VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

PROBLEMATIKA OSTŘIHOVÁNÍ A DĚROVÁNÍ VÝKOVKU
THE ISSUE OF TRIMMING AND PUNCHING OF THE FORGED PIECE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **Adam Kopečný**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **Ing. Jan Řiháček, Ph.D.**
SUPERVISOR

BRNO 2018

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	**Adam Kopečný**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	**Ing. Jan Řiháček, Ph.D.**
Akademický rok:	2017/18

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:

Problematika ostřihování a děrování výkovku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o aplikaci technologie kování na konkrétní výkovek, především pak o návrh nástroje pro ostřižení výronku a blány daného výkovku. Na tuto část bude též zaměřena rešeršní část práce.

Cíle bakalářské práce:

– rešerše zaměřená na analýzu procesu kování a stříhání,
– provedení výpočtu ostřihovací síly,
– navržení ostřihovacího nástroje pro daný výkovek včetně výkresové dokumentace.

Seznam doporučené literatury:

BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. Technológia tvárnenia. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.

VOJTĚCH, Dalibor. Materiály a jejich mezní stavy. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. ISBN 978-8--7080-741-5.

HOSFORD, WILLIAM F. and Robert CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 4th ed. New York: Cambridge University Press, 2011. 331 p. ISBN 978-1-107-88-00452-8.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření. Plošné a objemové tváření. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

KOPEČNÝ ADAM: Problematika ostřihování a děrování výkovku.

V bakalářské práci je zpracován návrh nástroje pro děrování a ostřihování výkovku pouzdra z oceli jakosti 14 331. Kování bude probíhat na kovacím lisu LMZ 1 000 od firmy Šmeral Brno, a. s. Zápustky jsou vyrobeny z oceli ČSN 19 552. Velikost série je 520 000 kusů ročně. Navržený nástroj je konstruován jako postupový. Kvůli stanovení teploty, při které bude probíhat ostřihování a děrování byla zpracována simulace kovacího procesu v softwaru FormFEM. Na základě výpočtu ostřihovací a děrovací síly byl pro ostřihovací operaci zvolen lis S 160 E opět od výrobce Šmeral Brno, a. s. Střižníky a střižnice ostřihovacího nástroje jsou vyrobeny z nástrojové oceli ČSN 19 550 tepelně zpracované dle výkresové dokumentace. Na závěr bylo zpracováno ekonomické zhodnocení. Bakalářská práce byla zpracována ve spolupráci se společností Šmeral Brno, a. s.

Klíčová slova: Ocel 19 550, zápustkové kování, ostřihování, děrování, simulace

ABSTRACT

KOPEČNÝ ADAM: The Issue of Trimming and Punching of the Forged Piece

The bachelor thesis deals with the design of tool for punching and trimming of the forged case, made from 14 331 steel. Forging will be done on forging press LMZ 1 000 made by Šmeral Brno, a. s. The dies are made from 19 552 steel. Production series is 520 000 pieces per year. The tool is designed as progressive. Simulation of the forging process in FormFEM software has been done, because of evaluation of the trimming and punching temperature. Based on calculated punching and trimming force the press S 160 E made by Šmeral Brno, a. s., was chosen. Piercing punches and dies are produced from instrumental steel 19 550, with heat treatment according to design documentation. To conclude, the economical evaluation was done. The bachelor thesis was done in cooperation with Šmeral Brno, a. s.

Keywords: 19 550 steel, die forging, trimming, punching, simulation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOPEČNÝ, Adam. *Problematika ostřihování a děrování výkovku*. Brno, 2018. 45s, 7 výkresů, 7 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Jan Řiháček, Ph.D.

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 25.5.2018

……

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Janu Řiháčkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále také děkuji doc. Ing. Milanu Dvořákovi, CSc. a Ing. Robertu Konečnému.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

str

ÚVOD ... 9
1 ROZBOR ZADÁNÍ ... 10
1.1 Variantní řešení ... 12
2 TVÁŘENÍ ZA TEPLA ... 13
2.1 Ohřev materiálu ... 14
2.2 Technologie kování ... 16
2.2.1 Postup výroby výkovku ... 17
2.2.2 Konstrukce zápustek ... 18
2.2.3 Kovací stroje ... 22
2.3 Ostřihování a děrování ... 24
2.3.1 Princip střihu ... 24
2.3.2 Konstrukce střižného nástroje ... 25
2.4 Počítačové simulace tvářecích procesů ... 28
3 NÁVRH OSTŘIHOVACÍHO NÁSTROJE ... 31
3.1 Simulace zápustkového kování ... 31
3.2 Výpočet děrovací a ostřihovací síly ... 33
3.3 Operace děrování ... 34
3.4 Operace ostřihování ... 38
3.5 Skladování a manipulace s nástrojem ... 40
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ ... 41
5 ZÁVĚRY ... 45

Seznam použitých zdrojů
Seznam použitých symbolů a zkratek
Seznam obrázků
Seznam tabulek
Seznam příloh
Seznam výkresů

ÚVOD [1], [2], [3], [4]

Výrobu součástí je v dnešní době možno realizovat mnoha různými technologiemi, jako jsou třískové obrábění, odlévání a tváření. Během volby technologie je nutno zvažovat objem výroby dané součásti, požadavky na kvalitu a také technologičnost. Metody tváření jsou v dnešní době na vzestupu, zejména z důvodu potřeby výroby o značné sériovosti a neustálé potřebě co nejvíce zkracovat výrobní časy. Nespornou výhodou je velmi vysoké využití materiálu, např. oproti metodám třískového obrábění.

Dle teploty se tváření dělí na metody probíhající za tepla a za studena. Během procesů probíhajících za studena je součást deformačně zpevňována. Metody tváření za tepla jsou využívány zejména z důvodu potřeby nižších tvářecích sil.

Mezi významné zástupce tváření za tepla patří válcování a kování zápustkové i volné. Jedná se o metody využívané v řadě průmyslových odvětví, zejména pak v průmyslu automobilovém, kdy jsou kovány např. ojnice a klikové hřídele. Dále jsou předkovávány také ozubená kola, pastorky atd. Pro výrobu velkorozměrových součástí, jako jsou hřídele parních turbín nebo lodních motorů, je významnou technologií volné kování.

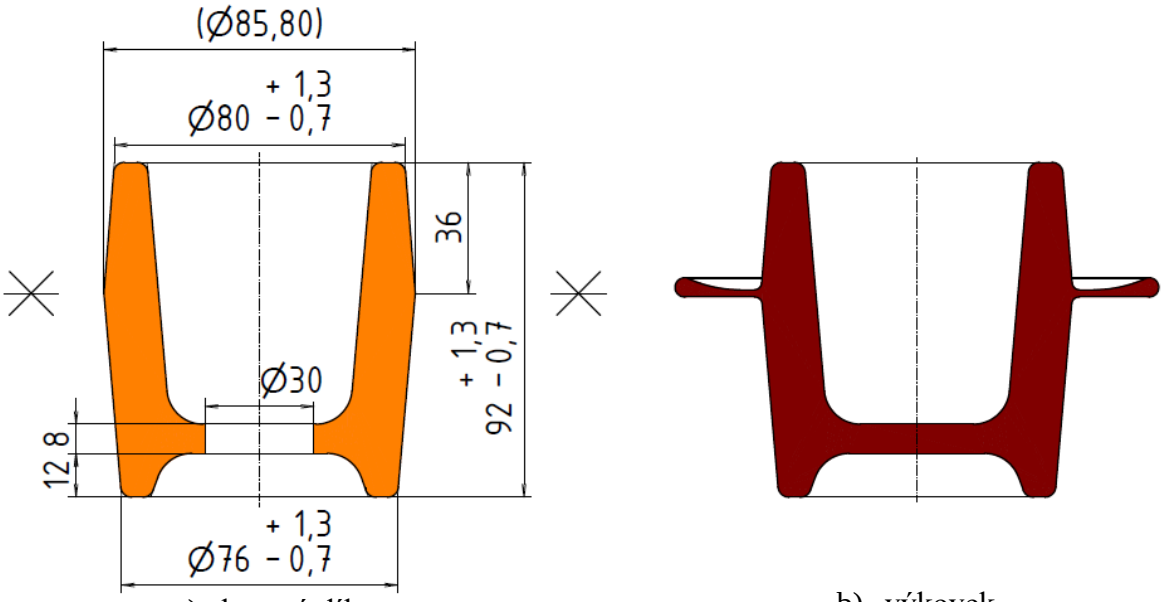
Na obr. 1 jsou uvedeny příklady produktů tváření za tepla.

Obr. 1 Produkty tváření za tepla [1], [2], [3], [4]

1 ROZBOR ZADÁNÍ [5], [6], [7]

Řešenou součástí je výkovek pouzdra se zaměřením na technologii ostřihování výronku a děrování blány výkovku.

Součást je vyráběna technologií zápustkového kování. Plánované množství výroby je 520 000 kusů ročně. Výkovek má tvar rotační součásti, viz obr. 2. Největší rozměry dílce jsou vnější průměr 85,80 mm a výška 92 mm. Všechny hrany jsou zaobleny, největší zaoblení je mezi vnitřní stěnou a blánou, a to R 10 mm. Na výkovku nejsou žádné náhlé přechody. Dílec disponuje předkovaným otvorem-blánou, jejíž šířka je 8 mm, následně bude děrován otvor o průměru 30 mm. Práce je zaměřena na návrh nástroje pro ostřižení výronku a děrování blány výkovku.



a) hotový dílec b) výkovek

Obr. 2 Hotový dílec a výkovek

Použitým materiálem je ocel ČSN 14 331 (ekvivalent GOST 4543-71), jejíž základní chemické složení je uvedeno v tab. 1. Mechanické vlastnosti uvádí tab. 2. Jedná se o konstrukční nízkolegovanou chromovou ocel, dobře tvárnou za tepla, používanou např. pro výrobu čepů a hřídelí. Jako polotovar bude použita tyč o jmenovitém průměru 75 mm, která bude dělena na špalíky o délce 68 mm. Před kováním je proveden ohřev polotovaru na teplotu 1 200 °C.

Tab. 1 Chemické složení oceli 14 331 [6].

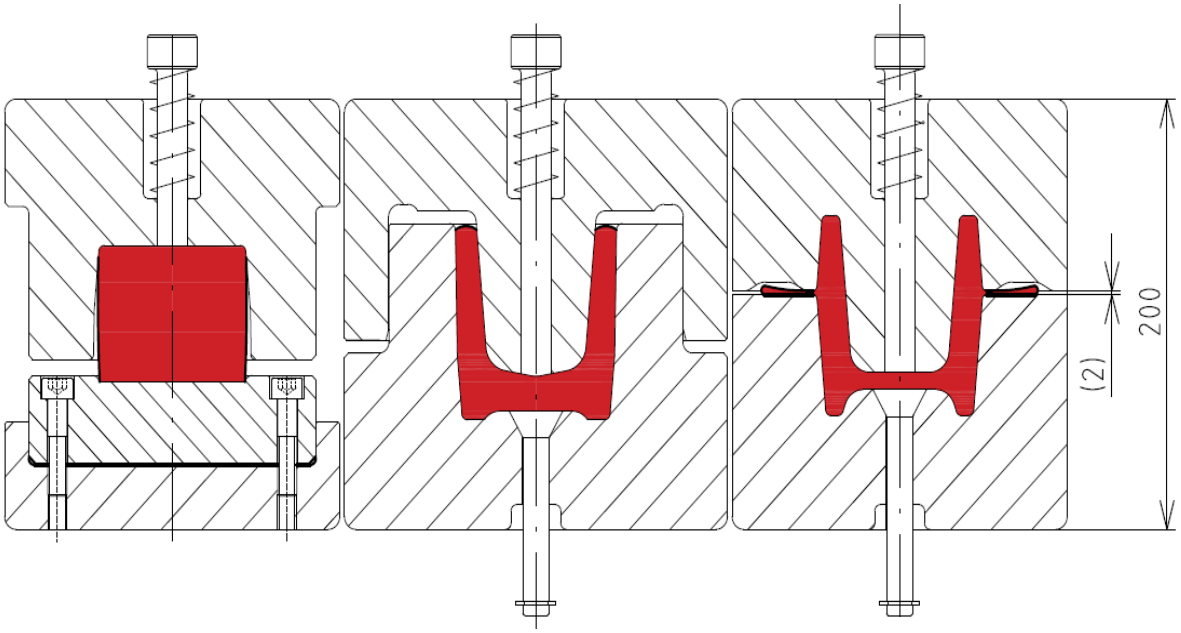
Prvek	C	Mn	Si	Cr	P	S
Obsah [%]	0,28 až 0,35	0,80 až 1,10	0,90 až 1,20	0,80 až 1,10	max 0,035	max 0,035

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli 14 331 [6].

Mez pevnosti R_m [MPa]	1 080 až 1 270
Mez kluzu R_p 0,2 [MPa]	835
Tvrdost HB	331 až 385
Modul pružnosti E [GPa]	200
Modul pružnosti ve smyku G [GPa]	78
Kontrakce Z [%]	45
Tažnost A_5 [%]	10

Dílec bude kován na lisu LMZ 1 000 od výrobce Šmeral Brno, a. s. (obr. 3). Parametry lisu jsou uvedeny v tabulce 3. Výkovek bude zhotoven celkem ve třech operacích: předkovací, kovací a dokovací, viz obr. 4. V první operaci proběhne pěchování polotovaru, ve druhé operaci je vykován přibližný tvar výkovku, který je dokován v poslední operaci. Kvůli předpokládané malé kovací síle je možno přesunout dokovací zápustku mimo střed. Toto řešení vede ke snazší manipulaci s výkovkem. Zdvih nástroje je 110 mm. Zápustky jsou vyrobeny z oceli ČSN 19 552 (X37CrMoV5-1), což je nástrojová středně legovaná ocel, používaná pro nástroje pro tváření za tepla. Nástroje budou předehřáty na teplotu 230 °C. Ihned po vykování proběhne operace ostřihování a děrování.

Obr. 3 Lis řady LMZ [7]



a) operace 1 b) operace 2 c) operace 3

Obr. 4 Sestava zápustek

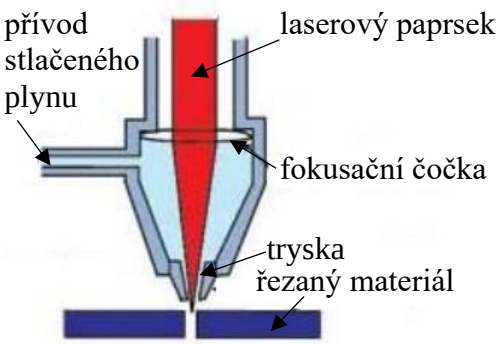
Tab. 3 Parametry lisu LMZ 1 000 [7].

Tvářecí síla [MN]	10,0
Sevření [mm]	660
Průchod [mm]	1120
Upínací plocha stolu [mm]	1 080×950
Upínací plocha beranu [mm]	1 010×850
Hydraulické přestavení beranu [mm]	10
Zdvih [mm]	220
Počet zdvihů [min^{-1}]	100
Celkový instalovaný výkon [kW]	65,0
Rozměry stroje v×š×h [m]	4,9×2,3×3

1.1 Variantní řešení [8], [9], [10], [11], [12]

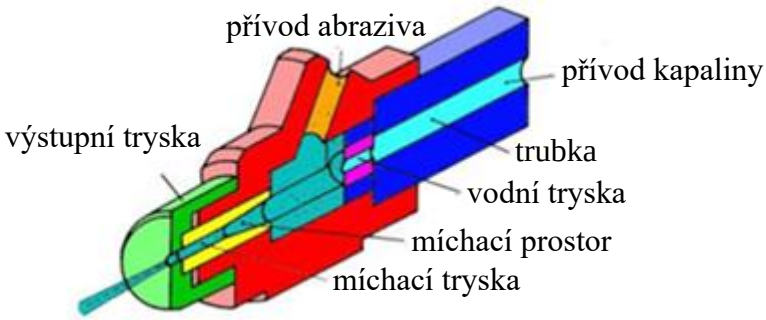
Ostřižení a děrování výkovku lze teoreticky provést mnoha různými technologiemi. Níže je uveden stručný popis a zhodnocení uvažovaných technologií.

- řezání laserem – je realizováno paprskem monochromatického světla, které je koncentrováno na malou plochu. Uvedený princip je znázorněn na obr. 5. Řezání laserem lze použít do tloušťky materiálu cca 200 mm. Pro odstranění výronku a blány výkovku je tato technologie nevhodná z důvodu velké časové náročnosti, tepelně ovlivněné oblasti v okolí řezu a také z ekonomického hlediska. Jelikož stroje pro řezání laserem nemohou být umístěny v blízkosti kovacích strojů, kvůli velkým rázům, byly by také výrazně zvýšeny časy pro manipulaci s výrobky.



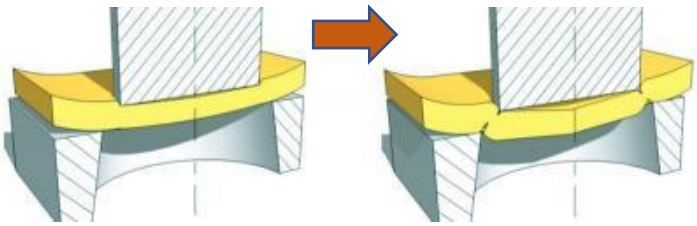
Obr. 5 Princip řezání laserem [8]

- řezání plazmou – teploty se zde pohybují od 10 000 °C do 30 000 °C. Pro řezání plazmou se používají plyny fokusační, které slouží ke koncentraci paprsku, ochranné, které slouží k ochraně před vlivy atmosféry a plyny plazmové, které vytváří plazmový paprsek. Nevýhody řezání plazmou jsou velká hlučnost, větší tepelně ovlivněná oblast a málo kvalitní řez. Použití této technologie je pro odstranění výronku a blány také nevhodné z obdobných důvodů jako při řezání laserem.
- řezání vodním paprskem – spočívá v odbrušování materiálu vysokým tlakem vody. Pracovní tlak je až 4 150 bar. Nevzniká žádná tepelně ovlivněná oblast a materiál není silově namáhán. Průměr paprsku je závislý na průměru trysky (obr. 6). Pro lepší řezivost je používáno abrazivo, nejčastěji mletý olivín a granát, které prochází sekundární tryskou. Touto metodou lze řezat materiály do tloušťky 600 mm. Řezání vodním paprskem také není příliš vhodná technologie k odstranění výronku a blány, zejména z ekonomických důvodů.



