{z1} = \frac{m_z}{n_k} = \frac{0,544}{21} = 0,026 \text{ [kg/ks]} \quad (6.8)$$

kde: m_{z1} [kg] je hmotnost zbytku připadající na 1 kus.

Norma spotřeby materiálu

$$N_{sm}=m_p+m_{z1}=4,299+0,026=4,325 \text{ [kg]} \quad (6.9)$$

kde: N_{sm} [kg] je norma spotřeby materiálu.

Stupeň využití materiálu

$$k_m = \frac{G_0}{N_{sm}} = \frac{3,726}{4,325} = 0,86 \text{ [-]} \quad (6.10)$$

kde: k_m [-] je stupeň využití materiálu

G_0 [kg] je hmotnost hotového výrobku.

Cena za 1 kg kruhové válcované tyče $\varnothing 70$ [mm] je uvedena z ceníku firmy Vlastro s.r.o.

Cena materiálu na 1 kus

$$C_{ks}=m_p \cdot C_{kg}=4,299 \cdot 28,5=122,5 \text{ [Kč]} \quad (6.11)$$

kde: C_{ks} [Kč] je cena materiálu za 1 kus

C_{kg} [Kč/kg] je cena materiálu za kilogram.

Cena jedné tyče

$$C_t=m_t \cdot C_{kg}=90,585 \cdot 28,5 = 2581,673 \Rightarrow 2582 \text{ [Kč]} \quad (6.12)$$

kde: C_t [Kč] je cena 1 tyče.

Cena materiálu za rok

$$C_r=n_r \cdot C_t=8572 \cdot 2582= 22132904 \text{ [Kč]} \quad (6.13)$$

kde: C_r [Kč] je cena materiálu za 1 rok.

Náklady na výrobu

Náklady na výrobu jsou pouze orientační (viz. Tab. 21). U každé firmy jsou individuální.

Tab. 21 Náklady na jednotlivé operace

Proces	Stroj	Náklady na hodinu [Kč]	Čas na seřízení [min]	Čas 1 operace [min]	Náklady na seřízení [Kč]	Náklady na operaci [Kč]
Dělení	BS-229HV	700	15	1	175	7
Ohřev	KSO 250/10- A30	1000	60	5	1000	50
Kování	ŠMERAL LZK 1600	1500	60	0,4	1500	10
Ostřížení	ŠMERAL LKO 315	1000	60	0,4	100	6,7
Otryskání	Tryskač ATS	300	10	1,5	50	7,5
Celkem		4500	205	8,3	3725	81,2

Celkové náklady na výrobu jednoho kusu jsou 81,2 [Kč]. S připočítanou cenou materiálu jsou náklady na 1 kus 204 [Kč]. Výroba zadané součásti zápusťkovým kovááním je ekonomická a splňuje všechny požadavky na kvalitu její výroby.

7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo určit způsob výroby opěry tvářením. Literární rešerše se zabývá druhy kování a možnostmi jejich uplatnění. Konkrétněji zápustkovým kovááním, které je neoptimálnějším řešením pro zadanou součást. Při obrábění vzniká velké množství přebytečného materiálu a výroba je tak velice neekonomická. Při výrobě litím nedosáhneme požadované vnitřní struktury materiálu.

Produktem technologického procesu kování je výkovek. Ten však nezaručuje dokonalou přesnost a drsnost povrchu, proto je prvním krokem při výrobě stanovení přídavek na obrábění, technologických přídavek, zaoblení a úkosů. Poté je výkovek podle své geometrie zařazen do tříd, které mají velký vliv na volbu dalších kritérií výroby. Zápustkové kováání je možné realizovat na bucharech nebo kovacích lisech. Výběr vhodného kovacího stroje určuje geometrie a požadovaná kvalita výkovku. Od této volby se pak odvíjí konstrukce zápustek, volba dělicí roviny, využití vyhazovačů a typ výronkové drážky. Po výpočtu kovací síly určíme sílu, která je potřebná na ostřížení výronku a blan. To může být provedeno za tepla i za studena. Výkovek je po dobu kování tepelně namáhán, proto je nutné počítat se mrštěním po zchladnutí výkovku, opalem a vznikem vnitřního napětí. To může mít za následek zkřivení výkovku nebo vznik trhlin. Zamezuje se mu žíháním ke snížení vnitřního pnutí. Po dokončení celého procesu kování a tepelného zpracování je výkovek otryskán a tím zbaven veškerých nečistot zbylých na povrchu. Většina výkovků je dále zpracovávána, např. obráběním.

Při automatizaci celého procesu se stává kováání velice výhodnou metodou výroby součástí. Vývoj nových materiálů a maziv prodlužuje životnost zápustek i strojů. Jedná se o beztržkové obrábění, které je velice výhodné při úspoře hutního materiálu a zkvalitnění struktury součástí.

Pro technologický postup zadaného výkovku doporučuji zkušební provoz a v případě nutnosti použití i horního vyhazovače.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DVOŘÁK, Milan. *TECHNOLOGIE II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. ISBN 80-214-2683-7. 238 s.
- [2] LIDMILA, Zdeněk a Emil SVOBODA. *Strojírenská Technologie*. Brno: Fakulta vojenských technologií, 2006. ISBN 978-80-7231-220-7. 250 s.
- [3] FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. ISBN 80-214-2764-7. 167 s.
- [4] LENFELD, Petr. *Technologie: Tváření kovů, Tváření plastů*. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/uvod.htm
- [5] SPIŠÁK, Emil a Miroslav TOMÁŠ. *Teória konvenčných technológií*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2009. Edícia študijnej literatury. ISBN 978--80-553-0201-0.
- [6] SprutCAM [online]: *Metody obrábění*. Dostupné z: <http://www.sprutcam.cz/metody-obrabeni/soustruzeni>
- [7] FROLEC, Ivo. *Kovářství*. Praha: Grada Publishing a.s., 2003. ISBN 80-247-0611-3. 156 s.
- [8] HRUBÝ, Jiří, Stanislav RUSZ a Radek ČADA. *Strojírenské tváření*. Ostrava: Technická univerzita Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1218-5. 152 s.
- [9] LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření II*. Brno: Fakulta vojenských technologií, 2008. ISBN 978-80-7231-580-2. 113 s.
- [10] ČERMÁK, Jan. *Podklady pro projekt 2: část kování*. Odbor tváření, slévání a svařování. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/PRO2/kov_kapacitni_vypocty.pdf
- [11] KOUTSKÝ, Jaroslav a Dušan KEŠNER. *Simulace technologického postupu kování hřídelí*. Západočeská univerzita. Plzeň. Dostupné z: http://www.metal2012.com/files/proceedings/metal_01/papers/122.pdf
- [12] Fakulta strojního inženýrství. odbor tváření. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/databaze_modelu_soubory/ocel_14220.pdf
- [13] FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Brno: CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7. 167 s.
- [14] FISCHER, Ulrich. *Základy strojnictví*. 4. vydání. Praha: Europa-Sobotáles, 2004. ISBN 80-86706-09-5. 296 s.
- [15] SOBEK, Evžen. *Základy konstruování: návody pro konstrukční cvičení*. Brno: CERM, 2004. ISBN 80-7204-331-5. 111 s.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
B	Šířka výkovku	[mm]
b	Šířka plochy průmětu výkovku	[mm]
b_{I-VIII}	Šířka v jednotlivých průřezích výkovku	[mm]
$b_{výr}$	Šířka můstku výronkové drážky	[mm]
$b_{zvýr}$	Šířka výronkové drážky	[mm]
C_0	Součinitel snížení plasticity materiálu	[-]
C_{kg}	Cena materiálu za kilogram	[Kč/kg]
C_{ks}	Cena materiálu za 1 kus	[Kč]
C_r	Cena materiálu za 1 rok	[Kč/rok]
C_t	Cena tyče	[Kč]
D	Průměr výkovku	[mm]
d'_k	Jmenovitý průměr vyhazovače	[mm]
d_b	Průměr blány	[mm]
d_{ip}	Průměr ideálního předkovku	[mm]
d_k	Průměr díry pro vyhazovač	[mm]
d_p	Průměr polotovaru	[mm]
d_{ps}	Průměr polotovaru pro soustružení	[mm]
d_{pt}	Průměr trnu vyhazovače	[mm]
D_{pt}	Průměr osazení trnu vyhazovače	[mm]
D_v	Průměr výkovku	[mm]
D_z	Vnější průměr zápustky	[mm]
F_j	Jmenovitá síla kovacího stroje	[MN]
F_k	Kovací síla	[MN]
F_o	Celková síla ostřížení	[kN]
F_{ob}	Síla pro ostřížení blány	[kN]
F_{ov}	Síla pro ostřížení výronku	[kN]
G_0	Hmotnost hotového výkovku	[kg]
H	Výška výkovku	[mm]
h_b	Vzdálenost od okraje díry	[mm]
h_{I-VIII}	Výška v jednotlivých průřezích výkovku	[mm]
h_{ip}	Výška průřezového obrazce	[mm]
$h_{výr}$	Výška můstku výronkové drážky	[mm]
$H_{výr}$	Výška ode dna dolní zápustky k můstku	[mm]
k_m	Stupeň využití materiálu	[-]
k_p	Hodnota přetvárné pevnosti	[-]
K_{ts}	Koeficient vlivu tvarové složitosti	[-]
L	Délka výkovku	[mm]
l_p	Délka polotovaru	[mm]
l_t	Délka tyče	[mm]
l_z	Délka nevyužitého zbytku tyče	[mm]
m	Šířka průřezového obrazce	[mm]
m_p	Hmotnost polotovaru	[kg]
m_r	Hmotnost tyčí za 1 rok	[kg/rok]
m_t	Hmotnost tyče	[kg]
m_z	Hmotnost nevyužitého zbytku tyče	[kg]
m_{z1}	Hmotnost nevyužitého zbytku tyče připadající na 1 kus	[kg]
N	Sériovost	[ks/rok]
n_k	Počet kusů z jedné tyče	[ks]
n_r	Počet tyčí za 1 rok	[ks/rok]

N_{sm}	Norma spotřeby materiálu	[kg]
$o_{výr}$	Obvod výronku	[mm]
P_z	Procentuální vyjádření zbytkového materiálu pro soustružení	[%]
r	Poloměr zaoblení zápustky vnější hrany	[mm]
R	Poloměr zaoblení zápustky vnitřní hrany	[mm]
R_m	Pevnost kovaného materiálu	[MPa]
R_{mT}	Pevnost oceli za kovací teploty	[MPa]
s	Koeficient šířky plochy průmětu výkovku	[mm]
s_b	Šířka blány	[mm]
S_c	Plocha průmětu výkovku	[mm ²]
S_{ip}	Plocha průřezu výkovku	[mm]
V_c	Celkový objem výkovku	[mm ³]
V_{op}	Objem materiálu na opal	[mm ³]
V_{ps}	Objem polotovaru pro soustružení	[mm ³]
v_{ps}	Výška polotovaru pro soustružení	[mm]
V_v	Objem zadaného výkovku	[mm ³]
$V_{výr}$	Objem materiálu na výronek	[mm ³]
V_{zps}	Objem zbytkového materiálu z polotovaru pro soustružení	[mm ³]
Δ	Vůle ve vedení vyhazovače	[mm]
λ	Štíhlostní poměr	[-]
ρ	Hustota oceli	[kg/m ³]
$\sigma_{0÷VIII}$	Napětí v jednotlivých průřezích	[MPa]
σ_s	Mez pevnosti ve stříhu	[MPa]

SEZNAM PŘÍLOH

Číslo	Název	Číslo výkresu
Příloha 1	Studený výkovek	2012-BP-CAHA-01
Příloha 2	Teplý výkovek	2012-BP-CAHA-02
Příloha 3	Technologický postup	2012-BP-CAHA-03
Příloha 4	Sestava zápustek	2012-BP-CAHA-04
Příloha 5	Horní zápustka	2012-BP-CAHA-05
Příloha 6	Dolní zápustka	2012-BP-CAHA-06
Příloha 7	Vyhazovač	2012-BP-CAHA-07



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

VÝROBA OPĚRY TVÁŘENÍM PRODUCTION OF SUPPORT BY FORMING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ CAHA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. MILOSLAV KOPŘIVA

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Čaha

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:

Výroba opěry tvářením

v anglickém jazyce:

Production of support by forming

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě vypracované rešerše v daném oboru stanovit vhodnou technologii pro výrobu zadané součásti.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Literární rešerše problému
- 2) Stávající možnosti výroby
- 3) Návrh technologie výroby zadané součásti
- 4) Stanovení veškerých technologických dat a vypracování
- 5) Ekonomické zhodnocení
- 6) Závěr a návrh případných opatření

Seznam odborné literatury:

1. ELFMARK, J., et al. Tváření kovů. 1. vyd. Praha: SNTL Praha, 1992. 524 s. Technický průvodce; sv. 62. ISBN 80-03-00651-1.
2. NOVOTNÝ, K. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno : Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 str. Edit. VUT Brno. ISBN 80-214-0401-9
3. HAŠEK, V. Kování. 3. vyd. Praha : SNTL Praha, 1997. 732 str. ISBN 04-233-65.
4. DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K. Technologie tváření : plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno : CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
5. FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno : CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miloslav Kopřiva

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 18.11.2010




prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

CAHA Tomáš: Výroba opěry tvářením.

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia oboru B-STG předkládá návrh technologie výroby výkovku – dílce z tyče kruhového průřezu válcované za studena 14 220. Na základě literární studie problematiky zápustkového kování a výpočtu bylo navrženo kování v zápustce se spodním vyhazovačem, určeným ke snadnému vyjmutí výkovku z dutiny zápustky. Zápustka je kruhového průřezu a je upnuta rybinovou drážkou ve svislém kovacím lisu LZK 1600 (výrobce ŠMERAL Brno), se jmenovitou tvářecí silou 16 MN. Dolní i horní polovina zápustky jsou vyrobeny z oceli 19 662, tepelně zpracované pro účely kování.

Klíčová slova: Ocel 14 220, tvářením, zápustkové kování, tvářecí síla

ABSTRACT

CAHA Tomáš: Production of support by forming.

This project developed within the bachelor degree in B-STG present proposal forging technology - parts from bar of circular cross-section of cold rolled 14 220. Based on the literature study problems of die forging and calculation was designed die forging with bottom ejector, designed for easy removal of the forging from die cavity. Die is circular cross section and is clamped with a dovetail groove in vertical forging press LZK 1600 (manufacturer ŠMERAL Brno), with a nominal forging force of 16MN. The lower and upper half of the die is made of steel 19 662, heat treated for the purposes forging.

Key words: Steel 14 220, forming, die forging, forming force

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CAHA, T. Výroba opěry tvářením. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Miloslav Kopřiva.

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 Brně dne 18. 5. 2012

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Miloslavu Kopřivovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Úvod

1	MOŽNOSTI VÝROBY SOUČÁSTÍ [1][2][5][6][9][15].....	11
1.1	Obrábění	11
1.2	Slévárnství.....	12
1.3	Kování.....	12
2	ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ [1][2][4][5][7][8][11]	13
2.1	Definice kování, popis, historie	13
2.2	Volné kování.....	14
2.3	Kovací úkosy	14
2.4	Poloměry zaoblení	15
2.5	Přídavky a tolerance	15
2.6	Třídění výkovků do tříd	16
2.7	Základní charakteristika výkovků.....	18
2.8	Výronková drážka a určení jejich rozměrů.....	19
2.9	Ohřívací zařízení.....	20
2.10	Opal a smršťení	20
2.11	Dělicí rovina	21
2.12	Předkování děr	21
2.13	Ideální předkovek	22
2.14	Dělení zápusťkových dutin	22
2.15	Rozměry zápusťtek.....	22
2.16	Výpočet kovací síly	23
2.17	Upínání a vedení zápusťtek	24
2.18	Volba kovacího stroje	24
2.19	Kovací lis versus buchar	25
2.20	Vyhazovače.....	26
2.21	Ostřihování výkovků	26
2.22	Rovnání výkovků.....	27
2.23	Kalibrování výkovků	27
2.24	Kovací válce	27
2.25	Materiál zápusťtek.....	28
2.26	Vložkování zápusťtek.....	28
2.27	Simulace kování.....	29
3	STÁVAJÍCÍ MOŽNOSTI VÝROBY [2][5][15]	30
4	TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY [1][2][5][14]	32
4.1	Dělení materiálu.....	32
4.2	Indukční ohřev	32
4.3	Kování.....	33
4.4	Ostřížení.....	33
4.5	Tepelné zpracování a čištění.....	34

5	STANOVENÍ TECHNOLOGICKÝCH DAT [5][8][9][10][12][13][14]	35
5.1	Materiál výkovku.....	35
5.2	Zařazení výkovku podle třídy	35
5.3	Volba dělicí roviny	36
5.4	Návrh polotovaru	36
5.5	Výpočty objemů.....	37
5.6	Návrh výronkové drážky a střížné síly	37
5.7	Výpočet kovací síly výkovku	38
5.8	Výpočet kovací síly podle normy ČSN 22 8306	39
5.9	Kontrola kovací síly podle nomogramu	40
5.10	Rozměry zápustky	41
6	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [12][13][14]	42
7	ZÁVĚR.....	44

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam příloh

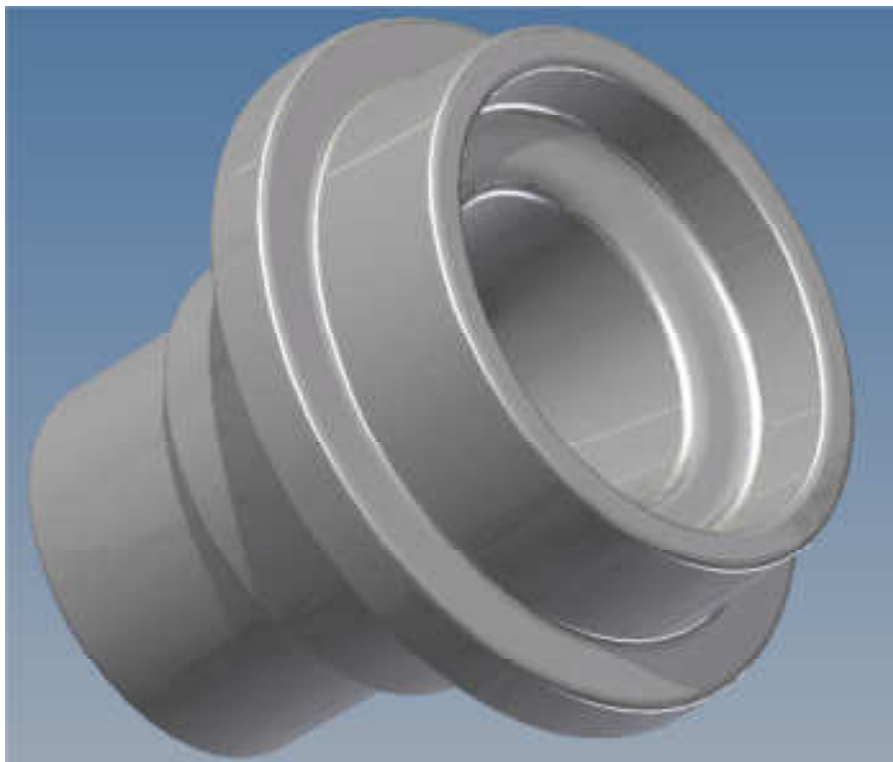
ÚVOD [1][2][3][4]

Technologie pochází ze dvou slov řeckého původu: „Techné“ neboli umění, řemeslo a „Logos“ neboli nauka. Doslovný překlad je tedy nauka o řemeslech. Nedílnou součástí strojírenské technologie je tváření (viz Obr. 1). Výrobní proces, při němž se vyrábí hutní polotovary a strojní součásti působením vnějších sil, aniž by byla porušena celistvost materiálu. Změna výchozího tvaru je způsobena plastickou deformací materiálu. První zmínky o plastické deformaci se datují koncem 19. století. Každý materiál má tvárnost nebo-li plasticitu, která udává do jaké míry je možno materiál tvářet. Závisí na vnitřní stavbě látky, chemickém složení, teplotě tvárného materiálu a na samotném tvářecím procesu. Při technologii tváření se řeší čtyři základní úlohy. Určení velikostí sil vzniklých při tvářecím procesu, určení velikostí a průběhů zatížení tvářeného tělesa, stanovení finální geometrie výrobku a stanovení kritických podmínek přetvoření. Překročení těchto podmínek způsobí porušení materiálu.



Obr. 1 Příklady součástí vyrobených objemovým tvářením

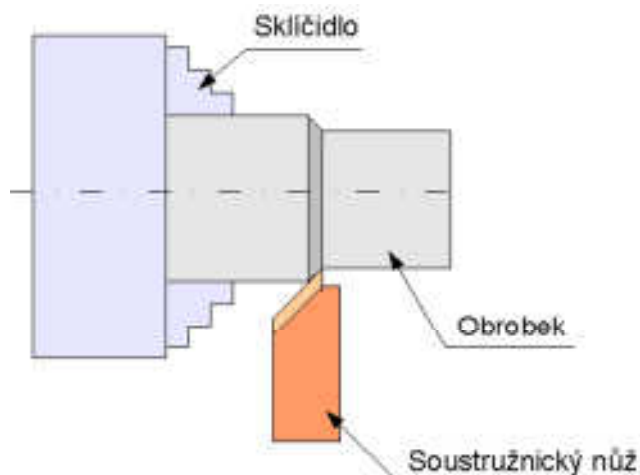
1 MOŽNOSTI VÝROBY SOUČÁSTÍ [1][2][5][6][9][15]



Obr. 2 Zadaná součást

1.1 Obrábění

Technologie obrábění je proces, při kterém dosahujeme požadovaného tvaru vnikáním řezného nástroje do povrchu polotovaru (viz Obr. 3). Je deformována struktura materiálu a tím i jeho mechanické vlastnosti. Obrábění probíhá postupným odebíráním daného množství



Obr. 3 Princip soustružení

materiálu, ten se nazývá přídavek na obrábění. Při obrábění je nutno dodržovat hlavní znaky: Hmatatelnost (nástroje, pracoviště, stroje), měřitelnost, kontrolu rozměrů a počítatelnost (počet obrobků, potřebných nástrojů, atd.), což vyžaduje kvalifikovanou obsluhu. Jedná se o třískové obrábění vnějších a vnitřních rotačních ploch jednobřitým nástrojem (soustružnickým nožem), přičemž nůž koná vedlejší pohyb a upnutý obrobek pohyb hlavní.

Soustružení lze rozdělit na čelní a podélné. Při čelním soustružení se obrábí plocha kolmá a osu rotace obrobku

(čelo). Rovněž je to operace, která se provádí ihned po upnutí polotovaru. Od obrobeného prvního čela se odvíjí všechny ostatní rozměry. Při podélném soustružení se obrábí plocha rovnoběžná s osou rotace obrobku (průměr). Součást je nejprve hrubována a následně obrobena na čisto ve finálním rozměru a kvalitě povrchu. Obrábění na čisto se provádí v radiálním i axiálním směru.

1.2 Slévárenství

Je technologický proces, při kterém se roztavený kov lije do formy (viz Obr. 4), která má tvar konečného výrobku zvětšený o technologické přídávky. Po úplném vyplnění formy a jejím zchlazení se získává konečný výrobek tzv. odlitek. Slévání se využívá především při výrobě složitých součástí, u kterých by byla výroba jinými technologiemi problematická. Ať už z důvodu velikosti nebo složitosti tvaru výrobku. Slévárenství představuje ekonomický způsob výroby



Obr. 4 Ukázka lití taveniny do formy

součásti z polotovaru. Při výrobě odlitku je nutno materiál nejprve roztavit na teplotu tavení a poté nalít do předem připravené formy. Ne všechny materiály jsou použitelné pro tento proces. Nejvhodnější jsou tzv. slévárenské slitiny, které splňují všechny podmínky. Zejména tavitelnost – schopnost slitiny přejít z tuhého skupenství do skupenství tekutého – tzv. vytvářet taveninu a zabíhavost – schopnost slitiny vyplnit co nejdokonaleji formu. To vše při zachování chemického složení a čistoty materiálu. Slévárenství se dělí na dvě základní skupiny – Hutní a Strojní. Hutní slévárenství probíhá v ocelárnách, kde se vyrábí hutní materiál určený pro další zpracování. Je odléván do tzv. kokil, forem jednoduchých tvarů. Produktem strojního slévárenství jsou velmi členité a tvarově složité odlitky (např.: bloky motorů, těles ústředního topení, strojů, atd.).

1.3 Kování

Tento technologický proces beztržkového obrábění probíhá za teploty kování. Jednoduché součásti je možno kovat i za studena. Materiál je působením vnějších sil (rázy) deformován do požadovaného tvaru (viz Obr. 5). Oproti ostatním metodám není porušena struktura materiálu, naopak se jeho houževnatost zvětšuje. Výsledkem tohoto procesu je součást zvětšená o přídávky na obrábění a technologické přídávky, tzv. výkovek.



Obr. 5 Výkovek z vřetenového lisu

Kování se dělí na volné, zápustkové a rotační. Pro zadanou součást (viz. Obr. 2) je nejvhodnější zápustkové kování, při kterém je materiál formován v zápustce, která umožňuje výrobu složitějších tvarů s minimálními přídávky materiálu. Zápustka je složena z horní pohyblivé poloviny a dolní pevné poloviny. Místo kde se setkávají, nazýváme dělicí rovina. Kolem celého obvodu zápustky je umístěna výronková drážka do které uniká přebytečný kov. Její použití je podmíněno

složitostí výkovku. Hmotnost polotovaru je omezena na několik desítek kilogramů a díky vysoké ceně zápustky je vhodný pouze pro sériovou výrobu.

K zápustkovému kování je možno využít dvou typů strojů – Buchary a Lisy. Buchary pracují rychlým pohybem. Výkovek je většinou vyroben postupně jednotlivými rázy, dokud se obě části zápustky nedotknou. U lisů je výška zdvihu pevně daná konstrukcí klikového mechanismu. Proces probíhá pomalu a části zápustky se nedotýkají.

2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ [1][2][4][5][7][8][11]

2.1 Definice kování, popis, historie

Kování je technologický proces objemového tváření kovů, jehož výsledkem je výkovek. Většinou probíhá za kovací teploty, která se podle druhu materiálu pohybuje od 750°C do 1200°C. Kováním lze zpracovat tvárné kovy a jejich slitiny.

Při kování klademe důraz na minimální spotřebu materiálu, přesnost odpovídající požadavkům, vysoké mechanické vlastnosti a ekonomičnost výroby. Díky neporušení struktury kovu dochází ke zlepšení mechanických a fyzikálních vlastností. Kování spočívá v ohřevu materiálu na požadovanou teplotu, samotném přetvoření materiálu a zchladnutí. Při ohřevu by měla být dosažena kovací teplota v co nejkratším čase při zachování vnitřní a vnější jakosti materiálu. Kvalitním ohřevem se dosahuje lepší tvařitelnosti. Kování se dělí na volné a zápusťkové.

Zápusťkové kování

Při tomto kování nabývá výkovek finální tvar v dutině zápusťky, která je složena z horní a dolní poloviny. V každé polovině je vytvarována polovina výkovku, takovým způsobem, aby bylo možno výkovek vyjmout. Mezi polovinami zápusťky je dělicí rovina, po jejímž obvodu je umístěna výronková drážka pro odtok přebytečného materiálu. U tvarově jednodušších výkovků není nutno výronkovou drážku používat.

Historie kování

Kovářství je řemeslo zpracovávající ocel a její slitiny. Praktickou činnost kovářů označujeme za kování. Umění zpracovávat železo (železnou rudu) se stalo jedním ze základních podmínek pokroku starověkých civilizací.

První zmínky o zpracování železné rudy se datují na 3. tisíciletí př. n. l. převážně z oblasti Mezopotámie. Předměty potřebné k dennímu užitku se ale objevují až ve 12. stol. př. n. l. v Asii. Nejprudší rozvoj zpracování železa nastal v Halštatském období, kde byla používána především bronz. Prakticky všechny techniky využívané v 19. stol. n. l. se objevily již v římské kultuře. Po úpadku Keltů nastal v Evropě i úpadek kovářství. Návratu se



Obr. 7 Detail Paganiniho sochy na hradě Helfštýně



Obr. 6 Kovárna v roce 1568

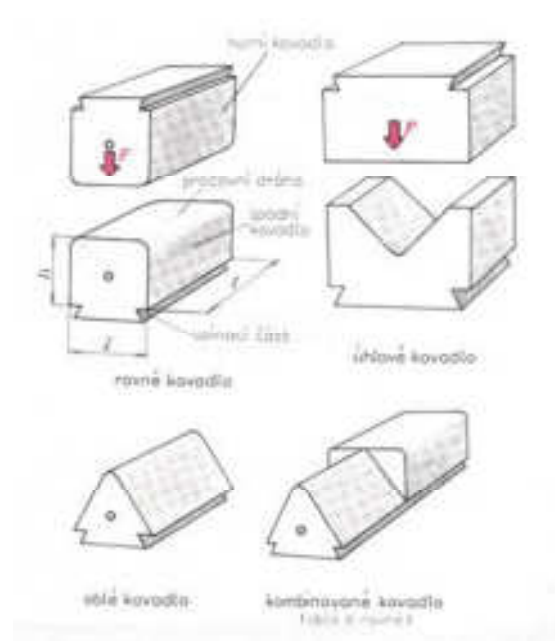
dočkalo až se vznikem Velké Moravy v 7. století. O 500 let později

se začalo kovářství rozpadat na specializované obory: kotlárství, výroba střelných zbraní, nožířství nebo zámečnictví (viz Obr. 6).

V husitském období emigrovala prakticky celá německá komunita a v Čechách rapidně klesla kvalita všech řemesel vč. kovářství. Velkého vrcholu dosáhlo až v období Baroka. Některé práce historických kovářů je možno vidět na hradě Helfštýně (viz Obr. 7).

2.2 Volné kování

Materiál je za kovací teploty postupně přetvářen pomocí kovel, sekáčů nebo příložek a speciálním polohováním výkovku do požadovaného tvaru. Kovadla se dělí na rovinná, válcová a klínová (viz Obr. 8). Jejich rybinovité drážky slouží k výměně jednotlivých typů v kovacím stroji. Díry v přední stěně jsou používány pro manipulaci. Pracovní plochy kovel jsou kaleny. Jako polotovary se používá ingot – produkt hutního slévárenství. Kovadla jsou upnuta do universálních kovacích strojů (bucharů, hydraulických lisů). Pro manipulaci s objemnějšími polotovary se využívají manipulátory. Jsou to kolejové nebo bezkolejové vozíky, které přepravují materiál o kovací teplotě. Volně kované výkovky mají vždy ten nejjednodušší tvar, velké úchytky rozměrů a hrubý nekvalitní povrch určený k dalšímu opracování.



Obr. 8 Druhy kovel

2.3 Kovací úkosy

Aby bylo možné vyjmout výkovek ze zápustky, je nutno na plochy kolmé na dělicí rovinu (směr rázu kovacího stroje) navrhnout kovací úkosy. Jejich hodnoty se pohybují od 2° do 10° a závisí na tvaru výkovku a volbě kovacího stroje podle normy ČSN 42 9030 (viz. Tab. 1). Kovací úkosy se dělí na vnitřní a vnější. Mezi vnitřním úkosem a stěnou dutiny zápustky vzniká při chladnutí tlak, zatím co mezi vnějším úkosem a stěnou dutiny zápustky vzniká při chladnutí vůle (viz Obr. 9).