Obr. 6 Řezání vodním paprskem [10]

- technologie ostřihování – je standardně používána pro ostřih výronku zápustkových výkovků umístěných do ostřihovacího nástroje. Při vnikání nástroje do materiálu lze stanovit tři základní fáze střihu: nejprve vzniká elastická deformace vnikáním střižníku, poté plastický střih a nakonec lom materiálu. Schéma je uvedeno na obr. 7.



Obr. 7 Schéma střihu [12]

Z uvažovaných metod je nejvhodnější technologie ostřihování, jak z časových, tak z ekonomických důvodů. Na tuto technologii společně s technologií kování bude také zaměřena literární rešerše.

2 TVÁŘENÍ ZA TEPLA [13], [14], [15], [16]

Dle teploty jsou rozeznávány metody tváření za tepla a za studena. Kování i ostřihování patří mezi zástupce tváření za tepla.

Tváření za studena probíhá za teplot nižších, než je rekrystalizační teplota:

$$t_{stud} \leq 0{,}3 \cdot t_{tav}, \tag{2.1}$$

kde: t_{stud} – teploty tváření za studena [°C],
t_{tav} – teplota tavení [°C].

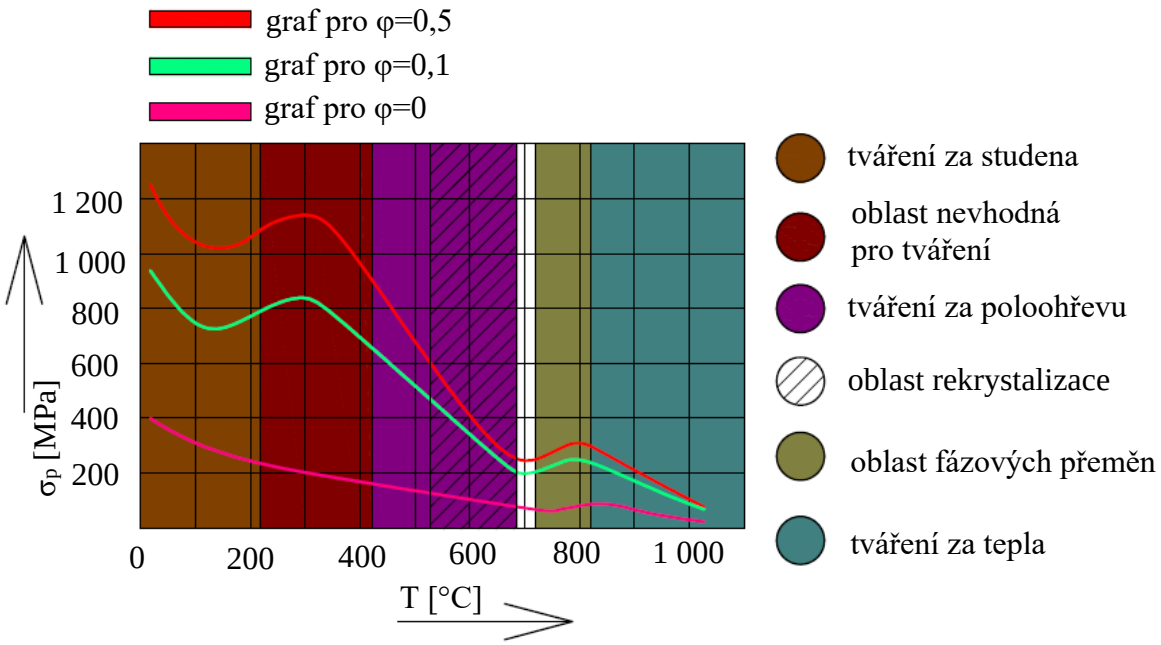
Tváření za tepla probíhá nad teplotou rekrystalizace, ta se přibližně určí dle vztahu:

$$t_{rek} \sim (0{,}35 \text{ až } 0{,}4) \cdot t_{tav}, \tag{2.2}$$

kde: t_{rek} – teplota rekrystalizace [°C].

Při tvářecích procesech za tepla dochází kvůli vyšší teplotě ke snížení deformačního odporu materiálu, tudíž je zapotřebí menší tvářecí síly. Za hlavní zástupce těchto metod lze považovat kování, válcování, ostřihování atd.

Na obr. 8 je znázorněna závislost přetvárného odporu na teplotě. U uhlíkových ocelí se při ohřevu na teplotu 300 °C zvětšuje přetvárný odpor. Při dalším ohřevu dochází ke zmenšování přetvárného odporu. Tvárnost je zhoršena v oblastech fázových přeměn, neboť v těchto oblastech jsou přítomny dvě fáze, které mají různé vlastnosti. Tudíž vzniká nerovnoměrná napjatost. Při ohřevu na teplotu vyšší než 1 000 °C je pevnost v tahu více než desetkrát nižší než za pokojové teploty.



Obr. 8 Vliv teploty na přetvárný odpor oceli ČSN 14 140.3 [14]

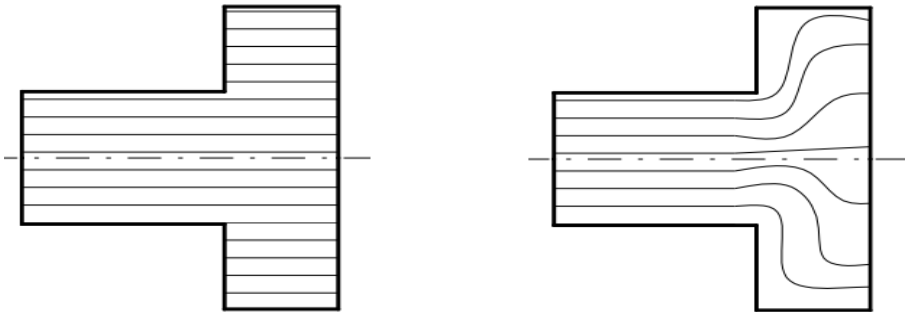
Během tváření za tepla probíhá proces rekrystalizace, při kterém vznikají nová zrna, která jsou nedeformovaná. Tato nová zrna vznikají na úkor zrn již zdeformovaných. Současně probíhá proces deformačního zpevnění. Oba procesy probíhají různými rychlostmi, pokud rekrystalizační rychlost převyšuje rychlost deformace, je výsledkem struktura složená z nedeformovaných zrn.

Nevýhody metod tváření za tepla jsou především: tepelné namáhání nástrojů a strojů, menší dosahované přesnosti, spotřeba energie na ohřev a také zhoršená kvalita povrchu kvůli okujím a oduhličení.

Jednou z největších výhod tvářecích metod za tepla, ale i za studena je nepřerušený průběh vláken v materiálu, což má velmi pozitivní vliv na pevnost součásti.

Průběh vláken u součásti vyrobené za pomoci technologií obrábění je přerušen (obr. 9a). U součásti vyrobené tvářením naopak vlákna kopírují obrys součásti a nejsou přerušena, viz obr. 9b.

Mezi další výhody metod tváření patři nízký odpad oproti obráběcím metodám a zkrácení výrobních časů.

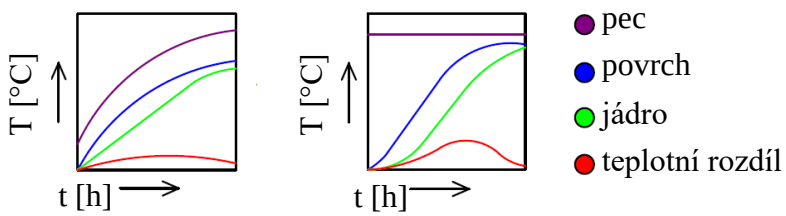


a) průběh vláken obráběné součásti b) průběh vláken tvářené součásti

Obr. 9 Průběh vláken obráběné a tvářené součásti [16]

2.1 Ohřev materiálu [13], [17], [18], [19], [20], [21]

Při ohřevu je nutné brát v potaz vznik teplotních rozdílů. Pokud dojde k příliš velkým rozdílům teploty v polotovaru, je možný vznik teplotních trhlin. Dalším důležitým faktorem je doba ohřevu, neboť čím déle je polotovar ohříván, tím více se tvoří okuje. Pokud je pec zahřívána současně s polotovarem (obr. 10a), dochází k menším teplotním rozdílům, ale čas ohřevu je delší. Druhou možností je ohřívat polotovar v peci, která je již předehřátá (obr. 10b). Tento způsob zapříčiňuje velké teplotní rozdíly, ale dojde k rychlejšímu ohřevu.



a) pec zahřívána s pol. b) předehřátá pec

Obr. 10 Teplotní rozdíl při ohřevu [17]

Maximální přípustný teplotní rozdíl mezi pecí a ohřívaným materiálem je definován takto:

$$\Delta T = \frac{k_s \cdot \sigma_m}{\alpha_t \cdot E}, \tag{2.3}$$

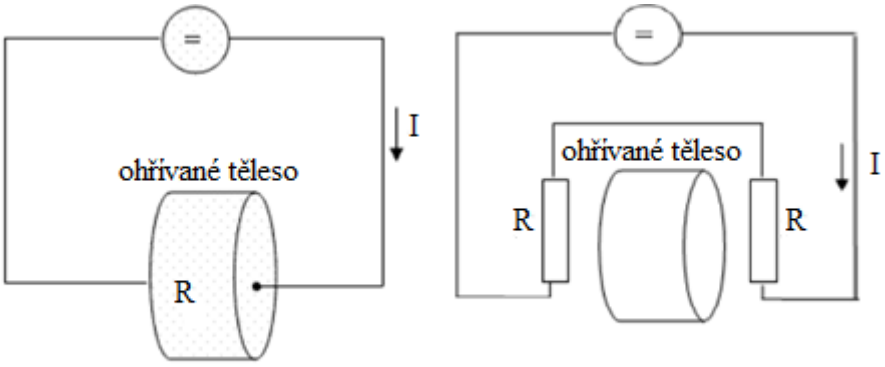
kde: ΔT – přípustný teplotní rozdíl [K],
k_s – tvarový součinitel [-],
σ_m – dovolené teplotní napětí [MPa],
α_t – teplotní délková roztažnost [K^{-1}],
E – Youngův modul pružnosti v tahu [MPa].

Polotovar je tedy nutno ohřívat rychle kvůli menší tvorbě okují, ale je nutno brát ohled na teplotní rozdíl mezi jádrem a povrchem polotovaru, aby nedošlo ke vzniku trhlin.

- plynový ohřev – je používán zejména pro rozměrné polotovary. Je realizován v různých pecích. Jeho nevýhodou je značný vznik opalu ohřívaného materiálu. Ohřev je prováděn pomocí několika hořáků umístěných v peci.
  - komorové pece – hořáky jsou umístěny ve stěnách, v klenbě a pod nístějí pece. Značné nevýhody jsou přerušovaný tok materiálu a menší tepelná účinnost.
  - komorové pece vozové – jsou podobné komorovým pecím. Nístěj je však umístěna na podvozku, což usnadňuje zakládání rozměrných ingotů.

- narážecí pece – jedná se o průchozí pece. V zadní stěně pece je umístěn otvor, kterým se materiál vkládá do pece. Hořáky jsou umísťovány ze všech stran. Pec je rozdělena na předehřívací, ohřívací a vyrovnávací část. Polotovary jsou z pece vyjímány bočním otvorem ve stěně.
- štěrbinové pece – tento druh pecí je využíván pro ohřev konců tyčí, trubek a tyčovin. Většinou se používají při kování na vodorovných kovacích lisech.
- karuselové pece – mají otočnou nístěj. Hořáky jsou umístěny na vnějším plášti pece. Nevýhodou je poměrně velký kruhový půdorys pece. Pohyb nístěje je nutno konstrukčně řešit tak, aby bylo možno regulovat dobu ohřevu.

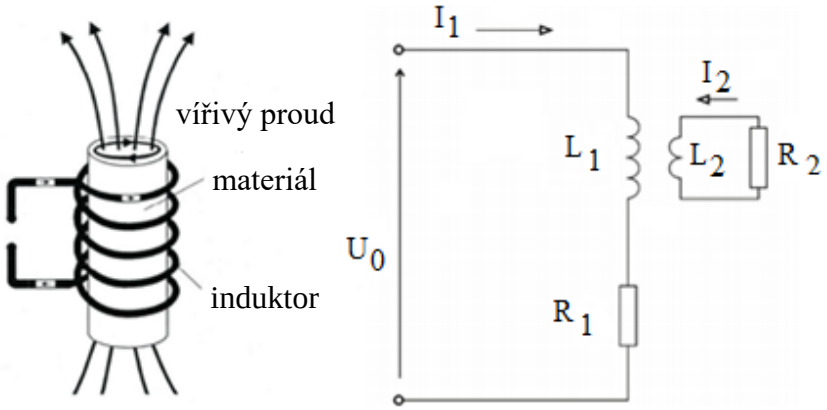
- odporový ohřev – vznik tepla je způsoben průchodem proudu polotovarem. Je uplatňován zejména při zápustkovém kování a výrobě svařovaných trubek. Lze rozdělit na přímý a nepřímý ohřev.
  - přímý odporový ohřev – velmi rychlý a účinný typ ohřevu. Teplo vzniká přímo v ohřívaném polotovaru (obr. 11a) a teplota je v celém průřezu téměř stejná. Nevýhodou je nutnost přenosu proudu o značné intenzitě. Značnou výhodou je možnost ohřevu pouze určité části polotovaru.
  - nepřímý odporový ohřev – vznik tepla zajišťují topné články, které jsou umístěny v odporové peci, viz obr. 11b. Tyto články jsou vyráběny ze slitin Ni, Cr, Fe, Al nebo z karbidu křemíku, grafitu a uhlíku. Přenos tepla do polotovaru je realizován sáláním.



a) přímý odporový ohřev b) nepřímý odporový ohřev

Obr. 11 Odporový ohřev [19]

- indukční ohřev – velmi rychlý, jeho velkou výhodou je, že při něm téměř nevznikají okuje. Je velmi využíván v hromadné výrobě. Polotovar je umístěn v cívce, která je připojena ke zdroji střídavého proudu, tím dochází k indukci vířivých proudů, které ohřívají materiál. Frekvenci proudu je nutno zvolit tak, aby vnitřní část byla dostatečně prohřáta při zachování dobré účinnosti cívky. Kmitočet je volen v závislosti na průměru polotovaru, viz tab. 4. Princip a schéma indukčního ohřevu uvádí obr. 12.



a) princip b) schéma

Obr. 12 Princip a schéma indukčního ohřevu [19]

Tab. 4 Doporučené frekvence v závislosti na průměru polotovarů [20].

Kmitočet proudu [Hz]	Průměr polotovaru [mm]
50	200-800
600	75-280
1 000	50-150
2 000	35-120
4 000	22-70
10 000	15-35

Během ohřevu dochází také k nežádoucím jevům, jako jsou: spálení, přehřátí, oduhličení a vznik okují. Riziko vzniku zmíněných defektů závisí mj. na použitém způsobu ohřevu.

- přehřátí oceli – jedná se o difuzní proces, který nastává při dlouhodobém setrvání na teplotě asi 150 °C pod teplotou tavení oceli. Při tomto procesu difunduje síra na hranice austenitických zrn. To má za následek znemožnění tvorby jemnozrnné struktury. Má také neblahý účinek na vrubovou houževnatost, tažnost a kontrakci materiálu. Přehřátí lze odstranit dostatečným stupněm prokování a speciálním difuzním žíháním.
- spálení oceli – je zapříčiněno ohřevem na počáteční teplotu tavení. Jsou nataveny hranice austenitických zrn, do kterých se následně přemísťuje síra a fosfor. Spálení podstatně zhoršuje mechanické vlastnosti a nelze jej nijak odstranit.
- oduhličení – probíhá souběžně s procesem oxidace pod vrstvou vzniklých oxidů. Oduhličení působí do větší hloubky než oxidace. Konkrétní rozsah a hloubka oduhličení závisí na složení materiálu, pecní atmosféře, teplotě a době ohřevu. Pro ochranu před oduhličením jsou používány ochranné nátěry.
- vznik okují – vznikají hlavně nad teplotou 700 °C, zejména kvůli kyslíku v pecní atmosféře, který reakcí s železem vytváří oxidy. Čím déle je polotovar ohříván, tím větší množství okují se vytvoří. Vliv na tvorbu okují má také materiál. U vysokouhlíkových ocelí se okuje tvoří pomaleji. Přítomnost hliníku, křemíku, chromu, manganu a titanu také zpomaluje tvorbu okují. Množství okují lze snížit použitím indukčního ohřevu, použitím ochranných pecních atmosfér nebo použitím ochranných nátěrů. Okuje jsou zobrazeny na obr. 13.

Obr. 13 Okuje [21]

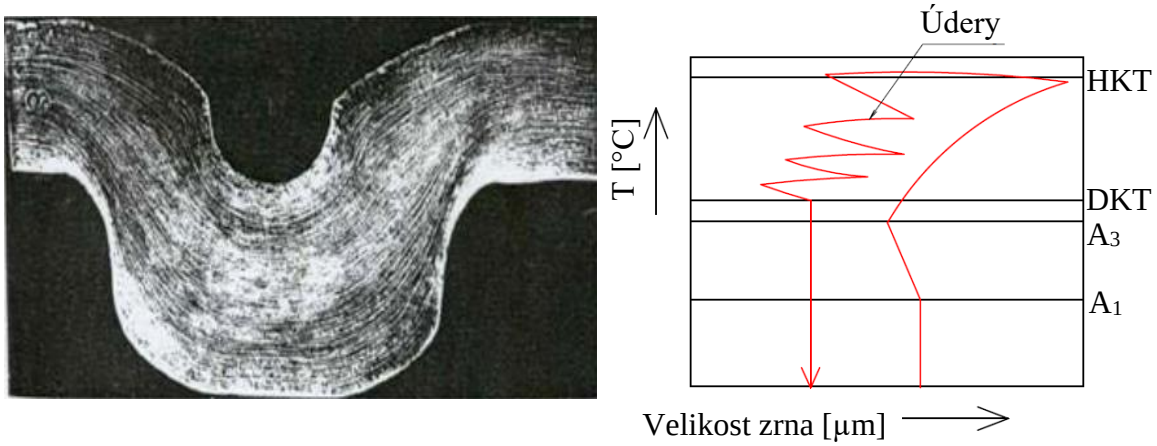
2.2 Technologie kování [13], [14], [17], [20], [22], [23]

Kování je technologie, jež se řadí mezi metody tváření za tepla, tudíž probíhá nad teplotou rekrystalizace, jak již bylo zmíněno. Touto technologií jsou zhotovovány např.: hřídele, vačky, ojnice, pouzdra, polotovary ozubených kol atd.

Kování lze rozdělit na volné a zápustkové. Dále existuje ruční a strojní kování. Strojní volné kování je využíváno zejména pro výrobu rozměrných dílců, jako jsou např. hřídele turbín. Ručním volným kováním jsou zhotovovány hlavně umělecké výkovky.

Zápustkové kování je technologie sloužící k výrobě menších a přesnějších dílců. Výkovky jsou kovány v nástrojích, tzv. zápustkách. Zpravidla jsou používány zápustky tři: předkovací, kovací a dokovací, přičemž dokovací zápustka je umísťována uprostřed beranu kovacího stroje kvůli poloze těžiště síly. Tato technologie se používá pro výkovky o hmotnosti asi do 30 kg, ale lze ji použít i pro mnohem těžší výkovky. Výhodou zápustkového kování je velká produktivita (na automatizovaných linkách i stovky kusů za hodinu).

Kování má pozitivní vliv na makrostrukturu i mikrostrukturu materiálu. Vlivem na makrostrukturu je nepřerušený průběh vláken, viz obr. 14a. Vlivem na mikrostrukturu je potom zjemnění zrn materiálu, což má pozitivní vliv na mechanické vlastnosti (obr. 14b). Po překročení teploty A_1 (eutektoidní teplota, kdy dochází k přeměně perlitu na austenit) nastává zjemňování zrna. Při dalším ohřevu nad teplotu A_3 (překrystalizace austenitu) zrno hrubne. Po každém úderu kovacího nástroje pak dochází ke zjemnění zrna.

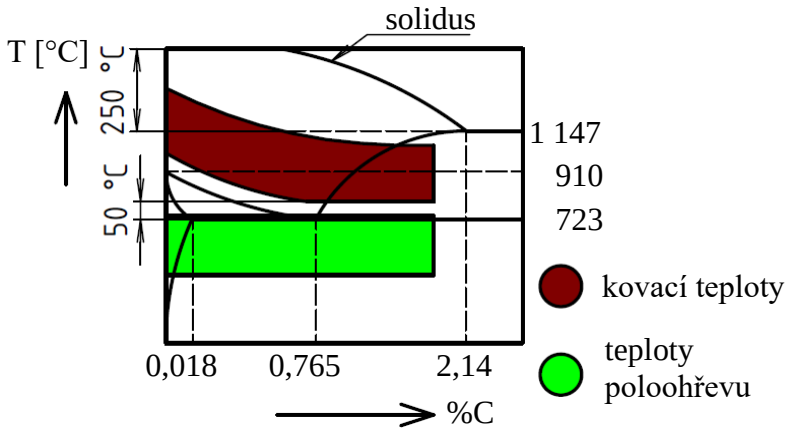


a) vliv na makrostrukturu b) vliv na mikrostrukturu

Obr. 14 Vlivy kování na strukturu materiálu [14], [23]

Kování lze rozdělit podle teploty na kování za studena, za poloohřevu a za tepla. Kování za studena lze aplikovat pouze na oceli s obsahem uhlíku menším než 0,45 % a na výkovky zejména rotačních tvarů. Poloohřev je využíván zejména pro rotační výkovky, jeho velkou výhodou je absence opalu.

Pokud byl polotovar již tvářen, používají se kovací teploty asi o 100 °C až 150 °C vyšší než u netvářených polotovarů. Na obr. 15 jde vidět výřez z diagramu Fe-Fe3C se znázorněnými oblastmi kovacích teplot a teplot poloohřevu. Horní kovací teplota leží cca 250 °C pod křivkou solidu, což je křivka, pod kterou je všechen materiál v tuhém stavu. Dolní kovací teplota je cca 50 °C nad křivkou A_1 (A_3). Teploty poloohřevu se pohybují přibližně od 550 °C do 800 °C. Pro volné kování velkých dílců se využívá zejména plynového ohřevu v komorových, komorových vozových a narážecích pecích. Pro zápustkové kování je často využíván indukční ohřev. U složitých výkovků je vhodné volit vysoké kovací teploty, jelikož s rostoucí teplotou materiálu klesá přetvárný odpor. Kovací teplota závisí na materiálu polotovaru a výsledném tvaru výkovku.



Obr. 15 Kovací teploty [14]

2.2.1 Postup výroby výkovku [13], [17], [20], [22]

Nejprve je zhotoven výkres výkovku, na základě kterého je určen výchozí polotovar. Následuje dělení polotovaru, ohřev polotovaru a vlastní kovací proces. Po vykování je ostřižen výronek, případně děrována blána a provedeno rovnání a kalibrace. Poté je výkovek tepelně zpracován a jsou provedeny konečné úpravy.

- výkres výkovku – je vypracován dle hotové součásti. Nejprve je určena dělící rovina, poté je provedeno zařazení dle složitosti podle normy ČSN 42 9002. Tvar hotové součásti je upraven o přídavky na obrábění, přídavky technologické (úkosy, …) a přídavky na tvarovou složitost, jejichž velikost je definována v normě ČSN 42 9030. Dále jsou určeny také poloměry zaoblení. Pokud je předkováván otvor, je konstruována blána výkovku.
- určení polotovaru – používají se hutní polotovary nebo ideální předkovky. Objem polotovaru je zvětšen o objem opalu a objem výronku. Množství opalu je závislé zejména na způsobu ohřevu. Obvykle je objem opalu určen jako 1,5 % (indukční ohřev) až 5 % (plynový ohřev) z objemu výkovku. Metoda ideálního předkovku spočívá ve zhotovení několika průřezů v charakteristických místech. Plochy průřezů jsou převedeny na plochy kruhové. Průměry kruhů jsou naneseny na společnou osu a jsou propojeny.
- dělení polotovaru – nejčastěji je využívána technologie stříhání. Je možno také aplikovat technologii lámání, případně třískové dělení.
- ohřev polotovaru – způsoby ohřevu jsou popsány v kap. 2.1. Pro zápustkové kování je velmi využíván indukční ohřev.
- předkování – lze provést pomocí příčného klínového válcování, kovacích válců, přípravných dutin, předkovací zápustky nebo volného kování.
- kování, dokování – probíhá na lisu nebo na bucharu za kovací teploty.
- ostřihování, děrování – je prováděno na ostřihovacím nebo klikovém lisu. Účelem je odstranění výronku a děrování blány.
- rovnání – vlivem opotřebení dokovací zápustky, případně také po ostřižení může dojít ke zkřivení výkovku. Provádí se v dokovací nebo rovnací zápustce.
- kalibrace – účelem je zvýšení přesnosti výkovku.
- tepelné zpracování – je do postupu zařazeno kvůli zlepšení obrobitelnosti, odstranění vnitřních pnutí a dosažení požadovaných mechanických vlastností. Využívá se žíhání na měkko, normalizační žíhání, izotermické žíhání nebo zušlechťování.

2.2.2 Konstrukce zápustek [13], [14], [22], [24], [25], [26]

Zápustky jsou konstruovány na základě výkresu výkovku. Na rozměry zápustek mají vliv zejména: rozměry výkovku, materiál výkovku, možnosti upnutí a vedení zápustky.

Pro zápustky určené na lis je požadována vyšší pevnost. Materiály pro lisovací zápustky by měly mít pevnost 1 600 MPa až 1 800 MPa. Kvůli delšímu styku nástroje s ohřátým polotovarem je důležité zajistit také otěruvzdornost a odolnost proti popuštění. Pro menší nástroje jsou používány např. ocele ČSN 19 552 a ČSN 19 556. Pro členité výkovky jsou vyráběny zápustky z ocelí ČSN 19 723 nebo ČSN 19 451.

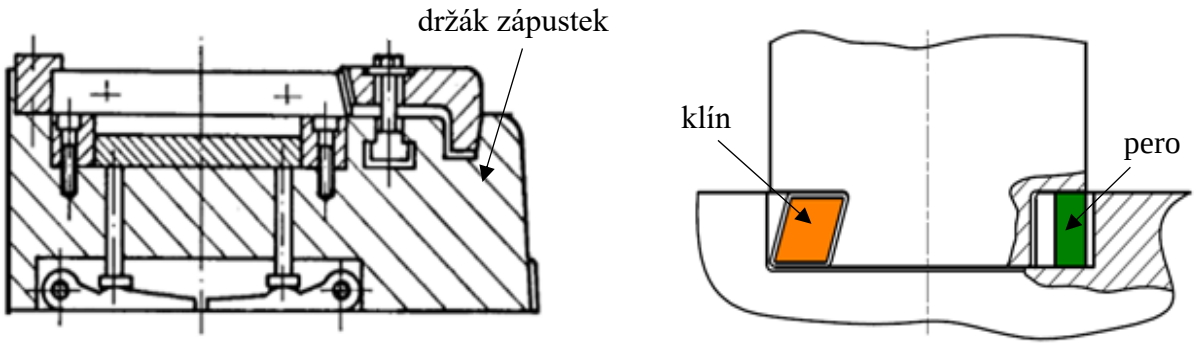
Při kování na bucharech je kladen velký důraz na houževnatost zápustek z důvodu dynamického působení kovací síly. U bucharových zápustek se pevnost v tahu pohybuje v rozmezí 1 200 MPa až 1 400 MPa. Používané jsou nástrojové legované Cr-Ni ocele. Mezi nejpoužívanější materiály pro bucharové zápustky lze zařadit ocele ČSN 19 662 nebo ČSN 19 663.

Volba materiálu zápustek tedy závisí na tom, zda se jedná o zápustku pro buchar, či pro lis. Zápustky jsou namáhány jak mechanicky, tak i tepelně. Materiál by měl být pevný, houževnatý, dobře prokalitelný a odolný proti otěru.

U materiálů pro výrobu zápustek je často provedeno žíhání na měkko, zejména z důvodu zlepšení obrobitelnosti. Zápustky jsou dále zušlechťovány, aby bylo dosaženo dobrého poměru pevnosti a houževnatosti.

Na lisu jsou zápustky upínány pomocí držáků zápustek, ty jsou uchyceny na lisu pomocí šroubů a jsou ustavovány klínovými vložkami (obr. 16a). Jestliže je šířka zápustky menší než šířka držáku jsou používány distanční vložky.

Upnutí zápustek na bucharu není možné realizovat šrouby kvůli značným rázům. Upnutí zápustek při kování na bucharech je řešeno pomocí rybinových drážek. Boční upevnění je provedeno pomocí klínu a proti axiálnímu posunu je používáno zajištění pomocí per, viz obr. 16b. Pokud jsou upínány nízké zápustky, jsou používány nástavné držáky.



a) upnutí zápustek na lisu b) upnutí zápustek na bucharu

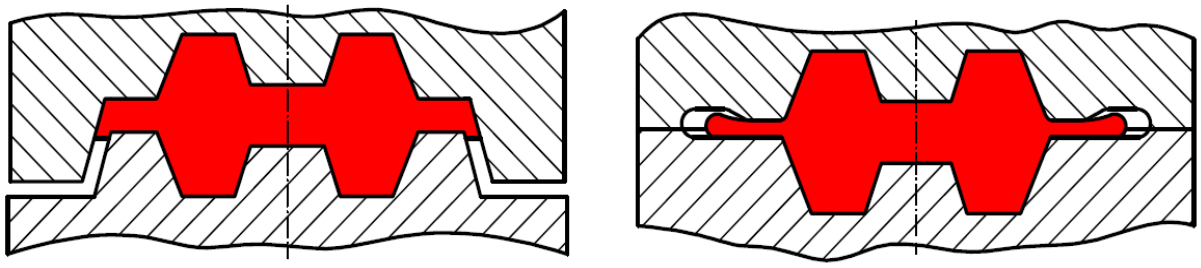
Obr. 16 Upínání zápustek [24]

Z důvodu snížení tepelného namáhání zápustek je nutné zápustky před kováním předehřívat. Teplota předehřevu je závislá na složení materiálu zápustek, obvyklé teploty předehřevu jsou 180 °C až 250 °C. Předehřev je realizován buď přímo na stroji za pomoci ohřátého bloku materiálu, nebo mimo stroj na pískovém roštu.

Kvůli snížení tření mezi polotovarem a zápustkou a tím pádem snížení deformačního odporu je prováděno mazání funkčních ploch zápustek. Mazání také usnadňuje vyjmutí výkovku z nástroje. Maziva by se neměla rozkládat vlivem tepla a tlaku. Měla by si zachovávat stálou viskozitu. Maziva se člení na: tuhá, kapalná maziva, konzistentní maziva, piliny, soli a skla. Jedno z nejvyužívanějších maziv je grafit rozpuštěný v oleji nebo ve vodě. Soli a skla jsou pro své izolační vlastnosti využívány při kování tenkostěnných výkovků z těžko tvařitelných materiálů.

Zápustky lze dle počtu dutin rozdělit na jednodutinové a vícedutinové. Přičemž standardně využívány jsou zejména jednodutinové zápustky. Vícedutinové zápustky byly používány tehdy, když ještě neexistovaly pokročilé metody předkování, jako je např. metoda příčného klínového válcování.

Dále lze zápustky rozčlenit na zápustky s uzavřenou (obr. 17a) nebo otevřenou dutinou, viz obr. 17b. Zápustky s uzavřenou dutinou jsou používány pro technologii přesného kování. Tyto nástroje nemají výronkovou drážku, a je proto důležité velmi přesně určit výchozí polotovar. Mnohem častěji jsou používány zápustky s otevřenou dutinou, které mají výronkovou drážku.

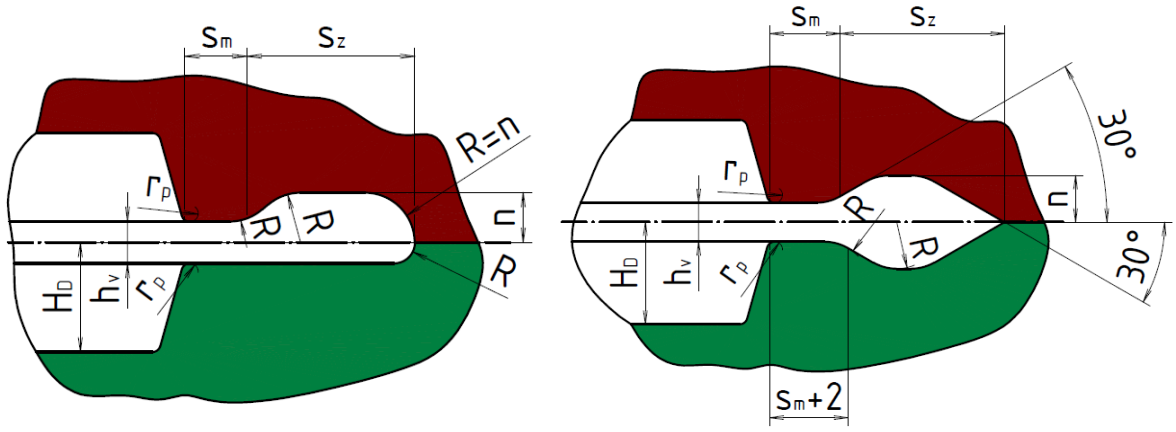


a) zápustka s uzavřenou dutinou b) zápustka s otevřenou dutinou

Obr. 17 Uzavřená a otevřená dutina zápustky [14]

Výronková drážka plní funkci zachycování přebytečného materiálu a slouží také k regulování tlaku v zápustce. Skládá se z můstku a zásobníku, přičemž můstek slouží k regulaci tlaku a zásobník k zachycování přebytečného materiálu. Obecně lze výronkové drážky rozdělit na otevřené a uzavřené. Tvary výronkových drážek pro buchar i lis jsou uvedeny v příloze 1.

Pokud je výkovek kován na bucharu, jsou používány uzavřené výronkové drážky. Existují tři druhy výronkových drážek pro buchar. Nejvíce využívaný je typ I (obr. 18a). Pro tvarově složité výkovky s velkým přebytečným množstvím materiálu je upřednostněn typ III, viz obr. 18b. Koeficient zaplnění je asi 70 %.



a) výronková drážka pro buchar typ I b) výronková drážka pro buchar typ III

Obr. 18 Výronkové drážky prokování na bucharu typ I a III [24]

Pro určení rozměrů výronkové drážky má rozhodující vliv výška můstku „h_v“, která je určována dle vztahu 2.4. Tabulka základních rozměrů výronkových drážek pro buchary závislosti na výšce můstku je uvedena v příloze 2.

Výška můstku výronkové drážky je ovlivněna velikostí plochy průmětu výkovku do roviny kolmé k rázu. Výška můstku se určuje dle vztahu 2.4. Koeficient 0,015 je používán pro malé výkovky a koeficient 0,012 pro velké.

$$h_v = (0{,}015 \text{ až } 0{,}012) \cdot \sqrt{S_{DV}}, \tag{2.4}$$

kde: h_v – výška můstku výronkové drážky [mm],
S_{DV} – plocha průmětu výkovku do roviny kolmé k rázu [mm^2].

Poloměr zaoblení přechodu do dělící roviny:

$$r_p = \frac{\sqrt{S_{DV}}}{200} + 0{,}04 \cdot H_D, \tag{2.5}$$

kde: r_p – poloměr přechodu do dělící roviny [mm],
H_D – hloubka dutiny zápustky [mm].