Tab. 1 Kovací úkosy

Úkosy	Vnitřní [°]	Vnější [°]
Běžné zápustky	3	7
Stroje bez vyhazovače	7	10
Stroje s vyhazovačem	2÷3	3÷5
Vodorovné stroje	0÷5	0÷5

správnou zabíhavost materiálu při vyplňování dutiny zápustky. Při malém úkosu je ztíženo tečení kovu, dochází k přechování a vytvářejí se přeložky. Úkosy znamenají materiál navíc, což způsobí nárůst bočních tlaků. Tomu se ale dá předejít vhodnou volbou dělicí roviny nebo otočením polohy výkovku. Pro mělké výkovky se používají větší hodnoty úkosů a pro hluboké výkovky menší hodnoty úkosů z důvodu příliš velkého množství přidaného materiálu. S rostoucí přesností výkovků klesá velikost úkosů.

V některých případech lze úkos úplně vynechat. To ale vyžaduje speciálně konstruovanou zápustku, vhodně zvolenou dělicí rovinu a použití vyhazovačů.

Volba velikosti úkosu má také vliv na



Obr. 9 Technologické úkosy

2.4 Poloměry zaoblení

Dobrému tečení materiálu zabraňují rohy a ostré hrany zápustky. Proto jsou všechny plochy v místě styku spojeny obecnými zakřivenými plochami definovanými poloměrem zaoblení (viz Obr. 10). Pokud je úhel mezi plochami větší než 180° , jedná se o poloměr vnější s označením „r“. Pokud je úhel mezi plochami menší než 180° , jedná se o poloměr vnitřní s označením „R“. Jejich další dělení je na horizontální a vertikální. Pokud plochy spojují dno a vertikální plochu, nazývají se horizontální. Pokud spojují dvě vertikální plochy, nazývají se vertikální.

Poloměry zaoblení zmenšují velikost napětí v oblasti ostrých hran, proto zvyšují mechanické vlastnosti výkovků. Čím je větší velikost zaoblení, tím víc klesá vliv napětí. Ve vykované oblasti nejsou deformovaná vlákna materiálu, proto je výkovek pevnější a odolnější vůči korozi než materiál obrobený třískovým obráběním. Stejně jako nesprávně zvolené technologické úkosity, tak i velikost zaoblení má vliv na tečení materiálu a tím i snižují pravděpodobnost vzniku přeložek. Příliš malé poloměry vyžadují větší kovací sílu, čímž se snižuje životnost zápustek, ale snižují spotřebu materiálu.

Velikosti zaoblení jsou uvedeny v normě ČSN 42 9030 (viz. Tab. 2). Volí se v závislosti na druhu použitého materiálu výkovku, typu tvářecího stroje, geometrii výkovku a na poměru

Tab. 2 Poloměry zaoblení

Hloubka [mm]		Poměr hloubky a přilehlé plochy [-]					
		<2		2<4		>4	
Od	Do	r [mm]	R [mm]	r [mm]	R [mm]	r [mm]	R [mm]
	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25

hloubky dutiny a šířky přilehlé plochy. Při volbě velikosti zaoblení je nutno zajistit konstantní vyplňování dutiny zápustky, tak aby nevznikaly vady a přeložky.



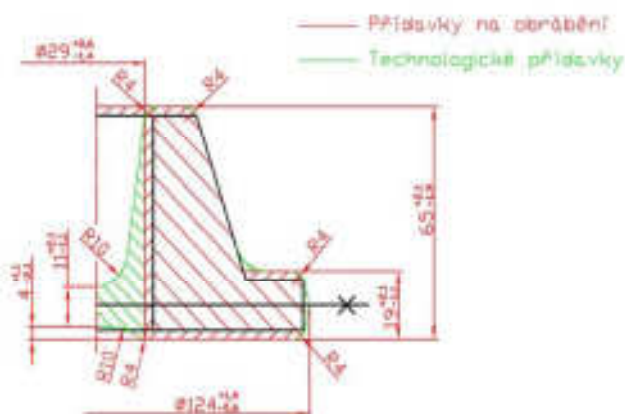
Obr. 10 Zaoblené hrany výkovku

2.5 Přídatky a tolerance

Rozměry výkovku jsou zvětšeny o technologické přídatky, kvůli správnému průběhu procesu kování a dodržení tvarů a rozměrů daných výkresem výkovku (viz Obr. 11).

Přídatky na obrábění

Pro dodržení požadované tvarové a rozměrové přesnosti a předepsané drsnosti povrchu je nutno výkovek zvětšit o hodnotu přídatku na obrábění. Tyto přídatky se přičítají pouze na plochy, které se budou po kování dále obrábět. V případě rotační plochy je třeba přídatky



Obr. 11 Příklady přídatků

zdvojnásobit. Jejich velikost je obvykle stejná pro všechny rozměry výkovku a je dána normou ČSN 42 9030 (viz Tab. 3). Určuje se v závislosti na jakosti kovaného materiálu,

Tab. 3 Přídavky na obrábění

Největší rozměr ve směru rázu [mm]		Největší výška hotového výrobku [mm]						
		Od		25	40	63	100	160
		Do	25	40	63	100	160	250
Od	do	Přídavky na obrábění ploch [mm]						
	25		1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	
40	63		1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5
63	100		2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0
100	160		2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5
160	250		2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5
250	400		2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0

celkových rozměrů výkovku a stupni přesnosti provedení.

Jakost, v tomto případě tvaritelnost materiálu, je zařazena do 5 stupňů. Čím je stupeň menší, tím je lepší tvaritelnost materiálu. Úchyly rozměrů a tvarů platí pro stupeň 3, pro stupeň 4 je nutno zvýšit velikost přídavku na obrábění o 20% a pro stupeň 5 je přídavek zvýšen o 40%.

Technologické přídavky

Technologické přídavky jsou používány z důvodu snadného průběhu procesu kování a vyjmutí výkovku ze zápustky (viz Obr. 11). Dále na zkvalitnění povrchu výkovku v místech, kde mohou vznikat trhliny, rozválcované bubliny nebo oduhličená vrstva. V případě předkování děr patří mezi technologické přídavky i blána. Hodnota přídavků je dána normou ČSN 42 9030 a závisí na tvarové složitosti výkovku a stupni přesnosti jednotlivých dílců. Mezi základní technologické přídavky patří technologické úkosy a poloměry zaoblení.

Tolerance rozměrů a tvarů výkovků

Mezní úchytky tvaru jsou dány geometrií výkovku a to přesazením, otřepem a prohnutím. Tolerance rozměrů určuje stupeň přesnosti výkovku a největší rozměr výkovku ve směru rázu. U rotačních součástí je to největší průměr a největší rozměr ve směru rázu. U nerotačních součástí je průměr výkovku nahrazen střední hodnotou největší šířky a délky. Hodnoty úchylek rozměrů jsou dány normou ČSN 42 9030.

U úchylek tvaru se posuzují tyto aspekty:

- **Otřep:** zbytek výronku, který může zůstat na výkovku
- **Sestřížení:** stopa na výkovku po ostříhování
- **Jehla:** ostří, které může vzniknout na okraji střížné plochy
- **Dovolený průhyb:** úchylka střední přímky výkovku od roviny
- **Úchylka rovinnosti:** úchylka povrchové plochy výkovku od roviny

2.6 Třídění výkovků do tříd

Výkovky jsou, podle 5-ti místného čísla XXXX-X, zařazeny do tříd. Význam jednotlivých číslic:

1. číslice – Xxxx-x – Tvarový druh

- 4 – výkovky kruhového průřezu plné (viz Obr. 12)
- 5 – výkovky kruhového průřezu duté
- 6 – výkovky hranolovitých tvarů plné i duté
- 7 – výkovky kombinovaných tvarů plné i duté
- 8 – výkovky s ohnutou osou
- 9 – výkovky s lomenou dělicí plochou



Obr. 12 Výkovek kruhového průřezu plný

2. číslice – xXxx-x – Tvarová třída

- 1 – konstantní průřez
- 2 – kuželovité (jehlanovité, klínovité)
- 3 – jednostranně osazené
- 4 – oboustranně osazené
- 5 – osazené s kuželem (jehlanem, klínem)
- 6 – prosazené
- 7 – kombinované
- 8 – kombinované s kuželem (viz. Obr. 13)
- 9 – členité (u druhu 8 – výkovky háků)
- 0 – neobsazeno

- 1,2 – výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy
- 3,4,5 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu
- 6,7,8 – výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh strojích

Výkovky zařazené do třídy 0 a 9 se dále dělí na:

- 0 – převážně kruhový průřez
- 1 – převážně plochý průřez
- 2 – s hlavou a jedním ramenem
- 3 – s hlavou a více rameny
- 4 – jednostranně rozvidlené
- 5 – oboustranně rozvidlené
- 6 – zalomené
- 7 – šroubovitě (stoupání <1) – pouze u tvarového druhu 0
- 8 – šroubovitě (stoupání >1) – pouze u tvarového druhu 0

3. číslice – xxXx-x – Tvarová skupina

- 1÷4 – výkovky plné
- 5÷8 – výkovky duté

4. číslice – xxxX-x – Tvarová podskupina

- 1 – přesah v poměru L:B (D) nebo H:B (D)
- 2 – přesah v poměru H:H (D:D)
- 3 – přesah v poměru B:B
- 4 – přesah v poměru F:F
- 5 – přesah v hloubce dutiny nebo úhlu listů lopatek
- 6 – přesah v tloušťce dna nebo blány
- 7 – přesah v tloušťce stěny s nebo bez rozvidlení
- 8 – přesah v zaoblení přechodů a hran R,r
- 9 – kombinace několika přesahů
- 0 – bez přesahu



Obr. 13 Výkovek tvarové třídy 8 Hák



Obr. 14 Výkovky souměrné i nesouměrné

5. číslice – xxxx-X – Technologické hledisko

- 1 – výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy souměrné
- 2 – výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy nesouměrné
- 3 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu souměrné (viz Obr. 14)
- 4 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu nesouměrné (viz Obr. 14)
- 5 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu s ozubením
- 6 – výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech souměrné
- 7 – výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech nesouměrné
- 8 – výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech s ozubením
- 9 – výkovky s více dělicími plochami

2.7 Základní charakteristika výkovků

Výkovek je produkt technologického procesu kování. Jeho rozměry jsou odvozeny od rozměrů finálního výrobku, ale jsou zvětšeny o technologické přídavky, přídavky na obrábění, úkosity a zaoblení. Už samotný výrobní výkres výrobku by měl být přizpůsobený kování. Požadavky na konstrukci výkovků:

a) Požadavek na přesnost výkovku

Je volen s ohledem na velikost přídavku na obrábění a velikost tolerancí rozměrů. Pro standartní rozměry a tvary výkovků je tento přírůstek předepsán normou. Jakýkoliv přírůstek na výkovku znamená větší spotřebu drahého materiálu, proto se zvláště u tvarově složitých výkovků používají minimální či vůbec žádné přídavky. Výkovky se vyrábějí ve 4 druzích přesnosti:

- Obvyklé provedení
- Přesné provedení
- Velmi přesné provedení
- Provedení podle dohody

Výkovky vyrobené obvyklým provedením mají obvyklou přesnost, přídavky na obrábění a mezní úchytky rozměrů i tvarů. Výkovky vyrobené přesným provedením mají menší přídavky na obrábění a mezní úchytky rozměrů a tvarů. Zpřesnění se tedy týká všech aspektů volby přírůstků a tolerancí. Výkovky vyrobené velmi přesným provedením mají menší přídavky na obrábění a mezní úchytky rozměrů a tvarů než výkovky vyrobené přesným provedením.

b) Požadavky na mechanické vlastnosti, jakost povrchu a vnitřní vady

Jsou voleny s ohledem na průběh vláken ve výkovku. Mechanické hodnoty materiálu,



Obr. 15 Automatizovaná linka v kovárnách Hulín

uvedené ve strojnických tabulkách, platí podél vláken. V ostatních směrech jsou menší. Vnitřní a povrchové vady výrobku se tolerují, pokud neznemožňují správnou funkčnost výkovku při jeho dalším používání.

c) Požadavky na tvářecí zařízení

Jeho volba z velké části ovlivňuje přesnost, kvalitu a ekonomičnost výroby výkovku. Při použití bucharů nedosahujeme velké přesnosti a je nutno volit větší úkosy. Na klikových kovacíh lisech dosahujeme větší přesnosti, což umožňuje volbu menších kovacíh úkosů za použití vyhazovačů.

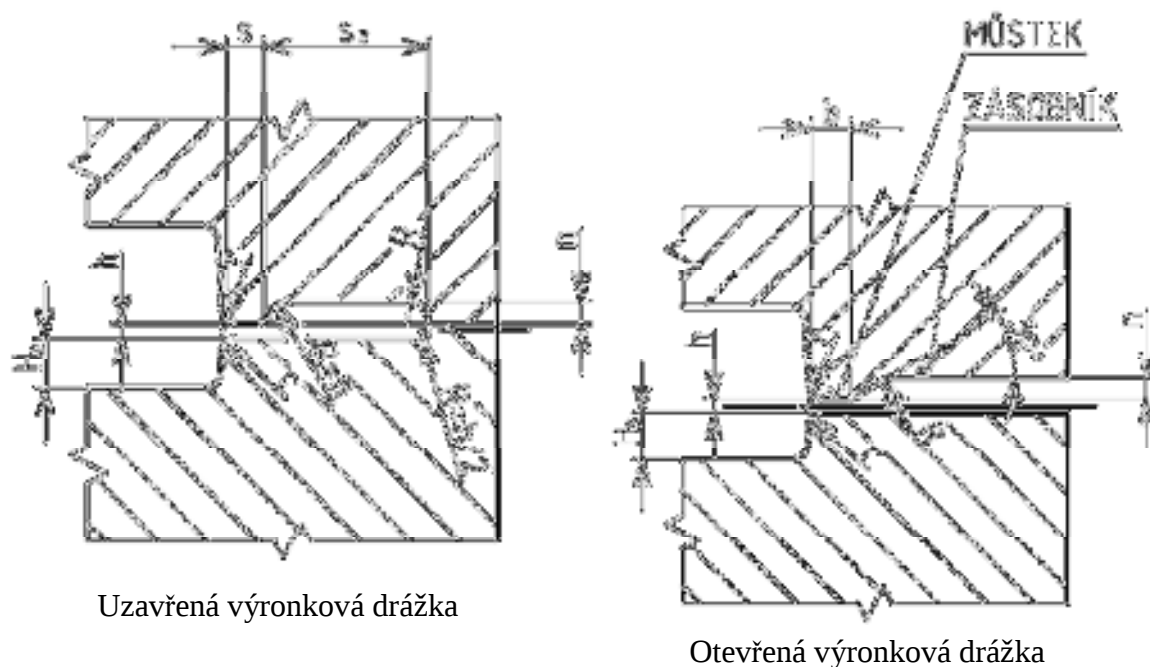
d) Požadavky na mechanizaci a automatizaci kovacího procesu

Zahrnují tvarové úpravy a přídatky výkovků, které umožňují manipulaci výrobků a jejich orientaci na automatických linkách (viz Obr. 15).

2.8 Výronková drážka a určení jejich rozměrů

Výronková drážka je prostor umístěný po obvodu celého výkovku v dělicí rovině (viz Obr. 16). Je navrhována buď se zápustkou, nebo je dána dolní úvratí kovacího stroje. Skládá se z můstku a zásobníku. Můstek slouží k regulaci tlaku v dutině zápustky. Geometricky složitější výkovky vyžadují vyšší tlak, tím pádem větší odpor a menší výšku můstku nebo větší šířku můstku. Objem výronku je dán množstvím kovaného materiálu.

Pro správnou funkci výronkové drážky je důležitá geometrie můstku. Pro jednoduché tvary se volí obdélníkový průřez, pro složitější tvar raidálně-axiální. Výškové rozměry se mohou měnit v závislosti na tuhosti nosné soustavy. Rozměry samotné výronkové drážky se liší podle typu kovacího stroje a jsou dány normou ČSN 22 8306 až 22 8309.



Obr. 16 Otevřená a uzavřená výronková drážka

a) Buchary

Šířka můstku

$$s = (0,015 \div 0,012) \cdot \sqrt{S_v} \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

kde: S_v [mm] je průmět plochy výkovku

0,015 pro malé výkovky a 0,012 pro velké výkovky.

b) Svislé kovací lisy

Rozměry můstku jsou dány dle normy ČSN 22 8306 (viz Tab. 4). Vychází ze jmenovité kovací síly „ F_j “, šířky můstku „ s “ a výšky můstku „ b “.

Tab. 4 Rozměry můstku výronkové drážky pro svislé kovací lisy

F_j [MN]	2,5	6,3	10	16	25	31,5	40	63
s [mm]	1÷1,5	1÷2	1,5÷2,5	2÷3	2,5÷4	2,5÷4,5	3,5÷5,5	4,5÷8
b [mm]	3÷5	3÷7	4÷7,5	5÷8	6÷10	6÷11	7÷12	9÷15

c) Vodorovné kovací lisy

Rozměry můstku jsou axiální (podélné), odstraněné obráběním nebo radiální (příčné), které se ostříhují přímo v zápustce. Šířka můstku se volí pro obě tyto varianty v závislosti na jmenovité síle kovacího stroje podle normy ČSN 22 8307.

2.9 Ohřívací zařízení

Prioritou ohřevu materiálu je dosažení kovací teploty v co nejkratším čase. Ohřev probíhá bez vzniku vad povrchové a vnitřní jakosti materiálu. Správně zvoleným ohřevem roste tvařitelnost a klesá deformační odpor. Ohřev charakterizuje součinitel tepelné vodivosti, měrná tepelná kapacita, hustota, součinitel teplotní vodivosti a mechanické vlastnosti.

Pro ohřev materiálu před kováním se používají elektrické a plynové pece. Pro výkovky větších rozměrů jsou využívány plynové pece. Pro výkovky menších rozměrů se užívají elektrické pece. Udávaný výkon pece je množství materiálu ohřátého za jednotku času. Pece delší než 3 metry, využívající výjezdovou nístěj, se nazývají vozové (viz Obr. 17). Narážecí pece jsou průběžné, z jedné strany je do pece strkacím zařízením dopraven polotovar a z druhé strany postupně vysunut ohřátý materiál. Průběžné pece se vyrábějí i jako karuselové, kdy je materiál uvnitř pece otáčen. V případě, že není potřeba ohřát celý materiál, využívá se pecí štěrbinových.

Ohřev může probíhat přímým průchodem proudu, nepřímým odporovým ohřevem nebo indukčním ohřevem. Ohřev přímým průchodem proudu je vhodný pro součásti s velkým poměrem délky ku šířce (průměru). Nepřímý odporový ohřev pracuje na principu odporových článků, což je oproti ostatním variantám pomalé. Nejvhodnější možností pro zadanou součást je indukční ohřev, který spočívá v umístění cívek v peci. Ty indukují vířivé proudy a pec tak dosahuje vysokých teplot v krátkém čase.

2.10 Opal a smršťení

Nepříznivý vliv, který vzniká na povrchu výkovku, nazýváme opal. Okolní atmosféra obsahuje kyslík, který při vysoké teplotě reaguje s železem a vytváří oxidy železa. Ty nazýváme okuje. Oxidace je zrychlovaná neustálým opadáváním okujů, které obsahují 71÷76% železa. To je ztráta 1÷3% materiálu na jeden ohřev. Odpadnuté okuje se nalepí na stěny pece a snižují tak její životnost. Proto je nezbytné, aby materiál prošel procesem odkujení. Snížení opalu lze dosáhnout rychlejším ohřevem nebo řízenou atmosférou v peci.

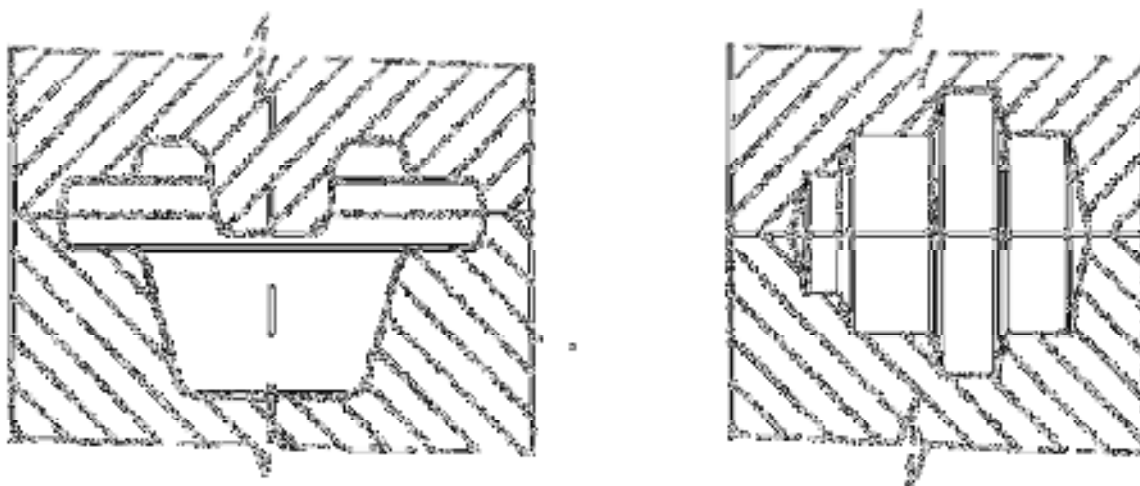


Obr. 17 Vozová pec
v Královopolské kovárně

Díky působení tepelné roztažnosti dochází ke změně objemu ohřátého materiálu. Tento vliv je nutno uvažovat při volbě rozměrů polotovaru. Není-li dodržena teplota, pro kterou bylo smrštění vypočítáno, jmenovitý rozměr nebude přesný.

2.11 Dělicí rovina

V místě setkání horní a dolní poloviny zápustky vzniká dělicí rovina (viz Obr. 18). Je navržena tak, aby bylo vyjmutí výkovku z dutiny zápustky bezproblémové. Na umístění dělicí roviny závisí průběh vláken výkovku. Ve většině případů se volí v rovině, v případech kde to není možné, se volí lomená dělicí rovina. Musí být navržena tak, aby umožňovala předkování děr, ostřížení výkovku a co nejvíce minimalizovala náročnost výroby. Při špatném umístění může docházet k nárůstu odporu při zatékání kovu do dutiny a ten je protlačován. Většinou se volí kolmo na dva největší rozměry výkovku.



Obr. 18 Příklady umístění dělicí roviny

2.12 Předkování děr

Průchozí díry u výkovků nelze vykovat celé. Proto se díry pouze předkovávají a zůstává v nich blána, jejíž tloušťka je dána výpočtem (2.2) nebo normou ČSN 42 9030. Blána může být navržena v různých tvarech (viz Obr. 19) a je po kování odstraněna odstřížením, stejně jako výronek. V případě silnější blány je proces ostřížení problematictější a vyžaduje větší střížnou sílu. V případě slabší blány je materiál rychle napěchován do výstupků v zápustce a způsobí nadměrné sevření výkovku.

$$s_b = 0,45 \cdot \sqrt{d_b - 0,25 \cdot h_b} + 0,6 \cdot \sqrt{h_b} \quad (2.2)$$

kde: s_b [mm] je šířka blány

d_b [mm] je průměr předkované díry

h_b [mm] je vzdálenost blány k okraji díry.



Obr. 19 Typy předkovaných blán



Obr. 20 Ideální předkověk

2.13 Ideální předkověk

Ne každou součást lze kovat z ingotů (polotovarů jednoduchých tvarů, tyčí). Proto se používá vícenásobný kovací proces. Ideální předkověk má kruhový průřez a umožňuje vykování materiálu do finálních tvarů a rozměrů. Jeho plocha se určuje i s výronkem a blánami. Plochy jednotlivých průřezů výkovku se promítnou na kruhovou plochu a jejich spojením dosáhneme tvaru ideálního předkovku (viz Obr. 20). Průměr a výška ideálního předkovku

jsou dány vztahy (2.3) a (2.4). Pro nejvhodnější volbu ideálního předkovku se výpočty provádějí ve více rovinách.

Průměr ideálního předkovku

$$d_{ip} = 1,13 \cdot \sqrt{S_{ip}} \text{ [mm]} \quad (2.3)$$

kde: d_{ip} [mm] je průměr ideálního předkovku

S_{ip} [mm²] je plocha průřezu výkovku.

Výška průřezového obrazce

$$h_{ip} = \frac{S_{ip}}{m} \text{ [mm]} \quad (2.4)$$

kde: h_{ip} [mm] je výška průřezového obrazce

m [mm] je šířka průřezového obrazce.

2.14 Dělení zápustkových dutin

Různé druhy dutin se používají při kování na bucharu. Postupové zápustky jsou umístěny v kovacím stroji a obsluha přemísťuje výkovek z jedné do druhé (viz Obr. 21). Výkovek je připravován v předkovacích a přípravných dutinách jednoduchého tvaru. Celý proces postupového kování je časově nevýhodný, proto se používá při výrobě malého množství kusů. Jakmile je výkovek předkován, umístí se do posledního typu dutiny – Kovací (dokovací) dutina. Tvar a rozměry této dutiny vychází z výkresu výkovku zvětšených o hodnotu smrštění. Stejně jako při předešlých způsobech kování je po celém obvodu výkovku umístěna výronková drážka skládající se z můstku a zásobníku.



Obr. 21 Příklad výkovku z postupové zápustky

2.15 Rozměry zápustek

K výrobě zápustek se používá nástrojová ocel v hodná pro prostředí se zvýšenými teplotami. Jsou vyráběny třískovým obráběním a pro zlepšení jejich mechanických vlastností dále tepelně zpracovány.

Rozměry zápustek se liší podle druhu použitého kovacího stroje. Zápustky použitelné pro buchar jsou z jednoho kusu a do kovacího stroje jsou připevněny klíny a rybinovitými drážkami. Zatímco zápustky pro kovací lisu jsou vyráběny z levnějších materiálů. Jako funkční plochy jsou zalisovány vložky do základního bloku zápustky. Upevnění do kovacího stroje je šroubové. Stanovení rozměrů konkrétní zápustky ovlivňuje smršťování materiálu výkovku a tolerance a mezní úchylky výkovku.

Kritéria pro volbu rozměrů zápustky:

- rozměry a jakost materiálu výkovku
- vzdálenost dutiny od okraje zápustky a její hloubka
- vzdálenost mezi jednotlivými dutinami
- způsob upnutí zápustky (velikost držáku zápustky)
- způsob vedení zápustky
- typ stroje a jeho velikost

2.16 Výpočet kovací síly

Výpočet kovací síly na klikovém kovacím lisu lze orientačně určit (viz Tab. 5) pro uhlíkové oceli nebo přesnějším výpočtem pomocí plochy průmětu výkovku.

— Tab. 5 Přibližná kovací síla

Tvar výkovku	Kovací síla F_k [kN]	Pevnost kovaného materiálu R_m [MPa]
Jednoduché výkovky	$40 \cdot S_c$	400
	$50 \cdot S_c$	600÷700
Složené výkovky	$56 \cdot S_c$	400
	$70 \cdot S_c$	600÷700

— kde: S_c je plocha průmětu výkovku.

Koeficient šířky plochy průmětu výkovku

$$s = 0,1725 \cdot G_0^{0,16} \cdot D_v^{0,5} \text{ [mm]} \quad (2.5)$$

kde: G_0 [kg] je hmotnost výkovku

D_v [mm] je největší průměr výkovku.

Šířka plochy průmětu výkovku

$$b = (3 \div 5)s \text{ [mm]}. \quad (2.6)$$

Plocha průmětu výkovku

$$S_c = \frac{\pi}{4} \cdot (D_v + 2b)^2 \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (2.7)$$

Pro výpočet přesné kovací síly je zvolen koeficient vlivu tvarové složitosti K_{ts} [-] a hodnota přetvárné pevnosti k_p [-] zvolena pro určitou teplotu dokování.

Přesná kovací síla

$$F_k = 0,6 \cdot S_c \cdot k_p \cdot K_{ts} \text{ [MN]}. \quad (2.8)$$

2.17 Upínání a vedení zápustek

Správnou a přesnou polohu zápustek pro buchary zajišťuje vedení (podélné, příčné a křížové) nebo vodící kolíky. Podélné vedení zamezuje příčnému posuvu, a proto se používá pro příčné zápustky. Příčné vedení zamezuje podélnému posuvu, a proto se používá pro podélné zápustky. Křížové vedení zamezuje posuv v obou směrech. Jeho šířka je o polovinu větší než délka. V případě zápustek s lomenou dělicí plochou se používá zámek.

Vodící kolíky jsou dva až čtyři v jedné zápustce a jsou umístěny v rozích zápustky. Další možností je využití kontrolního rohu. Ten tvoří dvě na sebe kolmé přesně opracované stěny zápustky. K upínání zápustek pro buchary jsou využity rybinové drážky se středícím perem (viz Obr. 22). Zápustka je vložena do bucharu a do vzniklé mezery je zatlačeno středící pero s podélným úkosem.

Protože jsou zápustky pro kovací lisu složeny z více kusů, upíná se každá vložka zvlášť. Držák kovací vložky zajišťuje správnou a přesnou polohu pomocí vodících kolíků, které jsou v něm zalisovány. Samotný držák je připevněn ke kovacímu stroji šroubovým spojem. Jeho poloha je zajištěna distančními vložkami. Do jednoho držáku mohou být umístěny maximálně tři kovací vložky, což omezuje kovat jeden výkovek ve třech operacích.



Obr. 22 Příklad upnutí pomocí rybinové drážky

2.18 Volba kovacího stroje

Při výběru vhodného typu kovacího stroje pro zadaný výkovek je zohledňován tvar, hmotnost a sériovost výkovku (viz Tab. 6).

Na bucharu je nutné se vyhýbat zdlouhavému prodlužování dříků, vyhýbat se výkovkům s velkou hlavou, což vyžaduje pěchování. Dále rozvidleným výkovkům, které vyžadují náročnější přípravné operace. Výkovkům extrémně malých a naopak velkých rozměrů. Nutně používat větší úkosity a poloměry zaoblení.

Pro kování na kovací lisu nejsou vhodné výkovky s dlouhou osou, velkými tolerancemi a úkosity. Poloměry zaoblení jsou stejné jako na bucharu. V některých případech jsou vyloučené přípravné operace jako prodlužování nebo rozdělování. Lze však předkovat i hluboké otvory.

Tab. 6 Volba typu kovacího stroje

Tvar	Rotační	Klikový, třecí a hydraulický lis
	Nerotační	Šabotový nebo protiběžný buchar
Hmotnost	Malá	Buchar
	Střední (cca do 60 kg)	Lis
	Střední	Buchar
	Velká	Protiběžný buchar nebo hydraulický lis
Sériovost	Malá a střední	Buchar nebo vřetenový a hydraulický lis
	Vysoká	Klikový lis

2.19 Kovací lis versus buchar

Buchar

Buchar je tvářecí stroj pracující rázem (viz Obr. 23). Výkovek je kován dopadem beranu bucharu na šabotu. Deformační práce potřebná ke tváření vzniká z potenciální energie beranu. Kování na bucharu probíhá většinou ve více po sobě jdoucích operacích (úderech). Výkovek dostane finální tvar po dosednutí horní zápustky na dolní, kdy materiál vyplní celý prostor dutiny zápustky. Z tohoto důvodu musí být dosedací plochy částí obou polovin zápustky. Díky vzniku setrvačných sil při opakujícím se procesu kování dochází k velmi dobrému zatékání kovu do dutiny. Proto je buchar vhodný pro výkovky s vysokými výstupky nebo tenkými žebry. Kvůli velkým rázům se zápustky zhotovují jako velké bloky, ve kterých jsou umístěny všechny dutiny. Dutina s největší potřebnou silou na její vyplnění je umístěna uprostřed zápustky. Vzhledem k velkým rázům nelze zaručit příliš přesné vedení a buchar tedy není vhodný pro přesnější kování. Je u něj i obtížná automatizace a mechanizace výroby. Oproti tomu je výhodnou volbou pro členité výkovky a výkovky malých rozměrů.