Objem výronku je možné přibližně určit jako 10 % z objemu výkovku:

$$V_{výr} \cong 0{,}1 \cdot V_{výk}, \tag{2.6}$$

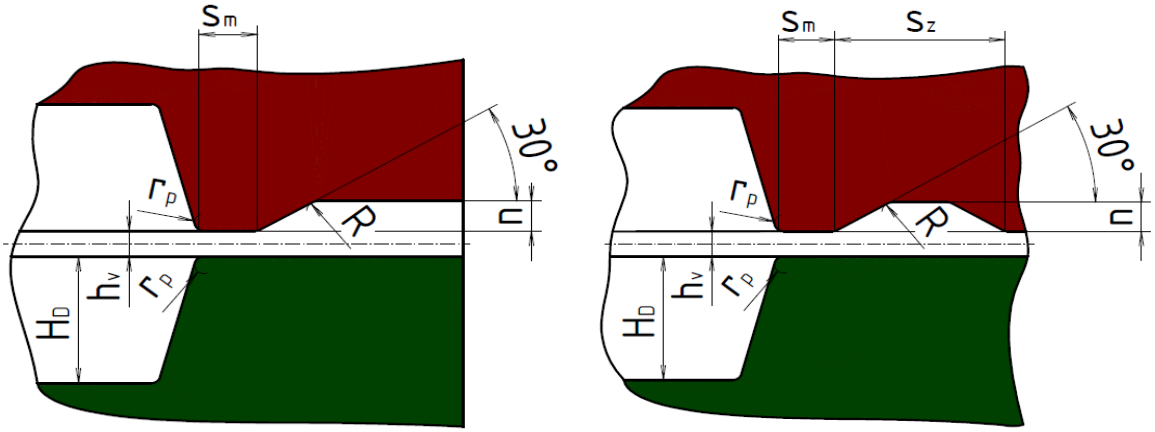
kde: $V_{výr}$ – objem výronku [mm^3],
$V_{výk}$ – objem výkovku [mm^3].

Pro kování na lisu se používají otevřené výronkové drážky. Poloměr přechodu „r_p“ se určí stejně jako u výronkové drážky pro kování na bucharu (vztah 2.5). Rozměry výronkových drážek jsou definovány v normě ČSN 22 8306. Výška můstku výronku je určena dle nomogramu v normě. Běžně využívaný je typ I (obr. 19a). Typ II, viz obr 19b je použit, pokud je hloubka dutiny „H_D“ příliš velká. Pokud je nejmenší výška výkovku menší než výška můstku výronku „h_v“, používá se typ IV, viz příloha 2. Přibližné rozměry uvádí tabulka 5.

Šířka můstku výronku se určí dle poměru s výškou můstku, tedy:

$$s_m = h_v \cdot 3, \tag{2.7}$$

kde: s_m – šířka můstku výronkové drážky [mm].



a) výronková drážka pro lis typ I b) výronková drážka pro lis typ II

Obr. 19 Výronková drážka pro kování na lisu typ I a II [25]

Tab. 5 Orientační rozměry pro výronkové drážky pro kovaní na lisech [25].

Jmenovitá síla lisu [MN]	h_v [mm]	s_m [mm]	s_z [mm]	r_{pmax} [mm]
6,3	1,0 až 2,0	5,0 až 7,0	25	3
10	1,5 až 2,5	5,0 až 7,0	30	3
16	2,0 až 3,0	6,0 až 8,0	32	3
25	2,5 až 4,0	7,0 až 10,0	38	4
40	3,5 až 5,5	8,0 až 12,0	42	4
63	4,5 až 8,0	10,0 až 15,0	50	5

Dalším prvkem, který má vliv na konstrukci kovacího nástroje jsou blány výkovku. Ty je nutno aplikovat, jestliže jsou předkovávány otvory. Otvory jsou předkovávány cca od průměru 30 mm. Pokud by nebyly konstruovány blány, docházelo by k velmi rychlému opotřebení kovacích nástrojů.

Standardně je využívána blána typu I, viz obr. 20a. Na tloušťku blány má vliv průměr a výška dutiny. Tloušťka blány je určována dle vztahu 2.8:

$$s = 0{,}45 \cdot \sqrt{D_d - 0{,}25 \cdot h_d - 5} + 0{,}6 \cdot \sqrt{h_d}, \tag{2.8}$$

kde: s – tloušťka blány [mm],
D_d – horní průměr předkovávané dutiny [mm],
h_d – vzdálenost horní hrany výkovku od dělící roviny [mm].

Blána typu II (obr. 20b) je použita, pokud platí následující nerovnost:

$$(d_d - 1{,}25 \cdot R_b) > 26, \tag{2.9}$$

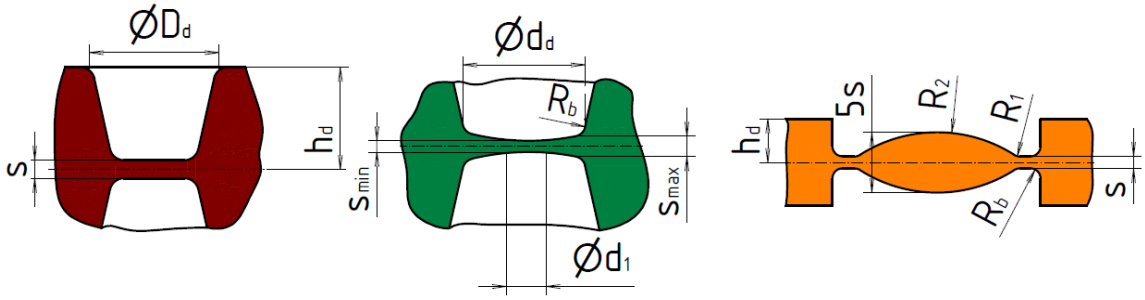
kde: d_d – dolní průměr předkovávané dutiny [mm],
R_b – poloměr přechodu mezi stěnou dutiny a blánou [mm].

Tvar blány viz obr. 20c částečně nahrazuje výronkovou drážku, neboť může sloužit jako zásobník přebytečného materiálu. Tento tvar je používán hlavně u nízkých kruhových výkovků z předkovaných kruhů. Tloušťka blány typu III se vypočítá dle následujícího vztahu:

$$s_{III} = 0{,}4 \cdot \sqrt{d_d} \tag{2.10}$$

Kde: s_{III} – tloušťka blány typu III [mm]

Aby bylo možno blánu předkovat, nesmí být tloušťka blány menší než minimální tloušťka stěny výkovku, viz tab. 6.



a) blána I b) blána II c) blána III

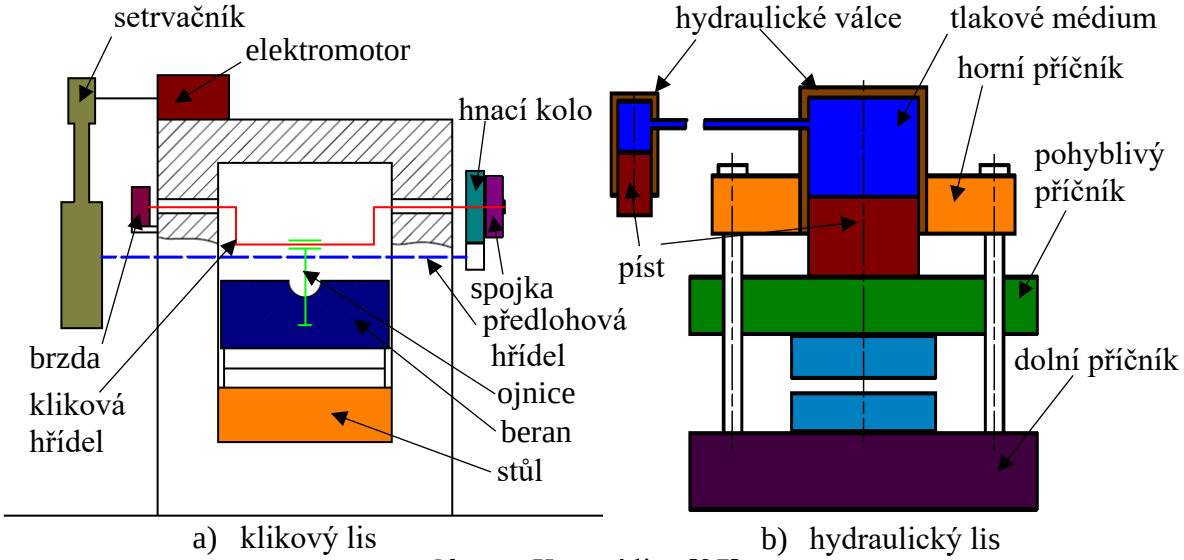
Obr. 20 Typy blan [24]

Tab. 6 Nejmenší tloušťka stěny výkovku [25].

Největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu [mm]		Nejmenší výška dutiny výkovku [mm]						
Přes	0	25	40	63	100	160	250	
Do	25	40	63	100	160	250	400	
Přes	Do	Nejmenší tloušťka stěny výkovku						
0	25	4	4					
25	40	4	5	6				
40	63	4	6	7	8	9		
63	100	4	6	8	9	12		
100	160	6	8	10	12	15	21	
160	250	10	12	15	20	25	31	38
250	400	15	20	25	28	31	40	50
400	630		28	31	35	40	50	70
630	100			35	40	45	60	80

2.2.3 Kovací stroje [20], [24], [27]

Pro kování jsou používány buchary nebo lisy. Mezi výhody kování na lisu patří snadná automatizace výrobního procesu a použití vyhazovačů. Výkovky kované na lisu jsou přesnější. Zápustky mají vyšší životnost. Nevýhodou je špatné odpadávání okují. Použití lisu je vhodné zejména pro velkosériovou výrobu. Kovací síla při kování na lisu se plynule zvětšuje od okamžiku styku zápustky s polotovarem. Jsou používány např. lisy klikové, které fungují na principu klikového mechanismu (obr. 21a). Dalším typem je hydraulický lis, který je založen na rovnoměrném šíření tlaku v kapalinách, viz obr. 21b, ten ale není pro kování příliš používán.



a) klikový lis b) hydraulický lis

Obr. 21 Kovací lisy [27]

Pro velikost lisu je určující veličinou kovací síla. Tu lze určit mnoha způsoby, podrobný výpočet dle Tomlenova je uveden v normě ČSN 22 8306. Pro přibližný výpočet kovací síly nekruhových výkovků lze použít vztah dle Brjuchanova-Rebelského:

$$F_{kov} = 8 \cdot (1 - 0{,}005 \cdot D_v) \cdot \left(1{,}1 + \frac{20}{D_v}\right)^2 \cdot \sigma_s \cdot \frac{\pi \cdot D_v^2}{4}, \qquad (2.11)$$

kde: F_{kov} – kovací síla [F],
D_v – stisknutý průměr výkovku [cm],
σ_s – deformační odpor materiálu za kovací teploty (příloha 3) [MPa].

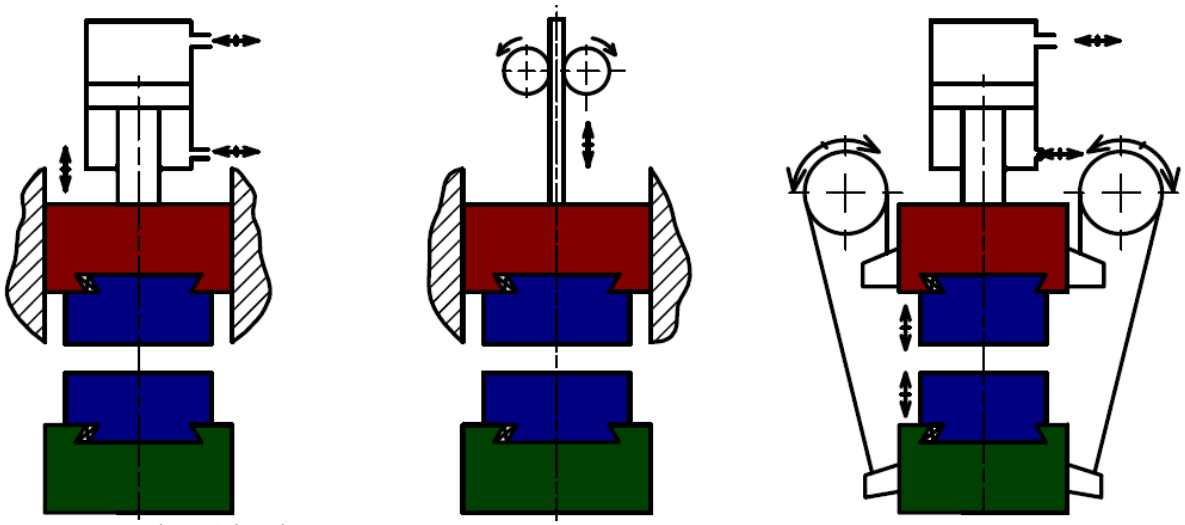
Stisknutý průměr výkovku „D_v“ je určen dle průměru výkovku v dělící rovině „$D_{výk}$“ a šířky můstku výronkové drážky „s_m“.

$$D_v = D_{výk} + 2 \cdot s_m, \qquad (2.12)$$

kde: $D_{výk}$ – průměr výkovku v dělící rovině [cm],

Zhotovení výkovku na bucharu je vhodné pro členité výkovky zejména s velkou výškou. Horní zápustka je lépe zaplňována kvůli působení setrvačných sil. Výhodou oproti kování na lisu je také dobré odstraňování okují v průběhu kování.

Na obr. 22 jsou uvedeny tři základní konstrukční varianty bucharů. Princip funkce parovzdušného bucharu (obr. 22a) je založen na vhánění páry pod píst, čímž dojde ke zdvihu beranu. U dvojčinných parovzdušných bucharů je přiváděna pára nad píst, a tím je urychlován beran. U mechanického bucharu je zdvih beranu zajištěn pomocí válců, které zvedají desku přichycenou k beranu, viz obr. 22b. Protiběžný buchar je založen na pohybu dvou beranů, které jsou spojeny, proti sobě (obr. 22c).



a) parovzdušný buchar b) mechanický buchar c) protiběžný buchar

Obr. 22 Kovací buchary [26]

Při kování na bucharech působí kovací síla rázově. Dopadová rychlost beranu standardních bucharů je přibližně 6 $m.s^{-1}$. Veličinou, dle které je určována velikost bucharu je práce posledního úderu bucharu. Pro kruhové výkovky je práce posledního úderu určována dle vztahu 2.13. Pro určení velikosti bucharu nekruhových výkovků je práce posledního úderu určena na základě redukovaného průměru výkovku a jeho střední výšky. Postup určení práce posledního úderu bucharu pro nekruhové výkovky je uveden v příloze 4.

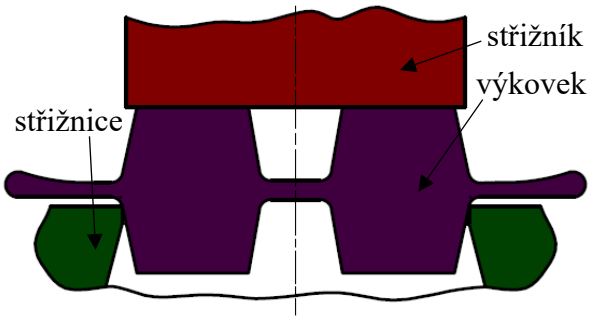
$$A_{bk} = 18 \cdot (1 - 0{,}005 \cdot D_v) \cdot \left(1{,}1 + \frac{2}{D_v}\right)^2 \cdot (0{,}75 \cdot 0{,}001 \cdot D_v^2) \cdot D_v \cdot \sigma_s, \qquad (2.13)$$

kde: A_{bk} – práce posledního úderu bucharu [J].

Kování na bucharu je ukončeno v okamžiku dosednutí zápustek na sebe. Z toho důvodu jsou používány uzavřené výronkové drážky, viz kap. 2.2.2.

2.3 Ostřihování a děrování [13], [25], [28]

Ostřihování je operace, která následuje po zápustkovém kování. Účelem je odstranění výronku, příp. také děrování blány výkovku. Ostřihování je prováděno většinou za tepla ihned po zhotovení výkovku. Materiály s obsahem uhlíku menším než 0,5 % je možno ostřihovat také za studena. Pokud je ostřihování prováděno za tepla, lze dosaženou teplotu využít pro navazující operace (kalibrování, rovnání). Ostřihování je prováděno nejčastěji na ostřihovacích a výstředníkových lisech.



Obr. 23 Schéma ostřihování výronku [13]

Velikost ostřihovací síly je ovlivněna pevností materiálu ve střihu, výškou můstku výronku a obvodem výronku. Při ostřihování střižník nedosedá na střižnici, pouze tlačí na výkovek. Z tohoto důvodu se síla na ostřižení zvětšuje až 1,7krát. Z bezpečnostního hlediska se dále ve výpočtu uvažuje dvojnásobná výška výronku. Ostřihovací síla je určována dle vztahu:

$$F_{os} = 1{,}7 \cdot \tau \cdot o_v \cdot 2 \cdot h_v = 1{,}7 \cdot 0{,}8 \cdot \sigma_o \cdot o_v \cdot 2 \cdot h_v, \qquad (2.14)$$

kde: F_{os} – ostřihovací síla [N],
τ – střižný odpor [MPa],
σ_o – pevnost materiálu při teplotě ostřihování [MPa],
o_v – obvod výronku [mm].

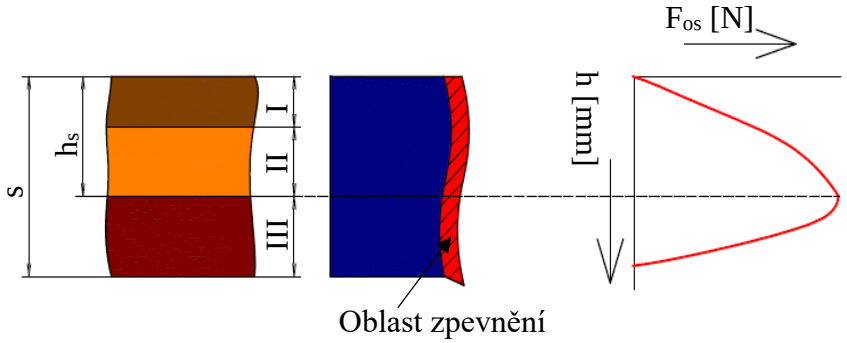
Obecně platí vztah 2.14 i pro výpočet síly pro děrování blány. Pokud je však výkovek na střižnici ustaven tak, že střižník netlačí pouze na plochu výkovku, není nutno sílu zvyšovat 1,7krát. Potom se síla pro děrování blány spočítá dle následujícího vztahu:

$$F_D = \tau \cdot o_o \cdot s \cdot 2 = 0{,}8 \cdot \sigma_o \cdot o_o \cdot s \cdot 2, \qquad (2.15)$$

kde: F_D – síla pro děrování blány [N],
o_o – obvod děrovaného otvoru [mm].

2.3.1 Princip střihu [29], [30]

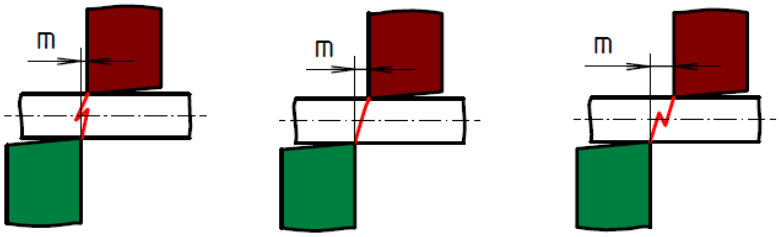
Stříhání je jediná technologie tváření, která je zakončena porušením materiálu. Střižný proces lze rozdělit na tři fáze, které lze na střižné ploše rozlišit (obr. 24). V první fázi nastává elastická deformace materiálu, která je způsobena vnikáním střižníku. Tloušťka pásma I je cca 5 až 8 % tloušťky materiálu. Ve druhé fázi vzniká plastická deformace (plastický střih), jedná se o hladkou, lesklou část střižné plochy. V poslední fázi je stříhaná část samovolně uvolňována pod smykovým napětím (pásmo lomu). Lomem vznikne nejméně kvalitní část střižné plochy. Síla nabývá největší hodnoty při přechodu do pásma lomu.



Obr. 24 Střižná plocha [29]

Hloubka vniku střižné hrany do materiálu v okamžiku oddělení „h_s“ je u tvrdých a křehkých materiálů rovna asi deseti procentům tloušťky materiálu. V případě měkkých a houževnatých materiálů je „h_s“ rovna asi šedesáti procentům tloušťky materiálu.

Velmi podstatný vliv na střižný proces a kvalitu střižné plochy má velikost střižné mezery. Na obr. 25 jsou znázorněny tři možnosti nastavení. Pokud je střižná mezera příliš malá, dochází k šíření trhliny dvěma různými rovinami. Horní nůž tak stříhá již oddělenou část, což způsobuje zhoršení kvality střižné plochy. Je také zvýšena střižná síla a práce.



a) malá mezera b) optimální mezera c) velká mezera

Obr. 25 Nastavení střižné mezery [29]

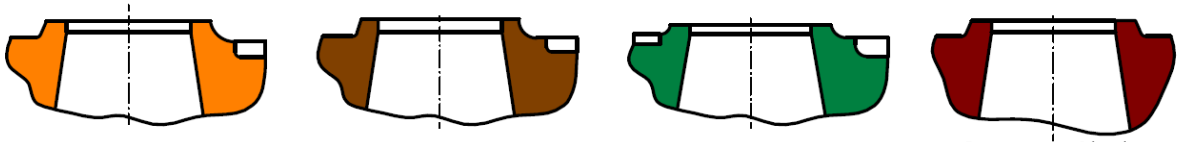
Příliš velká střižná mezera způsobuje tvorbu sekundární trhliny. Opět je zvýšena střižná síla a práce. Materiál je oddělován z velké části lomem. Výsledná střižná plocha je velmi nekvalitní.

2.3.2 Konstrukce střižného nástroje [13], [24], [28], [31], [32]

Základní části střižného nástroje jsou střižník a střižnice. Střižnice je konstruována s ohledem na tvar výkovku a výronku. Kvůli propadávání výkovku po ostřižení má střižnice pod funkční částí úkos 5°. Střižnice jsou konstruovány jako celistvé nebo dělené. Střižníky a střižnice jsou upnuty pomocí šroubů nebo klínů, střižníky také do kotevní desky.

Existují čtyři základní tvary střižnic pro ostřihování (obr. 26):

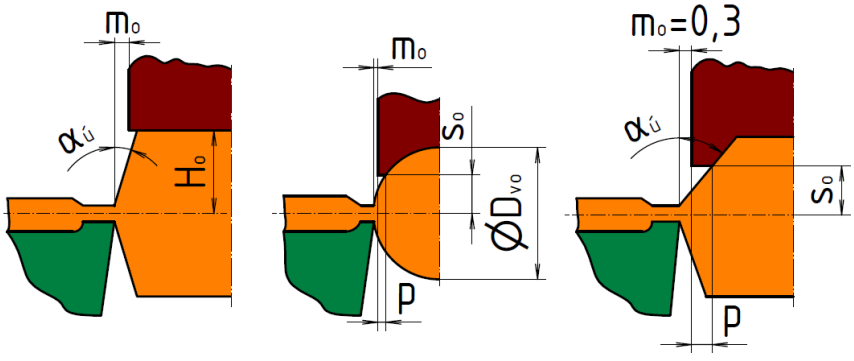
a) střižnice pro ostřihování dvojkusů,
b) střižnice pro ostřihování výkovků s úchytkou,
c) střižnice pro ostřihování výkovků kovaných z tyče za sebou,
d) střižnice pro ostřihování výkovků bez úchytky.



a) pro dvojkusy b) pro výkovky s úchytkou c) pro výkovky kované z tyče za sebou d) pro výk. bez úchytky

Obr. 26 Střižnice pro ostřihování [24]

Hodnota vůle mezi střižníkem a střižnicí závisí zejména na tvaru výkovku a způsobu ostřižení (obr. 27). Střižnice je vyráběna dle obrysu výkovku v dělící rovině. O hodnotu vůle jsou při ostřihování vždy upravovány rozměry střižníku. Jsou rozeznávány tři základní způsoby ostřihování výronku: způsob I pro výkovky s úkosem $\alpha_ú$ menším než 15°, způsob II pro rotační výkovky a způsob III pro výkovky s úkosem $\alpha_ú$ větším než 15°. Hodnota střižné mezery je tedy stanovena v závislosti na způsobu ostřihování výkovku dle tab. 7.



$\alpha_ú < 15°$ $\alpha_ú > 15°$

a) způsob 1 b) způsob 2 c) způsob 3

Obr. 27 Způsoby ostřihování [31]

Tab. 7 Hodnoty střižné mezery při ostřihování způsobem I a II [24].

Způsob I		Způsob II	
H_o [mm]	m_o [mm]	$D_{výk}$ [mm]	m_o [mm]
Do 5	0,3	Do 20	0,3
5 až 10	0,5	20 až 30	0,5
10 až 19	0,8	30 až 48	0,8
19 až 24	1,0	48 až 59	1,0
24 až 30	1,2	59 až 70	1,2
Nad 30	1,5	Nad 70	1,5

Vzdálenost hrany střižníku od dělící roviny výkovku „s_0“ je závislá na průměru výkovku „D_{vo}“, pro způsob II se určí dle vztahu:

$$s_o = 0{,}2 \cdot D_{vo} + 1, \tag{2.16}$$

kde: s_o – vzdálenost hrany střižníku od dělící roviny [mm],
D_{vo} – průměr ostřihovaného rotačního výkovku [mm].

Pro způsob ostřihování III nabývá hodnota přesahu střižníku „p“ hodnot 2 až 0,5 mm.

Vzdálenost hrany střižníku od dělící roviny výkovku se pro způsob ostřihování III vypočítá dle vztahu:

$$s_o = \frac{3{,}3 - 0{,}3 \cdot p}{tg\alpha_{ú}}, \tag{2.17}$$

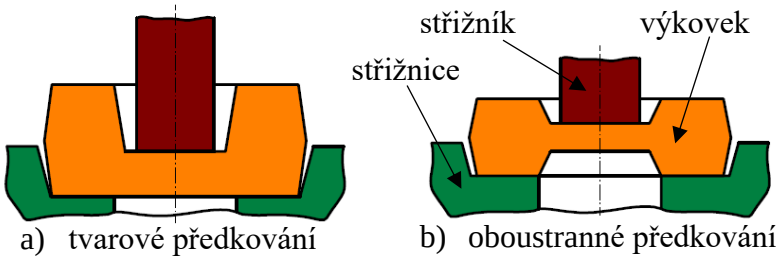
kde: p – přesah střižníku [mm],
$\alpha_{ú}$ – úkos výkovku [°].

Pokud je mezera mezi střižníkem a střižnicí při ostřihování za tepla menší než 1 mm a při ostřihování za studena menší než 0,5 mm, není zaručeno uvolnění ostřiženého výronku a je nutné použití stěračů výronku. Varianty konstrukce stěrače výronku jsou:

a) pevná stírací deska na rozpěrných trubkách,
b) stírací záchytky,
c) rovná stírací deska na pružinách,
d) horní stírací deska na pružinách.

Všechny konstrukční varianty stěračů výronku jsou uvedeny v příloze 5.

Jestliže je předkován otvor, je zapotřebí děrovat blánu. Pokud je otvor předkován pouze tvarově (obr. 28a), tak je střižná mezera volena s ohledem na materiál, kovací teplotu a tloušťku blány dle grafu v příloze 6. Musí však ležet v rozsahu 0,5 až 1 mm. Pokud je předkování oboustranné, viz obr. 28b určí se mezera mezi střižníkem a střižnicí dle předepsaných tabulek v závislosti na tloušťce děrované blány, nebo dle následujícího vztahu:



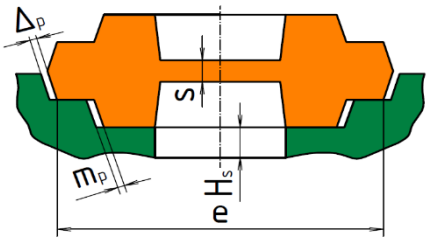
a) tvarové předkování b) oboustranné předkování

Obr. 28 Předkování otvoru [13]

$$m_d = h_b \cdot tg\alpha_v - 0{,}5, \tag{2.18}$$

kde: m_d – střižná mezera při děrování [mm],
h_b – vzdálenost blány od střižnice [mm],
α_v – vnitřní úkos výkovku [°].

Je nutné předkovávat pouze jednoduché tvarové otvory a zaručit dobré středění výkovku na střižnici. Středění by mělo být co nejjednodušší. Je dobré vyhýbat se tenkým žebrům, případně výčnělkům na střižnici. Vnější rozměry střižnice by měly být co nejmenší. Pokud je otvor ve střižnici používán pro prodávání blány, musí být střižnice upravena tak, aby propadení bylo co nejsnazší. Mezi výkovkem a střižnicí je postranní mezera Δ_p, jejíž velikost se určí jako polovina kladné tolerance daného rozměru e (obr. 29).



Obr. 29 Postranní mezery [13]

Stanovení velikosti postranní mezery pro plochy, které nejsou středící:

$$m_p = \Delta_p + 0{,}5, \tag{2.19}$$

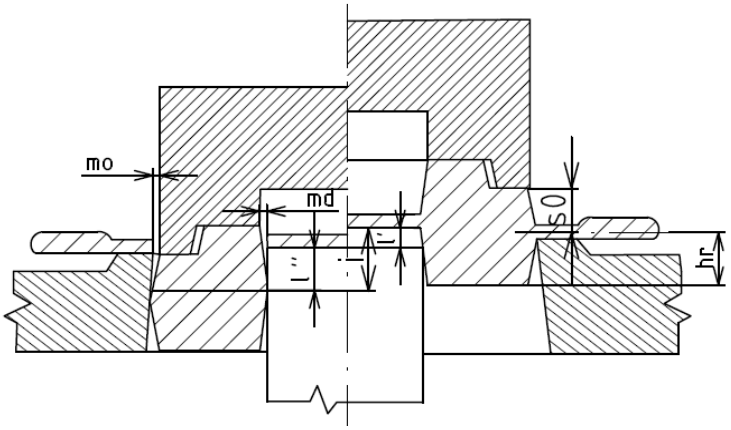
kde: m_p – postranní mezera nestředících ploch [mm],
Δ_p – postranní mezera středících ploch [mm].

Minimální hodnota vzdálenosti H_s:

$$H_{smin} = 0{,}5 \cdot s + 15, \tag{2.20}$$

kde: H_{smin} – minimální výška propadu v děrovací střižnici [mm].

Pokud je nutno ostřihovat výronek a zároveň děrovat blánu, je možné použít sloučené střihadlo. Je však nutno již při konstrukci výkovku počítat s takovou vzdáleností dělící roviny od střižníku s_0, aby bylo možno zajistit vůli mezi střižníkem a střižnicí minimálně 2 mm a vůli mezi děrovacím trnem a střižníkem minimálně 1,2 mm. V opačném případě je nutno použít stěrače výronku a vyrážeče blány. V okamžiku dosednutí výronku na střižnici má být mezi blánou a čelní plochou děrovacího trnu mezera 5 až 15 mm. Při děrování je důležité, aby se výkovek posunul o vzdálenost „i“, kvůli zajištění čistoty děrované části. Vzdálenost l‘‘ by měla být po posunutí výkovku 10 až 15 mm. Schéma sloučeného střihadla je znázorněno na obr. 30.



Obr. 30 Sloučené střihadlo [24]

Při určování klíčových rozměrů střižníku a střižnice je třeba rozlišovat operaci děrování a operaci ostřihování. Děrovací operace jsou charakteristické tím, že vystřižený materiál je považován za odpad. Dle operace je určeno, zda je za základní část považován střižník, nebo střižnice. Rozměry základního dílu jsou určeny dle tvaru, rozměrů a rozměrových tolerancí vyráběného dílce. Rozměry druhé části jsou určeny v závislosti na rozměrech základní části a jsou upraveny o střižnou vůli, viz obr. 31.

U operace děrování je za základní dílec považován střižník. Při výpočtu se zohledňuje tolerance jmenovitého rozměru. Rozměr střižnice je potom upraven o střižnou vůli:

$$A_{kd} = \left(A_j + \Delta\right)^{0}_{-\delta_k} \tag{2.21}$$

kde: A_{kd} – rozměr střižníku při děrování [mm],
A_j – jmenovitý rozměr [mm],
Δ – tolerance jmenovitého rozměru [mm],
δ_k – výrobní tolerance střižníku [mm].

$$A_{ed} = \left(A_j + \Delta + 2 \cdot m_d\right)^{+\delta_e}_{0}, \tag{2.22}$$

kde: A_{ed} – rozměr střižnice při děrování [mm],
δ_e – výrobní tolerance střižnice [mm].

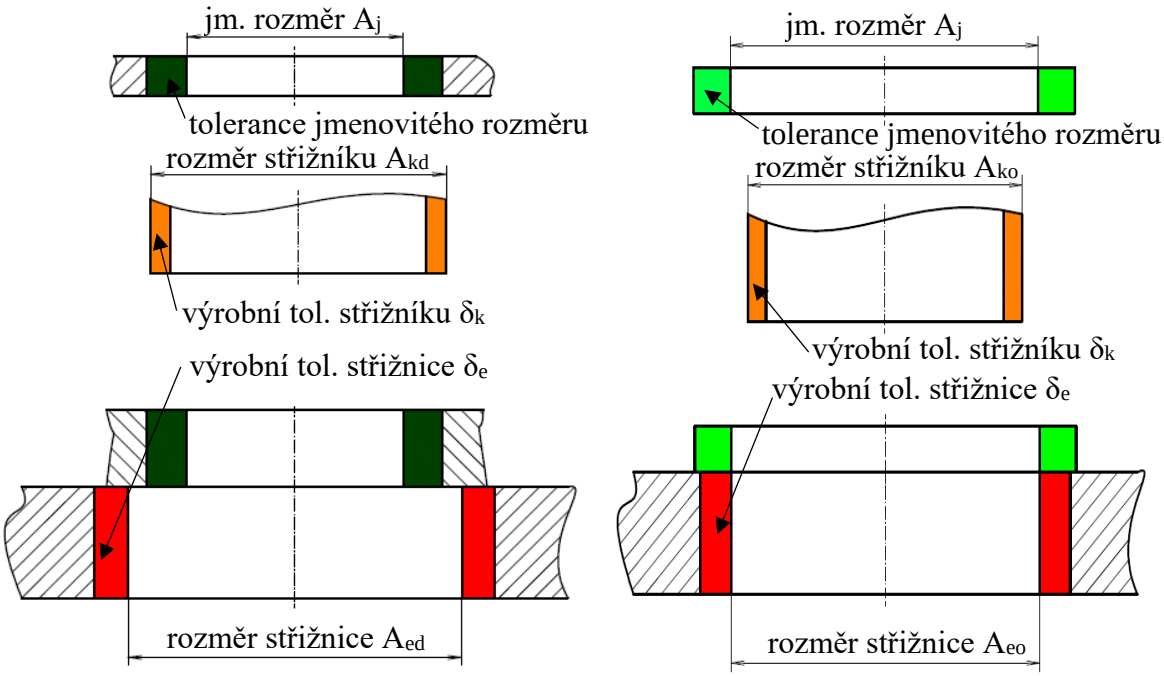
Naopak u ostřižení výronku je za základní část střižného procesu považována střižnice, z toho důvodu je rozměr otvoru ve střižnici upraven pouze o toleranci jmenovitého rozměru.

$$A_{eo} = \left(A_j - \Delta\right)^{+\delta_e}_{0}, \tag{2.23}$$

kde: A_{eo} – rozměr střižnice při ostřihování [mm].

$$A_{ko} = \left(A_j - \Delta - 2 \cdot m_o\right)^{0}_{-\delta_k}, \tag{2.24}$$

kde: A_{ko} – rozměr střižníku při ostřihování [mm].



a) rozměry při děrování b) rozměry při ostřihování

Obr. 31 Rozměru střižníku a střižnice [32]

2.4 Počítačové simulace tvářecích procesů [33], [34]

K optimalizaci tvaru nástrojů, ale i k predikci možných vad, je pro tváření za tepla možné využít numerické simulace. Simulování také snižuje náklady na výrobu, jelikož není zapotřebí velkého množství dodatečných úprav nástrojů. Existuje celá škála numerických metod, jež se v technické praxi používají. Metody využitelné pro tváření za tepla jsou především: metoda konečných diferencí, metoda konečných objemů, metoda SPH, metoda konečných prvků. Poslední jmenovaná metoda, tj. metoda konečných prvků je v současné době nejpoužívanější.

Metoda konečných prvků byla vynalezena přibližně v roce 1956. Její vznik je spojen s Výzkumným ústavem aeronautické a kosmické techniky v Ohiu. Princip je založen na rozdělení řešeného tělesa na síť prvků o konečných rozměrech (diskretizace).