Obr. 23 Buchar

Kovací lis



Obr. 24 Klikový kovací lis

Klikový kovací lis je tvářecí stroj pracující se stejným zdvihem beranu (viz Obr. 24). Výkovek tedy musí být zhotoven na jeden zdvih v jedné dutině. Výška tohoto zdvihu je dána typem mechanismu lisu (klikový, vřetenový a hydraulický). Pohyb beranu lisu je pomalý a oproti bucharu nevznikají žádné rázy. Výkovek je tvářen tlakem a dotyk horní poloviny zápustky a výkovku je podstatně delší než u bucharu. To umožňuje vyváženější vyplnění zápustky. Horní a dolní polovina zápustky na sebe nikdy nedosednou. Výška můstku výronkové drážky se rovná dolní úvrati stroje. Zápustky jsou opatřeny vložkami a umístěny v držácích. Držák zajišťuje přesnou pozici zápustky a proto je lis vhodnější pro přesné výkovky. Do lisu s klikovým mechanismem je možno umístit tři zápustky, což umožňuje tři operace na jednu výšku zdvihu. Lis s vřetenovým mechanismem umožňuje pouze jednu zápustku s jednou dutinou. Kovací lis je ideální pro sériovou plně automatizovanou výrobu.

2.20 Vyhazovače

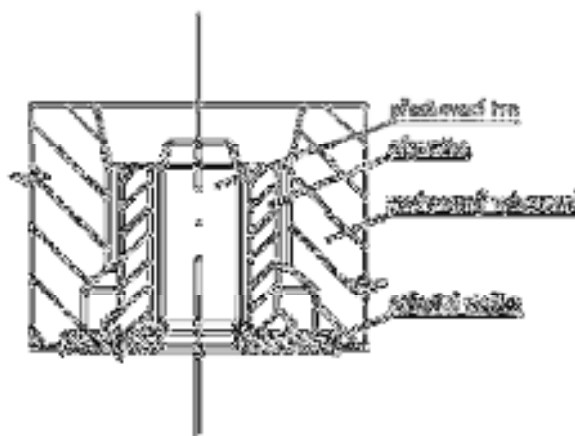
Při dokončení technologického procesu kování je nutno výkovek vyjmout z dutiny zápustky. To ovlivňují tyto faktory:

- hloubka dutiny zápustky
- tření
- tvar a rozměry výkovku
- technologické úkosy
- mazání
- odstraňování okují

Pokud je vyjmutí výkovku problematické, používají se vyhazovače. Ty mohou působit

v určitém místě výkovku nebo po celé jeho ploše. Podle způsobu jejich

konstrukce se dělí na prstencové (viz Obr. 25), kolíkové a vložkové. V závislosti na velikosti tlaku vzniklého v zápustce se volí příslušný typ vyhazovače. Pro výkovky se zahluobením ve středu jsou nejvhodnější vyhazovače prstencové. Pro umístění v jakémkoliv místě výkovku se používají vyhazovače kolíkové. Při použití vyhazovačů je možné použít menších technologických úkosů a poloměrů zaoblení, což snižuje náklady na materiál výkovku.



Obr. 25 Prstencový vyhazovač

2.21 Ostřihování výkovků

Výkovek vyjmutý ze zápustky je pro další zpracování zbaven přebytečného materiálu v podobě předkovaných děr (blan) a výronku. Proces odstranění blan nazýváme děrování a proces odstranění výronku ostřihování (viz Obr. 26). To se provádí na ostřihovacích lisech.

V případě rozměrnějších výkovků se ostřihuje ještě za tepla, u menších i za studena. Při plně automatizované výrobě jsou ostřihovací lisy součástí výrobní linky. Volba ostřihovacího lisu závisí na kovacím stroji, geometrii výronku nebo blány a síle potřebné k ostřížení podle vzorce (2.9).

Výpočet síly pro ostřížení výronku

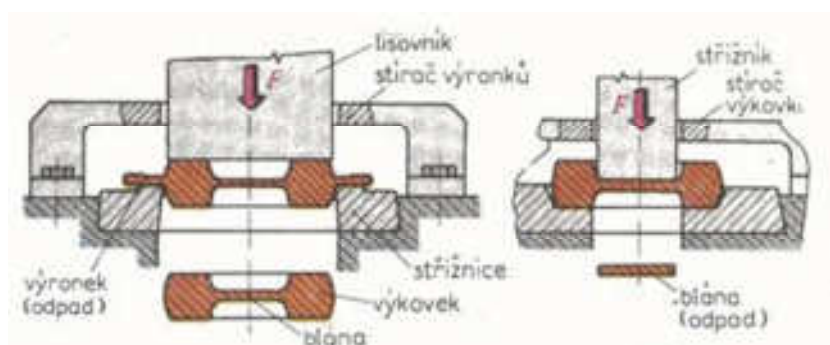
$$F_0 = 1,7 \cdot 0,8 \cdot o_{v\gamma r} \cdot \sigma_s \cdot h_{v\gamma r} \text{ [kN]} \quad (2.9)$$

kde: $o_{v\gamma r}$ [mm] je obvod výronku

$h_{v\gamma r}$ [mm] je výška výronku

σ_s [MPa] je napětí ve stříhu.

Výpočet síly pro ostřížení blány je stejný, pouze jsou dány hodnoty obvodu a výšky pro blánu. V případě ostřížení výronku a blány v jedné operaci jsou obě síly sečteny.



Ostřihování výronku

Děrování blány

Obr. 26 Ostřihování a děrování výkovku

2.22 Rovnání výkovků

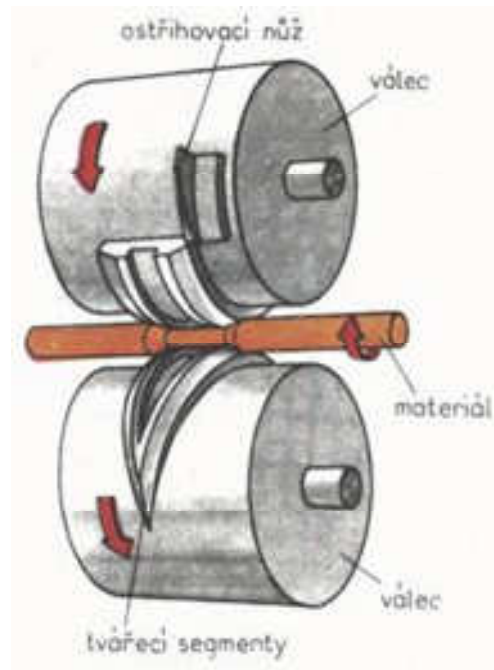
Protože je výkovek ohříván na vysoké teploty, dochází k jeho deformaci (zkřivení). Pokud toto zkřivení vybočuje z tolerancí zadaných na výkrese je nutno výkovek rovnat. Nejčastěji se rovnání provádí za studena v rovnacích zápustkách. Je možné výkovek rovnat už v dokončovací dutině zápustky za tepla, to ale snižuje její životnost. Rovnací nástroje jsou omezeny tlakem potřebným k narovnání výkovku. Pokud je výkovek rovnán už za tepla, má lepší mechanické vlastnosti a materiálovou strukturu. Podle křivosti os a úhlu zkřivení se určuje i zkřivení celého výkovku a tím pádem i nutnost procesu rovnání.

2.23 Kalibrování výkovků

Po ostřížení a rovnání výkovku se provádí poslední dokončovací operace kalibrování. Ta zajistí přesnost, hmotnost a drsnost povrchu výkovku požadovanou na výkrese. Při přesném kalibrování není nutno výkovek dále obrábět. Tento proces je možno realizovat na jakémkoliv tvářecím stroji určeném pro zápustkové kování. Kalibrování je možné za tepla i za studena. Při větším přídávku na kalibrování za tepla hrozí okujení a vznik výronku malých rozměrů. Ten je ihned po kalibrování odstraněn z důvodu opakovaného zkřivení výkovku. U ostřížení takto malého výronku hrozí vznik trhlin v jeho oblasti, proto se odstraňuje třískovým obráběním. Kalibrování za studena prováděné na razících lisech (viz Obr. 27) je přesnější než za tepla, ale vyžaduje využití dvojnásobné síly. Kalibrovat lze plošně, objemově nebo kombinovaně. Plošně se kalibrují rovnoběžné plochy za předpokladu změny rozměrů ploch na ně kolmých. Objemové kalibrování zajišťuje zpřesnění všech rozměrů výkovku.



Obr. 27 Kalibrovací lis



Obr. 28 Příčné klínové válcování

2.24 Kovací válce

U výkovků s rozdílnými kruhovými průřezy se využívají kovací válce. Takové výkovky jsou náročné na přesunutí materiálu pouze v jednom podélném směru. Tento proces se nazývá příčné klínové válcování. Osy kovacích válců a výkovku jsou rovnoběžné. Kovací válce se otáčejí proti sobě a jsou na nich umístěny pracovní klíny (viz Obr. 28). Při jejich otáčení je výkovek ohřátý na kovací teplotu vtahován mezi válce ručně nebo automatizovanou linkou. Hlavní předností je rozšíření nebo zúžení materiálu. Velikost a tvar tohoto zúžení jsou dány geometrií klínů. Konečného tvaru výkovku je dosaženo po otočení válců o jednu otočku. Tento proces umožňuje výrobu složitých přechodů průměrů na jednu operaci i jeho odstřížení. Příčné podélné válcování se využívá při výrobě složitých rotačních výkovků, ale především pro výrobu podlouhlých předkovek sériové výroby. Jako polotovary jsou využívány tyče kruhového nebo čtvercového průřezu.

2.25 Materiál zápustek

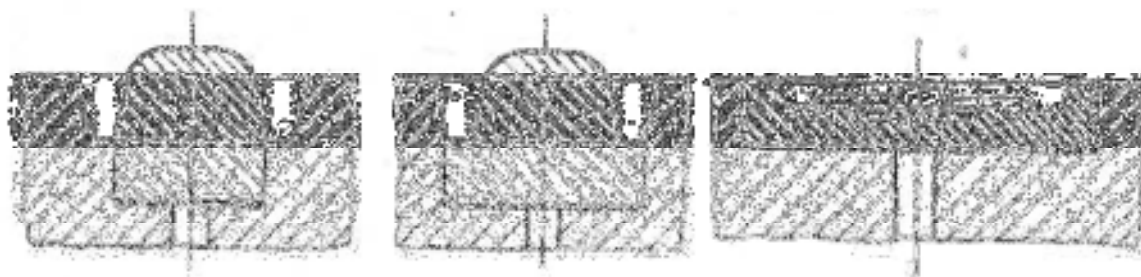
Na materiál zápustek jsou kladeny velmi vysoké požadavky, protože jsou namáhány jak mechanicky tak tepelně. Materiál zápustky by měl mít vysokou tvrdost, houževnatost, žáruvzdornost, žarupevnost, necitlivost proti kolísání teplot, dobrou obrobitelnost a zároveň nízkou cenu. Životnost zápustky roste s vhodnou volbou materiálu. Nejčastěji se používají legované nástrojové oceli třídy 19 (viz Tab. 7). V případě vložkování je tento materiál použit pouze na vložky a ne celou zápustku.

Tab. 7 Oceli pro zápustky

Ocel	Vlastnosti	Použití
19 103	Malá pevnost za tepla, odolnost proti úderům	Méně namáhané zápustky s tvrdým povrchem a mělkou dutinou
19 132	Malá pevnost za tepla, odolnost proti úderům	
19 152	Malá pevnost za tepla, velká houževnatost, odolnost proti úderům	
19 423	Malá pevnost za tepla, dobrá houževnatost, odolnost proti tlaku	
19 552	Dobrá pevnost za tepla, odolnost proti tlaku, úderu, opotřebení, tepelné úpravě	Malé vložky a zápustky při větším tepelném namáhání pro buchary a lisys
19 642	Odolnost proti změnám teplot, opotřebení, úderu, tlaku a tepelné úpravě	Zápustky všech velikostí s velkou trvanlivostí pro lisys a buchary
19 650	Dobrá pevnost za tepla, odolnost proti tlaku, úderu a opotřebení	Zápustky všech velikostí s velkou trvanlivostí pro kování neželezných kovů i ocelí a vložek
19 662	Dobrá pevnost za tepla, odolnost proti tlaku, velká houževnatost, odolnost proti změnám teplot	Zápustky s pevností pod 1300 MPa pro buchary s hlubokou dutinou, vložky a razníky pro vodorovné kovací lisys
19 663	Velká houževnatost, odolnost proti změnám teplot, popuštění a tepelné únavě	Zápustky s pevností nad 1300 MPa s hlubokou a tvarově členitou dutinou, vložky a razníky pro vodorovné kovací lisys
19 720	Velká pevnost za tepla, odolnost proti tepelné únavě	Malé zápustky, vložky a trny do velkých zápustek
19 721	Velká pevnost za tepla, odolnost proti tepelné únavě, dobrá houževnatost	
19 723	Velká pevnost za tepla, dobrá houževnatost	
19 740	Dobrá pevnost za tepla, dobrá houževnatost, odolnost proti opotřebení a tepelné únavě	Malé zápustky pro šrouby, matice, nýty, kde stačí malá pevnost za tepla

2.26 Vložkování zápustek

Z důvodu úspory materiálu a zvýšení životnosti zápustky se používají vložky. Ty jsou vyrobeny z kvalitního materiálu třídy 19 a celé torso zápustky z levnějšího, což je ekonomicky výhodné při pořizování zápustky i při případné opravě. Při poškození funkčních ploch se vymění pouze vložka a ne celá zápustka. V horní polovině zápustky musí být vložky zajištěny, protože by mohli vypadnout. Vložky jsou v zápustce nalistovány s přesahem H8/u7. Podle geometrie výkovku je možné volit několik druhů vložek (viz Obr. 29).

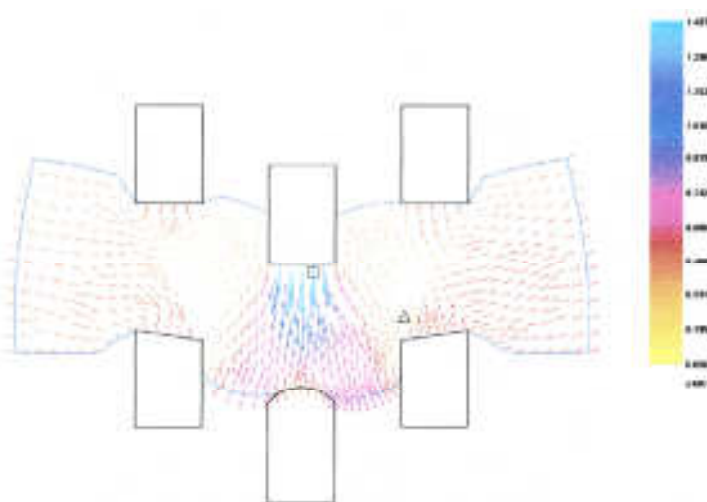


Obr. 29 Příklady vložkování zápustek

2.27 Simulace kování

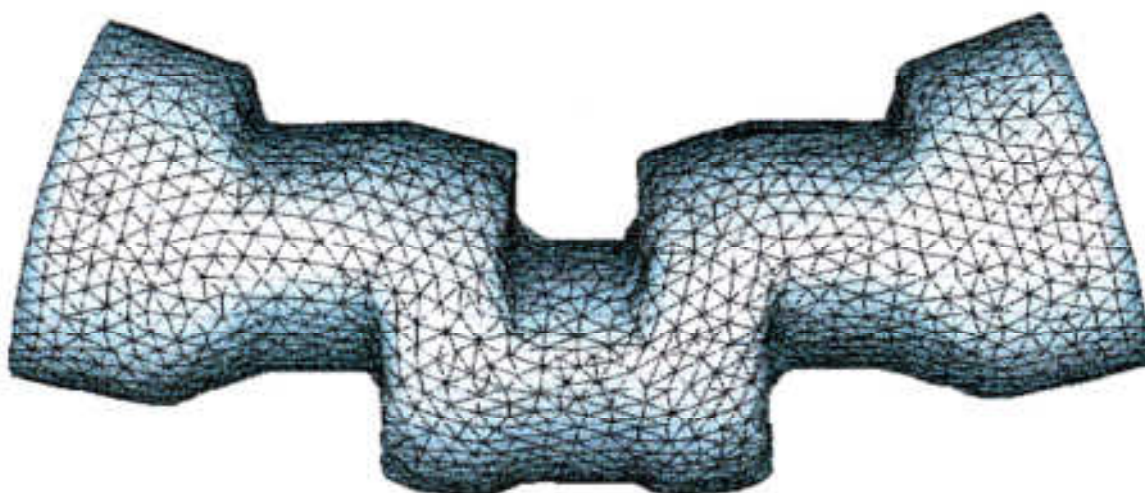
3D simulace tvářecích procesů umožňuje zjistit a analyzovat chování materiálu v jednotlivých krocích. Na základě závěrů z 3D simulace lze proces optimalizovat a vyvarovat se chyb ve výrobě, což znamená snížení velké části nákladů při zavádění výroby nové součásti.

Technologie jednotlivých kroků a přechod mezi nimi během výpočtu je velice komplikovaný. Každá operace závisí na té předešlé a proto je nutno provádět systematickou kontrolu výpočtů a minimalizovat tak rozdíl mezi simulovaným procesem a procesem probíhajícím v realitě.



Obr. 30 Ukázka toku materiálu při použití více druhů kovadel

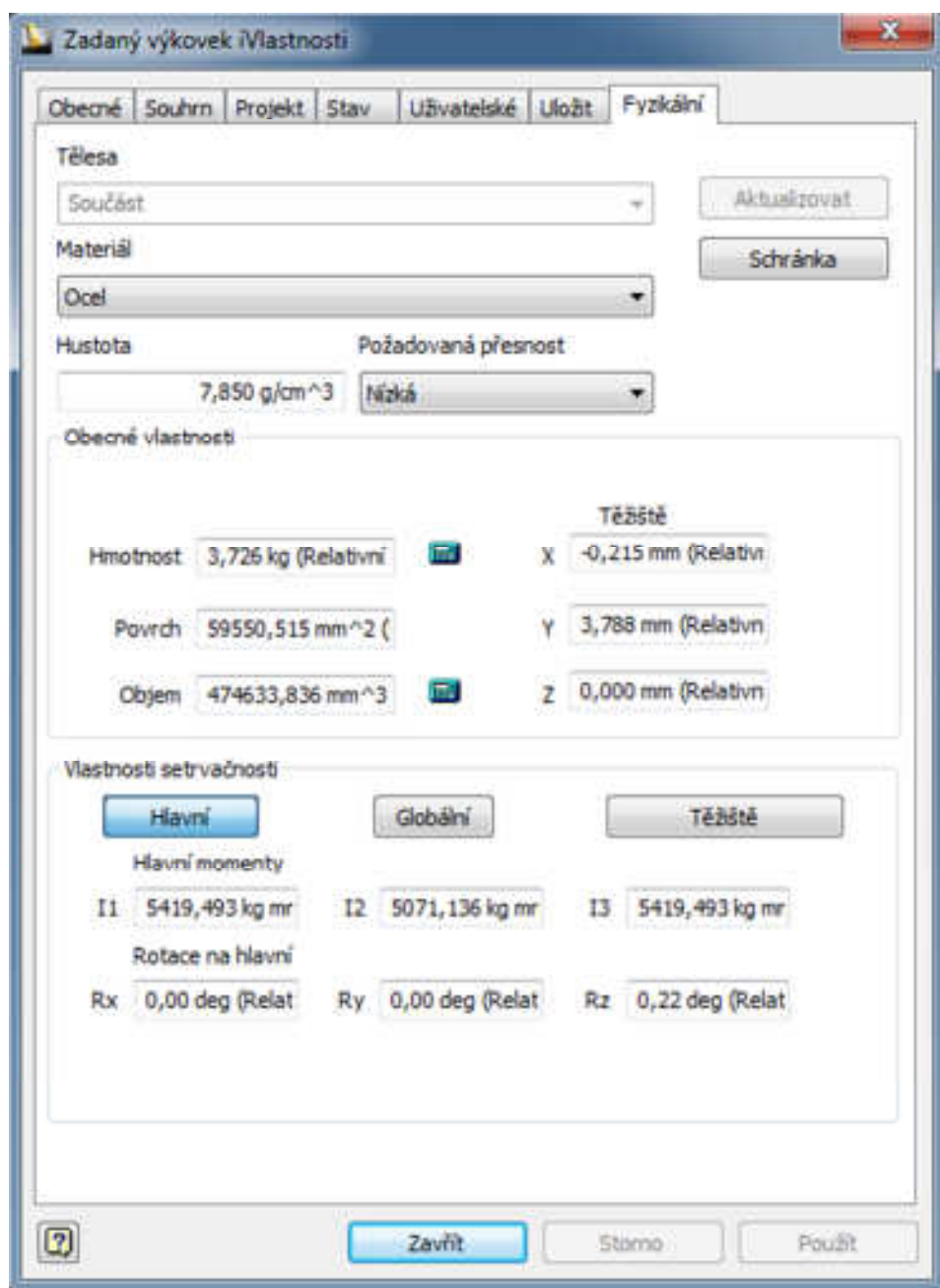
Ukázková simulace kování klikových hřídelů volným kovááním je efektivní metodou z hlediska náročnosti na kovací stroje, přípravky, čas a počet ohřevů v peci. To se používá především při výrobě předkovků. Během simulace byla provedena řada návrhů technologie kování s odlišnými druhy kovadel (viz Obr. 30). Výsledky jednotlivých operací byly porovnány na výsledném výkovku (viz Obr. 31).



Obr. 31 výsledný výkovek

3 STÁVAJÍCÍ MOŽNOSTI VÝROBY [2][5][15]

Objem, hmotnost, povrch a další fyzikální parametry hotového výkovku jsou vypočítány programem Autodesk Inventor 2012 (viz Obr. 32).



Obr. 32 Fyzikální parametry hotového výkovku

Soustružení

Vzhledem ke geometrii zadaného výkovku volím polotovar kruhové tyče Ø125 x 115 mm. Pro objem polotovaru platí:

$$V_{ps} = \frac{\pi \cdot d_{ps}^2}{4} \cdot v_{ps} = \frac{3,14 \cdot 125^2}{4} \cdot 115 = 1411262,325 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.1)$$

kde: V_{ps} [mm³] je objem polotovaru pro soustružení
 d_{ps} [mm] je průměr polotovaru pro soustružení
 v_{ps} [mm] je výška polotovaru pro soustružení.

Zbytkový materiál:

$$V_{zps} = V_{ps} - V_v = 1411262,325 - 474633,836 = 936628,489 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.2)$$

kde: V_{zps} [mm³] je zbytkový materiál z polotovaru pro soustružení

V_v [mm³] je objem hotové součásti.

Procentuální vyjádření:

$$P_z = \frac{V_{zps}}{V_{ps}} \cdot 100 = \frac{936628,489}{1411262,325} \cdot 100 = 66,4 \text{ [%]} \quad (3.3)$$

kde: P_z [%] je procentuální vyjádření zbytkového materiálu pro soustružení.

Soustružení je třískové obrábění, které poškozuje vnitřní strukturu materiálu a tím snižuje jeho vlastnosti. Úkosity na všech rotačních plochách zadané součásti znemožňují dobré upnutí do hlavy soustruhu. Hlavním důvodem pro vyloučení výroby touto cestou je příliš velká neekonomičnost výroby. Ze zakoupeného polotovaru je 66,4% nevyužitých.

Slévárnství

Zadaná součást nemá žádné velké překážky, které by znemožňovaly výrobu litím. Nemá složité výstupky nebo žebra, které by znemožnily zatékání taveniny. Nízko a středně legovaný materiál 14 220 je vhodný pro odlitky. Výroba by byla problematictější, protože z hlediska úspory materiálu by se díra v součásti odlévala celá a bylo by nutné použití jader. Odlitý materiál nesplňuje požadovanou strukturu, součást musí být prokovaná, proto výroba litím nepřipadá v úvahu.

Zápustkové kování

Zápustkové kování je beztřískové tváření. Nenarušuje vnitřní strukturu materiálu, naopak zvyšuje houževnatost a zajistí požadované prokování materiálu. Materiál 14 220 je vhodný pro technologický proces zápustkového kování. Umožňuje součást vyrobít v požadované přesnosti tvaru a rozměrů. Úkosity na válcových plochách součásti jsou vhodné pro zápustku a umožňují snadné zvolení přímé dělicí roviny bez zalomení. Jedná se o sériovou výrobu. Kovací lis zajistí plně automatizovanou výrobní linku.

4 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY [1][2][5][14]

Technologický postup je zvolen na základě stanovení technologických dat (viz Tab. 8).

Tab. 8 Technologický postup výroby zadané součásti

Číslo	Operace	Stroj
1	Dělení materiálu	Pásová pila BS - 229HV
2	Indukční ohřev na 1050 °C	Indukční ohříváč KSO 250/10-A30
3	Kování	Klikový lis Šmeral LZK 1600
4	Ostřížení	Ostříhovací lis Šmeral LKO 315
5	Tepelné zpracování ke snížení vnitřního pnutí	Žíhací pec bez řízené atmosféry
6	Čištění – otryskání	Tryskač ATS
7	Kontrola kvality	

4.1 Dělení materiálu

Pro dělení zvoleného polotovaru kruhové tyče $\varnothing 70\text{--}3000$ [mm] volím pásovou pilu BS-229HV (viz Obr. 33). Pila je dodávána firmou Uni-max. Masivní konstrukce z odlitku zajišťuje dobrou stabilitu stroje. Disponuje velkým prořezem, hydraulicky ovládanou rychlostí přísuvu pásu do řezu. Pilový pás je vybaven chlazením. Sklopné čelisti svěráku zajišťují libovolnou změnu úhlu řezu. Tento stroj je určen pro řezání běžných kovů, které odpovídají stanovené kapacitě. Obsluha a údržba tohoto stroje obsahuje určitá rizika, která si vyžadují kvalifikovanější obsluhu. Potřebné technické parametry jsou uvedeny v tabulce (viz. Tab. 9).

Tab. 9 Technické parametry pily

Motor	400 [V] / 50 [Hz]
Výkon	0,75 [kW]
Rychlost pásu pily	25÷95 [m/min]
Velikost pásu	27x0,9x2655 [mm]
Rozměry pily	1380x460x1050 [mm]
Hmotnost pily	140 [kg]
Hlučnost	max. 80 [dB]



Obr. 33 Pásová pila BS-229HV

4.2 Indukční ohřev

Polotovar bude na kovací teplotu ohříván středofrekvenčním ohříváčem KSO 250/10-A30 (viz Obr. 34). Tento ohříváč je určen pro ohřev přířezů kruhového nebo čtvercového průřezu na kovací teplotu. Jeho součástí je výklopník palet, který vysype paletu do vibračního zásobníku. Z něj pokračují výkovky jeden za druhým po automatizovaném páse přímo do induktoru. V případě zadané součásti není nutné pořizovat kladkový

Tab. 10 Technické parametry ohříváče

Ohříváný materiál		Magnetická ocel
Rozměry přířezů	Průměr	20÷80 [mm]
	Délka	max. 500 [mm]
Max. teplota ohřívání přířezů		1250 [°C]
Max. ohřáté množství		625 [kg/h]
Výkon		250 [kW]
Vstupní napětí		3x340 [V]
Spotřeba chladicí vody		6,5 [m ³ /h]
Příkon		315 [kVA]
Kmitočet		2÷6 [kHz]

vytahovač. Výkovky budou vlivem gravitační síly padat na pevný žlábek. V průběhu ohřevu zajišťuje oddělovací zařízení, aby nedošlo ke vzájemnému slepení kusů. Ohřev výkovků je kontrolován a špatně ohřáté kusy nejsou vpuštěny do lisu. Teplota každého kusu je měřena bezdotykovými snímači teploty. Technické parametry středofrekvenčního ohřívače jsou uvedeny v tabulce (viz Tab. 10).

4.3 Kování

Kování bude probíhat v jedné operaci. Z hlediska požadavků na vyráběnou součást a ekonomičnost výroby je nejvhodnější stroj kovací lis LZK 1600 (viz Obr. 35). Pohyb beranu je ovládán příčně uloženou klikovou hřídelí. Lis je určen pro přesné zápustkové kování a kalibrování výkovků za tepla. Zvláště pak pro zpracování složitých, objemově i mechanicky náročných zápustkových výkovků. Stojan lisu je z lité oceli s mechanismem pro představení a uvolnění beranu. Jeho parametry jsou uvedeny v tabulce (viz Tab. 11).

Tab. 11 Parametry lisu LZK 1600

Jmenovitá tvářecí síla	16 [MN]
Počet zdvihů	85 [min ⁻¹]
Výška zdvihu	280 [mm]
Sevření	760 [mm]
Průchod	1230 [mm]
Pracovní plocha stolu	1180x1120 [mm]
Pracovní plocha beranu	1000x920 [mm]
Výška lisu	5900 [mm]
Šířka lisu	3150 [mm]
Hloubka lisu	2980 [mm]
Hmotnost lisu	85 [tun]

4.4 Ostřížení

Ostřížení výronku bude probíhat za tepla ihned po procesu kování. Ze vzorce (4.9) a (4.10) pro ostříhovací síly vyplývá volba ostříhovacího lisu Šmeral LKO 315 (viz Obr. 36). Jedná se o dvoubodový jednočinný klikový lis, který je určen pro tvářecí práce za tepla, ostříhování výkovků. Je zvláště vhodný pro ostříhování a kalibrování složitých zápustkových výkovků pro automobily, traktory nebo letecký průmysl. Konstrukce lisu je z lité oceli s podélně uloženou klikovou hřídelí a mechanismem pro přestavení beranu. Stroj je vybaven pomocným



Obr. 34 Středofrekvenční ohřívač KSO 250/10-A30



Obr. 35 Klikový kovací lis LZK 216

beranem pro razící operace. Lis je vybaven horním vyhazovačem a elektrickým nožním spouštěčem. Technické parametry ostříhovacího lisu jsou uvedeny v tabulce (viz Tab. 12).