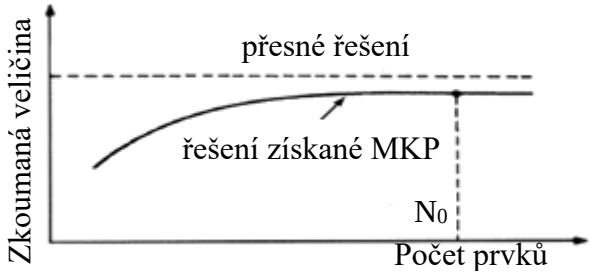
Prvky konečnoprvkové sítě jsou dle dimenze rozděleny takto:

- 1D prvky,
- 2D prvky,
  - čtyřúhelníkové prvky,
  - trojúhelníkové prvky,

- 3D prvky,
  - čtyřstěny,
  - pětistěny,
  - šestistěny,
  - skořepiny.

Dále jsou prvky děleny dle počtu uzlů na lineární a kvadratické. Kvadratické prvky mají uprostřed každé hrany další uzlový bod. Všechny prvky lze kombinovat tak, aby bylo dosaženo kvalitního popisu tělesa.

Na přesnost výpočtu simulace pomocí metody konečných prvků má také značný vliv počet prvků v síti. Ovšem je třeba brát v potaz to, že vyšší počet konečných prvků znamená také delší výpočtový čas simulace. Po dosažení určitého počtu prvků se již dál nezlepšuje přesnost výpočtu. Další ovlivnění přesnosti spočívá ve tvaru konečných prvků. Ve 2D jsou považovány za optimální čtverce, případně také rovnostranné trojúhelníky. V prostorových úlohách jsou to krychle.



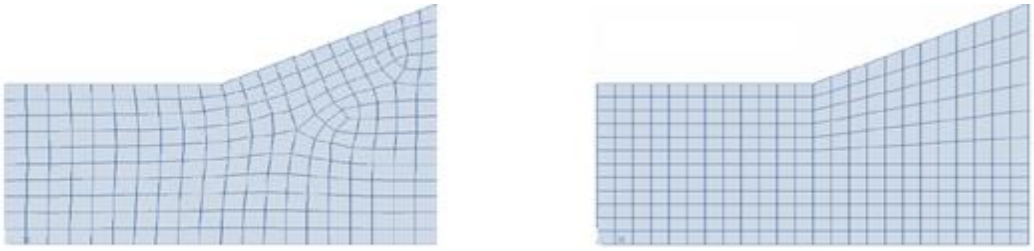
Obr. 32 Vliv počtu prvků na přesnost řešení [31]

Základní postup při aplikaci metody konečných prvků má tři etapy:

- definice základní geometrie,
  - importováním z CAD systémů – tato možnost je vhodná pro složitou 3D geometrii. Nevýhodou jsou problémy s kompatibilitou formátů. Jsou používány univerzální formáty jako .dxf, .stl atd.,
  - tvorbou v simulačním softwaru – lze využít pouze pro jednoduchou 2D geometrii,
- určení oblasti diskretizace – je určen prvek, pro který bude vytvářena síť konečných prvků. Tento prvek se nazývá makroprvek,
- tvorba sítě konečných prvků.

Sítě konečných prvků jsou členěny na sítě volné a mapované (obr. 33):

- volné sítě – jsou tvořeny automaticky. Z hlediska výpočtů jsou někdy nevyhovující,
- mapované sítě – z výpočtového hlediska jsou kvalitnější. Musí se tvořit manuálně.



a) volná síť b) mapovaná síť

Obr. 33 Sítě konečných prvků [31]

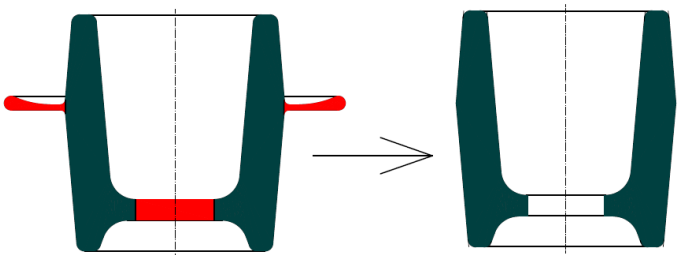
Proces zpracování počítačové simulace je složen ze tří částí:

- preprocessing – jedná se o část přípravy samotného výpočtu simulace. Je zde provedeno:
  - určení materiálového modelu,
  - definování geometrie nástrojů a polotovaru,
  - nastavení dalších podmínek simulace,
- processing – výpočet simulace,
- postprocessing – zpracování výsledků.

Simulační softwary využívající metodu konečných prvků lze rozčlenit na univerzální, jako je ANSYS nebo Abaqus a na software specializovaný na určitou technologii. Mezi specializovaný software pro procesy tváření lze zařadit např.: FormFEM, Deform, Qform a Simufact forming.

3 NÁVRH OSTŘIHOVACÍHO NÁSTROJE

Cílem práce je navrhnout nástroj pro ostřižení výronku a děrování blány výkovku pouzdra. Dílec před ostřižením a po ostřižení je znázorněn na obr. 34. Ostřih výronku i děrování blány výkovku bude prováděno za tepla. Jak již bylo zmíněno, kovací teplota je 1 200 °C. Nástroj bude konstruován jako postupový, a to z důvodu jednoduché konstrukce a nižší ceny. Nejprve bude provedena operace děrování blány a poté ostřižení výronku. Pro určení teploty ostřihovací operace je vhodné provést simulaci zápustkového kování v softwaru FormFEM.



Obr. 34 Ostřihování a děrování výkovku

3.1 Simulace zápustkového kování

Kvůli určení teploty, při které bude výkovek ostřižen, bude provedena počítačová simulace kovacího procesu za pomoci MKP softwaru FormFEM. Po provedení simulace kování bude zhodnocena zejména teplota kovaného dílce v průběhu kování, se zaměřením na konečnou teplotu blány a výkovku, což jsou faktory, které významně ovlivňují velikosti tvářecích sil. Dále bude simulace využita pro stanovení průměru výronku výkovku.

Úloha je řešena jako axisymetrická. Pro účely simulace je nutno upravit geometrii zápustek (obr. 35). Z důvodu možného zjednodušení úlohy není nutné do geometrie zahrnovat vyhazovače atd. Materiálové modely polotovaru a zápustek budou definovány dle databáze softwaru.

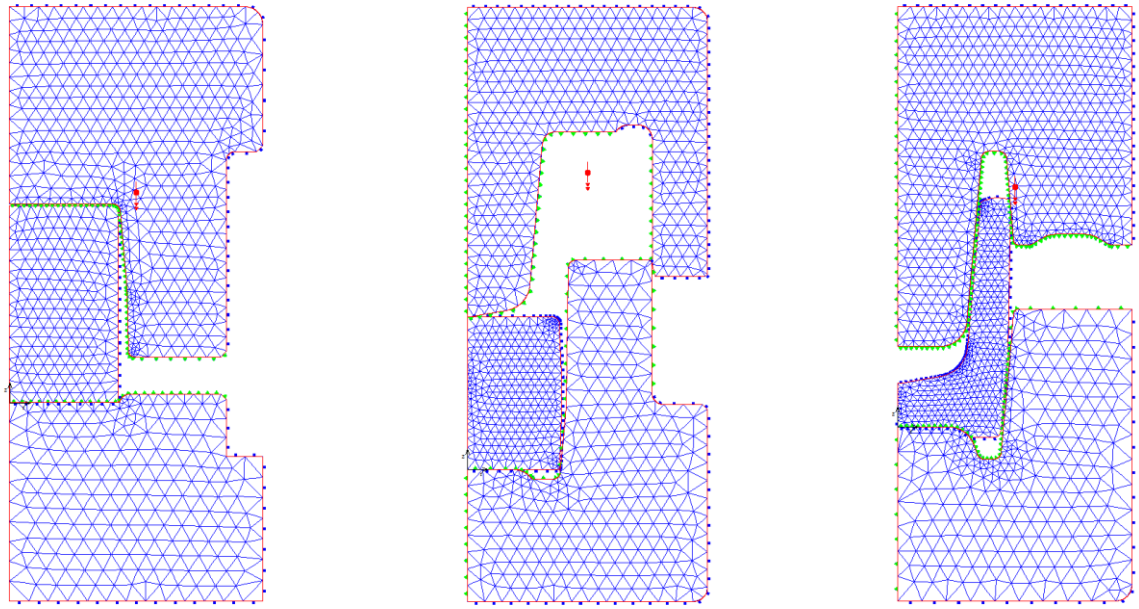
a) operace 1 b) operace 2 c) operace 3

Obr. 35 Geometrie nástrojů pro simulaci

Jelikož nebyla dostupná všechna potřebná vstupní data ovlivňující proces zápustkového kování, je simulace pouze přibližná. Vstupní data simulace:

- teplota ohřevu polotovaru = 1 200 °C,
- zdvih nástroje = 110 mm,
- počet zdvihů za minutu = 100 zdvihů,
- maximální zdvih = 220 mm,
- maximální tvářecí síla = 10 MN,
- přestup tepla bude řešen volnou konvekcí na vzduch o teplotě 26 °C,
- tření mezi nástrojem a polotovarem bude simulováno modelem grafitického maziva definovaného v databázi FormFEMu,
- čas chladnutí mezi op. = 2 s,
- čas chladnutí před ostřižením = 5 s.

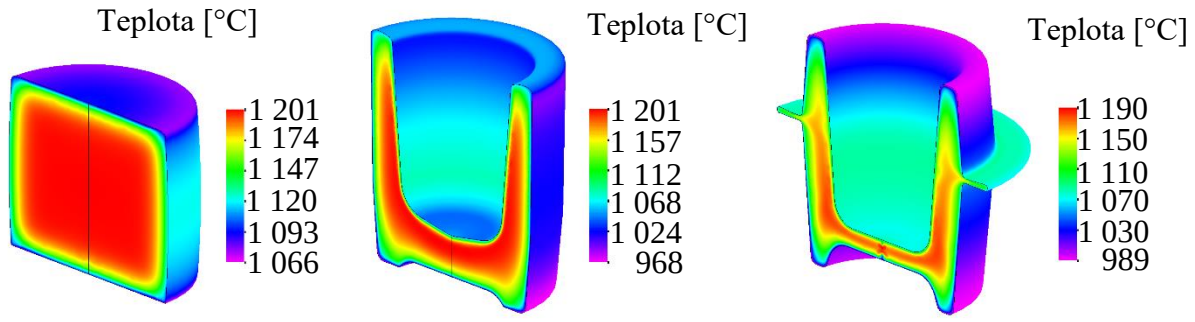
Po definování geometrie tvářecích nástrojů a základních parametrů je nutné vytvořit síť konečných prvků, viz obr. 36. Pro tvorbu sítě jsou použity trojúhelníkové prvky. Kvůli zajištění dostatečné přesnosti výpočtů jsou zvoleny prvky kvadratické, viz kap. 2.4. Síť je zjemněná v místech podstatných pro výpočet, jako jsou například místa styku nástroje a polotovaru.



a) operace 1 b) operace 2 c) operace 3

Obr. 36 Aplikace sítě konečných prvků

Na obr. 37 je vidět průběh teplot v polotovaru bezprostředně po kovacích operacích. Největší teplotu má po první operaci jádro polotovaru (přibližně 1 201 °C). K velmi malému zvýšení teploty došlo kvůli deformaci materiálu. Naopak nejnižší teplota je na vnějších hranách (1 066 °C). Po předkovací operaci je opět nejvyšší teplota 1 201 °C, této teploty je dosaženo na horní straně předkovaného tvaru blány a na vnitřní straně horní dutiny výkovku. K největšímu ochlazení došlo v dolní části výkovku, a to na teplotu 968 °C. Bezprostředně po dokovací operaci je nejvyšší teplota uvnitř horní dutiny 1 190 °C. Vlivem deformace se teplota dolní části výkovku mírně zvýšila na 989 °C.

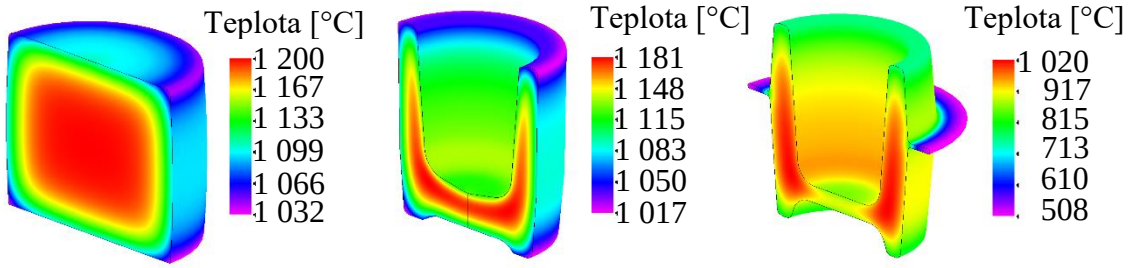


a) operace 1 b) operace 2 c) operace 3

Obr. 37 Teploty dílce bezprostředně po kovacích operacích

Z obr. 37 je tedy zřejmé, že nejvyšší teplota je na horním okraji blány a na vnitřním okraji horní dutiny výkovku. Nejnižší teplota je vždy ve spodní části výkovku. Největší deformace vláken je předpokládána na horní straně blány výkovku. Průběh deformace vláken po jednotlivých kovacích operacích a také výsledky výpočtu přetvoření dle podmínky HMH jsou uvedeny v příloze 7.

Mezi operacemi je nutné uvažovat chladnutí dílce, které je způsobeno přemísťováním mezi jednotlivými zápustkami. Uvažovaný čas mezioperačního chladnutí je 2 s a chladnutí po poslední operaci 5 s, kvůli přemístění výkovku na ostřihovací stroj. Časy chladnutí byly odhadnuty. Mezi první a druhou operací dochází k poklesu teploty na povrchu polotovaru cca o 30 °C. Teplota v jádře zůstává téměř nezměněna. Po předkovací operaci klesají teploty pouze nepatrně. Na povrchu dochází k mírnému navýšení teplot z důvodu přestupu tepla z jádra do okolí. Po vykování dílce a uvažované době chladnutí 5 s se teplota v místě ostřihování výronku pohybuje v rozmezí 610 °C až 815 °C, viz obr. 38. V místě děrování blány je teplota přibližně od 815 °C do 917 °C.



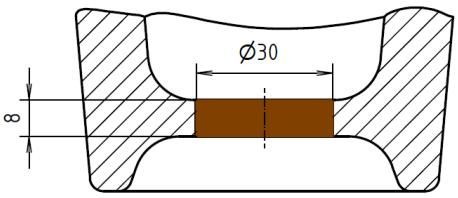
a) operace 1 b) operace 2 c) operace 3

Obr. 38 Mezioperační chladnutí výkovku

Při děrování a ostřihování bude na základě simulace a s přihlédnutím k možné delší době chladnutí uvažována teplota 700 °C. Při této teplotě odpovídá mez pevnosti materiálu 14 331 dle přílohy 3 hodnotě 96 MPa.

3.2 Výpočet děrovací a ostřihovací síly [35]

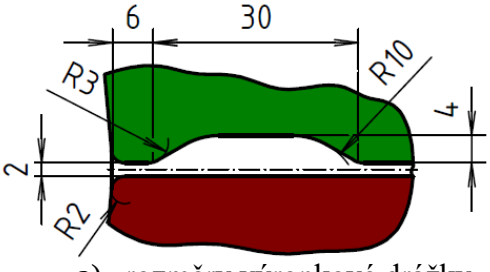
Pro výpočet síly pro děrování blány výkovku je nutné znát rozměry děrovaného otvoru a použitou geometrii (typ) blány. V případě řešeného výkovku je použita standardní blána typu I, viz obr. 20. Rozměry děrovaného otvoru jsou znázorněny na obr. 39. Koncepce nástroje je uvažována tak, že při děrovací operaci nebude tlačit střižník pouze na plochu výkovku. Jak již bylo zmíněno, pokud bude děrování probíhat tímto způsobem, je možné zanedbat koeficient 1,7, tudíž bude pro výpočet použit vztah 2.15:



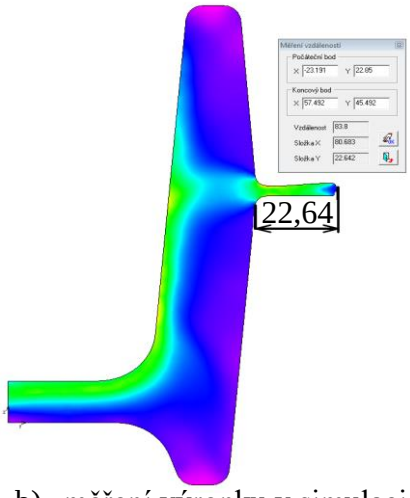
Obr. 39 Děrovaný otvor

$$F_D = \tau \cdot o_o \cdot s \cdot 2 = 0{,}8 \cdot \sigma_o \cdot o_o \cdot s \cdot 2 = 0{,}8 \cdot 96 \cdot 30 \cdot \pi \cdot 8 \cdot 2 = 115\,812 \text{ N}.$$

Aby bylo možno stanovit ostřihovací sílu, je třeba znát rozměry výronkové drážky, kvůli určení obvodu výronku. Pro řešený výkovek, který je kován na lise LMZ 1 000 byla použita výronková drážka typ II, pro kování na lisech. Konkrétní rozměry výronkové drážky jsou uvedeny na obr. 40a. Šířka výronku v zásobníku výronkové drážky byla změřena při simulaci kovacího procesu v softwaru FormFEM, viz obr. 40b.



a) rozměry výronkové drážky



b) měření výronku v simulaci

Obr. 40 Rozměry výronkové drážky

Průměr výronku je tedy součtem průměru výkovku v dělící rovině a dvojnásobku šířky výronku:

$$D_{výr} = D_{výk} + 2 \cdot B_v = 85{,}80 + 2 \cdot 22{,}64 = 131{,}08 \text{ mm}, \quad (3.1)$$

kde: $D_{výr}$ – průměr výronku [mm],
B_v – šířka výronku [mm].

Síla na ostřižení výronku je určena dle vztahu 2.14:

$$F_{os} = 1{,}7 \cdot 0{,}8 \cdot \sigma_o \cdot o_v \cdot 2 \cdot h_v = 1{,}7 \cdot 0{,}8 \cdot 96 \cdot \pi \cdot 131{,}08 \cdot 2 \cdot 6 \doteq 645 \text{ kN}.$$

Vzhledem ke spočítaným silám je pro operace ostřihování a děrování zvolen výstředníkový lis S160 E (obr. 41) od výrobce Šmeral Brno, a. s., který disponuje tvářecí silou 1 600 kN, viz základní parametry v tabulce 8.