Obr. 36 Ostříhovací lis LKO 315

Tab. 12 Technické parametry
ostříhovacího lisu LKO 315

Jmenovitá síla	3150 [kN]
Sevření	600 [mm]
Průchod	1400 [mm]
Upínací plocha stolu	1380x950 [mm]
Upínací plocha beranu;	1380x950 [mm]
Zdvih	200 [mm]
Počet zdvihů	44 [min ⁻¹]
Výkon	36 [kW]

4.5 Tepelné zpracování a čištění

Na zadaný výkovek nejsou kladeny žádné požadavky na tepelné zpracování, proto pro výrobu plně postačuje žihání ke snížení vnitřního pnutí. Materiál je tepelně namáhán, vzniká v něm vnitřní pnutí, které může způsobit zkřivení geometrie výkovku, zborcení nebo lom součásti. Žihání ke snížení vnitřního pnutí spočívá v pomalém ohřevu na teplotu žihání 450÷650 [°C], výdrži na této teplotě po dobu přibližně 1 hodiny, následným ochlazením v peci na teplotu 200 [°C] a konečným dochlazením na teplotu vzduchu. Žihání probíhá v žihacích pecích vakuových, s řízenou nebo neřízenou atmosférou. Proces žihání ve vakuu zaručuje lesklý povrch součásti. Celý proces je kontrolován termočlánky. Pece s řízenou atmosférou zabraňují procesu okujení a prodlužují životnost materiálu. V případě, že nezáleží na kvalitě povrchu, nebo je součást dále obráběna využívají se žihací pece bez řízené atmosféry.

Po tepelném zpracování je výkovek otryskán v Tryskači ATS (viz Obr. 37). ATS tryskače jsou vhodné pro tryskání výrobků jak při kusové, tak i malosériové výrobě. Lze je tedy zařadit do plně automatizované linky. Jsou určeny pro čištění povrchu součástí v průmyslových provozech.



Obr. 37 Tryskač ATS

5 STANOVENÍ TECHNOLOGICKÝCH DAT [5][8][9][10][12][13][14]

5.1 Materiál výkovku

Ocel 14 220

ČSN 41 4220

EURO 16MnCr5

Jedná se o mangan chromovou ocel k cementování (viz Tab. 13). Ocel je vhodná k objemovému tváření za tepla i za studena (viz Tab. 14). Je dobře obrobitelná a svařitelná. Ocel má velkou pevnost v jádře, např. při výrobě hřídelí, ozubených kol, pístních čepů, zubových spojek, atd.

Tab. 13 Chemické složení oceli 14 220 (hm. %)

Norma	C	Mn	Si	Cr	P	S
Dle ČSN	0,14÷0,19	1,10÷1,40	0,17÷0,37	0,80÷1,10	Max. 0,035	Max 0,035

Tab. 14 Vlastnosti oceli 14 220

Vlastnost	Hodnota
Mez kluzu $R_{p0,2}$	min 590 [MPa]
Mez pevnosti R_m	min. 785 [MPa]
Tvrdost HB	min. 152 [HB]
Modul pružnosti v tahu E	206 [GPa]
Modul pružnosti ve smyku G	79 [GPa]
Kování	800÷1250 [°C]
Normalizační žíhání	880÷920 [°C]
Žíhání na měkko	680÷720 [°C]
Cementování	840÷870 [°C]
Kalení	810÷840 [°C]
Popouštění	150÷200 [°C]

5.2 Zařazení výkovku podle třídy

Podle své geometrie je výkovek zařazen do tříd (viz Tab. 15), jeho označení tedy je:

7960-3

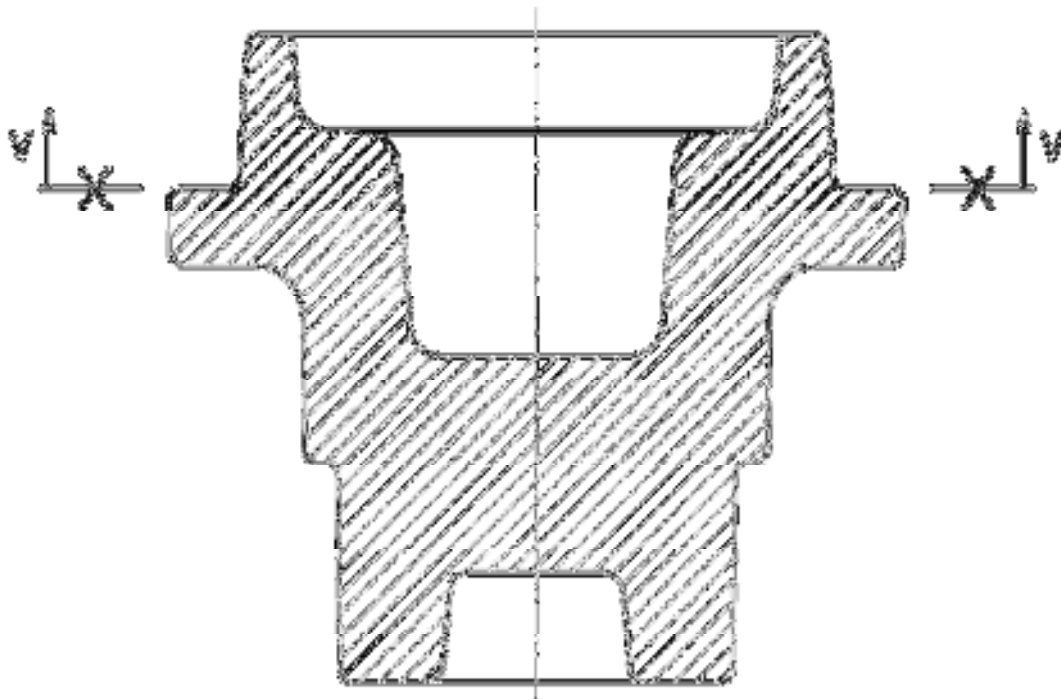
Tab. 15 Zařazení výkovku do tříd

Tvarový druh	7	Výkovky kombinovaných tvarů plné i duté
Tvarová třída	9	Výkovky jednostranně osazené
Tvarová skupina	6	Výkovky krátké
Tvarová podskupina	0	Výkovky bez přesahu
Technologické hledisko	3	Výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu souměrné

Výkovek nemá žádné složité výstupky nebo žebra. Nevyžaduje tedy velkých rázů, kterých je schopený buchar. Proto jako typ stroje volím klikový svislý lis. Všechny výpočty budou přizpůsobeny tomuto typu stroje. Zadaný výkovek je opatřen všemi přídávky a zaobleními podle normy ČSN 42 9030, proto není nutno žádné přidávat.

5.3 Volba dělicí roviny

Dělicí rovina je volena s ohledem na úkosy zadaného výkovku (viz Obr. 38). Podle úhlů úkosů by nebylo možné dělicí rovinu umístit do jiného místa výkovku, tak aby neznemožňovala vyjmutí výkovku z dutin horní i dolní zápustky.



Obr. 38 Volba dělicí roviny výkovku

5.4 Návrh polotovaru

Pokud nebude splněn štíhlostní poměr $\lambda=(1,5\div2,8)$, může polotovár při začátku pýchování vybočit do strany. Pro zadanou součást volím $\lambda=2$.

Výpočet průměru polotovaru

$$D_0 = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_c}{\lambda}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{537760,136}{2}} = 69,700 \text{ [mm]} \quad (5.1)$$

kde: D_0 [mm] je průměr polotovaru
 λ [-] je štíhlostní poměr
 V_c [mm³] je celkový objem výkovku.

Výpočet délky polotovaru

$$L_0 = \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot D_0^2} = \frac{4 \cdot 537760,136}{\pi \cdot 70^2} = 139,734 \text{ [mm]} \quad (5.2)$$

kde: L_0 je délka polotovaru.

Po zaokrouhlení a přidání 2 mm na dělení materiálu volím polotovár o rozměrech $\varnothing 70$ -142 [mm] ČSN 42 0220. Kruhové tyče válcované za studena jsou dodávány firmou Feron.

Kontrola štíhlostního poměru

$$\lambda = \frac{L_0}{D_0} = \frac{140}{70} = 2 \text{ [-]} = (1,5 \div 2,8) \text{ [-]}. \quad (5.3)$$

Zvolený polotovár splňuje podmínku štíhlostního poměru. Při počátečním pýchování nebude docházet k vybočení materiálu do strany.

5.5 Výpočty objemu

Výkovek bude na kovací teplotu ohříván indukčním ohřevem, proto je opal 1,3% objemu výkovku.

$$V_{op} = V_v \cdot 0,013 = 474633,836 \cdot 0,013 = 6170,240 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.4)$$

kde: V_{op} je objem materiálu na opal

V_v je objem hotového výkovku.

Objem materiálu na výronek je 10÷15% objemu výkovku. Pro zadanou součást volím 12%.

$$V_{výr} = V_v \cdot 0,12 = 474633,836 \cdot 0,12 = 56956,060 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.5)$$

kde: $V_{výr}$ je objem materiálu potřebný na výronkovou drážku.

Celkový objem výkovku

$$V_c = V_v + V_{výr} + V_{op} = 474633,836 + 56956,060 + 6170,240 = 537760,136 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.6)$$

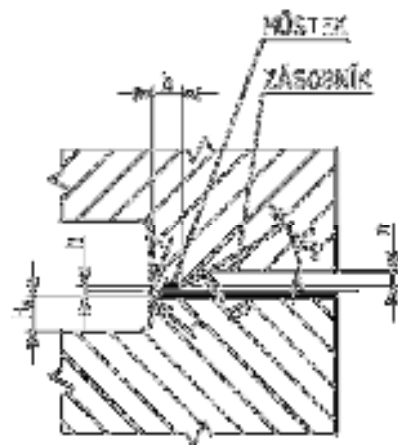
kde: V_c [mm³] je celkový objem výkovku.

5.6 Návrh výronkové drážky a střížné síly

Pro svislý kovací lis se používá otevřená výronková drážka (viz Obr. 39). Rozměry výronkové drážky jsou určeny podle síly lisu (viz Tab. 16). Čím větší je potřebný tlak na kování, tím musí být menší výška výronku „h“ a širší můstek „b“. Pro jmenovitou sílu listu volím $h_{výr} = 2,5$ [mm], $b_{výr} = 6$ [mm] a $r_{výr} = 2$ [mm].

Tab. 16 Parametry výronkové drážky

Síla lisu [MN]	$h_{výr}$ [mm]	$b_{výr}$ [mm]	$b_{zvýr}$ [mm]	$r_{výr}$ [mm]
2	1÷1,5	3÷5	25	1÷1,5
6,3	1÷2	3÷7	25	
10	1,5÷2,5	4÷7,5	30	
16	2÷3	5÷8	32	1,5÷2,5
25	2,5÷4	6÷10	38	
31,5	2,5÷4,5	6÷11	40	2÷3
40	3,5÷5,5	7÷12	42	
63	4,5÷8	9÷15	50	2÷5



Obr. 39 Otevřená výronková drážka

Výpočet síly pro ostřížení výronku

$$F_{ov} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot o_{výr} \cdot \sigma_s \cdot h_{výr} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot \pi \cdot 123,1 \cdot 90 \cdot 2 \cdot 2,5 = 236,679 \text{ [kN]} \quad (5.7)$$

kde: $o_{výr}$ [mm] je obvod výronku

σ_s [MPa] je mez pevnosti materiálu pro danou teplotu

$h_{výr}$ [mm] je výška můstku výronkové drážky.

Výpočet síly pro ostřížení blány

$$F_{ob} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot o_b \cdot \sigma_s \cdot h_b = 1,7 \cdot 0,8 \cdot \pi \cdot 29 \cdot 90 \cdot 2 \cdot 36,5 = 814,052 \text{ [kN]} \quad (5.8)$$

kde: o_b [mm] je obvod blány

σ_s [MPa] je mez pevnosti materiálu pro danou teplotu

h_b [mm] je výška blány.

Pro zkrácení výrobního času bude ostřížení výronku a blány probíhat v jedné operaci. Výsledná síla bude tedy součet síly potřebné na ostřížení výronku a síly potřebné na ostřížení blány.

Výsledná ostříhovací síla

$$F_o = F_{ov} + F_{ob} = 236,679 + 814,052 = 1050,731 \text{ [kN]} \quad (5.9)$$

kde: F_o [kN] je výsledná ostříhovací síla.

5.7 Výpočet kovací síly výkovku

Koeficient šířky plochy průmětu výkovku

$$s = 0,1725 \cdot G_0^{0,16} \cdot D_v^{0,5} = 0,1725 \cdot 3,726^{0,16} \cdot 123,1^{0,5} = 2,362 \text{ [mm]} \quad (5.10)$$

kde: G_0 [kg] je hmotnost výkovku

D_v [mm] je největší průměr výkovku.

Šířka plochy průmětu výkovku

$$b = (3 \div 5)s = 4 \cdot s = 4 \cdot 2,362 = 9,448 \text{ [mm]}. \quad (5.11)$$

Plocha průmětu výkovku

$$S_c = \frac{\pi}{4} \cdot (D_v + 2b)^2 = \frac{\pi}{4} \cdot (123,1 + 2 \cdot 9,448)^2 = 15835,876 \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (5.12)$$

Pro výpočet přesné kovací síly je zvolen koeficient vlivu tvarové složitosti $K_{ts} = 1,17$ [-] (viz Tab. 17) a hodnota přetvárné pevnosti $k_p = 121$ [-] (viz Tab. 18) zvolena pro teplotu kování 1050 °C.

Tab. 17 Koeficient vlivu tvarové složitosti

Stupeň	Tvar výkovku	K_{ts} [-]
I.	Jednoduché kompaktní součásti	1
II.	Kompaktní, málo členité součásti	1,08
III.	Součásti s vysokým stupněm deformace	1,17
IV.	Rozvidlené součásti	1,25
V.	Součásti s malými toušťkami a přechody	1,33
VI.	Součásti s extrémně malou tloušťkou průřezu	1,42

Tab. 18 Hodnoty přetvárné pevnosti

Materiál dle ČSN	Kovací teplota [°C]						
	900	950	1000	1050	1100	1150	1200
12 050	149	128	108	91	80	71	68
12 060	148	118	102	90	82	73	67
13 240	196	171	150	130	102	96	80
14 100	165	132	111	99	91	85	
14 220	184	159	139	121	106	91	76

Přesná kovací síla

$$F_k = 0,6 \cdot S_c \cdot k_p \cdot K_{ts} = 0,6 \cdot 15835,876 \cdot 121 \cdot 1,17 = 13,451 \text{ [MN]}. \quad (5.13)$$

5.8 Výpočet kovací síly podle normy ČSN 22 8306

Pro výpočet kovací síly podle normy ČSN je nutno vypočítat napětí ve všech odlišných průřezích (viz Obr. 40). Kovací teplotu, hmotnost polotovaru a druh materiálu už známe. Zbývá určit pevnost oceli za kovací teploty $R_{mT} = 41 \text{ [MPa]}$ (viz Tab. 19) a součinitel snížení plasticity materiálu $C_0 = 4 \text{ [-]}$ daný normou ČSN 22 8306.

Tab. 19 Pevnost oceli za kovací teploty

Oceli třídy 14			$R_{mT} \text{ [MPa]}$					
Jakost	Tvářecí teplota kování [°C]	Střední deformační rychlost [v/s]	Teplota tváření [°C]					
			800	900	950	1000	1100	1200
14 109	1050÷800	0,02	128	82	65	52	34	23
14 120	1250÷800		87	80	69	55	38,5	26,5
14 220	1250÷800		126	86	70	59	40	27
14 260	1100÷800		140	84	70	58	41	27
14 331	1150÷800		145	91	73	60	42	28
14 340	1100÷800		140	98	81	67	47	32

Výpočet napětí v jednotlivých průřezích (viz Tab. 20)

$$\sigma_0 = 1,285 \cdot R_{mT} \cdot C_0 = 1,285 \cdot 41 \cdot 4 = 210,740 \text{ [MPa]} \quad (5.14)$$

kde: $\sigma_0 \text{ [MPa]}$ je napětí v můstku výronkové drážky

$R_{mT} \text{ [MPa]}$ je pevnosti oceli za kovací teploty

$C_0 \text{ [-]}$ je součinitel snížení plasticity materiálu.

$$\text{I. } \sigma_I = \sigma_0 + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_I}{h_I} = 210,740 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{12}{13} = 362,125 \text{ [MPa]} \quad (5.15)$$

$$\text{II. } \sigma_{II} = \sigma_I + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{II}}{h_{II}} = 362,125 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{14}{39} = 420,996 \text{ [MPa]} \quad (5.16)$$

$$\text{III. } \sigma_{III} = \sigma_{II} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{III}}{h_{III}} = 420,996 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{28,5}{93} = 471,254 \text{ [MPa]} \quad (5.17)$$

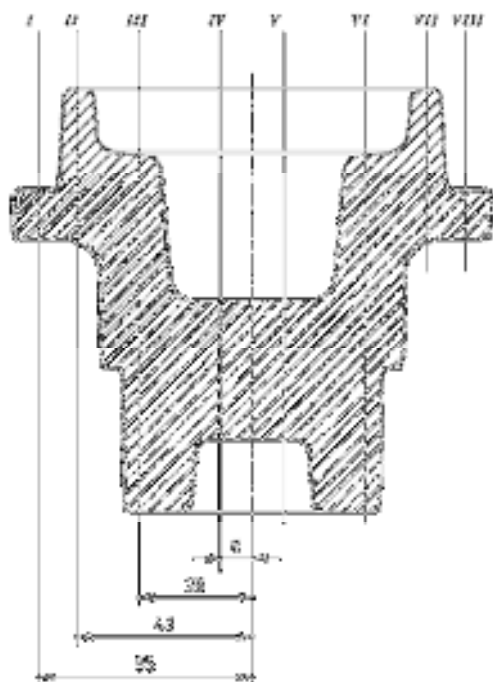
$$\text{IV. } \sigma_{IV} = \sigma_{III} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{IV}}{h_{IV}} = 471,254 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{16}{36,5} = 543,144 \text{ [MPa]} \quad (5.18)$$

$$\text{V. } \sigma_V = \sigma_{IV} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_V}{h_V} = 543,144 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{16}{36,5} = 615,035 \text{ [MPa]} \quad (5.19)$$

$$\text{VI. } \sigma_{VI} = \sigma_V + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{VI}}{h_{VI}} = 615,035 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{28,5}{93} = 665,293 \text{ [MPa]} \quad (5.20)$$

$$\text{VII. } \sigma_{VII} = \sigma_{VI} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{VII}}{h_{VII}} = 665,293 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{14}{39} = 724,165 \text{ [MPa]} \quad (5.21)$$

$$\text{VIII. } \sigma_{VIII} = \sigma_{VII} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{VIII}}{h_{VIII}} = 724,165 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{12}{13} = 875,550 \text{ [MPa]} \quad (5.22)$$



Tab. 20 Napětí v jednotlivých průřezech

Plocha	$\sigma \cdot b$ [MPa]	x_i [mm]	$\sigma \cdot x_i$
I	362,125*12	55	239002,500
II	420,996*14	45	265277,480
III	471,254*28,5	29	389491,431
IV	543,144*16	8	69522,432
V	615,035*16	8	78724,48
VI	665,293*28,5	29	549864,665
VII	724,165*14	45	456223,950
VIII	875,550*12	55	577863,000
Σ			2625919,938

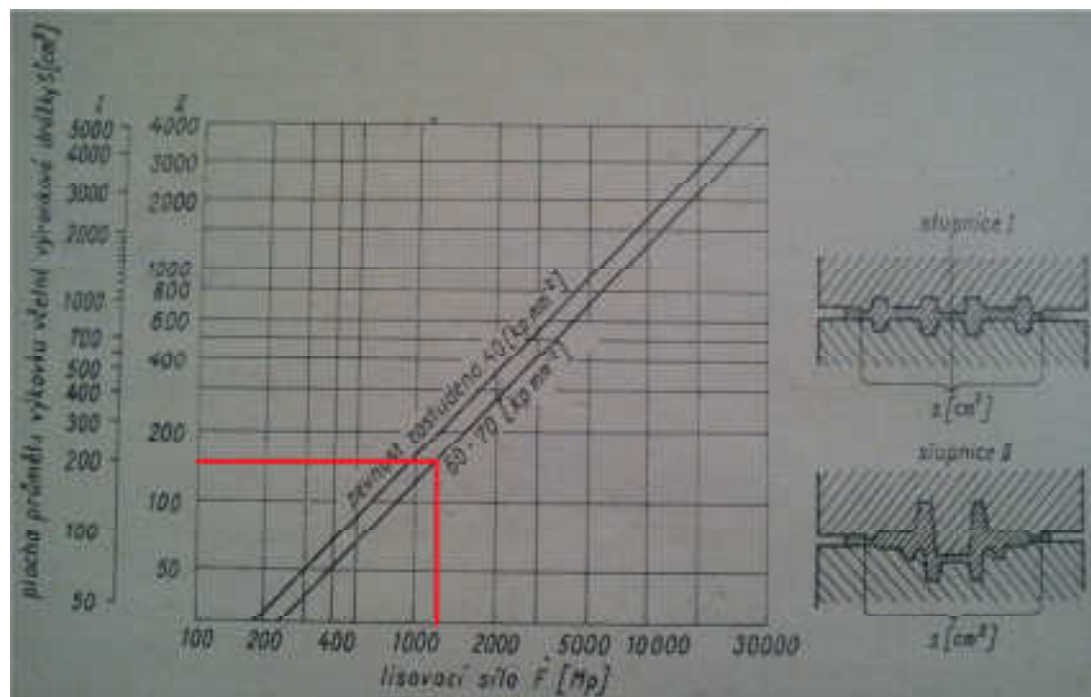
Obr. 40 Průřezy, ve kterých je počítáno napětí

Kovací síla

$$F_{kn} = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{I}^{VIII} (\sigma_i \cdot x_i) = 2 \cdot \pi \cdot 2625919,938 = 16,490 \text{ [MN]} \quad (5.23)$$

kde: x [mm] je vzdálenost od nulového bodu.

5.9 Kontrola kovací síly podle nomogramu



Obr. 41 Nomogram pro určení kovací síly EMUCO

Kovací síla vychází 13,451 MN a podle normy ČSN 16,490 MN. Kontrola v nomogramu kovací síly EMUCO (viz. Obr. 41) prokázala, že použití lisu o jmenovité kovací síle 16 MN bude dostačující. Výpočet podle normy ČSN také počítá s určitou rezervou. Hodnota R_{mT} a konečná volba stroje byla provedena na základě zkušeností vedoucího bakalářské práce.

5.10 Rozměry zápustky

Horní i dolní polovina zápustky jsou kruhového průřezu, který je určený výpočtem. Materiál zápustky je 19 662 (NiCrMoV).

Průměr kovací zápustky

$$D_z \geq D_v + 0,2 \cdot (D_v + H_{vyt}) + 10 = 123,1 + 0,2 \cdot (123,1 + 13,2) + 10 = 160,360 \quad (5.24)$$

kde: D_z [mm] je minimální průměr kovací zápustky.

Z katalogu firmy ŠMERAL je tento průměr pevně daný. Pro lis LZK 1600 je $D_z = 275$ [mm].

Průměr kolíkového vyhazovače

$$d'_k = d_k - \Delta = 38 - 0,3 = 37,7 \text{ [mm]} \quad (5.25)$$

kde: d'_k [mm] je jmenovitý průměr vyhazovače

d_k [mm] je průměr díry pro vyhazovač

Δ [mm] je vůle ve vedení vyhazovače.

Všechny rozměry zápustky, vyhazovače a výkovku jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci (viz. Příloha 1÷7).

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [12][13][14]

Zadané a zvolené parametry:

Sériovost $N = 180000$ [ks/rok]

Polotovar $\varnothing 70$ -142 [mm]

Hutní materiál kruhová tyč $\varnothing 70$ -3000 [mm] ČSN 42 5510

Počet kusů z 1 tyče

$$n_k = \frac{l_t}{l_p} = \frac{3000}{142} = 21,126 \Rightarrow 21 \text{ [ks]} \quad (6.1)$$

kde: n_k [ks] je počet kusů z 1 tyče

l_t [mm] je délka tyče

l_p [mm] je délka polotovaru.

Počet tyčí za rok

$$n_r = \frac{N}{n_k} = \frac{180000}{21} = 8571,429 \Rightarrow 8572 \text{ [ks/rok]} \quad (6.2)$$

kde: n_r [ks/rok] počet tyčí za 1 rok

N [ks/rok] počet polotovarů za 1 rok.

Hmotnost polotovaru

$$m_p = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot l_p \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,07^2}{4} \cdot 0,142 \cdot 7850 = 4,299 \text{ [kg]} \quad (6.3)$$

kde: m_p [kg] je hmotnost polotovaru

d_p [mm] je průměr polotovaru

ρ [kg/m³] je hustota materiálu.

Hmotnost tyče

$$m_t = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot l_t \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,07^2}{4} \cdot 3 \cdot 7850 = 90,585 \text{ [kg]} \quad (6.4)$$

kde: m_t [kg] je hmotnost tyče.

Hmotnost tyčí za 1 rok

$$m_r = m_t \cdot n_r = 90,585 \cdot 8572 = 776494,620 \text{ [kg/rok]} \quad (6.5)$$

kde: m_r [kg] je hmotnost tyčí za 1 rok.

Délka nevyužitého zbytku tyče

$$l_z = l_t - (l_p \cdot n_k) = 3000 - (142 \cdot 21) = 18 \text{ [mm]} \quad (6.6)$$

kde: l_z [mm] je délka nevyužitého zbytku tyče.

Hmotnost nevyužitého zbytku tyče

$$m_z = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot l_z \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,07^2}{4} \cdot 0,018 \cdot 7850 = 0,544 \text{ [kg]} \quad (6.7)$$

kde: m_z [kg] je hmotnost nevyužitého zbytku tyče.

Hmotnost zbytku připadající na 1 kus

$$m_{z1} = \frac{m_z}{n_k} = \frac{0,544}{21} = 0,026 \text{ [kg/ks]} \quad (6.8)$$

kde: m_{z1} [kg] je hmotnost zbytku připadající na 1 kus.

Norma spotřeby materiálu

$$N_{sm}=m_p+m_{z1}=4,299+0,026=4,325 \text{ [kg]} \quad (6.9)$$

kde: N_{sm} [kg] je norma spotřeby materiálu.

Stupeň využití materiálu

$$k_m = \frac{G_0}{N_{sm}} = \frac{3,726}{4,325} = 0,86 \text{ [-]} \quad (6.10)$$

kde: k_m [-] je stupeň využití materiálu

G_0 [kg] je hmotnost hotového výrobku.

Cena za 1 kg kruhové válcované tyče $\varnothing 70$ [mm] je uvedena z ceníku firmy Vlastro s.r.o.

Cena materiálu na 1 kus

$$C_{ks}=m_p \cdot C_{kg}=4,299 \cdot 28,5=122,5 \text{ [Kč]} \quad (6.11)$$

kde: C_{ks} [Kč] je cena materiálu za 1 kus

C_{kg} [Kč/kg] je cena materiálu za kilogram.

Cena jedné tyče

$$C_t=m_t \cdot C_{kg}=90,585 \cdot 28,5 = 2581,673 \Rightarrow 2582 \text{ [Kč]} \quad (6.12)$$

kde: C_t [Kč] je cena 1 tyče.

Cena materiálu za rok

$$C_r=n_r \cdot C_t=8572 \cdot 2582= 22132904 \text{ [Kč]} \quad (6.13)$$

kde: C_r [Kč] je cena materiálu za 1 rok.

Náklady na výrobu

Náklady na výrobu jsou pouze orientační (viz. Tab. 21). U každé firmy jsou individuální.

Tab. 21 Náklady na jednotlivé operace

Proces	Stroj	Náklady na hodinu [Kč]	Čas na seřízení [min]	Čas 1 operace [min]	Náklady na seřízení [Kč]	Náklady na operaci [Kč]
Dělení	BS-229HV	700	15	1	175	7
Ohřev	KSO 250/10- A30	1000	60	5	1000	50
Kování	ŠMERAL LZK 1600	1500	60	0,4	1500	10
Ostřížení	ŠMERAL LKO 315	1000	60	0,4	100	6,7
Otryskání	Tryskač ATS	300	10	1,5	50	7,5
Celkem		4500	205	8,3	3725	81,2

Celkové náklady na výrobu jednoho kusu jsou 81,2 [Kč]. S připočítanou cenou materiálu jsou náklady na 1 kus 204 [Kč]. Výroba zadané součásti zápuštkovým kovááním je ekonomická a splňuje všechny požadavky na kvalitu její výroby.

7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo určit způsob výroby opěry tvářením. Literární rešerše se zabývá druhy kování a možnostmi jejich uplatnění. Konkrétněji zápustkovým kovááním, které je neoptimálnějším řešením pro zadanou součást. Při obrábění vzniká velké množství přebytečného materiálu a výroba je tak velice neekonomická. Při výrobě litím nedosáhneme požadované vnitřní struktury materiálu.

Produktem technologického procesu kování je výkovek. Ten však nezaručuje dokonalou přesnost a drsnost povrchu, proto je prvním krokem při výrobě stanovení přídavek na obrábění, technologických přídavek, zaoblení a úkosů. Poté je výkovek podle své geometrie zařazen do tříd, které mají velký vliv na volbu dalších kritérií výroby. Zápustkové kováání je možné realizovat na bucharech nebo kovacích lisech. Výběr vhodného kovacího stroje určuje geometrie a požadovaná kvalita výkovku. Od této volby se pak odvíjí konstrukce zápustek, volba dělicí roviny, využití vyhazovačů a typ výronkové drážky. Po výpočtu kovací síly určíme sílu, která je potřebná na ostřížení výronku a blan. To může být provedeno za tepla i za studena. Výkovek je po dobu kování tepelně namáhán, proto je nutné počítat se mrštěním po zchladnutí výkovku, opalem a vznikem vnitřního napětí. To může mít za následek zkřivení výkovku nebo vznik trhlin. Zamezuje se mu žíháním ke snížení vnitřního pnutí. Po dokončení celého procesu kování a tepelného zpracování je výkovek otryskán a tím zbaven veškerých nečistot zbylých na povrchu. Většina výkovků je dále zpracovávána, např. obráběním.

Při automatizaci celého procesu se stává kováání velice výhodnou metodou výroby součástí. Vývoj nových materiálů a maziv prodlužuje životnost zápustek i strojů. Jedná se o beztržkové obrábění, které je velice výhodné při úspoře hutního materiálu a zkvalitnění struktury součástí.