Tab. 8 Parametry zvoleného lisu [35].

Tvářecí síla [kN]	1 600
Sevření [mm]	500
Vyložení [mm]	400
Upínací plocha stolu [mm]	1 200×800
Upínací plocha beranu [mm]	860×520
Zdvih beranu [mm]	20 – 160
Počet zdvihů [min^{-1}]	60
Přestavování beranu [mm]	100
Celkový instalovaný výkon [kW]	23
Rozměry stroje v×š×h [m]	3,3×1,4×2,5

Obr. 41 Lis S 160 E [35]

3.3 Operace děrování [30], [31], [36]

Otvor na řešeném výkovku je předkován oboustranně. Děrování bude provedeno v poloze svislé, zásobníkem výronkové drážky otočeným nahoru. Mezera mezi střižníkem a střižnicí je určena dle tab. 9.

Tab. 9 Střižná mezera při děrování [31].

Tloušťka blány [mm]	Střižná mezera při děrování za tepla [mm]	Střižná mezera při děrování za studena [mm]
4	0,2	0,3
8	**0,4**	**0,6**
12	0,6	0,9
16	0,8	1,2
20	1,0	1,5

Střižná mezera je tedy při děrování blány o tloušťce 8 mm za tepla určena jako 0,4 mm. Tolerance jmenovitého rozměru je 0,4 mm dle obecných tolerancí pro třídu m. Výrobní tolerance střižníku je uvažována 0,1 mm.

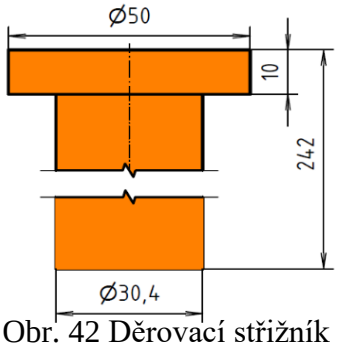
Průměr střižníku je s použitím výše uvedených hodnot stanoven dle vztahu 2.21:

$$A_{kd} = (A_j + \Delta)^{0}_{-\delta_k} = (30 + 0{,}4)_{-0{,}1}^{0} = 30{,}4_{-0{,}1}^{0} \text{ mm}.$$

Délka střižníku je určena tak, aby byl střižník při sevřeném stavu nástroje 10 mm uvnitř střižnice, zejména kvůli možnostem příp. renovace po opotřebení střižníku. Základní rozměry střižníku uvádí obr. 42. Navrženým materiálem střižníku je ocel ČSN 19 550. Jedná se o nástrojovou nízkolegovanou ocel vhodnou pro práci za tepla i za studena. Mechanické vlastnosti použité oceli jsou uvedeny v tab. 10.

Tab. 10 Mechanické vlastnosti oceli ČSN 19 550 [36].

Mez pevnosti R_m [MPa]	1 600 až 2 150
Mez kluzu R_p 0,2 [MPa]	1 350 až 1 750
Mez kluzu v tlaku R_{et} [MPa]	1 500 až 2 300
Tvrdost HRC	47 až 58
Kontrakce Z [%]	8 až 34
Tažnost A_5 [%]	4 až 10



Obr. 42 Děrovací střižník

Jelikož se jedná o střižník, který má menší průřez a je delší, než střižník pro ostřihování je pro ověření funkčnosti nástroje nezbytné provést kontroly na vzpěr, porušení a otlačení střižníku.

Při kontrole střižníku na vzpěr je vypočítána kritická délka střižníku. Pokud je střižník delší, hrozí ztráta vzpěrné stability a zkřivení střižníku. Z hlediska výpočtu je nutné definovat, zda se jedná o vedený, či nevedený střižník. V případě navrhovaného řešení bude střižník veden v otvoru stěrače výkovku. Koeficient bezpečnosti je zvolen 1,7. Nejprve je zapotřebí určit kvadratický moment průřezu střižníku:

$$J = \frac{\pi \cdot D_{sd}{}^4}{64} = \frac{\pi \cdot 30{,}4^4}{64} = 41\,924{,}1 \text{ mm}^4, \tag{3.2}$$

kde: J – kvadratický moment průřezu [mm^4],
D_{sd} – průměr děrovacího střižníku [mm].

Výpočet kritické délky střižníku je potom realizován dle vzorce:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J}{n_b \cdot F_D}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5 \cdot 41\,924{,}1}{1{,}7 \cdot 115\,812}} \doteq 1\,329 \text{ mm}, \tag{3.3}$$

kde: l_{krit} – kritická délka střižníku [mm],
n_b – bezpečnostní koeficient [-],

Aby nedošlo ke ztrátě vzpěrné stability, musí být délka střižníku menší než kritická délka:

$$l_{st} \leq l_{krit}, \tag{3.4}$$
$$232 \leq 1\,329,$$

kde: l_{st} – délka střižníku [mm].

Z výpočtu kontroly děrovacího střižníku tedy plyne, že délka střižníku je menší než kritická délka, tudíž nedojde ke ztrátě vzpěrné stability a z tohoto hlediska je střižník vyhovující.

Dále je nezbytné zkontrolovat, zda napětí působící na střižník nepřesahuje hodnotu meze kluzu materiálu střižníku. Mez kluzu v tlaku oceli 19 550 je 1 500 MPa, viz tab 10.

$$S_S = \frac{\pi \cdot D_S{}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 30{,}4^2}{4} = 725{,}8 \text{ mm}^2, \tag{3.5}$$

kde: S_S – střižná plocha střižníku [mm^2],
D_S – průměr střižné plochy [mm].

$$\sigma_t = \frac{F_D}{S_S} = \frac{115\,812}{725{,}8} \doteq 159{,}6 \text{ MPa}, \tag{3.6}$$

kde: σ_t – tlakové napětí působící na střižnou plochu střižníku [MPa].

Aby nedošlo k plastické deformaci střižníku musí být splněna následující podmínka:

$$\sigma_t \leq R_{et19550}, \tag{3.7}$$
$$159{,}6 \text{ MPa} \leq 1\,500 \text{ MPa},$$

kde: $R_{et19550}$ – mez kluzu v tlaku oceli ČSN 19 550 [MPa].

Dle výpočtu nebude překročena mez kluzu materiálu střižníku, tudíž materiál střižníku vyhovuje.

Kontrola na otlačení je prováděna z důvodu určení namáhání dosedací plochy střižníku. Pokud je napětí vyšší než dovolené je nutno použít kalenou opěrnou desku. Na velikost napětí má vliv velikost síly a dosedací plocha. Uvažovaným materiálem horní desky nástroje je ocel ČSN 11 600. Maximální dovolené napětí je 180 MPa.

Nejprve je zapotřebí určit velikost dosedací plochy střižníku:

$$S_D = \frac{\pi \cdot {D_{DS}}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 50^2}{4} = 1\,963{,}5 \text{ mm}^2, \tag{3.8}$$

kde: S_D – dosedací plocha střižníku [mm^2],
D_{DS} – průměr dosedací plochy střižníku [mm].

Poté je nutné určit velikost napětí působícího na dosedací plochu střižníku. Tato hodnota bude následně porovnána s maximálním dovoleným napětím:

$$\sigma_{td} = \frac{F_D}{S_D} = \frac{115\,812}{1\,963{,}5} \doteq 59 \text{ MPa}, \tag{3.9}$$

kde: σ_{td} – tlakové napětí působící na dosedací plochu střižníku [MPa].

Pokud bude splněna následující podmínka, není nutné použít kalenou opěrnou desku, aby bylo zabráněno otlačení upínací desky.

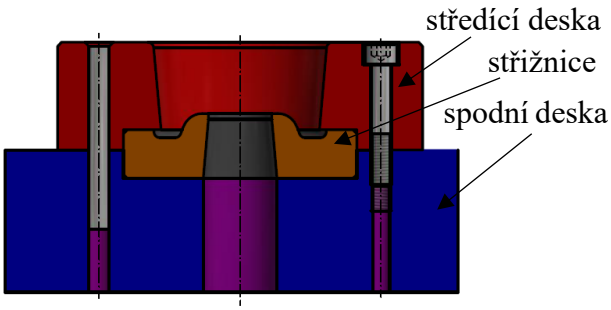
$$\sigma_{td} \leq \sigma_{tddov}, \tag{3.10}$$

$$59 \text{ MPa} \leq 180 \text{ MPa},$$

kde: σ_{tddov} – maximální dovolené napětí [MPa].

Z výpočtů plyne, že tlakové napětí působící na dosedací plochu děrovacího střižníku je menší než dovolené napětí, tudíž není zapotřebí použití kalené opěrné desky. Upnutí děrovacího střižníku bude realizováno pomocí kotevní desky, která bude k horní desce nástroje uchycena pomocí šroubů a kolíků. Navrženým materiálem kotevní desky je ocel ČSN 11 600.

Pro konstrukci střižnice je nutno určit velikost postranních mezer, viz obr. 29. Tato mezera je určena jako polovina kladné tolerance příslušného rozměru. V případě řešeného výkovku bude na střižnici dosedat Ø 76 mm, s kladnou tolerancí 1,3 mm. Postranní mezera je zaokrouhlena na 0,7 mm. Otvor ve střižnici je upraven o velikost mezery mezi střižnicí a střižníkem, která byla určena na základě tab. 9. Nad vlastní střižnicí je umístěna středící deska, která bude upevněna pomocí šroubů a kolíků ke spodní desce nástroje. Střižnice je ustavena za pomoci působícího tlaku středící desky. Toto řešení zajišťuje snadnou vyměnitelnost střižnice v případě nutných oprav. Střižnice i středící deska jsou konstruovány dle rozměrů výkovku Střižnice je opatřena fazetkou a poté úkosem 5°, aby odpad z děrovaného otvoru lépe propadával. Pro výpočet průměru otvoru ve střižnici je uvažována výrobní tolerance střižnice 0,1 mm.



Obr. 43 Schéma sestavení střižnice pro děrování

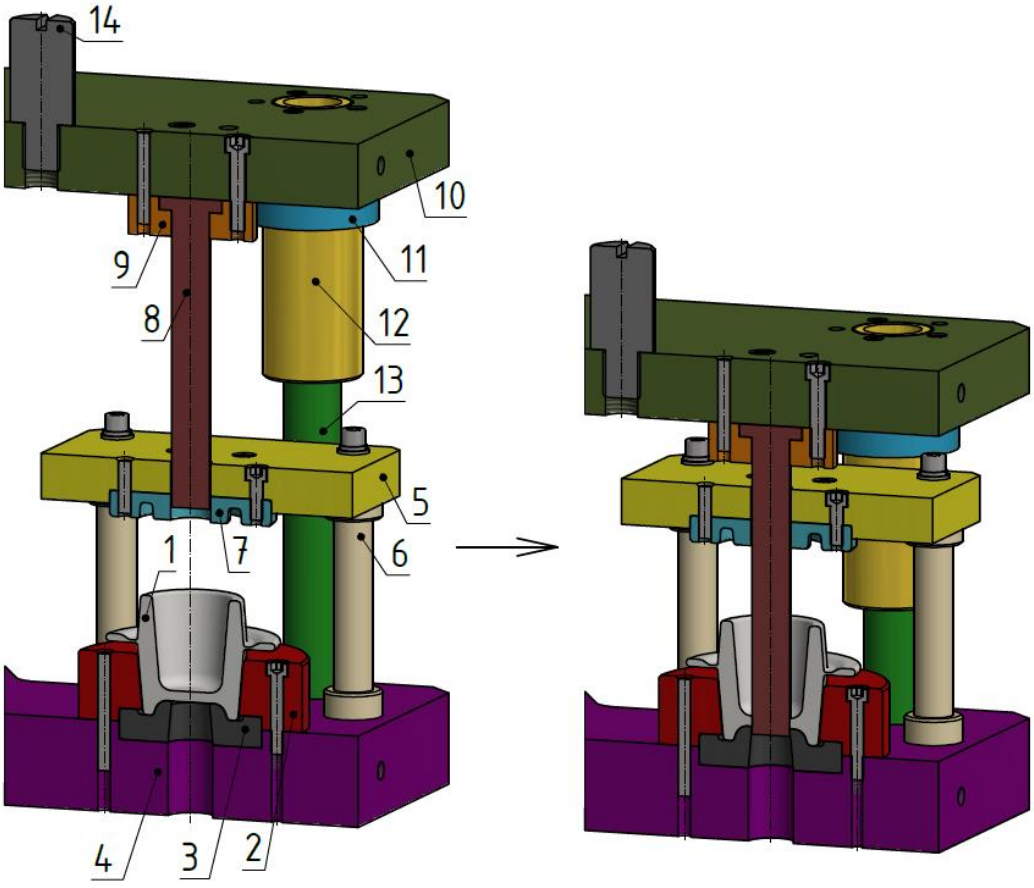
Průměr otvoru ve střižnici je určen dle vztahu 2.22:

$$A_{ed} = \left(A_j + \Delta + 2 \cdot m_d\right)^{+\delta_e}_{0} = (30 + 0{,}4 + 2 \cdot 0{,}4)^{+0{,}1}_{0} = 31{,}2^{+01}_{0} \text{ mm},$$

Minimální vzdálenost Hs (obr. 29) je určena dle vztahu 2.20:

$$H_{smin} = 0{,}5 \cdot s + 15 = 0{,}5 \cdot 8 + 15 = 19 \text{ mm}.$$

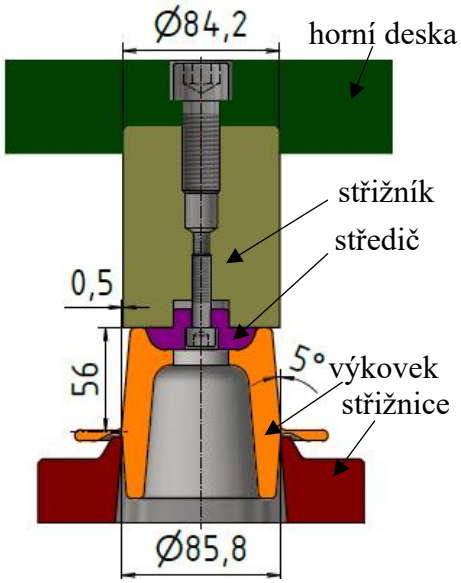
Na obr. 44 je vidět celá část nástroje pro děrování blány výkovku. Děrování proběhne jako první operace ihned po zhotovení výkovku pouzdra. V otevřeném stavu nástroje je výkovek (1) umístěn do středící desky (2) a ustaven na střižnici (3) v poloze zásobníkem vzhůru. Středící deska je přišroubována a přikolíkována ke spodní desce nástroje (4). Aby bylo zabráněno případnému zachycování výkovku na děrovacím střižníku bylo nutné zkonstruovat stěrač výkovku. Deska stojánku stěrače (5) je pomocí čepů (6) uchycena ke spodní desce (4). K desce stojánku (5) je pomocí kolíků šroubových spojů připevněna vlastní deska stěrače výkovku (7). Tvar desky stěrače výkovku kopíruje horní část výkovku. Děrovací střižník (8) je upnut pomocí kotevní desky (9), ta je upevněna k horní desce nástroje (10). Střižník je veden pomocí otvorů v desce stojánku (5) a v desce stěrače výkovku (7). Nástroj je veden pomocí vodících pouzder (12) a vodících sloupků (13). Vodící pouzdra (12) jsou nalisována do otvorů v horní desce nástroje (10). Pro zvýšení tuhosti vedení bylo navrženo podpěrné těleso (11), které je pomocí šroubů a kolíků uchyceno k horní desce (10). Nástroj bude do beranu lisu upnut pomocí stopky (14), která byla navržena dle normy ČSN 22 6264.2, jedná se o stopku se závitem. Stopka je umístěna uprostřed horní desky nástroje. Vzhledem k tomu, že operace děrování a ostřihování nikdy nebudou probíhat současně, není nutné, aby stopka byla umístěna v těžišti tvářecích sil. Vzhledem k asymetrickému namáhání je upnutí možno zlepšit pomocí upínaní do T drážek, avšak kvůli neznámé rozteči těchto drážek u použitého lisu nebude tento způsob uvažován.



Obr. 44 Řez nástrojem (operace děrování)

3.4 Operace ostřihování [24], [37]

Výkovek je ostřihován zásobníkem dolů, viz obr. 45. Tato poloha je zvolena kvůli snadnému použití středícího prvku, který dosedne na plochu dutiny. Středič je ke střižníku připevněn pomocí šroubového spoje. Tento způsob ostřihu odpovídá způsobu I, viz kap. 2.3.2. Vzdálenost střižníku od dělící roviny „H_o" je 56 mm, tedy střižná mezera m_o je dle tab.7 rovna 1,5 mm. Avšak tato mezera je z hlediska praktického použití příliš velká, což by způsobovalo velké nepřesnosti, tudíž po konzultaci s konstruktérem nástrojů ve firmě Šmeral Brno, a. s., byla střižná mezera stanovena na 0,5 mm. Střižník bude k horní desce přišroubován. Navrženým materiálem pro ostřihovací střižník je ocel ČSN 19 550, jejíž mechanické vlastnosti uvádí tab. 10. Délka střižníku je navržena tak, aby v sevřeném stavu nástroje byl střižník 3 mm uvnitř střižnice. Jelikož má ostřihovací střižník mnohokrát větší průměr než děrovací střižník a je také kratší, nebudou pro něj počítány kontrolní výpočty.

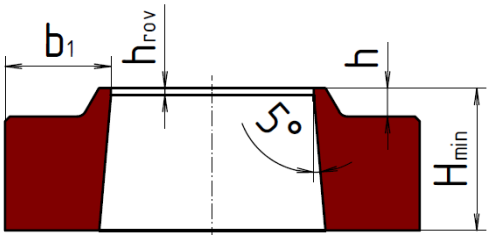


Obr. 45 Způsob ostřihování

Jmenovitý rozměr je 85,8 mm. Uvažovaná tolerance jmenovitého rozměru je 0,6 mm a výrobní tolerance střižníku 0,1 mm. Průměr střižníku je upraven o velikost střižné mezery a je určen dle vztahu 2.24:

$$A_{ko} = \left(A_j - \Delta - 2 \cdot m_o\right)^{0}_{-\delta_k} = (85{,}8 - 0{,}6 - 2 \cdot 0{,}5)^{0}_{-0{,}1} = 84{,}2^{0}_{-0{,}1}\ \text{mm}.$$

Střižnice je konstruována jako kruhová a celistvá. Kvůli lepšímu propadávání výkovku je navržen úkos, který zajistí snadnější propadávání výkovku po ostřižení. Na střižnici je zhotoven výstupek, na který výkovek dosedne. Navrženým materiálem střižnice je taktéž nástrojová ocel ČSN 19 550. Základní parametry jsou určeny dle tab. 11. Pod střižnicí bude umístěna komora, do které bude výkovek padat po ostřižení. K této komoře bude střižnice upevněna pomocí šroubových spojů. Komora bude spojena s dolní deskou taktéž pomocí šroubových spojů.