Pro technologický postup zadaného výkovku doporučuji zkušební provoz a v případě nutnosti použití i horního vyhazovače.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DVOŘÁK, Milan. *TECHNOLOGIE II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. ISBN 80-214-2683-7. 238 s.
- [2] LIDMILA, Zdeněk a Emil SVOBODA. *Strojírenská Technologie*. Brno: Fakulta vojenských technologií, 2006. ISBN 978-80-7231-220-7. 250 s.
- [3] FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. ISBN 80-214-2764-7. 167 s.
- [4] LENFELD, Petr. *Technologie: Tváření kovů, Tváření plastů*. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/uvod.htm
- [5] SPIŠÁK, Emil a Miroslav TOMÁŠ. *Teória konvenčných technológií*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2009. Edícia študijnej literatury. ISBN 978--80-553-0201-0.
- [6] SprutCAM [online]: *Metody obrábění*. Dostupné z: <http://www.sprutcam.cz/metody-obrabeni/soustruzeni>
- [7] FROLEC, Ivo. *Kovářství*. Praha: Grada Publishing a.s., 2003. ISBN 80-247-0611-3. 156 s.
- [8] HRUBÝ, Jiří, Stanislav RUSZ a Radek ČADA. *Strojírenské tváření*. Ostrava: Technická univerzita Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1218-5. 152 s.
- [9] LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření II*. Brno: Fakulta vojenských technologií, 2008. ISBN 978-80-7231-580-2. 113 s.
- [10] ČERMÁK, Jan. *Podklady pro projekt 2: část kování*. Odbor tváření, slévání a svařování. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/PRO2/kov_kapacitni_vypocty.pdf
- [11] KOUTSKÝ, Jaroslav a Dušan KEŠNER. *Simulace technologického postupu kování hřídelí*. Západočeská univerzita. Plzeň. Dostupné z: http://www.metal2012.com/files/proceedings/metal_01/papers/122.pdf
- [12] Fakulta strojního inženýrství. odbor tváření. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/databaze_modelu_soubory/ocel_14220.pdf
- [13] FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Brno: CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7. 167 s.
- [14] FISCHER, Ulrich. *Základy strojnictví*. 4. vydání. Praha: Europa-Sobotáles, 2004. ISBN 80-86706-09-5. 296 s.
- [15] SOBEK, Evžen. *Základy konstruování: návody pro konstrukční cvičení*. Brno: CERM, 2004. ISBN 80-7204-331-5. 111 s.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
B	Šířka výkovku	[mm]
b	Šířka plochy průmětu výkovku	[mm]
b_{I-VIII}	Šířka v jednotlivých průřezích výkovku	[mm]
$b_{výr}$	Šířka můstku výronkové drážky	[mm]
$b_{zvýr}$	Šířka výronkové drážky	[mm]
C_0	Součinitel snížení plasticity materiálu	[-]
C_{kg}	Cena materiálu za kilogram	[Kč/kg]
C_{ks}	Cena materiálu za 1 kus	[Kč]
C_r	Cena materiálu za 1 rok	[Kč/rok]
C_t	Cena tyče	[Kč]
D	Průměr výkovku	[mm]
d'_k	Jmenovitý průměr vyhazovače	[mm]
d_b	Průměr blány	[mm]
d_{ip}	Průměr ideálního předkovku	[mm]
d_k	Průměr díry pro vyhazovač	[mm]
d_p	Průměr polotovaru	[mm]
d_{ps}	Průměr polotovaru pro soustružení	[mm]
d_{pt}	Průměr trnu vyhazovače	[mm]
D_{pt}	Průměr osazení trnu vyhazovače	[mm]
D_v	Průměr výkovku	[mm]
D_z	Vnější průměr zápustky	[mm]
F_j	Jmenovitá síla kovacího stroje	[MN]
F_k	Kovací síla	[MN]
F_o	Celková síla ostřížení	[kN]
F_{ob}	Síla pro ostřížení blány	[kN]
F_{ov}	Síla pro ostřížení výronku	[kN]
G_0	Hmotnost hotového výkovku	[kg]
H	Výška výkovku	[mm]
h_b	Vzdálenost od okraje díry	[mm]
h_{I-VIII}	Výška v jednotlivých průřezích výkovku	[mm]
h_{ip}	Výška průřezového obrazce	[mm]
$h_{výr}$	Výška můstku výronkové drážky	[mm]
$H_{výr}$	Výška ode dna dolní zápustky k můstku	[mm]
k_m	Stupeň využití materiálu	[-]
k_p	Hodnota přetvárné pevnosti	[-]
K_{ts}	Koeficient vlivu tvarové složitosti	[-]
L	Délka výkovku	[mm]
l_p	Délka polotovaru	[mm]
l_t	Délka tyče	[mm]
l_z	Délka nevyužitého zbytku tyče	[mm]
m	Šířka průřezového obrazce	[mm]
m_p	Hmotnost polotovaru	[kg]
m_r	Hmotnost tyčí za 1 rok	[kg/rok]
m_t	Hmotnost tyče	[kg]
m_z	Hmotnost nevyužitého zbytku tyče	[kg]
m_{z1}	Hmotnost nevyužitého zbytku tyče připadající na 1 kus	[kg]
N	Sériovost	[ks/rok]
n_k	Počet kusů z jedné tyče	[ks]
n_r	Počet tyčí za 1 rok	[ks/rok]

N_{sm}	Norma spotřeby materiálu	[kg]
$o_{výr}$	Obvod výronku	[mm]
P_z	Procentuální vyjádření zbytkového materiálu pro soustružení	[%]
r	Poloměr zaoblení zápustky vnější hrany	[mm]
R	Poloměr zaoblení zápustky vnitřní hrany	[mm]
R_m	Pevnost kovaného materiálu	[MPa]
R_{mT}	Pevnost oceli za kovací teploty	[MPa]
s	Koeficient šířky plochy průmětu výkovku	[mm]
s_b	Šířka blány	[mm]
S_c	Plocha průmětu výkovku	[mm ²]
S_{ip}	Plocha průřezu výkovku	[mm]
V_c	Celkový objem výkovku	[mm ³]
V_{op}	Objem materiálu na opal	[mm ³]
V_{ps}	Objem polotovaru pro soustružení	[mm ³]
v_{ps}	Výška polotovaru pro soustružení	[mm]
V_v	Objem zadaného výkovku	[mm ³]
$V_{výr}$	Objem materiálu na výronek	[mm ³]
V_{zps}	Objem zbytkového materiálu z polotovaru pro soustružení	[mm ³]
Δ	Vůle ve vedení vyhazovače	[mm]
λ	Štíhlostní poměr	[-]
ρ	Hustota oceli	[kg/m ³]
$\sigma_{0÷VIII}$	Napětí v jednotlivých průřezích	[MPa]
σ_s	Mez pevnosti ve stříhu	[MPa]

SEZNAM PŘÍLOH

Číslo	Název	Číslo výkresu
Příloha 1	Studený výkovek	2012-BP-CAHA-01
Příloha 2	Teplý výkovek	2012-BP-CAHA-02
Příloha 3	Technologický postup	2012-BP-CAHA-03
Příloha 4	Sestava zápustek	2012-BP-CAHA-04
Příloha 5	Horní zápustka	2012-BP-CAHA-05
Příloha 6	Dolní zápustka	2012-BP-CAHA-06
Příloha 7	Vyhazovač	2012-BP-CAHA-07



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

VÝROBA OPĚRY TVÁŘENÍM PRODUCTION OF SUPPORT BY FORMING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ CAHA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. MILOSLAV KOPŘIVA

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Čaha

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:

Výroba opěry tvářením

v anglickém jazyce:

Production of support by forming

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě vypracované rešerše v daném oboru stanovit vhodnou technologii pro výrobu zadané součásti.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Literární rešerše problému
- 2) Stávající možnosti výroby
- 3) Návrh technologie výroby zadané součásti
- 4) Stanovení veškerých technologických dat a vypracování
- 5) Ekonomické zhodnocení
- 6) Závěr a návrh případných opatření

Seznam odborné literatury:

1. ELFMARK, J., et al. Tváření kovů. 1. vyd. Praha: SNTL Praha, 1992. 524 s. Technický průvodce; sv. 62. ISBN 80-03-00651-1.
2. NOVOTNÝ, K. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno : Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 str. Edit. VUT Brno. ISBN 80-214-0401-9
3. HAŠEK, V. Kování. 3. vyd. Praha : SNTL Praha, 1997. 732 str. ISBN 04-233-65.
4. DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K. Technologie tváření : plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno : CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
5. FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno : CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miloslav Kopřiva

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 18.11.2010




prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

CAHA Tomáš: Výroba opěry tvářením.

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia oboru B-STG předkládá návrh technologie výroby výkovku – dílce z tyče kruhového průřezu válcované za studena 14 220. Na základě literární studie problematiky zápustkového kování a výpočtu bylo navrženo kování v zápustce se spodním vyhazovačem, určeným ke snadnému vyjmutí výkovku z dutiny zápustky. Zápustka je kruhového průřezu a je upnuta rybinovou drážkou ve svislém kovacím lisu LZK 1600 (výrobce ŠMERAL Brno), se jmenovitou tvářecí silou 16 MN. Dolní i horní polovina zápustky jsou vyrobeny z oceli 19 662, tepelně zpracované pro účely kování.

Klíčová slova: Ocel 14 220, tvářením, zápustkové kování, tvářecí síla

ABSTRACT

CAHA Tomáš: Production of support by forming.

This project developed within the bachelor degree in B-STG present proposal forging technology - parts from bar of circular cross-section of cold rolled 14 220. Based on the literature study problems of die forging and calculation was designed die forging with bottom ejector, designed for easy removal of the forging from die cavity. Die is circular cross section and is clamped with a dovetail groove in vertical forging press LZK 1600 (manufacturer ŠMERAL Brno), with a nominal forging force of 16MN. The lower and upper half of the die is made of steel 19 662, heat treated for the purposes forging.

Key words: Steel 14 220, forming, die forging, forming force

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CAHA, T. Výroba opěry tvářením. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Miloslav Kopřiva.

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 Brně dne 18. 5. 2012

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Miloslavu Kopřivovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Úvod

1	MOŽNOSTI VÝROBY SOUČÁSTÍ [1][2][5][6][9][15].....	11
1.1	Obrábění	11
1.2	Slévárnství.....	12
1.3	Kování.....	12
2	ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ [1][2][4][5][7][8][11]	13
2.1	Definice kování, popis, historie	13
2.2	Volné kování.....	14
2.3	Kovací úkosy	14
2.4	Poloměry zaoblení	15
2.5	Přídavky a tolerance	15
2.6	Třídění výkovků do tříd	16
2.7	Základní charakteristika výkovků.....	18
2.8	Výronková drážka a určení jejich rozměrů.....	19
2.9	Ohřívací zařízení.....	20
2.10	Opal a smršťení	20
2.11	Dělicí rovina	21
2.12	Předkování děr	21
2.13	Ideální předkovek	22
2.14	Dělení zápusťkových dutin	22
2.15	Rozměry zápusťtek.....	22
2.16	Výpočet kovací síly	23
2.17	Upínání a vedení zápusťtek	24
2.18	Volba kovacího stroje	24
2.19	Kovací lis versus buchar	25
2.20	Vyhazovače.....	26
2.21	Ostřihování výkovků	26
2.22	Rovnání výkovků.....	27
2.23	Kalibrování výkovků	27
2.24	Kovací válce	27
2.25	Materiál zápusťtek.....	28
2.26	Vložkování zápusťtek.....	28
2.27	Simulace kování.....	29
3	STÁVAJÍCÍ MOŽNOSTI VÝROBY [2][5][15]	30
4	TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY [1][2][5][14]	32
4.1	Dělení materiálu.....	32
4.2	Indukční ohřev	32
4.3	Kování.....	33
4.4	Ostřížení.....	33
4.5	Tepelné zpracování a čištění.....	34

5	STANOVENÍ TECHNOLOGICKÝCH DAT [5][8][9][10][12][13][14]	35
5.1	Materiál výkovku.....	35
5.2	Zařazení výkovku podle třídy	35
5.3	Volba dělicí roviny	36
5.4	Návrh polotovaru	36
5.5	Výpočty objemů.....	37
5.6	Návrh výronkové drážky a střížné síly	37
5.7	Výpočet kovací síly výkovku	38
5.8	Výpočet kovací síly podle normy ČSN 22 8306	39
5.9	Kontrola kovací síly podle nomogramu	40
5.10	Rozměry zápustky	41
6	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [12][13][14]	42
7	ZÁVĚR.....	44

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam příloh

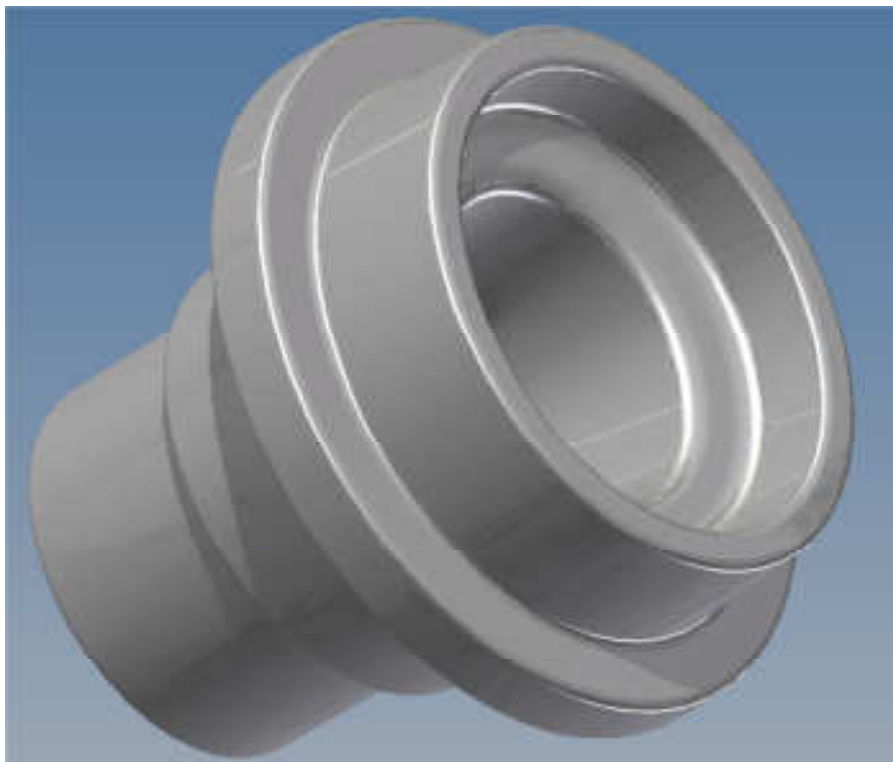
ÚVOD [1][2][3][4]

Technologie pochází ze dvou slov řeckého původu: „Techné“ neboli umění, řemeslo a „Logos“ neboli nauka. Doslovný překlad je tedy nauka o řemeslech. Nedílnou součástí strojírenské technologie je tváření (viz Obr. 1). Výrobní proces, při němž se vyrábí hutní polotovary a strojní součásti působením vnějších sil, aniž by byla porušena celistvost materiálu. Změna výchozího tvaru je způsobena plastickou deformací materiálu. První zmínky o plastické deformaci se datují koncem 19. století. Každý materiál má tvárnost nebo-li plasticitu, která udává do jaké míry je možno materiál tvářet. Závisí na vnitřní stavbě látky, chemickém složení, teplotě tvárného materiálu a na samotném tvářecím procesu. Při technologii tváření se řeší čtyři základní úlohy. Určení velikostí sil vzniklých při tvářecím procesu, určení velikostí a průběhů zatížení tvářeného tělesa, stanovení finální geometrie výrobku a stanovení kritických podmínek přetvoření. Překročení těchto podmínek způsobí porušení materiálu.



Obr. 1 Příklady součástí vyrobených objemovým tvářením

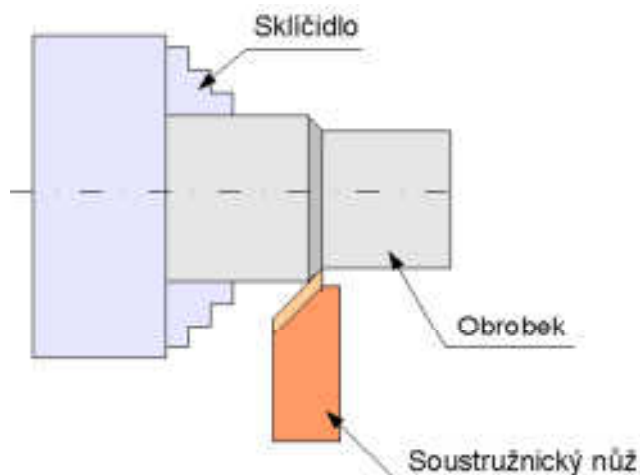
1 MOŽNOSTI VÝROBY SOUČÁSTÍ [1][2][5][6][9][15]



Obr. 2 Zadaná součást

1.1 Obrábění

Technologie obrábění je proces, při kterém dosahujeme požadovaného tvaru vnikáním řezného nástroje do povrchu polotovaru (viz Obr. 3). Je deformována struktura materiálu a tím i jeho mechanické vlastnosti. Obrábění probíhá postupným odebíráním daného množství



Obr. 3 Princip soustružení

materiálu, ten se nazývá přídavek na obrábění. Při obrábění je nutno dodržovat hlavní znaky: Hmatatelnost (nástroje, pracoviště, stroje), měřitelnost, kontrolu rozměrů a počítatelnost (počet obrobků, potřebných nástrojů, atd.), což vyžaduje kvalifikovanou obsluhu. Jedná se o třískové obrábění vnějších a vnitřních rotačních ploch jednobřitým nástrojem (soustružnickým nožem), přičemž nůž koná vedlejší pohyb a upnutý obrobek pohyb hlavní.

Soustružení lze rozdělit na čelní a podélné. Při čelním soustružení se obrábí plocha kolmá a osu rotace obrobku

(čelo). Rovněž je to operace, která se provádí ihned po upnutí polotovaru. Od obrobeného prvního čela se odvíjí všechny ostatní rozměry. Při podélném soustružení se obrábí plocha rovnoběžná s osou rotace obrobku (průměr). Součást je nejprve hrubována a následně obrobena na čisto ve finálním rozměru a kvalitě povrchu. Obrábění na čisto se provádí v radiálním i axiálním směru.

1.2 Slévárenství

Je technologický proces, při kterém se roztavený kov lije do formy (viz Obr. 4), která má tvar konečného výrobku zvětšený o technologické přídávky. Po úplném vyplnění formy a jejím zchlazení se získává konečný výrobek tzv. odlitek. Slévání se využívá především při výrobě složitých součástí, u kterých by byla výroba jinými technologiemi problematická. Ať už z důvodu velikosti nebo složitosti tvaru výrobku. Slévárenství představuje ekonomický způsob výroby



Obr. 4 Ukázka lití taveniny do formy

součásti z polotovaru. Při výrobě odlitku je nutno materiál nejprve roztavit na teplotu tavení a poté nalít do předem připravené formy. Ne všechny materiály jsou použitelné pro tento proces. Nejvhodnější jsou tzv. slévárenské slitiny, které splňují všechny podmínky. Zejména tavitelnost – schopnost slitiny přejít z tuhého skupenství do skupenství tekutého – tzv. vytvářet taveninu a zabíhavost – schopnost slitiny vyplnit co nejdokonaleji formu. To vše při zachování chemického složení a čistoty materiálu. Slévárenství se dělí na dvě základní skupiny – Hutní a Strojní. Hutní slévárenství probíhá v ocelárnách, kde se vyrábí hutní materiál určený pro další zpracování. Je odléván do tzv. kokil, forem jednoduchých tvarů. Produktem strojního slévárenství jsou velmi členité a tvarově složité odlitky (např.: bloky motorů, těles ústředního topení, strojů, atd.).

1.3 Kování

Tento technologický proces beztržiskového obrábění probíhá za teploty kování. Jednoduché součásti je možno kovat i za studena. Materiál je působením vnějších sil (rázy) deformován do požadovaného tvaru (viz Obr. 5). Oproti ostatním metodám není porušena struktura materiálu, naopak se jeho houževnatost zvětšuje. Výsledkem tohoto procesu je součást zvětšená o přídávky na obrábění a technologické přídávky, tzv. výkovek.



Obr. 5 Výkovek z vřetenového lisu

Kování se dělí na volné, zápustkové a rotační. Pro zadanou součást (viz. Obr. 2) je nejvhodnější zápustkové kování, při kterém je materiál formován v zápustce, která umožňuje výrobu složitějších tvarů s minimálními přídávky materiálu. Zápustka je složena z horní pohyblivé poloviny a dolní pevné poloviny. Místo kde se setkávají, nazýváme dělicí rovina. Kolem celého obvodu zápustky je umístěna výronková drážka do které uniká přebytečný kov. Její použití je podmíněno

složitostí výkovku. Hmotnost polotovaru je omezena na několik desítek kilogramů a díky vysoké ceně zápustky je vhodný pouze pro sériovou výrobu.

K zápustkovému kování je možno využít dvou typů strojů – Buchary a Lisy. Buchary pracují rychlým pohybem. Výkovek je většinou vyroben postupně jednotlivými rázy, dokud se obě části zápustky nedotknou. U lisů je výška zdvihu pevně daná konstrukcí klikového mechanismu. Proces probíhá pomalu a části zápustky se nedotýkají.

2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ [1][2][4][5][7][8][11]

2.1 Definice kování, popis, historie

Kování je technologický proces objemového tváření kovů, jehož výsledkem je výkovek. Většinou probíhá za kovací teploty, která se podle druhu materiálu pohybuje od 750°C do 1200°C. Kováním lze zpracovat tvárné kovy a jejich slitiny.

Při kování klademe důraz na minimální spotřebu materiálu, přesnost odpovídající požadavkům, vysoké mechanické vlastnosti a ekonomičnost výroby. Díky neporušení struktury kovu dochází ke zlepšení mechanických a fyzikálních vlastností. Kování spočívá v ohřevu materiálu na požadovanou teplotu, samotném přetvoření materiálu a zchladnutí. Při ohřevu by měla být dosažena kovací teplota v co nejkratším čase při zachování vnitřní a vnější jakosti materiálu. Kvalitním ohřevem se dosahuje lepší tvařitelnosti. Kování se dělí na volné a zápusťkové.

Zápusťkové kování

Při tomto kování nabývá výkovek finální tvar v dutině zápusťky, která je složena z horní a dolní poloviny. V každé polovině je vytvářována polovina výkovku, takovým způsobem, aby bylo možno výkovek vyjmout. Mezi polovinami zápusťky je dělicí rovina, po jejímž obvodu je umístěna výronková drážka pro odtok přebytečného materiálu. U tvarově jednodušších výkovků není nutno výronkovou drážku používat.

Historie kování

Kovářství je řemeslo zpracovávající ocel a její slitiny. Praktickou činnost kovářů označujeme za kování. Umění zpracovávat železo (železnou rudu) se stalo jedním ze základních podmínek pokroku starověkých civilizací.

První zmínky o zpracování železné rudy se datují na 3. tisíciletí př. n. l. převážně z oblasti Mezopotámie. Předměty potřebné k dennímu užitku se ale objevují až ve 12. stol. př. n. l. v Asii. Nejprudší rozvoj zpracování železa nastal v Halštatském období, kde byla používána především bronz. Prakticky všechny techniky využívané v 19. stol. n. l. se objevily již v římské kultuře. Po úpadku Keltů nastal v Evropě i úpadek kovářství. Návratu se



Obr. 7 Detail Paganiniho sochy na hradě Helfštýně



Obr. 6 Kovárna v roce 1568

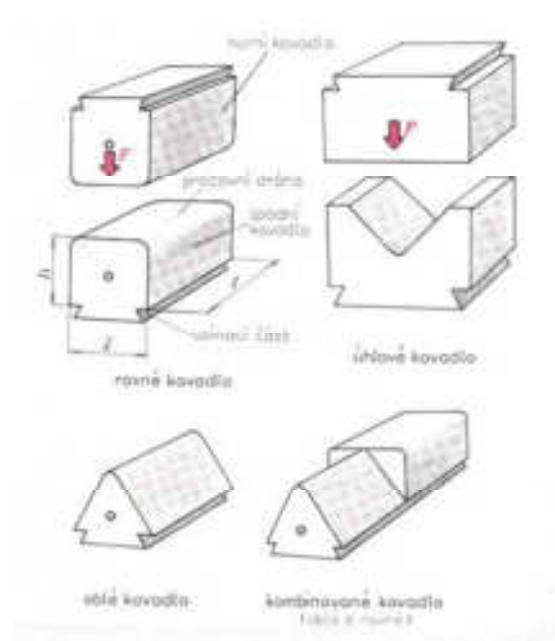
dočkalo až se vznikem Velké Moravy v 7. století. O 500 let později

se začalo kovářství rozpadat na specializované obory: kotlářství, výroba střelných zbraní, nožířství nebo zámečnictví (viz Obr. 6).

V husitském období emigrovala prakticky celá německá komunita a v Čechách rapidně klesla kvalita všech řemesel vč. kovářství. Velkého vrcholu dosáhlo až v období Baroka. Některé práce historických kovářů je možno vidět na hradě Helfštýně (viz Obr. 7).

2.2 Volné kování

Materiál je za kovací teploty postupně přetvářen pomocí kovádel, sekáčů nebo příložek a speciálním polohováním výkovku do požadovaného tvaru. Kovadla se dělí na rovinná, válcová a klínová (viz Obr. 8). Jejich rybinovité drážky slouží k výměně jednotlivých typů v kovacím stroji. Díry v přední stěně jsou používány pro manipulaci. Pracovní plochy kovádel jsou kaleny. Jako polotovary se používá ingot – produkt hutního slévárenství. Kovadla jsou upnuta do universálních kovacích strojů (bucharů, hydraulických lisů). Pro manipulaci s objemnějšími polotovary se využívají manipulátory. Jsou to kolejové nebo bezkolejové vozíky, které přepravují materiál o kovací teplotě. Volně kované výkovky mají vždy ten nejjednodušší tvar, velké úchytky rozměrů a hrubý nekvalitní povrch určený k dalšímu opracování.



Obr. 8 Druhy kovádel

2.3 Kovací úkosy

Aby bylo možné vyjmout výkovek ze zápustky, je nutno na plochy kolmé na dělicí rovinu (směr rázu kovacího stroje) navrhnout kovací úkosy. Jejich hodnoty se pohybují od 2° do 10° a závisí na tvaru výkovku a volbě kovacího stroje podle normy ČSN 42 9030 (viz. Tab. 1). Kovací úkosy se dělí na vnitřní a vnější. Mezi vnitřním úkosem a stěnou dutiny zápustky vzniká při chladnutí tlak, zatím co mezi vnějším úkosem a stěnou dutiny zápustky vzniká při chladnutí vůle (viz Obr. 9).

Tab. 1 Kovací úkosy

Úkosy	Vnitřní [°]	Vnější [°]
Běžné zápustky	3	7
Stroje bez vyhazovače	7	10
Stroje s vyhazovačem	2÷3	3÷5
Vodorovné stroje	0÷5	0÷5

správnou zabíhavost materiálu při vyplňování dutiny zápustky. Při malém úkosu je ztíženo tečení kovu, dochází k přechování a vytvářejí se přeložky. Úkosy znamenají materiál navíc, což způsobí nárůst bočních tlaků. Tomu se ale dá předejít vhodnou volbou dělicí roviny nebo otočením polohy výkovku. Pro mělké výkovky se používají větší hodnoty úkosů a pro hluboké výkovky menší hodnoty úkosů z důvodu příliš velkého množství přidaného materiálu. S rostoucí přesností výkovků klesá velikost úkosů.

V některých případech lze úkos úplně vynechat. To ale vyžaduje speciálně konstruovanou zápustku, vhodně zvolenou dělicí rovinu a použití vyhazovačů.



Obr. 9 Technologické úkosy

2.4 Poloměry zaoblení

Dobrému tečení materiálu zabraňují rohy a ostré hrany zápustky. Proto jsou všechny plochy v místě styku spojeny obecnými zakřivenými plochami definovanými poloměrem zaoblení (viz Obr. 10). Pokud je úhel mezi plochami větší než 180° , jedná se o poloměr vnější s označením „r“. Pokud je úhel mezi plochami menší než 180° , jedná se o poloměr vnitřní s označením „R“. Jejich další dělení je na horizontální a vertikální. Pokud plochy spojují dno a vertikální plochu, nazývají se horizontální. Pokud spojují dvě vertikální plochy, nazývají se vertikální.

Poloměry zaoblení zmenšují velikost napětí v oblasti ostrých hran, proto zvyšují mechanické vlastnosti výkovků. Čím je větší velikost zaoblení, tím víc klesá vliv napětí. Ve vykované oblasti nejsou deformovaná vlákna materiálu, proto je výkovek pevnější a odolnější vůči korozi než materiál obrobený třískovým obráběním. Stejně jako nesprávně zvolené technologické úkosity, tak i velikost zaoblení má vliv na tečení materiálu a tím i snižují pravděpodobnost vzniku přeložek. Příliš malé poloměry vyžadují větší kovací sílu, čímž se snižuje životnost zápustek, ale snižují spotřebu materiálu.

Velikosti zaoblení jsou uvedeny v normě ČSN 42 9030 (viz. Tab. 2). Volí se v závislosti na druhu použitého materiálu výkovku, typu tvářecího stroje, geometrii výkovku a na poměru

Tab. 2 Poloměry zaoblení

Hloubka [mm]		Poměr hloubky a přilehlé plochy [-]					
		<2		2<4		>4	
Od	Do	r [mm]	R [mm]	r [mm]	R [mm]	r [mm]	R [mm]
	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25

hloubky dutiny a šířky přilehlé plochy. Při volbě velikosti zaoblení je nutno zajistit konstantní vyplňování dutiny zápustky, tak aby nevznikaly vady a přeložky.



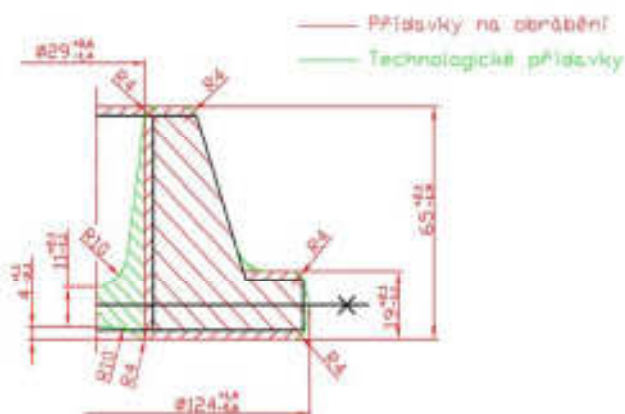
Obr. 10 Zaoblené hrany výkovku

2.5 Přídatky a tolerance

Rozměry výkovku jsou zvětšeny o technologické přídatky, kvůli správnému průběhu procesu kování a dodržení tvarů a rozměrů daných výkresem výkovku (viz Obr. 11).

Přídatky na obrábění

Pro dodržení požadované tvarové a rozměrové přesnosti a předepsané drsnosti povrchu je nutno výkovek zvětšit o hodnotu přídatku na obrábění. Tyto přídatky se přičítají pouze na plochy, které se budou po kování dále obrábět. V případě rotační plochy je třeba přídatky



Obr. 11 Příklady přídatků

zdvojnásobit. Jejich velikost je obvykle stejná pro všechny rozměry výkovku a je dána normou ČSN 42 9030 (viz Tab. 3). Určuje se v závislosti na jakosti kovaného materiálu,

Tab. 3 Přídavky na obrábění

Největší rozměr ve směru rázu [mm]		Největší výška hotového výrobku [mm]						
		Od		25	40	63	100	160
		Do	25	40	63	100	160	250
Od	do	Přídavky na obrábění ploch [mm]						
	25		1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	
40	63		1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5
63	100		2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0
100	160		2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5
160	250		2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5
250	400		2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0

celkových rozměrů výkovku a stupni přesnosti provedení.

Jakost, v tomto případě tvaritelnost materiálu, je zařazena do 5 stupňů. Čím je stupeň menší, tím je lepší tvaritelnost materiálu. Úchyly rozměrů a tvarů platí pro stupeň 3, pro stupeň 4 je nutno zvýšit velikost přídavku na obrábění o 20% a pro stupeň 5 je přídavek zvýšen o 40%.

Technologické přídavky

Technologické přídavky jsou používány z důvodu snadného průběhu procesu kování a vyjmutí výkovku ze záпустky (viz Obr. 11). Dále na zkvalitnění povrchu výkovku v místech, kde mohou vznikat trhliny, rozválcované bubliny nebo oduhličená vrstva. V případě předkování děr patří mezi technologické přídavky i blána. Hodnota přídavků je dána normou ČSN 42 9030 a závisí na tvarové složitosti výkovku a stupni přesnosti jednotlivých dílců. Mezi základní technologické přídavky patří technologické úkosy a poloměry zaoblení.

Tolerance rozměrů a tvarů výkovků

Mezní úchytky tvaru jsou dány geometrií výkovku a to přesazením, otřepem a prohnutím. Tolerance rozměrů určuje stupeň přesnosti výkovku a největší rozměr výkovku ve směru rázu. U rotačních součástí je to největší průměr a největší rozměr ve směru rázu. U nerotačních součástí je průměr výkovku nahrazen střední hodnotou největší šířky a délky. Hodnoty úchylek rozměrů jsou dány normou ČSN 42 9030.

U úchylek tvaru se posuzují tyto aspekty:

- **Otřep:** zbytek výronku, který může zůstat na výkovku
- **Sestřížení:** stopa na výkovku po ostříhování
- **Jehla:** ostří, které může vzniknout na okraji střížné plochy
- **Dovolený průhyb:** úchylka střední přímky výkovku od roviny
- **Úchylka rovinnosti:** úchylka povrchové plochy výkovku od roviny

2.6 Třídění výkovků do tříd

Výkovky jsou, podle 5-ti místného čísla XXXX-X, zařazeny do tříd. Význam jednotlivých číslic:

1. číslice – Xxxx-x – Tvarový druh

- 4 – výkovky kruhového průřezu plné (viz Obr. 12)
- 5 – výkovky kruhového průřezu duté
- 6 – výkovky hranolovitých tvarů plné i duté
- 7 – výkovky kombinovaných tvarů plné i duté
- 8 – výkovky s ohnutou osou
- 9 – výkovky s lomenou dělicí plochou



Obr. 12 Výkovek kruhového průřezu plný

2. číslice – xXxx-x – Tvarová třída

- 1 – konstantní průřez
- 2 – kuželovité (jehlanovité, klínovité)
- 3 – jednostranně osazené
- 4 – oboustranně osazené
- 5 – osazené s kuželem (jehlanem, klínem)
- 6 – prosazené
- 7 – kombinované
- 8 – kombinované s kuželem (viz. Obr. 13)
- 9 – členité (u druhu 8 – výkovky háků)
- 0 – neobsazeno

- 1,2 – výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy
- 3,4,5 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu
- 6,7,8 – výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh strojích

Výkovky zařazené do třídy 0 a 9 se dále dělí na:

- 0 – převážně kruhový průřez
- 1 – převážně plochý průřez
- 2 – s hlavou a jedním ramenem
- 3 – s hlavou a více rameny
- 4 – jednostranně rozvidlené
- 5 – oboustranně rozvidlené
- 6 – zalomené
- 7 – šroubovitě (stoupání <1) – pouze u tvarového druhu 0
- 8 – šroubovitě (stoupání >1) – pouze u tvarového druhu 0

3. číslice – xxXx-x – Tvarová skupina

- 1÷4 – výkovky plné
- 5÷8 – výkovky duté

4. číslice – xxxX-x – Tvarová podskupina

- 1 – přesah v poměru L:B (D) nebo H:B (D)
- 2 – přesah v poměru H:H (D:D)
- 3 – přesah v poměru B:B
- 4 – přesah v poměru F:F
- 5 – přesah v hloubce dutiny nebo úhlu listů lopatek
- 6 – přesah v tloušťce dna nebo blány
- 7 – přesah v tloušťce stěny s nebo bez rozvidlení
- 8 – přesah v zaoblení přechodů a hran R,r
- 9 – kombinace několika přesahů
- 0 – bez přesahu



Obr. 13 Výkovek tvarové třídy 8 Hák



Obr. 14 Výkovky souměrné i nesouměrné

5. číslice – xxxx-X – Technologické hledisko

- 1 – výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy souměrné
- 2 – výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy nesouměrné
- 3 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu souměrné (viz Obr. 14)
- 4 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu nesouměrné (viz Obr. 14)
- 5 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu s ozubením
- 6 – výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech souměrné
- 7 – výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech nesouměrné
- 8 – výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech s ozubením
- 9 – výkovky s více dělicími plochami

2.7 Základní charakteristika výkovků

Výkovek je produkt technologického procesu kování. Jeho rozměry jsou odvozeny od rozměrů finálního výrobku, ale jsou zvětšeny o technologické přídavky, přídavky na obrábění, úkosity a zaoblení. Už samotný výrobní výkres výrobku by měl být přizpůsobený kování. Požadavky na konstrukci výkovků:

a) Požadavek na přesnost výkovku

Je volen s ohledem na velikost přídavku na obrábění a velikost tolerancí rozměrů. Pro standartní rozměry a tvary výkovků je tento přírůstek předepsán normou. Jakýkoliv přírůstek na výkovku znamená větší spotřebu drahého materiálu, proto se zvláště u tvarově složitých výkovků používají minimální či vůbec žádné přídavky. Výkovky se vyrábějí ve 4 druzích přesnosti:

- Obvyklé provedení
- Přesné provedení
- Velmi přesné provedení
- Provedení podle dohody

Výkovky vyrobené obvyklým provedením mají obvyklou přesnost, přídavky na obrábění a mezní úchytky rozměrů i tvarů. Výkovky vyrobené přesným provedením mají menší přídavky na obrábění a mezní úchytky rozměrů a tvarů. Zpřesnění se tedy týká všech aspektů volby přírůstků a tolerancí. Výkovky vyrobené velmi přesným provedením mají menší přídavky na obrábění a mezní úchytky rozměrů a tvarů než výkovky vyrobené přesným provedením.

b) Požadavky na mechanické vlastnosti, jakost povrchu a vnitřní vady

Jsou voleny s ohledem na průběh vláken ve výkovku. Mechanické hodnoty materiálu,



Obr. 15 Automatizovaná linka v kovárnách Hulín

uvedené ve strojnických tabulkách, platí podél vláken. V ostatních směrech jsou menší. Vnitřní a povrchové vady výrobku se tolerují, pokud neznemožňují správnou funkčnost výkovku při jeho dalším používání.

c) Požadavky na tvářecí zařízení

Jeho volba z velké části ovlivňuje přesnost, kvalitu a ekonomičnost výroby výkovku. Při použití bucharů nedosahujeme velké přesnosti a je nutno volit větší úkosy. Na klikových kovacíh lisech dosahujeme větší přesnosti, což umožňuje volbu menších kovacíh úkosů za použití vyhazovačů.

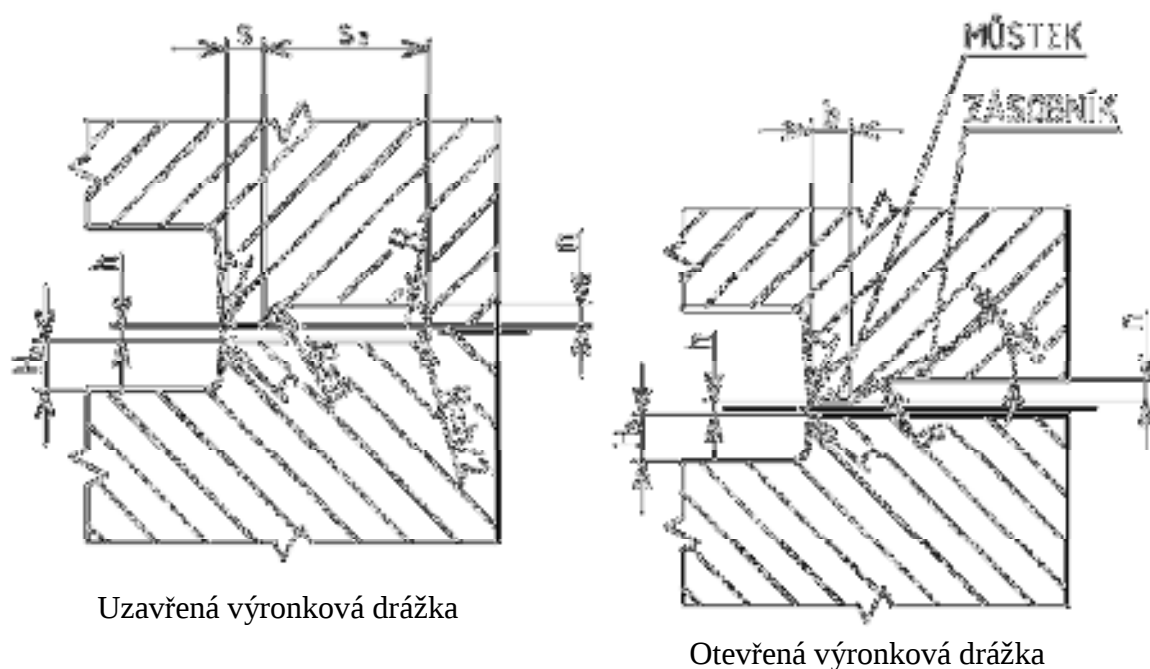
d) Požadavky na mechanizaci a automatizaci kovacího procesu

Zahrnují tvarové úpravy a přídávky výkovků, které umožňují manipulaci výrobků a jejich orientaci na automatických linkách (viz Obr. 15).

2.8 Výronková drážka a určení jejich rozměrů

Výronková drážka je prostor umístěný po obvodu celého výkovku v dělicí rovině (viz Obr. 16). Je navrhována buď se zápustkou, nebo je dána dolní úvratí kovacího stroje. Skládá se z můstku a zásobníku. Můstek slouží k regulaci tlaku v dutině zápustky. Geometricky složitější výkovky vyžadují vyšší tlak, tím pádem větší odpor a menší výšku můstku nebo větší šířku můstku. Objem výronku je dán množstvím kovaného materiálu.

Pro správnou funkci výronkové drážky je důležitá geometrie můstku. Pro jednoduché tvary se volí obdélníkový průřez, pro složitější tvar raidálně-axiální. Výškové rozměry se mohou měnit v závislosti na tuhosti nosné soustavy. Rozměry samotné výronkové drážky se liší podle typu kovacího stroje a jsou dány normou ČSN 22 8306 až 22 8309.



Obr. 16 Otevřená a uzavřená výronková drážka

a) Buchary

Šířka můstku

$$s = (0,015 \div 0,012) \cdot \sqrt{S_v} \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

kde: S_v [mm] je průmět plochy výkovku

0,015 pro malé výkovky a 0,012 pro velké výkovky.

b) Svislé kovací lisy

Rozměry můstku jsou dány dle normy ČSN 22 8306 (viz Tab. 4). Vychází ze jmenovité kovací síly „ F_j “, šířky můstku „ s “ a výšky můstku „ b “.

Tab. 4 Rozměry můstku výronkové drážky pro svislé kovací lisy

F_j [MN]	2,5	6,3	10	16	25	31,5	40	63
s [mm]	1÷1,5	1÷2	1,5÷2,5	2÷3	2,5÷4	2,5÷4,5	3,5÷5,5	4,5÷8
b [mm]	3÷5	3÷7	4÷7,5	5÷8	6÷10	6÷11	7÷12	9÷15

c) Vodorovné kovací lisy

Rozměry můstku jsou axiální (podélné), odstraněné obráběním nebo radiální (příčné), které se ostříhují přímo v zápustce. Šířka můstku se volí pro obě tyto varianty v závislosti na jmenovité síle kovacího stroje podle normy ČSN 22 8307.

2.9 Ohřívací zařízení

Prioritou ohřevu materiálu je dosažení kovací teploty v co nejkratším čase. Ohřev probíhá bez vzniku vad povrchové a vnitřní jakosti materiálu. Správně zvoleným ohřevem roste tvařitelnost a klesá deformační odpor. Ohřev charakterizuje součinitel tepelné vodivosti, měrná tepelná kapacita, hustota, součinitel teplotní vodivosti a mechanické vlastnosti.

Pro ohřev materiálu před kováním se používají elektrické a plynové pece. Pro výkovky větších rozměrů jsou využívány plynové pece. Pro výkovky menších rozměrů se užívají elektrické pece. Udávaný výkon pece je množství materiálu ohřátého za jednotku času. Pece delší než 3 metry, využívající výjezdovou nístěj, se nazývají vozové (viz Obr. 17). Narážecí pece jsou průběžné, z jedné strany je do pece strkacím zařízením dopraven polotovar a z druhé strany postupně vysunut ohřátý materiál. Průběžné pece se vyrábějí i jako karuselové, kdy je materiál uvnitř pece otáčen. V případě, že není potřeba ohřát celý materiál, využívá se pecí štěrbinových.

Ohřev může probíhat přímým průchodem proudu, nepřímým odporovým ohřevem nebo indukčním ohřevem. Ohřev přímým průchodem proudu je vhodný pro součásti s velkým poměrem délky ku šířce (průměru). Nepřímý odporový ohřev pracuje na principu odporových článků, což je oproti ostatním variantám pomalé. Nejvhodnější možností pro zadanou součást je indukční ohřev, který spočívá v umístění cívek v peci. Ty indukují vířivé proudy a pec tak dosahuje vysokých teplot v krátkém čase.



Obr. 17 Vozová pec
v Královopolské kovárně

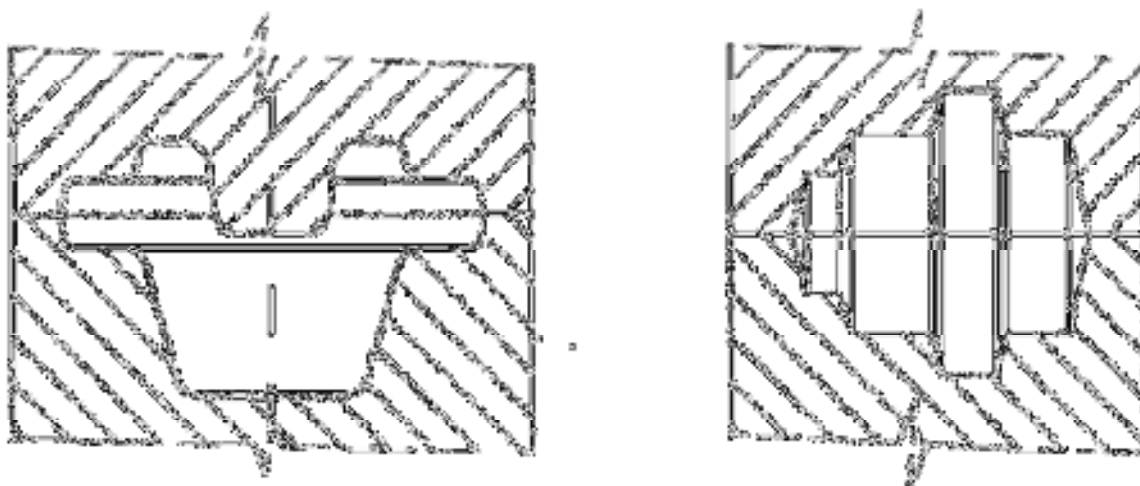
2.10 Opal a smršťení

Nepříznivý vliv, který vzniká na povrchu výkovku, nazýváme opal. Okolní atmosféra obsahuje kyslík, který při vysoké teplotě reaguje s železem a vytváří oxidy železa. Ty nazýváme okuje. Oxidace je zrychlovaná neustálým opadáváním okujů, které obsahují 71÷76% železa. To je ztráta 1÷3% materiálu na jeden ohřev. Odpadnuté okuje se nalepí na stěny pece a snižují tak její životnost. Proto je nezbytné, aby materiál prošel procesem odkujení. Snížení opalu lze dosáhnout rychlejším ohřevem nebo řízenou atmosférou v peci.

Díky působení tepelné roztažnosti dochází ke změně objemu ohřátého materiálu. Tento vliv je nutno uvažovat při volbě rozměrů polotovaru. Není-li dodržena teplota, pro kterou bylo smrštění vypočítáno, jmenovitý rozměr nebude přesný.

2.11 Dělicí rovina

V místě setkání horní a dolní poloviny zápustky vzniká dělicí rovina (viz Obr. 18). Je navržena tak, aby bylo vyjmutí výkovku z dutiny zápustky bezproblémové. Na umístění dělicí roviny závisí průběh vláken výkovku. Ve většině případů se volí v rovině, v případech kde to není možné, se volí lomená dělicí rovina. Musí být navržena tak, aby umožňovala předkování děr, ostřížení výkovku a co nejvíce minimalizovala náročnost výroby. Při špatném umístění může docházet k nárůstu odporu při zatékání kovu do dutiny a ten je protlačován. Většinou se volí kolmo na dva největší rozměry výkovku.



Obr. 18 Příklady umístění dělicí roviny

2.12 Předkování děr

Průchozí díry u výkovků nelze vykovat celé. Proto se díry pouze předkovávají a zůstává v nich blána, jejíž tloušťka je dána výpočtem (2.2) nebo normou ČSN 42 9030. Blána může být navržena v různých tvarech (viz Obr. 19) a je po kování odstraněna odstřížením, stejně jako výronek. V případě silnější blány je proces ostřížení problematictější a vyžaduje větší střížnou sílu. V případě slabší blány je materiál rychle napěchován do výstupků v zápustce a způsobí nadměrné sevření výkovku.

$$s_b = 0,45 \cdot \sqrt{d_b - 0,25 \cdot h_b} + 0,6 \cdot \sqrt{h_b} \quad (2.2)$$

kde: s_b [mm] je šířka blány

d_b [mm] je průměr předkované díry

h_b [mm] je vzdálenost blány k okraji díry.



Obr. 19 Typy předkovaných blán



Obr. 20 Ideální předkověk

2.13 Ideální předkověk

Ne každou součást lze kovat z ingotů (polotovarů jednoduchých tvarů, tyčí). Proto se používá vícenásobný kovací proces. Ideální předkověk má kruhový průřez a umožňuje vykování materiálu do finálních tvarů a rozměrů. Jeho plocha se určuje i s výronkem a blánami. Plochy jednotlivých průřezů výkovku se promítnou na kruhovou plochu a jejich spojením dosáhneme tvaru ideálního předkovku (viz Obr. 20). Průměr a výška ideálního předkovku

jsou dány vztahy (2.3) a (2.4). Pro nejvhodnější volbu ideálního předkovku se výpočty provádějí ve více rovinách.

Průměr ideálního předkovku

$$d_{ip} = 1,13 \cdot \sqrt{S_{ip}} \text{ [mm]} \quad (2.3)$$

kde: d_{ip} [mm] je průměr ideálního předkovku

S_{ip} [mm²] je plocha průřezu výkovku.

Výška průřezového obrazce

$$h_{ip} = \frac{S_{ip}}{m} \text{ [mm]} \quad (2.4)$$

kde: h_{ip} [mm] je výška průřezového obrazce

m [mm] je šířka průřezového obrazce.

2.14 Dělení zápustkových dutin

Různé druhy dutin se používají při kování na bucharu. Postupové zápustky jsou umístěny v kovacím stroji a obsluha přemísťuje výkovek z jedné do druhé (viz Obr. 21). Výkovek je připravován v předkovacích a přípravných dutinách jednoduchého tvaru. Celý proces postupového kování je časově nevýhodný, proto se používá při výrobě malého množství kusů. Jakmile je výkovek předkován, umístí se do posledního typu dutiny – Kovací (dokovací) dutina. Tvar a rozměry této dutiny vychází z výkresu výkovku zvětšených o hodnotu smrštění. Stejně jako při předešlých způsobech kování je po celém obvodu výkovku umístěna výronková drážka skládající se z můstku a zásobníku.



Obr. 21 Příklad výkovku z postupové zápustky

2.15 Rozměry zápustek

K výrobě zápustek se používá nástrojová ocel v hodná pro prostředí se zvýšenými teplotami. Jsou vyráběny třískovým obráběním a pro zlepšení jejich mechanických vlastností dále tepelně zpracovány.

Rozměry zápustek se liší podle druhu použitého kovacího stroje. Zápustky použitelné pro buchar jsou z jednoho kusu a do kovacího stroje jsou připevněny klíny a rybinovitými drážkami. Zatímco zápustky pro kovací lisu jsou vyráběny z levnějších materiálů. Jako funkční plochy jsou zalisovány vložky do základního bloku zápustky. Upevnění do kovacího stroje je šroubové. Stanovení rozměrů konkrétní zápustky ovlivňuje smršťování materiálu výkovku a tolerance a mezní úchylky výkovku.

Kritéria pro volbu rozměrů zápustky:

- rozměry a jakost materiálu výkovku
- vzdálenost dutiny od okraje zápustky a její hloubka
- vzdálenost mezi jednotlivými dutinami
- způsob upnutí zápustky (velikost držáku zápustky)
- způsob vedení zápustky
- typ stroje a jeho velikost

2.16 Výpočet kovací síly

Výpočet kovací síly na klikovém kovacím lisu lze orientačně určit (viz Tab. 5) pro uhlíkové oceli nebo přesnějším výpočtem pomocí plochy průmětu výkovku.

— Tab. 5 Přibližná kovací síla

Tvar výkovku	Kovací síla F_k [kN]	Pevnost kovaného materiálu R_m [MPa]
Jednoduché výkovky	$40 \cdot S_c$	400
	$50 \cdot S_c$	600 ÷ 700
Složené výkovky	$56 \cdot S_c$	400
	$70 \cdot S_c$	600 ÷ 700

— kde: S_c je plocha průmětu výkovku.

Koeficient šířky plochy průmětu výkovku

$$s = 0,1725 \cdot G_0^{0,16} \cdot D_v^{0,5} \text{ [mm]} \quad (2.5)$$

kde: G_0 [kg] je hmotnost výkovku

D_v [mm] je největší průměr výkovku.

Šířka plochy průmětu výkovku

$$b = (3 \div 5)s \text{ [mm]}. \quad (2.6)$$

Plocha průmětu výkovku

$$S_c = \frac{\pi}{4} \cdot (D_v + 2b)^2 \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (2.7)$$

Pro výpočet přesné kovací síly je zvolen koeficient vlivu tvarové složitosti K_{ts} [-] a hodnota přetvárné pevnosti k_p [-] zvolena pro určitou teplotu dokování.

Přesná kovací síla

$$F_k = 0,6 \cdot S_c \cdot k_p \cdot K_{ts} \text{ [MN]}. \quad (2.8)$$

2.17 Upínání a vedení zápustek

Správnou a přesnou polohu zápustek pro buchary zajišťuje vedení (podélné, příčné a křížové) nebo vodící kolíky. Podélné vedení zamezuje příčnému posuvu, a proto se používá pro příčné zápustky. Příčné vedení zamezuje podélnému posuvu, a proto se používá pro podélné zápustky. Křížové vedení zamezuje posuv v obou směrech. Jeho šířka je o polovinu větší než délka. V případě zápustek s lomenou dělicí plochou se používá zámek.

Vodící kolíky jsou dva až čtyři v jedné zápustce a jsou umístěny v rozích zápustky. Další možností je využití kontrolního rohu. Ten tvoří dvě na sebe kolmé přesně opracované stěny zápustky. K upínání zápustek pro buchary jsou využity rybinové drážky se středícím perem (viz Obr. 22). Zápustka je vložena do bucharu a do vzniklé mezery je zatlačeno středící pero s podélným úkosem.

Protože jsou zápustky pro kovací lisu složeny z více kusů, upíná se každá vložka zvlášť. Držák kovací vložky zajišťuje správnou a přesnou polohu pomocí vodících kolíků, které jsou v něm zalisovány. Samotný držák je připevněn ke kovacímu stroji šroubovým spojem. Jeho poloha je zajištěna distančními vložkami. Do jednoho držáku mohou být umístěny maximálně tři kovací vložky, což omezuje kovat jeden výkovek ve třech operacích.



Obr. 22 Příklad upnutí pomocí rybinové drážky

2.18 Volba kovacího stroje

Při výběru vhodného typu kovacího stroje pro zadaný výkovek je zohledňován tvar, hmotnost a sériovost výkovku (viz Tab. 6).

Na bucharu je nutné se vyhýbat zdlouhavému prodlužování dříků, vyhýbat se výkovkům s velkou hlavou, což vyžaduje pěchování. Dále rozvidleným výkovkům, které vyžadují náročnější přípravné operace. Výkovkům extrémně malých a naopak velkých rozměrů. Nutně používat větší úkosity a poloměry zaoblení.

Pro kování na kovací lisu nejsou vhodné výkovky s dlouhou osou, velkými tolerancemi a úkosity. Poloměry zaoblení jsou stejné jako na bucharu. V některých případech jsou vyloučené přípravné operace jako prodlužování nebo rozdělování. Lze však předkovat i hluboké otvory.

Tab. 6 Volba typu kovacího stroje

Tvar	Rotační	Klikový, třecí a hydraulický lis
	Nerotační	Šabotový nebo protiběžný buchar
Hmotnost	Malá	Buchar
	Střední (cca do 60 kg)	Lis
	Střední	Buchar
	Velká	Protiběžný buchar nebo hydraulický lis
Sériovost	Malá a střední	Buchar nebo vřetenový a hydraulický lis
	Vysoká	Klikový lis

2.19 Kovací lis versus buchar

Buchar

Buchar je tvářecí stroj pracující rázem (viz Obr. 23). Výkovek je kován dopadem beranu bucharu na šabotu. Deformační práce potřebná ke tváření vzniká z potenciální energie beranu. Kování na bucharu probíhá většinou ve více po sobě jdoucích operacích (úderech). Výkovek dostane finální tvar po dosednutí horní zápustky na dolní, kdy materiál vyplní celý prostor dutiny zápustky. Z tohoto důvodu musí být dosedací plochy částí obou polovin zápustky. Díky vzniku setrvačných sil při opakujícím se procesu kování dochází k velmi dobrému zatékání kovu do dutiny. Proto je buchar vhodný pro výkovky s vysokými výstupky nebo tenkými žebry. Kvůli velkým rázům se zápustky zhotovují jako velké bloky, ve kterých jsou umístěny všechny dutiny. Dutina s největší potřebnou silou na její vyplnění je umístěna uprostřed zápustky. Vzhledem k velkým rázům nelze zaručit příliš přesné vedení a buchar tedy není vhodný pro přesnější kování. Je u něj i obtížná automatizace a mechanizace výroby. Oproti tomu je výhodnou volbou pro členité výkovky a výkovky malých rozměrů.



Obr. 23 Buchar

Kovací lis



Obr. 24 Klíkový kovací lis

Klíkový kovací lis je tvářecí stroj pracující se stejným zdvihem beranu (viz Obr. 24). Výkovek tedy musí být zhotoven na jeden zdvih v jedné dutině. Výška tohoto zdvihu je dána typem mechanismu lisu (klikový, vřetenový a hydraulický). Pohyb beranu lisu je pomalý a oproti bucharu nevznikají žádné rázy. Výkovek je tvářen tlakem a dotyk horní poloviny zápustky a výkovku je podstatně delší než u bucharu. To umožňuje vyváženější vyplnění zápustky. Horní a dolní polovina zápustky na sebe nikdy nedosednou. Výška můstku výronkové drážky se rovná dolní úvrati stroje. Zápustky jsou opatřeny vložkami a umístěny v držácích. Držák zajišťuje přesnou pozici zápustky a proto je lis vhodnější pro přesné výkovky. Do lisu s klikovým mechanismem je možno umístit tři zápustky, což umožňuje tři operace na jednu výšku zdvihu. Lis s vřetenovým mechanismem umožňuje pouze jednu zápustku s jednou dutinou. Kovací lis je ideální pro sériovou plně automatizovanou výrobu.

2.20 Vyhazovače

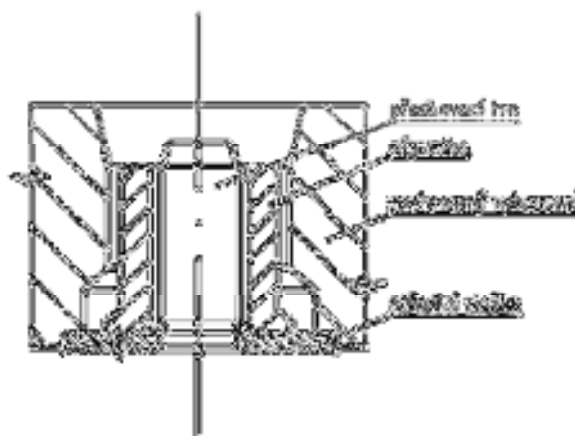
Při dokončení technologického procesu kování je nutno výkovek vyjmout z dutiny zápustky. To ovlivňují tyto faktory:

- hloubka dutiny zápustky
- tření
- tvar a rozměry výkovku
- technologické úkosy
- mazání
- odstraňování okují

Pokud je vyjmutí výkovku problematické, používají se vyhazovače. Ty mohou působit

v určitém místě výkovku nebo po celé jeho ploše. Podle způsobu jejich

konstrukce se dělí na prstencové (viz Obr. 25), kolíkové a vložkové. V závislosti na velikosti tlaku vzniklého v zápustce se volí příslušný typ vyhazovače. Pro výkovky se zahluobením ve středu jsou nejvhodnější vyhazovače prstencové. Pro umístění v jakémkoliv místě výkovku se používají vyhazovače kolíkové. Při použití vyhazovačů je možné použít menších technologických úkosů a poloměrů zaoblení, což snižuje náklady na materiál výkovku.



Obr. 25 Prstencový vyhazovač

2.21 Ostřihování výkovků

Výkovek vyjmutý ze zápustky je pro další zpracování zbaven přebytečného materiálu v podobě předkovaného děru (blány) a výronku. Proces odstranění blány nazýváme děrování a proces odstranění výronku ostřihování (viz Obr. 26). To se provádí na ostřihovacích lisech.

V případě rozměrnějších výkovků se ostřihuje ještě za tepla, u menších i za studena. Při plně automatizované výrobě jsou ostřihovací lisy součástí výrobní linky. Volba ostřihovacího lisu závisí na kovacím stroji, geometrii výronku nebo blány a síle potřebné k ostřížení podle vzorce (2.9).

Výpočet síly pro ostřížení výronku

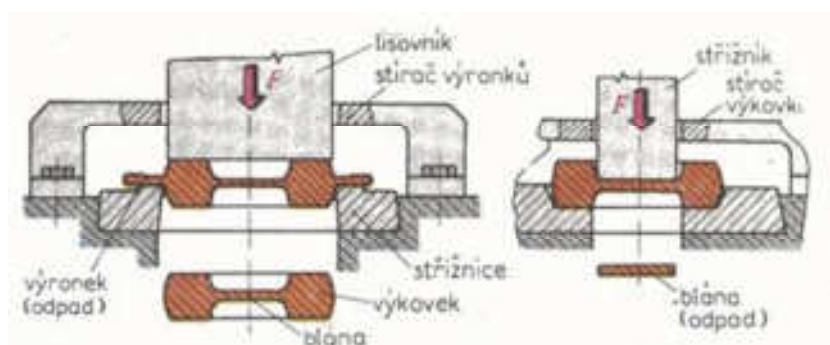
$$F_0 = 1,7 \cdot 0,8 \cdot o_{v\gamma r} \cdot \sigma_s \cdot h_{v\gamma r} \text{ [kN]} \quad (2.9)$$

kde: $o_{v\gamma r}$ [mm] je obvod výronku

$h_{v\gamma r}$ [mm] je výška výronku

σ_s [MPa] je napětí ve stříhu.

Výpočet síly pro ostřížení blány je stejný, pouze jsou dány hodnoty obvodu a výšky pro blánu. V případě ostřížení výronku a blány v jedné operaci jsou obě síly sečteny.



Ostřihování výronku

Děrování blány

Obr. 26 Ostřihování a děrování výkovku

2.22 Rovnání výkovků

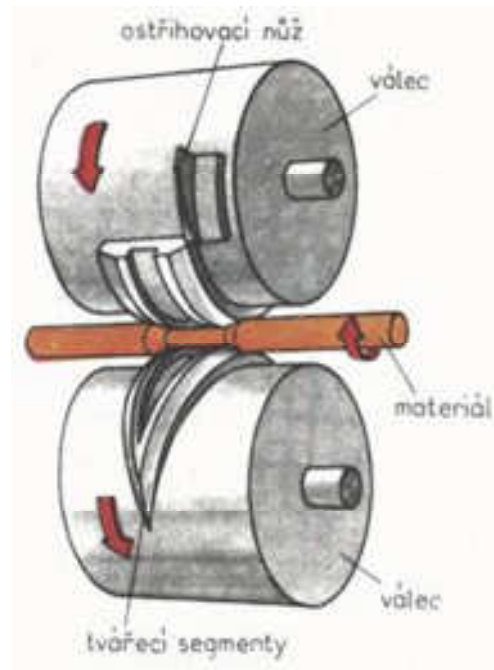
Protože je výkovek ohříván na vysoké teploty, dochází k jeho deformaci (zkřivení). Pokud toto zkřivení vybočuje z tolerancí zadaných na výkrese je nutno výkovek rovnat. Nejčastěji se rovnání provádí za studena v rovnacích zápustkách. Je možné výkovek rovnat už v dokončovací dutině zápustky za tepla, to ale snižuje její životnost. Rovnací nástroje jsou omezeny tlakem potřebným k narovnání výkovku. Pokud je výkovek rovnán už za tepla, má lepší mechanické vlastnosti a materiálovou strukturu. Podle křivosti os a úhlu zkřivení se určuje i zkřivení celého výkovku a tím pádem i nutnost procesu rovnání.

2.23 Kalibrování výkovků

Po ostřížení a rovnání výkovku se provádí poslední dokončovací operace kalibrování. Ta zajistí přesnost, hmotnost a drsnost povrchu výkovku požadovanou na výkrese. Při přesném kalibrování není nutno výkovek dále obrábět. Tento proces je možno realizovat na jakémkoliv tvářecím stroji určeném pro zápustkové kování. Kalibrování je možné za tepla i za studena. Při větším přídávku na kalibrování za tepla hrozí okujení a vznik výronku malých rozměrů. Ten je ihned po kalibrování odstraněn z důvodu opakovaného zkřivení výkovku. U ostřížení takto malého výronku hrozí vznik trhlin v jeho oblasti, proto se odstraňuje třískovým obráběním. Kalibrování za studena prováděné na razících lisech (viz Obr. 27) je přesnější než za tepla, ale vyžaduje využití dvojnásobné síly. Kalibrovat lze plošně, objemově nebo kombinovaně. Plošně se kalibrují rovnoběžné plochy za předpokladu změny rozměrů ploch na ně kolmých. Objemové kalibrování zajišťuje zpřesnění všech rozměrů výkovku.



Obr. 27 Kalibrovací lis



Obr. 28 Příčné klínové válcování

2.24 Kovací válce

U výkovků s rozdílnými kruhovými průřezy se využívají kovací válce. Takové výkovky jsou náročné na přesunutí materiálu pouze v jednom podélném směru. Tento proces se nazývá příčné klínové válcování. Osy kovacích válců a výkovku jsou rovnoběžné. Kovací válce se otáčejí proti sobě a jsou na nich umístěny pracovní klíny (viz Obr. 28). Při jejich otáčení je výkovek ohřátý na kovací teplotu vtahován mezi válce ručně nebo automatizovanou linkou. Hlavní předností je rozšíření nebo zúžení materiálu. Velikost a tvar tohoto zúžení jsou dány geometrií klínů. Konečného tvaru výkovku je dosaženo po otočení válců o jednu otočku. Tento proces umožňuje výrobu složitých přechodů průměrů na jednu operaci i jeho odstřížení. Příčné podélné válcování se využívá při výrobě složitých rotačních výkovků, ale především pro výrobu podlouhlých předkovek sériové výroby. Jako polotovary jsou využívány tyče kruhového nebo čtvercového průřezu.

2.25 Materiál zápustek

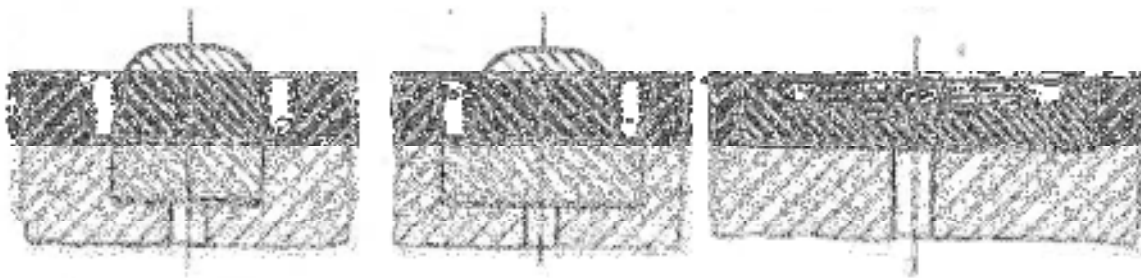
Na materiál zápustek jsou kladeny velmi vysoké požadavky, protože jsou namáhány jak mechanicky tak tepelně. Materiál zápustky by měl mít vysokou tvrdost, houževnatost, žáruvzdornost, žárupevnost, necitlivost proti kolísání teplot, dobrou obrobitelnost a zároveň nízkou cenu. Životnost zápustky roste s vhodnou volbou materiálu. Nejčastěji se používají legované nástrojové oceli třídy 19 (viz Tab. 7). V případě vložkování je tento materiál použit pouze na vložky a ne celou zápustku.

Tab. 7 Oceli pro zápustky

Ocel	Vlastnosti	Použití
19 103	Malá pevnost za tepla, odolnost proti úderům	Méně namáhané zápustky s tvrdým povrchem a mělkou dutinou
19 132	Malá pevnost za tepla, odolnost proti úderům	
19 152	Malá pevnost za tepla, velká houževnatost, odolnost proti úderům	
19 423	Malá pevnost za tepla, dobrá houževnatost, odolnost proti tlaku	
19 552	Dobrá pevnost za tepla, odolnost proti tlaku, úderu, opotřebení, tepelné úpravě	Malé vložky a zápustky při větším tepelném namáhání pro buchary a lisys
19 642	Odolnost proti změnám teplot, opotřebení, úderu, tlaku a tepelné úpravě	Zápustky všech velikostí s velkou trvanlivostí pro lisys a buchary
19 650	Dobrá pevnost za tepla, odolnost proti tlaku, úderu a opotřebení	Zápustky všech velikostí s velkou trvanlivostí pro kování neželezných kovů i ocelí a vložek
19 662	Dobrá pevnost za tepla, odolnost proti tlaku, velká houževnatost, odolnost proti změnám teplot	Zápustky s pevností pod 1300 MPa pro buchary s hlubokou dutinou, vložky a razníky pro vodorovné kovací lisys
19 663	Velká houževnatost, odolnost proti změnám teplot, popuštění a tepelné únavě	Zápustky s pevností nad 1300 MPa s hlubokou a tvarově členitou dutinou, vložky a razníky pro vodorovné kovací lisys
19 720	Velká pevnost za tepla, odolnost proti tepelné únavě	Malé zápustky, vložky a trny do velkých zápustek
19 721	Velká pevnost za tepla, odolnost proti tepelné únavě, dobrá houževnatost	
19 723	Velká pevnost za tepla, dobrá houževnatost	
19 740	Dobrá pevnost za tepla, dobrá houževnatost, odolnost proti opotřebení a tepelné únavě	Malé zápustky pro šrouby, matice, nýty, kde stačí malá pevnost za tepla

2.26 Vložkování zápustek

Z důvodu úspory materiálu a zvýšení životnosti zápustky se používají vložky. Ty jsou vyrobeny z kvalitního materiálu třídy 19 a celé torso zápustky z levnějšího, což je ekonomicky výhodné při pořizování zápustky i při případné opravě. Při poškození funkčních ploch se vymění pouze vložka a ne celá zápustka. V horní polovině zápustky musí být vložky zajištěny, protože by mohli vypadnout. Vložky jsou v zápustce nalistovány s přesahem H8/u7. Podle geometrie výkovku je možné volit několik druhů vložek (viz Obr. 29).

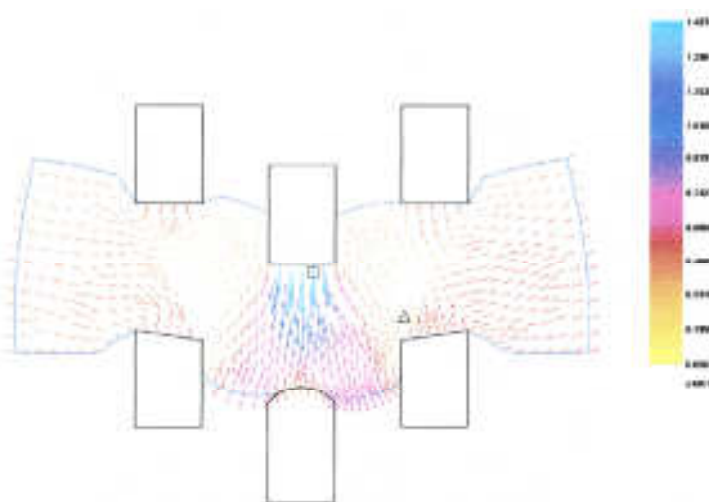


Obr. 29 Příklady vložkování zápustek

2.27 Simulace kování

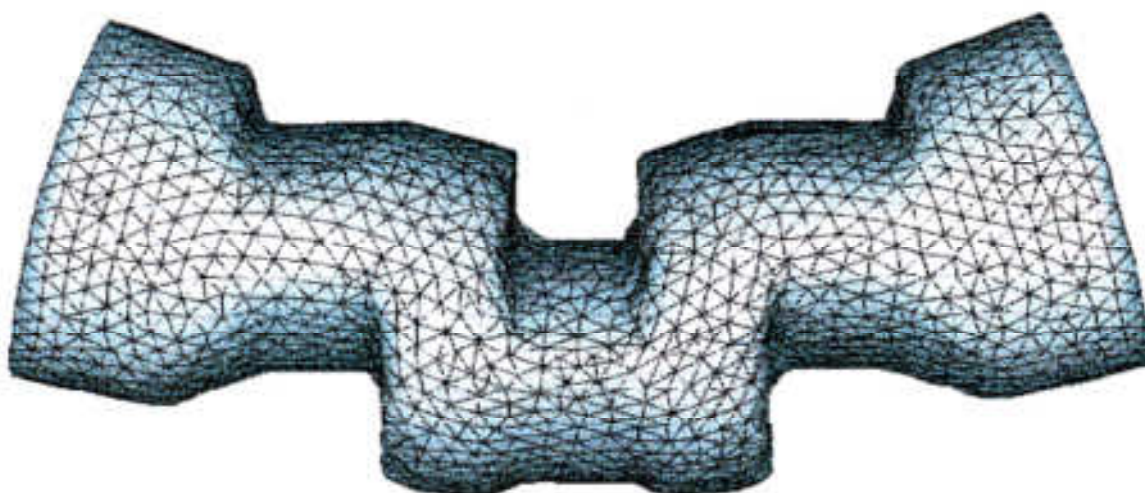
3D simulace tvářecích procesů umožňuje zjistit a analyzovat chování materiálu v jednotlivých krocích. Na základě závěrů z 3D simulace lze proces optimalizovat a vyvarovat se chyb ve výrobě, což znamená snížení velké části nákladů při zavádění výroby nové součásti.

Technologie jednotlivých kroků a přechod mezi nimi během výpočtu je velice komplikovaný. Každá operace závisí na té předešlé a proto je nutno provádět systematickou kontrolu výpočtů a minimalizovat tak rozdíl mezi simulovaným procesem a procesem probíhajícím v realitě.



Obr. 30 Ukázka toku materiálu při použití více druhů kovadel

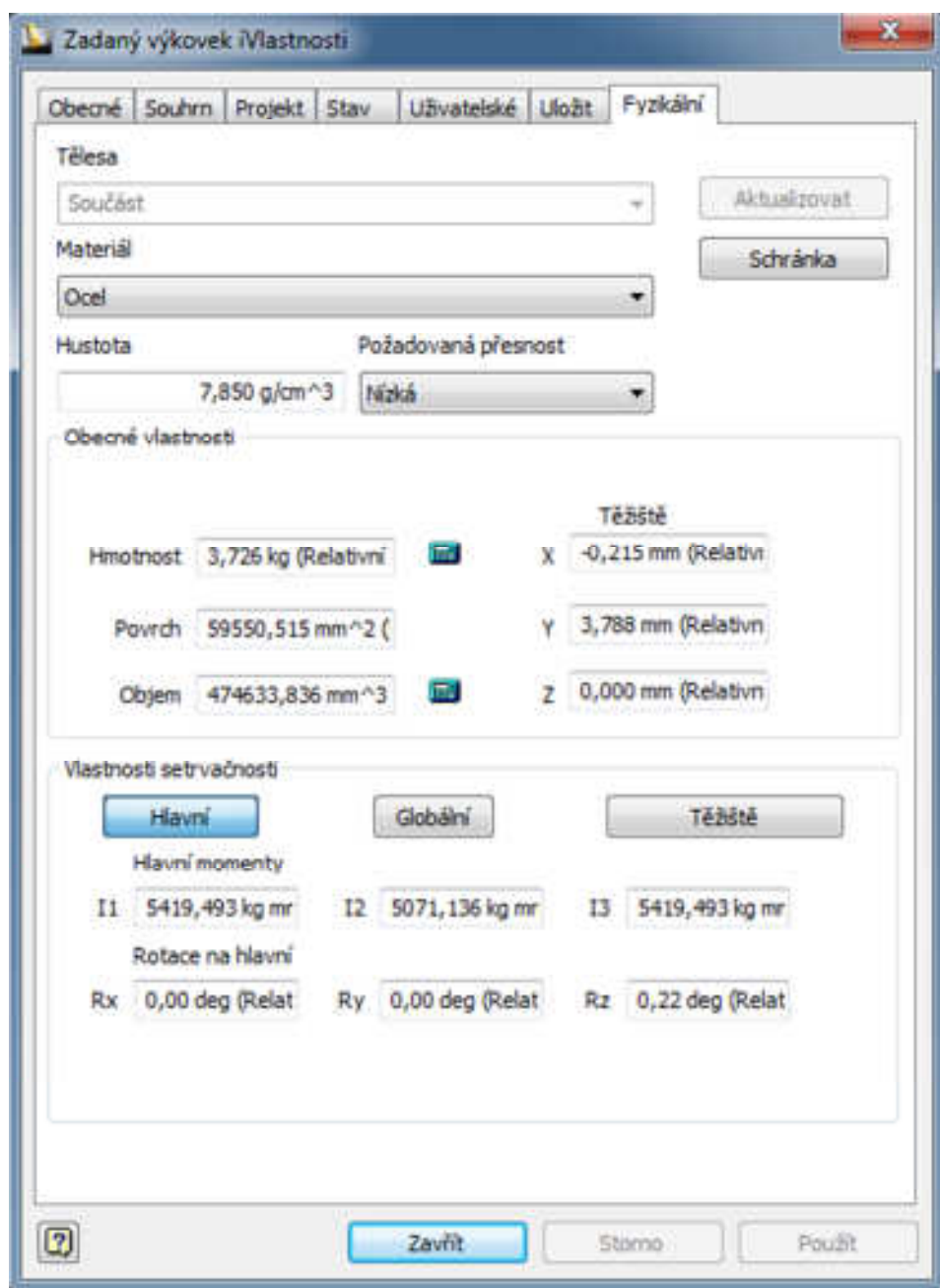
Ukázková simulace kování klikových hřídelů volným kovááním je efektivní metodou z hlediska náročnosti na kovací stroje, přípravky, čas a počet ohřevů v peci. To se používá především při výrobě předkovků. Během simulace byla provedena řada návrhů technologie kování s odlišnými druhy kovadel (viz Obr. 30). Výsledky jednotlivých operací byly porovnány na výsledném výkovku (viz Obr. 31).



Obr. 31 výsledný výkovek

3 STÁVAJÍCÍ MOŽNOSTI VÝROBY [2][5][15]

Objem, hmotnost, povrch a další fyzikální parametry hotového výkovku jsou vypočítány programem Autodesk Inventor 2012 (viz Obr. 32).



Obr. 32 Fyzikální parametry hotového výkovku

Soustružení

Vzhledem ke geometrii zadaného výkovku volím polotovar kruhové tyče Ø125 x 115 mm. Pro objem polotovaru platí:

$$V_{ps} = \frac{\pi \cdot d_{ps}^2}{4} \cdot v_{ps} = \frac{3,14 \cdot 125^2}{4} \cdot 115 = 1411262,325 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.1)$$

kde: V_{ps} [mm³] je objem polotovaru pro soustružení
 d_{ps} [mm] je průměr polotovaru pro soustružení
 v_{ps} [mm] je výška polotovaru pro soustružení.

Zbytkový materiál:

$$V_{zps} = V_{ps} - V_v = 1411262,325 - 474633,836 = 936628,489 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.2)$$

kde: V_{zps} [mm³] je zbytkový materiál z polotovaru pro soustružení

V_v [mm³] je objem hotové součásti.

Procentuální vyjádření:

$$P_z = \frac{V_{zps}}{V_{ps}} \cdot 100 = \frac{936628,489}{1411262,325} \cdot 100 = 66,4 \text{ [%]} \quad (3.3)$$

kde: P_z [%] je procentuální vyjádření zbytkového materiálu pro soustružení.

Soustružení je třískové obrábění, které poškozuje vnitřní strukturu materiálu a tím snižuje jeho vlastnosti. Úkosity na všech rotačních plochách zadané součásti znemožňují dobré upnutí do hlavy soustruhu. Hlavním důvodem pro vyloučení výroby touto cestou je příliš velká neekonomičnost výroby. Ze zakoupeného polotovaru je 66,4% nevyužitých.

Slévárnství

Zadaná součást nemá žádné velké překážky, které by znemožňovaly výrobu litím. Nemá složité výstupky nebo žebra, které by znemožnily zatékání taveniny. Nízko a středně legovaný materiál 14 220 je vhodný pro odlitky. Výroba by byla problematičtější, protože z hlediska úspory materiálu by se díra v součásti odlévala celá a bylo by nutné použití jader. Odlitý materiál nesplňuje požadovanou strukturu, součást musí být prokovaná, proto výroba litím nepřipadá v úvahu.

Zápustkové kování

Zápustkové kování je beztřískové tváření. Nenarušuje vnitřní strukturu materiálu, naopak zvyšuje houževnatost a zajistí požadované prokování materiálu. Materiál 14 220 je vhodný pro technologický proces zápustkového kování. Umožňuje součást vyrobít v požadované přesnosti tvaru a rozměrů. Úkosity na válcových plochách součásti jsou vhodné pro zápustku a umožňují snadné zvolení přímé dělicí roviny bez zalomení. Jedná se o sériovou výrobu. Kovací lis zajistí plně automatizovanou výrobní linku.

4 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY [1][2][5][14]

Technologický postup je zvolen na základě stanovení technologických dat (viz Tab. 8).

Tab. 8 Technologický postup výroby zadané součásti

Číslo	Operace	Stroj
1	Dělení materiálu	Pásová pila BS - 229HV
2	Indukční ohřev na 1050 °C	Indukční ohříváč KSO 250/10-A30
3	Kování	Klikový lis Šmeral LZK 1600
4	Ostřížení	Ostříhovací lis Šmeral LKO 315
5	Tepelné zpracování ke snížení vnitřního pnutí	Žíhací pec bez řízené atmosféry
6	Čištění – otryskání	Tryskač ATS
7	Kontrola kvality	

4.1 Dělení materiálu

Pro dělení zvoleného polotovaru kruhové tyče $\varnothing 70\text{--}3000$ [mm] volím pásovou pilu BS-229HV (viz Obr. 33). Pila je dodávána firmou Uni-max. Masivní konstrukce z odlitku zajišťuje dobrou stabilitu stroje. Disponuje velkým prořezem, hydraulicky ovládanou rychlostí přísuvu pásu do řezu. Pilový pás je vybaven chlazením. Sklopné čelisti svěráku zajišťují libovolnou změnu úhlu řezu. Tento stroj je určen pro řezání běžných kovů, které odpovídají stanovené kapacitě. Obsluha a údržba tohoto stroje obsahuje určitá rizika, která si vyžadují kvalifikovanější obsluhu. Potřebné technické parametry jsou uvedeny v tabulce (viz. Tab. 9).

Tab. 9 Technické parametry pily

Motor	400 [V] / 50 [Hz]
Výkon	0,75 [kW]
Rychlost pásu pily	25÷95 [m/min]
Velikost pásu	27x0,9x2655 [mm]
Rozměry pily	1380x460x1050 [mm]
Hmotnost pily	140 [kg]
Hlučnost	max. 80 [dB]



Obr. 33 Pásová pila BS-229HV

4.2 Indukční ohřev

Polotovar bude na kovací teplotu ohříván středofrekvenčním ohříváčem KSO 250/10-A30 (viz Obr. 34). Tento ohříváč je určen pro ohřev přířezů kruhového nebo čtvercového průřezu na kovací teplotu. Jeho součástí je výklopník palet, který vysype paletu do vibračního zásobníku. Z něj pokračují výkovky jeden za druhým po automatizovaném páse přímo do induktoru. V případě zadané součásti není nutné pořizovat kladkový

Tab. 10 Technické parametry ohříváče

Ohříváný materiál		Magnetická ocel
Rozměry přířezů	Průměr	20÷80 [mm]
	Délka	max. 500 [mm]
Max. teplota ohřívání přířezů		1250 [°C]
Max. ohřáté množství		625 [kg/h]
Výkon		250 [kW]
Vstupní napětí		3x340 [V]
Spotřeba chladicí vody		6,5 [m ³ /h]
Příkon		315 [kVA]
Kmitočet		2÷6 [kHz]

vytahovač. Výkovky budou vlivem gravitační síly padat na pevný žlábek. V průběhu ohřevu zajišťuje oddělovací zařízení, aby nedošlo ke vzájemnému slepení kusů. Ohřev výkovků je kontrolován a špatně ohřáté kusy nejsou vpuštěny do lisu. Teplota každého kusu je měřena bezdotykovými snímači teploty. Technické parametry středofrekvenčního ohřívače jsou uvedeny v tabulce (viz Tab. 10).

4.3 Kování

Kování bude probíhat v jedné operaci. Z hlediska požadavků na vyráběnou součást a ekonomičnost výroby je nejvhodnější stroj kovací lis LZK 1600 (viz Obr. 35). Pohyb beranu je ovládán příčně uloženou klikovou hřídelí. Lis je určen pro přesné zápustkové kování a kalibrování výkovků za tepla. Zvláště pak pro zpracování složitých, objemově i mechanicky náročných zápustkových výkovků. Stojan lisu je z lité oceli s mechanismem pro představení a uvolnění beranu. Jeho parametry jsou uvedeny v tabulce (viz Tab. 11).

Tab. 11 Parametry lisu LZK 1600

Jmenovitá tvářecí síla	16 [MN]
Počet zdvihů	85 [min ⁻¹]
Výška zdvihu	280 [mm]
Sevření	760 [mm]
Průchod	1230 [mm]
Pracovní plocha stolu	1180x1120 [mm]
Pracovní plocha beranu	1000x920 [mm]
Výška lisu	5900 [mm]
Šířka lisu	3150 [mm]
Hloubka lisu	2980 [mm]
Hmotnost lisu	85 [tun]



Obr. 34 Středofrekvenční ohřívač KSO 250/10-A30



Obr. 35 Klikový kovací lis LZK 216

4.4 Ostřížení

Ostřížení výronku bude probíhat za tepla ihned po procesu kování. Ze vzorce (4.9) a (4.10) pro ostříhovací síly vyplývá volba ostříhovacího lisu Šmeral LKO 315 (viz Obr. 36). Jedná se o dvoubodový jednočinný klikový lis, který je určen pro tvářecí práce za tepla, ostříhování výkovků. Je zvláště vhodný pro ostříhování a kalibrování složitých zápustkových výkovků pro automobily, traktory nebo letecký průmysl. Konstrukce lisu je z lité oceli s podélně uloženou klikovou hřídelí a mechanismem pro přestavení beranu. Stroj je vybaven pomocným

beranem pro razící operace. Lis je vybaven horním vyhazovačem a elektrickým nožním spouštěčem. Technické parametry ostříhovacího lisu jsou uvedeny v tabulce (viz Tab. 12).



Obr. 36 Ostříhovací lis LKO 315

Tab. 12 Technické parametry
ostříhovacího lisu LKO 315

Jmenovitá síla	3150 [kN]
Sevření	600 [mm]
Průchod	1400 [mm]
Upínací plocha stolu	1380x950 [mm]
Upínací plocha beranu;	1380x950 [mm]
Zdvih	200 [mm]
Počet zdvihů	44 [min ⁻¹]
Výkon	36 [kW]

4.5 Tepelné zpracování a čištění

Na zadaný výkovek nejsou kladeny žádné požadavky na tepelné zpracování, proto pro výrobu plně postačuje žihání ke snížení vnitřního pnutí. Materiál je tepelně namáhán, vzniká v něm vnitřní pnutí, které může způsobit zkřivení geometrie výkovku, zborcení nebo lom součástí. Žihání ke snížení vnitřního pnutí spočívá v pomalém ohřevu na teplotu žihání 450÷650 [°C], výdrži na této teplotě po dobu přibližně 1 hodiny, následným ochlazením v peci na teplotu 200 [°C] a konečným dochlazením na teplotu vzduchu. Žihání probíhá v žihacích pecích vakuových, s řízenou nebo neřízenou atmosférou. Proces žihání ve vakuu zaručuje lesklý povrch součástí. Celý proces je kontrolován termočlánky. Pece s řízenou atmosférou zabraňují procesu okujení a prodlužují životnost materiálu. V případě, že nezáleží na kvalitě povrchu, nebo je součást dále obráběna využívají se žihací pece bez řízené atmosféry.

Po tepelném zpracování je výkovek otryskán v Tryskači ATS (viz Obr. 37). ATS tryskače jsou vhodné pro tryskání výrobků jak při kusové, tak i malosériové výrobě. Lze je tedy zařadit do plně automatizované linky. Jsou určeny pro čištění povrchu součástí v průmyslových provozech.



Obr. 37 Tryskač ATS

5 STANOVENÍ TECHNOLOGICKÝCH DAT [5][8][9][10][12][13][14]

5.1 Materiál výkovku

Ocel 14 220

ČSN 41 4220

EURO 16MnCr5

Jedná se o mangan chromovou ocel k cementování (viz Tab. 13). Ocel je vhodná k objemovému tváření za tepla i za studena (viz Tab. 14). Je dobře obrobitelná a svařitelná. Ocel má velkou pevnost v jádře, např. při výrobě hřídelí, ozubených kol, pístních čepů, zubových spojek, atd.

Tab. 13 Chemické složení oceli 14 220 (hm. %)

Norma	C	Mn	Si	Cr	P	S
Dle ČSN	0,14÷0,19	1,10÷1,40	0,17÷0,37	0,80÷1,10	Max. 0,035	Max 0,035

Tab. 14 Vlastnosti oceli 14 220

Vlastnost	Hodnota
Mez kluzu $R_{p0,2}$	min 590 [MPa]
Mez pevnosti R_m	min. 785 [MPa]
Tvrdost HB	min. 152 [HB]
Modul pružnosti v tahu E	206 [GPa]
Modul pružnosti ve smyku G	79 [GPa]
Kování	800÷1250 [°C]
Normalizační žíhání	880÷920 [°C]
Žíhání na měkko	680÷720 [°C]
Cementování	840÷870 [°C]
Kalení	810÷840 [°C]
Popouštění	150÷200 [°C]

5.2 Zařazení výkovku podle třídy

Podle své geometrie je výkovek zařazen do tříd (viz Tab. 15), jeho označení tedy je:

7960-3

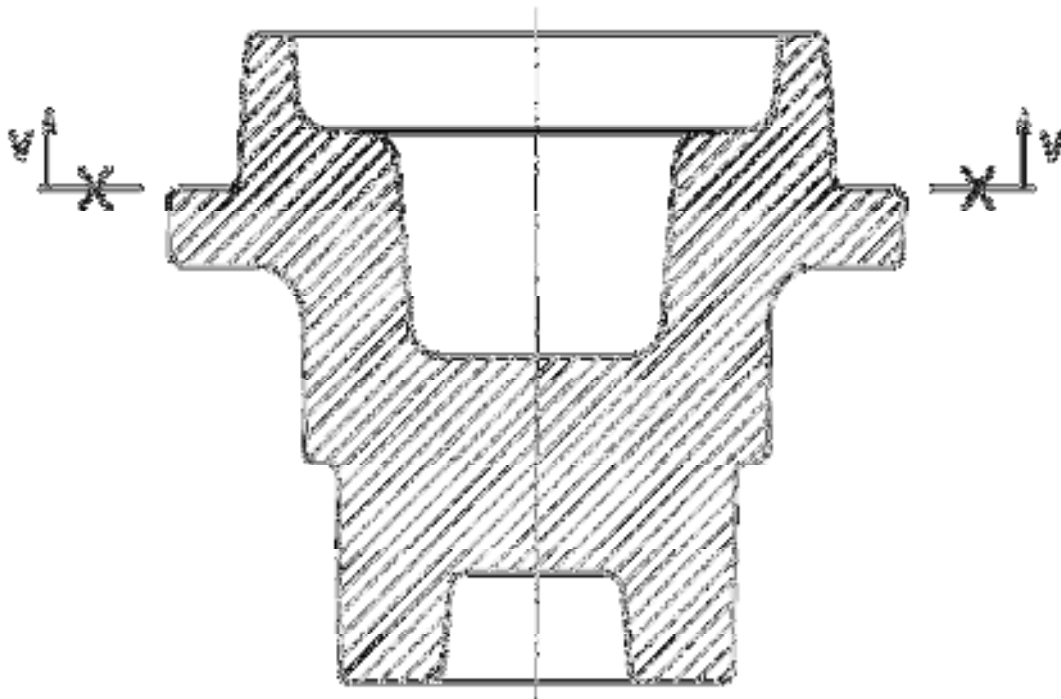
Tab. 15 Zařazení výkovku do tříd

Tvarový druh	7	Výkovky kombinovaných tvarů plné i duté
Tvarová třída	9	Výkovky jednostranně osazené
Tvarová skupina	6	Výkovky krátké
Tvarová podskupina	0	Výkovky bez přesahu
Technologické hledisko	3	Výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu souměrné

Výkovek nemá žádné složité výstupky nebo žebra. Nevyžaduje tedy velkých rázů, kterých je schopený buchar. Proto jako typ stroje volím klikový svislý lis. Všechny výpočty budou přizpůsobeny tomuto typu stroje. Zadaný výkovek je opatřen všemi přídávky a zaobleními podle normy ČSN 42 9030, proto není nutno žádné přidávat.

5.3 Volba dělicí roviny

Dělicí rovina je volena s ohledem na úkosy zadaného výkovku (viz Obr. 38). Podle úhlů úkosů by nebylo možné dělicí rovinu umístit do jiného místa výkovku, tak aby neznemožňovala vyjmutí výkovku z dutin horní i dolní zápustky.



Obr. 38 Volba dělicí roviny výkovku

5.4 Návrh polotovaru

Pokud nebude splněn štíhlostní poměr $\lambda=(1,5\div2,8)$, může polotovar při začátku petchování vybočit do strany. Pro zadanou součást volím $\lambda=2$.

Výpočet průměru polotovaru

$$D_0 = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_c}{\lambda}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{537760,136}{2}} = 69,700 \text{ [mm]} \quad (5.1)$$

kde: D_0 [mm] je průměr polotovaru
 λ [-] je štíhlostní poměr
 V_c [mm³] je celkový objem výkovku.

Výpočet délky polotovaru

$$L_0 = \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot D_0^2} = \frac{4 \cdot 537760,136}{\pi \cdot 70^2} = 139,734 \text{ [mm]} \quad (5.2)$$

kde: L_0 je délka polotovaru.

Po zaokrouhlení a přidání 2 mm na dělení materiálu volím polotovar o rozměrech $\varnothing 70$ -142 [mm] ČSN 42 0220. Kruhové tyče válcované za studena jsou dodávány firmou Feron.

Kontrola štíhlostního poměru

$$\lambda = \frac{L_0}{D_0} = \frac{140}{70} = 2 \text{ [-]} = (1,5 \div 2,8) \text{ [-]}. \quad (5.3)$$

Zvolený polotovar splňuje podmínku štíhlostního poměru. Při počátečním petchování nebude docházet k vybočení materiálu do strany.

5.5 Výpočty objemu

Výkovek bude na kovací teplotu ohříván indukčním ohřevem, proto je opal 1,3% objemu výkovku.

$$V_{op} = V_v \cdot 0,013 = 474633,836 \cdot 0,013 = 6170,240 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.4)$$

kde: V_{op} je objem materiálu na opal

V_v je objem hotového výkovku.

Objem materiálu na výronek je 10÷15% objemu výkovku. Pro zadanou součást volím 12%.

$$V_{výr} = V_v \cdot 0,12 = 474633,836 \cdot 0,12 = 56956,060 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.5)$$

kde: $V_{výr}$ je objem materiálu potřebný na výronkovou drážku.

Celkový objem výkovku

$$V_c = V_v + V_{výr} + V_{op} = 474633,836 + 56956,060 + 6170,240 = 537760,136 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.6)$$

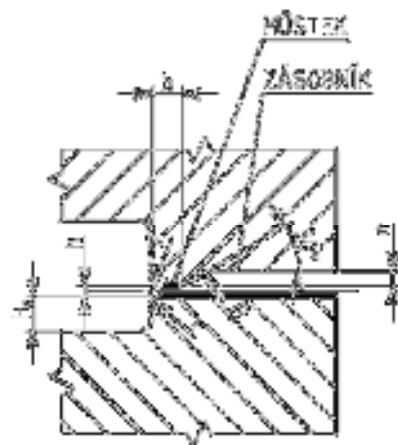
kde: V_c [mm³] je celkový objem výkovku.

5.6 Návrh výronkové drážky a střížné síly

Pro svislý kovací lis se používá otevřená výronková drážka (viz Obr. 39). Rozměry výronkové drážky jsou určeny podle síly lisu (viz Tab. 16). Čím větší je potřebný tlak na kování, tím musí být menší výška výronku „h“ a širší můstek „b“. Pro jmenovitou sílu listu volím $h_{výr} = 2,5$ [mm], $b_{výr} = 6$ [mm] a $r_{výr} = 2$ [mm].

Tab. 16 Parametry výronkové drážky

Síla lisu [MN]	$h_{výr}$ [mm]	$b_{výr}$ [mm]	$b_{zvýr}$ [mm]	$r_{výr}$ [mm]
2	1÷1,5	3÷5	25	1÷1,5
6,3	1÷2	3÷7	25	
10	1,5÷2,5	4÷7,5	30	
16	2÷3	5÷8	32	1,5÷2,5
25	2,5÷4	6÷10	38	
31,5	2,5÷4,5	6÷11	40	2÷3
40	3,5÷5,5	7÷12	42	
63	4,5÷8	9÷15	50	2÷5



Obr. 39 Otevřená výronková drážka

Výpočet síly pro ostřížení výronku

$$F_{ov} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot o_{výr} \cdot \sigma_s \cdot h_{výr} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot \pi \cdot 123,1 \cdot 90 \cdot 2 \cdot 2,5 = 236,679 \text{ [kN]} \quad (5.7)$$

kde: $o_{výr}$ [mm] je obvod výronku

σ_s [MPa] je mez pevnosti materiálu pro danou teplotu

$h_{výr}$ [mm] je výška můstku výronkové drážky.

Výpočet síly pro ostřížení blány

$$F_{ob} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot o_b \cdot \sigma_s \cdot h_b = 1,7 \cdot 0,8 \cdot \pi \cdot 29 \cdot 90 \cdot 2 \cdot 36,5 = 814,052 \text{ [kN]} \quad (5.8)$$

kde: o_b [mm] je obvod blány

σ_s [MPa] je mez pevnosti materiálu pro danou teplotu

h_b [mm] je výška blány.

Pro zkrácení výrobního času bude ostřížení výronku a blány probíhat v jedné operaci. Výsledná síla bude tedy součet síly potřebné na ostřížení výronku a síly potřebné na ostřížení blány.

Výsledná ostříhovací síla

$$F_o = F_{ov} + F_{ob} = 236,679 + 814,052 = 1050,731 \text{ [kN]} \quad (5.9)$$

kde: F_o [kN] je výsledná ostříhovací síla.

5.7 Výpočet kovací síly výkovku

Koeficient šířky plochy průmětu výkovku

$$s = 0,1725 \cdot G_0^{0,16} \cdot D_v^{0,5} = 0,1725 \cdot 3,726^{0,16} \cdot 123,1^{0,5} = 2,362 \text{ [mm]} \quad (5.10)$$

kde: G_0 [kg] je hmotnost výkovku

D_v [mm] je největší průměr výkovku.

Šířka plochy průmětu výkovku

$$b = (3 \div 5)s = 4 \cdot s = 4 \cdot 2,362 = 9,448 \text{ [mm]}. \quad (5.11)$$

Plocha průmětu výkovku

$$S_c = \frac{\pi}{4} \cdot (D_v + 2b)^2 = \frac{\pi}{4} \cdot (123,1 + 2 \cdot 9,448)^2 = 15835,876 \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (5.12)$$

Pro výpočet přesné kovací síly je zvolen koeficient vlivu tvarové složitosti $K_{ts} = 1,17$ [-] (viz Tab. 17) a hodnota přetvárné pevnosti $k_p = 121$ [-] (viz Tab. 18) zvolena pro teplotu kování 1050 °C.

Tab. 17 Koeficient vlivu tvarové složitosti

Stupeň	Tvar výkovku	K_{ts} [-]
I.	Jednoduché kompaktní součásti	1
II.	Kompaktní, málo členité součásti	1,08
III.	Součásti s vysokým stupněm deformace	1,17
IV.	Rozvidlené součásti	1,25
V.	Součásti s malými toušťkami a přechody	1,33
VI.	Součásti s extrémně malou tloušťkou průřezu	1,42

Tab. 18 Hodnoty přetvárné pevnosti

Materiál dle ČSN	Kovací teplota [°C]						
	900	950	1000	1050	1100	1150	1200
12 050	149	128	108	91	80	71	68
12 060	148	118	102	90	82	73	67
13 240	196	171	150	130	102	96	80
14 100	165	132	111	99	91	85	
14 220	184	159	139	121	106	91	76

Přesná kovací síla

$$F_k = 0,6 \cdot S_c \cdot k_p \cdot K_{ts} = 0,6 \cdot 15835,876 \cdot 121 \cdot 1,17 = 13,451 \text{ [MN]}. \quad (5.13)$$

5.8 Výpočet kovací síly podle normy ČSN 22 8306

Pro výpočet kovací síly podle normy ČSN je nutno vypočítat napětí ve všech odlišných průřezích (viz Obr. 40). Kovací teplotu, hmotnost polotovaru a druh materiálu už známe. Zbývá určit pevnost oceli za kovací teploty $R_{mT} = 41 \text{ [MPa]}$ (viz Tab. 19) a součinitel snížení plasticity materiálu $C_0 = 4 \text{ [-]}$ daný normou ČSN 22 8306.

Tab. 19 Pevnost oceli za kovací teploty

Oceli třídy 14			$R_{mT} \text{ [MPa]}$					
Jakost	Tvářecí teplota kování [°C]	Střední deformační rychlost [v/s]	Teplota tváření [°C]					
			800	900	950	1000	1100	1200
14 109	1050÷800	0,02	128	82	65	52	34	23
14 120	1250÷800		87	80	69	55	38,5	26,5
14 220	1250÷800		126	86	70	59	40	27
14 260	1100÷800		140	84	70	58	41	27
14 331	1150÷800		145	91	73	60	42	28
14 340	1100÷800		140	98	81	67	47	32

Výpočet napětí v jednotlivých průřezích (viz Tab. 20)

$$\sigma_0 = 1,285 \cdot R_{mT} \cdot C_0 = 1,285 \cdot 41 \cdot 4 = 210,740 \text{ [MPa]} \quad (5.14)$$

kde: $\sigma_0 \text{ [MPa]}$ je napětí v můstku výronkové drážky

$R_{mT} \text{ [MPa]}$ je pevnosti oceli za kovací teploty

$C_0 \text{ [-]}$ je součinitel snížení plasticity materiálu.

$$\text{I. } \sigma_I = \sigma_0 + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_I}{h_I} = 210,740 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{12}{13} = 362,125 \text{ [MPa]} \quad (5.15)$$

$$\text{II. } \sigma_{II} = \sigma_I + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{II}}{h_{II}} = 362,125 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{14}{39} = 420,996 \text{ [MPa]} \quad (5.16)$$

$$\text{III. } \sigma_{III} = \sigma_{II} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{III}}{h_{III}} = 420,996 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{28,5}{93} = 471,254 \text{ [MPa]} \quad (5.17)$$

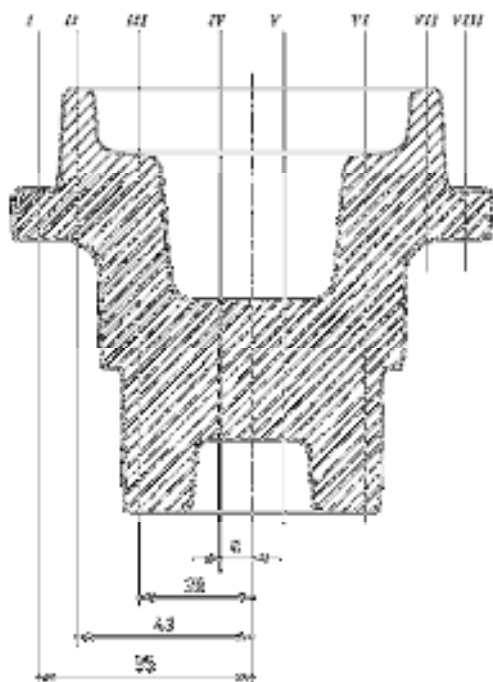
$$\text{IV. } \sigma_{IV} = \sigma_{III} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{IV}}{h_{IV}} = 471,254 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{16}{36,5} = 543,144 \text{ [MPa]} \quad (5.18)$$

$$\text{V. } \sigma_V = \sigma_{IV} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_V}{h_V} = 543,144 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{16}{36,5} = 615,035 \text{ [MPa]} \quad (5.19)$$

$$\text{VI. } \sigma_{VI} = \sigma_V + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{VI}}{h_{VI}} = 615,035 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{28,5}{93} = 665,293 \text{ [MPa]} \quad (5.20)$$

$$\text{VII. } \sigma_{VII} = \sigma_{VI} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{VII}}{h_{VII}} = 665,293 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{14}{39} = 724,165 \text{ [MPa]} \quad (5.21)$$

$$\text{VIII. } \sigma_{VIII} = \sigma_{VII} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b_{VIII}}{h_{VIII}} = 724,165 + 41 \cdot 4 \cdot \frac{12}{13} = 875,550 \text{ [MPa]} \quad (5.22)$$



Tab. 20 Napětí v jednotlivých průřezech

Plocha	$\sigma \cdot b$ [MPa]	x_i [mm]	$\sigma \cdot x_i$
I	362,125*12	55	239002,500
II	420,996*14	45	265277,480
III	471,254*28,5	29	389491,431
IV	543,144*16	8	69522,432
V	615,035*16	8	78724,48
VI	665,293*28,5	29	549864,665
VII	724,165*14	45	456223,950
VIII	875,550*12	55	577863,000
Σ			2625919,938

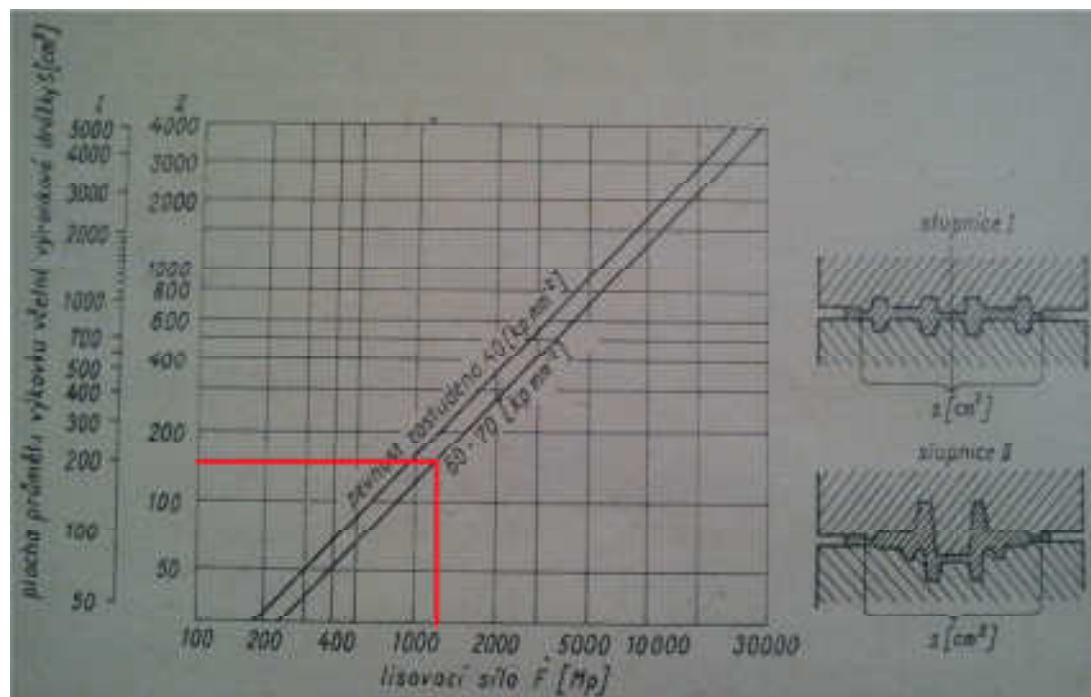
Obr. 40 Průřezy, ve kterých je počítáno napětí

Kovací síla

$$F_{kn} = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{i=I}^{VIII} (\sigma_i \cdot x_i) = 2 \cdot \pi \cdot 2625919,938 = 16,490 \text{ [MN]} \quad (5.23)$$

kde: x [mm] je vzdálenost od nulového bodu.

5.9 Kontrola kovací síly podle nomogramu



Obr. 41 Nomogram pro určení kovací síly EMUCO

Kovací síla vychází 13,451 MN a podle normy ČSN 16,490 MN. Kontrola v nomogramu kovací síly EMUCO (viz. Obr. 41) prokázala, že použití lisu o jmenovité kovací síle 16 MN bude dostačující. Výpočet podle normy ČSN také počítá s určitou rezervou. Hodnota R_{mT} a konečná volba stroje byla provedena na základě zkušeností vedoucího bakalářské práce.

5.10 Rozměry zápustky

Horní i dolní polovina zápustky jsou kruhového průřezu, který je určený výpočtem. Materiál zápustky je 19 662 (NiCrMoV).

Průměr kovací zápustky

$$D_z \geq D_v + 0,2 \cdot (D_v + H_{vyt}) + 10 = 123,1 + 0,2 \cdot (123,1 + 13,2) + 10 = 160,360 \quad (5.24)$$

kde: D_z [mm] je minimální průměr kovací zápustky.

Z katalogu firmy ŠMERAL je tento průměr pevně daný. Pro lis LZK 1600 je $D_z = 275$ [mm].

Průměr kolíkového vyhazovače

$$d'_k = d_k - \Delta = 38 - 0,3 = 37,7 \text{ [mm]} \quad (5.25)$$

kde: d'_k [mm] je jmenovitý průměr vyhazovače

d_k [mm] je průměr díry pro vyhazovač

Δ [mm] je vůle ve vedení vyhazovače.

Všechny rozměry zápustky, vyhazovače a výkovku jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci (viz. Příloha 1÷7).

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [12][13][14]

Zadané a zvolené parametry:

Sériovost $N = 180000$ [ks/rok]

Polotovar $\varnothing 70$ -142 [mm]

Hutní materiál kruhová tyč $\varnothing 70$ -3000 [mm] ČSN 42 5510

Počet kusů z 1 tyče

$$n_k = \frac{l_t}{l_p} = \frac{3000}{142} = 21,126 \Rightarrow 21 \text{ [ks]} \quad (6.1)$$

kde: n_k [ks] je počet kusů z 1 tyče

l_t [mm] je délka tyče

l_p [mm] je délka polotovaru.

Počet tyčí za rok

$$n_r = \frac{N}{n_k} = \frac{180000}{21} = 8571,429 \Rightarrow 8572 \text{ [ks/rok]} \quad (6.2)$$

kde: n_r [ks/rok] počet tyčí za 1 rok

N [ks/rok] počet polotovarů za 1 rok.

Hmotnost polotovaru

$$m_p = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot l_p \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,07^2}{4} \cdot 0,142 \cdot 7850 = 4,299 \text{ [kg]} \quad (6.3)$$

kde: m_p [kg] je hmotnost polotovaru

d_p [mm] je průměr polotovaru

ρ [kg/m³] je hustota materiálu.

Hmotnost tyče

$$m_t = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot l_t \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,07^2}{4} \cdot 3 \cdot 7850 = 90,585 \text{ [kg]} \quad (6.4)$$

kde: m_t [kg] je hmotnost tyče.

Hmotnost tyčí za 1 rok

$$m_r = m_t \cdot n_r = 90,585 \cdot 8572 = 776494,620 \text{ [kg/rok]} \quad (6.5)$$

kde: m_r [kg] je hmotnost tyčí za 1 rok.

Délka nevyužitého zbytku tyče

$$l_z = l_t - (l_p \cdot n_k) = 3000 - (142 \cdot 21) = 18 \text{ [mm]} \quad (6.6)$$

kde: l_z [mm] je délka nevyužitého zbytku tyče.

Hmotnost nevyužitého zbytku tyče

$$m_z = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot l_z \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,07^2}{4} \cdot 0,018 \cdot 7850 = 0,544 \text{ [kg]} \quad (6.7)$$

kde: m_z [kg] je hmotnost nevyužitého zbytku tyče.

Hmotnost zbytku připadající na 1 kus

$$m_{z1} = \frac{m_z}{n_k} = \frac{0,544}{21} = 0,026 \text{ [kg/ks]} \quad (6.8)$$

kde: m_{z1} [kg] je hmotnost zbytku připadající na 1 kus.

Norma spotřeby materiálu

$$N_{sm}=m_p+m_{z1}=4,299+0,026=4,325 \text{ [kg]} \quad (6.9)$$

kde: N_{sm} [kg] je norma spotřeby materiálu.

Stupeň využití materiálu

$$k_m = \frac{G_0}{N_{sm}} = \frac{3,726}{4,325} = 0,86 \text{ [-]} \quad (6.10)$$

kde: k_m [-] je stupeň využití materiálu

G_0 [kg] je hmotnost hotového výrobku.

Cena za 1 kg kruhové válcované tyče $\varnothing 70$ [mm] je uvedena z ceníku firmy Vlastro s.r.o.

Cena materiálu na 1 kus

$$C_{ks}=m_p \cdot C_{kg}=4,299 \cdot 28,5=122,5 \text{ [Kč]} \quad (6.11)$$

kde: C_{ks} [Kč] je cena materiálu za 1 kus

C_{kg} [Kč/kg] je cena materiálu za kilogram.

Cena jedné tyče

$$C_t=m_t \cdot C_{kg}=90,585 \cdot 28,5 = 2581,673 \Rightarrow 2582 \text{ [Kč]} \quad (6.12)$$

kde: C_t [Kč] je cena 1 tyče.

Cena materiálu za rok

$$C_r=n_r \cdot C_t=8572 \cdot 2582= 22132904 \text{ [Kč]} \quad (6.13)$$

kde: C_r [Kč] je cena materiálu za 1 rok.

Náklady na výrobu

Náklady na výrobu jsou pouze orientační (viz. Tab. 21). U každé firmy jsou individuální.

Tab. 21 Náklady na jednotlivé operace

Proces	Stroj	Náklady na hodinu [Kč]	Čas na seřízení [min]	Čas 1 operace [min]	Náklady na seřízení [Kč]	Náklady na operaci [Kč]
Dělení	BS-229HV	700	15	1	175	7
Ohřev	KSO 250/10- A30	1000	60	5	1000	50
Kování	ŠMERAL LZK 1600	1500	60	0,4	1500	10
Ostřížení	ŠMERAL LKO 315	1000	60	0,4	100	6,7
Otryskání	Tryskač ATS	300	10	1,5	50	7,5
Celkem		4500	205	8,3	3725	81,2

Celkové náklady na výrobu jednoho kusu jsou 81,2 [Kč]. S připočítanou cenou materiálu jsou náklady na 1 kus 204 [Kč]. Výroba zadané součásti zápuštkovým kovááním je ekonomická a splňuje všechny požadavky na kvalitu její výroby.

7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo určit způsob výroby opěry tvářením. Literární rešerše se zabývá druhy kování a možnostmi jejich uplatnění. Konkrétněji zápustkovým kovááním, které je neoptimálnějším řešením pro zadanou součást. Při obrábění vzniká velké množství přebytečného materiálu a výroba je tak velice neekonomická. Při výrobě litím nedosáhneme požadované vnitřní struktury materiálu.

Produktem technologického procesu kování je výkovek. Ten však nezaručuje dokonalou přesnost a drsnost povrchu, proto je prvním krokem při výrobě stanovení přídavek na obrábění, technologických přídavek, zaoblení a úkosů. Poté je výkovek podle své geometrie zařazen do tříd, které mají velký vliv na volbu dalších kritérií výroby. Zápustkové kováání je možné realizovat na bucharech nebo kovacích lisech. Výběr vhodného kovacího stroje určuje geometrie a požadovaná kvalita výkovku. Od této volby se pak odvíjí konstrukce zápustek, volba dělicí roviny, využití vyhazovačů a typ výronkové drážky. Po výpočtu kovací síly určíme sílu, která je potřebná na ostřížení výronku a blan. To může být provedeno za tepla i za studena. Výkovek je po dobu kování tepelně namáhán, proto je nutné počítat se mrštěním po zchladnutí výkovku, opalem a vznikem vnitřního napětí. To může mít za následek zkřivení výkovku nebo vznik trhlin. Zamezuje se mu žíháním ke snížení vnitřního pnutí. Po dokončení celého procesu kování a tepelného zpracování je výkovek otryskán a tím zbaven veškerých nečistot zbylých na povrchu. Většina výkovků je dále zpracovávána, např. obráběním.

Při automatizaci celého procesu se stává kováání velice výhodnou metodou výroby součástí. Vývoj nových materiálů a maziv prodlužuje životnost zápustek i strojů. Jedná se o beztržkové obrábění, které je velice výhodné při úspoře hutního materiálu a zkvalitnění struktury součástí.

Pro technologický postup zadaného výkovku doporučuji zkušební provoz a v případě nutnosti použití i horního vyhazovače.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DVOŘÁK, Milan. *TECHNOLOGIE II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. ISBN 80-214-2683-7. 238 s.
- [2] LIDMILA, Zdeněk a Emil SVOBODA. *Strojírenská Technologie*. Brno: Fakulta vojenských technologií, 2006. ISBN 978-80-7231-220-7. 250 s.
- [3] FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. ISBN 80-214-2764-7. 167 s.
- [4] LENFELD, Petr. *Technologie: Tváření kovů, Tváření plastů*. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/uvod.htm
- [5] SPIŠÁK, Emil a Miroslav TOMÁŠ. *Teória konvenčných technológií*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2009. Edícia študijnej literatury. ISBN 978--80-553-0201-0.
- [6] SprutCAM [online]: *Metody obrábění*. Dostupné z: <http://www.sprutcam.cz/metody-obrabeni/soustruzeni>
- [7] FROLEC, Ivo. *Kovářství*. Praha: Grada Publishing a.s., 2003. ISBN 80-247-0611-3. 156 s.
- [8] HRUBÝ, Jiří, Stanislav RUSZ a Radek ČADA. *Strojírenské tváření*. Ostrava: Technická univerzita Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1218-5. 152 s.
- [9] LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření II*. Brno: Fakulta vojenských technologií, 2008. ISBN 978-80-7231-580-2. 113 s.
- [10] ČERMÁK, Jan. *Podklady pro projekt 2: část kování*. Odbor tváření, slévání a svařování. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/PRO2/kov_kapacitni_vypocty.pdf
- [11] KOUTSKÝ, Jaroslav a Dušan KEŠNER. *Simulace technologického postupu kování hřídelí*. Západočeská univerzita. Plzeň. Dostupné z: http://www.metal2012.com/files/proceedings/metal_01/papers/122.pdf
- [12] Fakulta strojního inženýrství. odbor tváření. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/databaze_modelu_soubory/ocel_14220.pdf
- [13] FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Brno: CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7. 167 s.
- [14] FISCHER, Ulrich. *Základy strojnictví*. 4. vydání. Praha: Europa-Sobotáles, 2004. ISBN 80-86706-09-5. 296 s.
- [15] SOBEK, Evžen. *Základy konstruování: návody pro konstrukční cvičení*. Brno: CERM, 2004. ISBN 80-7204-331-5. 111 s.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
B	Šířka výkovku	[mm]
b	Šířka plochy průmětu výkovku	[mm]
b_{I-VIII}	Šířka v jednotlivých průřezích výkovku	[mm]
$b_{výr}$	Šířka můstku výronkové drážky	[mm]
$b_{zvýr}$	Šířka výronkové drážky	[mm]
C_0	Součinitel snížení plasticity materiálu	[-]
C_{kg}	Cena materiálu za kilogram	[Kč/kg]
C_{ks}	Cena materiálu za 1 kus	[Kč]
C_r	Cena materiálu za 1 rok	[Kč/rok]
C_t	Cena tyče	[Kč]
D	Průměr výkovku	[mm]
d'_k	Jmenovitý průměr vyhazovače	[mm]
d_b	Průměr blány	[mm]
d_{ip}	Průměr ideálního předkovku	[mm]
d_k	Průměr díry pro vyhazovač	[mm]
d_p	Průměr polotovaru	[mm]
d_{ps}	Průměr polotovaru pro soustružení	[mm]
d_{pt}	Průměr trnu vyhazovače	[mm]
D_{pt}	Průměr osazení trnu vyhazovače	[mm]
D_v	Průměr výkovku	[mm]
D_z	Vnější průměr zápustky	[mm]
F_j	Jmenovitá síla kovacího stroje	[MN]
F_k	Kovací síla	[MN]
F_o	Celková síla ostřížení	[kN]
F_{ob}	Síla pro ostřížení blány	[kN]
F_{ov}	Síla pro ostřížení výronku	[kN]
G_0	Hmotnost hotového výkovku	[kg]
H	Výška výkovku	[mm]
h_b	Vzdálenost od okraje díry	[mm]
h_{I-VIII}	Výška v jednotlivých průřezích výkovku	[mm]
h_{ip}	Výška průřezového obrazce	[mm]
$h_{výr}$	Výška můstku výronkové drážky	[mm]
$H_{výr}$	Výška ode dna dolní zápustky k můstku	[mm]
k_m	Stupeň využití materiálu	[-]
k_p	Hodnota přetvárné pevnosti	[-]
K_{ts}	Koeficient vlivu tvarové složitosti	[-]
L	Délka výkovku	[mm]
l_p	Délka polotovaru	[mm]
l_t	Délka tyče	[mm]
l_z	Délka nevyužitého zbytku tyče	[mm]
m	Šířka průřezového obrazce	[mm]
m_p	Hmotnost polotovaru	[kg]
m_r	Hmotnost tyčí za 1 rok	[kg/rok]
m_t	Hmotnost tyče	[kg]
m_z	Hmotnost nevyužitého zbytku tyče	[kg]
m_{z1}	Hmotnost nevyužitého zbytku tyče připadající na 1 kus	[kg]
N	Sériovost	[ks/rok]
n_k	Počet kusů z jedné tyče	[ks]
n_r	Počet tyčí za 1 rok	[ks/rok]

N_{sm}	Norma spotřeby materiálu	[kg]
$o_{výr}$	Obvod výronku	[mm]
P_z	Procentuální vyjádření zbytkového materiálu pro soustružení	[%]
r	Poloměr zaoblení zápustky vnější hrany	[mm]
R	Poloměr zaoblení zápustky vnitřní hrany	[mm]
R_m	Pevnost kovaného materiálu	[MPa]
R_{mT}	Pevnost oceli za kovací teploty	[MPa]
s	Koeficient šířky plochy průmětu výkovku	[mm]
s_b	Šířka blány	[mm]
S_c	Plocha průmětu výkovku	[mm ²]
S_{ip}	Plocha průřezu výkovku	[mm]
V_c	Celkový objem výkovku	[mm ³]
V_{op}	Objem materiálu na opal	[mm ³]
V_{ps}	Objem polotovaru pro soustružení	[mm ³]
v_{ps}	Výška polotovaru pro soustružení	[mm]
V_v	Objem zadaného výkovku	[mm ³]
$V_{výr}$	Objem materiálu na výronek	[mm ³]
V_{zps}	Objem zbytkového materiálu z polotovaru pro soustružení	[mm ³]
Δ	Vůle ve vedení vyhazovače	[mm]
λ	Štíhlostní poměr	[-]
ρ	Hustota oceli	[kg/m ³]
$\sigma_{0÷VIII}$	Napětí v jednotlivých průřezích	[MPa]
σ_s	Mez pevnosti ve stříhu	[MPa]

SEZNAM PŘÍLOH

Číslo	Název	Číslo výkresu
Příloha 1	Studený výkovek	2012-BP-CAHA-01
Příloha 2	Teplý výkovek	2012-BP-CAHA-02
Příloha 3	Technologický postup	2012-BP-CAHA-03
Příloha 4	Sestava zápustek	2012-BP-CAHA-04
Příloha 5	Horní zápustka	2012-BP-CAHA-05
Příloha 6	Dolní zápustka	2012-BP-CAHA-06
Příloha 7	Vyhazovač	2012-BP-CAHA-07