Obr. 46 Schéma střižnice [24]

Velikost fazetky je určena jako násobek výšky můstku výronku. Výška fazetky je spočítána dle následujícího vztahu:

$$h_{rov} = 1{,}5 \cdot h_v = 1{,}5 \cdot 2 = 3\ \text{mm}, \qquad (3.11)$$

kde: h_{rov} – přímá část otvoru ve střižnici [mm].

Tab. 11 Základní rozměry střižnice pro ostřihování [24].

Výška můstku výronku [mm]	H_{min} [mm]	h [mm]	b_1 [mm]
Do 1,6	50	10	30
1,6 až 3,5	**55**	**12**	**35**
Nad 3,5	60	15	40

Otvor ve střižnici je určen dle vztahu 2.23, uvažovaná výrobní tolerance střižnice je 0,1 mm:

$$A_{eo} = \left(A_j - \Delta\right)^{+\delta_e}_{0} = (85{,}8 - 0{,}6)^{+0{,}1}_{0} = 85{,}2^{+0{,}1}_{0}\ \text{mm}$$

Při velikosti střižné mezery 0,5 mm je nutné konstruovat stěrač výronku, který se skládá z desky a čtyř pouzder, které jsou spojeny pomocí šroubů s deskou stěrače. Na dvě pouzdra jsou navlečeny tlačné pružiny 5×37×75×5,5 od výrobce HENNLICH, s. r. o., které zajistí setření výronku. Z maximálního možného stlačení o 34,7 mm a potřebné síly 1 202,5 N lze určit tuhost pružiny jako:

$$k = \frac{F_p}{\Delta l_p} = \frac{1\,202{,}5}{34{,}7} = 34{,}65\ \mathrm{N \cdot mm^{-1}}, \tag{3.12}$$

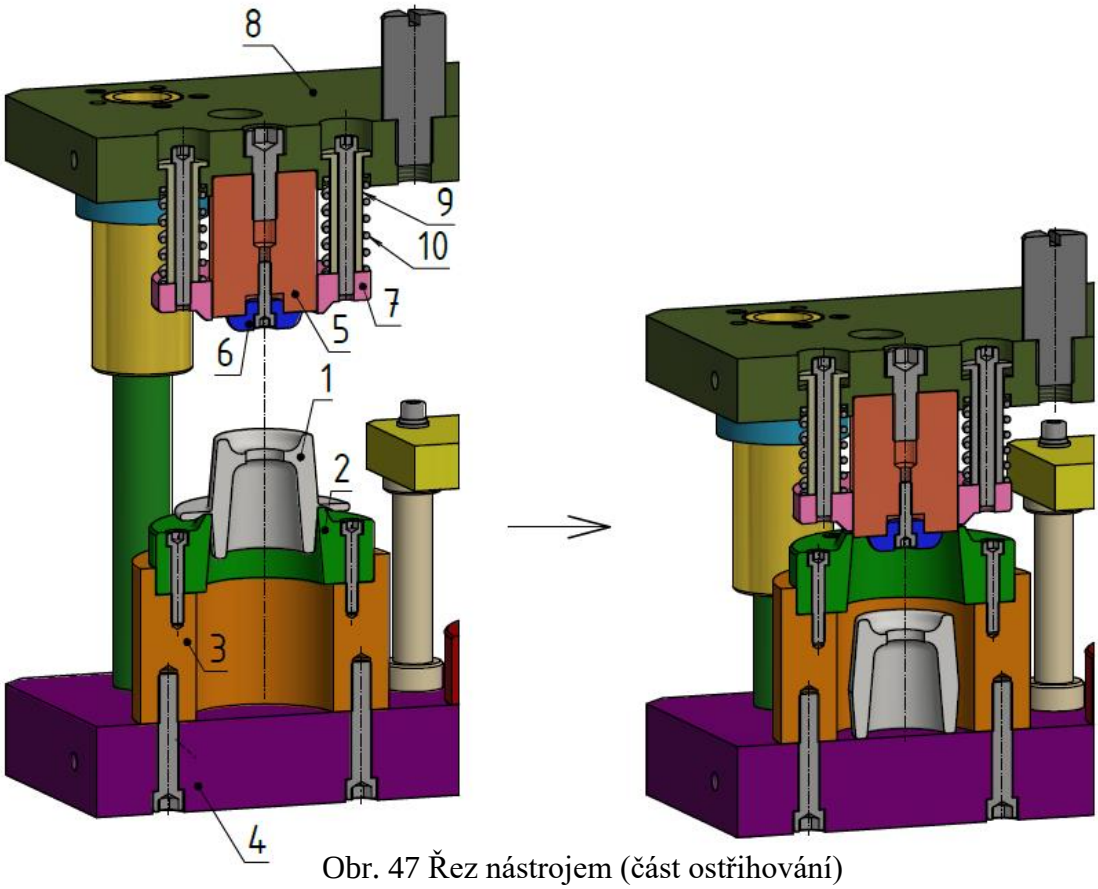
kde: k – tuhost pružiny [N·mm^{-1}],
F_p – síla ke stlačení pružiny [N],
Δl_p – stlačení pružiny [mm].

Při předpokládaném stlačení pružin o 7 mm bude na výronek při setření působit síla:

$$F_p = \Delta l_p \cdot k \cdot n_{pruž} = 7 \cdot 34{,}65 \cdot 2 \doteq 485\ \mathrm{N}, \tag{3.13}$$

kde: $n_{pruž}$ – počet pružin [ks].

Část nástroje pro ostřižení výronku je znázorněna na obr. 47. Výkovek (1) je vložen na střižnici (2) zásobníkem otočeným dolů. Po provedení ostřihu propadne výkovek do ostřihovací komory (3), která je pomocí šroubů a kolíků uchycena ke spodní desce nástroje (4). K ostřihovacímu střižníku (5) je šroubem uchycen středič (6), který zapadá do dutiny výkovku a slouží pro lepší vystředění před ostřižením výronku. Z důvodu malé střižné mezery, a tím pádem hrozícímu ulpívání výronku na ostřihovacím střižníku, je konstruován stěrač výronku (7), je použita konstrukční varianta horní stírací desky na pružinách, viz příloha 5. V otvorech v horní desce nástroje (8) jsou umístěna čtyři pouzdra (9), které jsou pomocí šroubů spojena se stěračem výronku. Na dvě pouzdra budou navlečeny tlačné pružiny (10). Při ostřižení dojde ke stlačení pružin a následnému uvolnění, díky kterému bude výronek setřen ze střižníku. Na výronek při setření působí síla 485 N, což by měla být dostatečná síla k setření. V případě potřeby lze pružiny přidat na další sloupky.



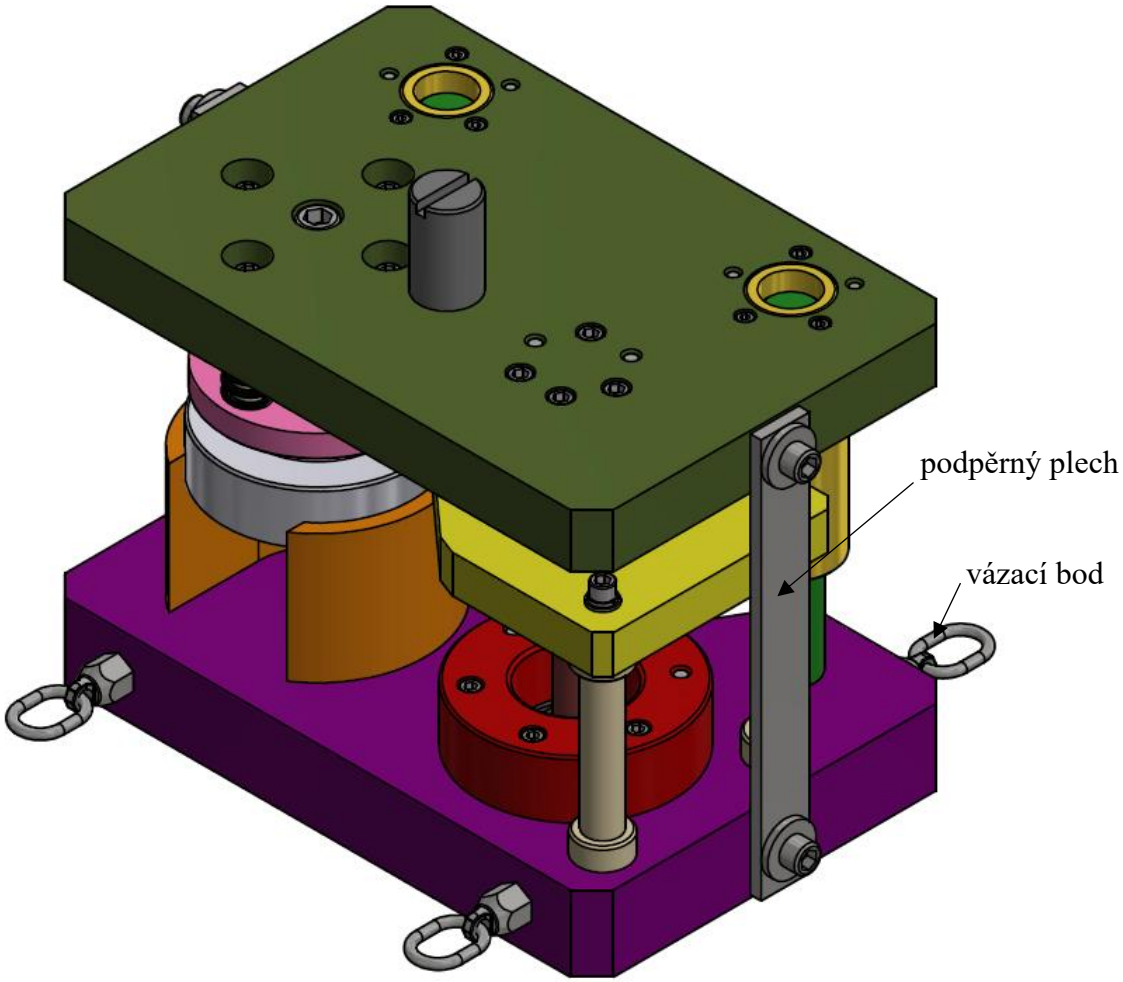
Obr. 47 Řez nástrojem (část ostřihování)

3.5 Skladování a manipulace s nástrojem [38]

Vzhledem k celkové hmotnosti nástroje (230,9 kg), která byla určena v programu Autodesk Inventor 2018 je nutno konstruovat elementy, které usnadní přenášení nástroje. Zvoleným elementem je vázací bod VWBG V.0.45.M8 s nosností 300 kg. Tyto vázací body je možné zatížit ve všech směrech.

Kvůli zajištění polohy při skladování nástroje byly navrženy dva podpěrné plechy, které nástroj udrží v požadované výšce po vyjmutí z lisu. Při skladování nástroje je důležité, aby všechny funkční části (střižníky, střižnice, středící prvky atd.) byly zajištěny v takové poloze, aby nedošlo k jejich poškození. Také je nežádoucí, aby během skladování byly stlačeny pružiny, které jsou součástí stěrače výronku, neboť by mohlo dojít k jejich degradaci.

Výška nástroje pro skladování je zvolena 375 mm, v této výšce budou splněny všechny výše uvedené podmínky. Vázací body budou umístěny na spodní desce nástroje (obr. 48). Podpěrné plechy budou umístěny uprostřed desek nástroje a k deskám budou připevněny pomocí šroubů.



Obr. 48 Skladovací stav nástroje

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [39], [40]

Po navržení nástroje a technologie výroby dílce je nutné zhodnotit výrobu z ekonomického hlediska. Do ekonomického zhodnocení budou zahrnuty náklady na materiál, pořízení kovacího a ostřihovacího stroje a také náklady na pořízení sady zápustek a ostřihovacího nástroje. Vhodnost technologie výroby bude zhodnocena s ohledem na velikost série 520 000 kusů za rok.

Polotovarem výkovku je špalík z oceli ČSN 14 331 o průměru 75 mm a délce 68 mm. Cena 1 kg materiálu je cca 34 Kč včetně DPH. Přířezy budou zhotovovány z tyče o délce 6 m. Nejprve bude na základě délky přířezu a délky tyče stanoven počet přířezů z jedné tyče. Uvažovaná šířka pásu pily je 0,9 mm. Počet přířezů je určen dle následujícího vztahu:

$$n_{př} = \frac{L_t}{l_{př} + š_p} = \frac{6\,000}{68 + 0{,}9} \doteq 87 \text{ ks}, \tag{4.1}$$

kde: $n_{př}$ – počet přířezů z tyče [ks],
L_t – délka tyče [mm],
$l_{př}$ – délka přířezu [mm],
$š_p$ – šířka pásu [mm].

Potřebný počet tyčí pro sérii:

$$N_t = \frac{Q}{N_{př}} = \frac{520\,000}{87} \doteq 5\,977{,}01 \rightarrow 5\,978 \text{ ks}, \tag{4.2}$$

kde: N_t – počet tyčí pro sérii [ks],
Q – výrobní série [ks].

Následně je spočtena hmotnost jedné tyče a poté náklady na potřebný počet tyčí pro výrobní sérii:

$$m_t = \frac{\pi \cdot d_t^2}{4} \cdot L_t \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 75^2}{4} \cdot 6000 \cdot 7850 \cdot 10^{-9} \doteq 208{,}1 \text{ kg}, \tag{4.3}$$

kde: m_t – hmotnost tyče [kg],
d_t – jmenovitý průměr tyče [mm],
ρ – hustota oceli [kg·mm^{-3}].

$$N_{tc} = m_t \cdot n_t \cdot C_t = 208{,}1 \cdot 5978 \cdot 34 \doteq 42\,296\,741 \text{ Kč}, \tag{4.4}$$

kde: N_{tc} – náklady na pořízení tyčí [Kč],
C_t – cena materiálu [Kč·kg^{-1}].

Dále je nutné stanovit výši vratných nákladů, ty jsou tvořeny vratným odpadem, jako jsou ostřižené výronky a blány. Výkupní cena odpadu bude uvažována 4 Kč·kg^{-1}. Objem výronku bude přibližně stanoven jako deset procent z objemu výkovku, ten bude určen pomocí softwaru Autodesk Inventor 2018.

Nejprve bude na základě objemu výronku určena hmotnost ostřiženého výronku.

$$m_{výr} = V_{výr} \cdot \rho = 0{,}1 \cdot V_{výk} \cdot \rho = 0{,}1 \cdot 274\,174{,}88 \cdot 7850 \cdot 10^{-9} = 0{,}22 \text{ kg}, \tag{4.5}$$

kde: $m_{výr}$ – hmotnost výronku [kg].

Po vykování bude děrován otvor o průměru 30 mm do blány o tloušťce 8 mm. Z velikosti objemu blány bude určena její hmotnost.

$$m_b = V_b \cdot \rho = \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} \cdot s \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 30^2}{4} \cdot 8 \cdot 7850 \cdot 10^{-9} = 0{,}04 \text{ kg}, \tag{4.6}$$

kde: m_b – hmotnost děrované blány [kg],
V_b – objem děrované blány [mm^3],
d_o – průměr děrovaného otvoru [mm].

Vratné náklady za odpad tedy činí:

$$N_{mv} = (m_{výr} + m_b) \cdot Q \cdot C_{od} = (0{,}22 + 0{,}04) \cdot 520\,000 \cdot 4 = 540\,800 \text{ Kč}, \quad (4.7)$$

kde: N_{mv} – vratné náklady za odpad [Kč],
C_{od} – výkupní cena odpadu [Kč·kg^{-1}].

Celkové náklady na materiál pro zajištění výrobní série tvoří náklady na pořízení tyčí, od kterých jsou odečteny vratné náklady za odpad:

$$N_{mc} = N_{tc} - N_{mv} = 42\,296\,741 - 540\,800 = 41\,755\,941 \text{ Kč}, \quad (4.8)$$

kde: N_{mc} – celkové náklady na materiál [Kč].

Dále je třeba započítat náklady na pořízení kovacích zápustek a navrženého ostřihovacího nástroje. Pořizovací cena sady zápustek byla sdělena výrobcem Šmeral Brno, a. s. a činí 420 000 Kč.

Pro určení ceny nástroje je nezbytné určit cenu za použité materiály, ty jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 12 Spotřeba mat. na výrobu ostřihovacího nástroje.

Třída oceli	Množství [kg]	Cena za 1 kg [Kč]	Cena celkem [Kč]
11	299,81	30	8 994
14	38,88	34	1 322
19	26,89	110	2 958
Cena za materiál celkem			**13 274**

Čas výroby ostřihovacího nástroje byl odhadnut cca na 400 hodin. Pro výpočty bude uvažována mzda nástrojaře 180 Kč hod^{-1}. Mzda tedy činí:

$$M_n = T_v \cdot H_n = 400 \cdot 180 = 72\,000 \text{ Kč}, \quad (4.9)$$

kde: M_n – mzdy nástrojaře na výrobu nástroje [Kč],
T_v – čas výroby [hod],
H_n – hodinová mzda nástrojaře [Kč].

Do ceny nástroje musí být také zahrnuta zpracovatelská režie. Ta byla odhadnuta na 500 % ze mzdy nástrojaře na výrobu nástroje. Po dosazení tedy:

$$ZR = M_n \cdot 5 = 72\,000 \cdot 5 = 360\,000 \text{ Kč}, \quad (4.10)$$

kde: ZR – zpracovatelská režie [Kč].

Dalším aspektem, který je třeba zohlednit při vyčíslení ceny nástroje je zisk výrobce. Ten byl odhadnut na 15 %:

$$Z_v = ZR \cdot 0{,}15 = 360\,000 \cdot 0{,}15 = 54\,000 \text{ Kč}, \quad (4.11)$$

kde: Z_v – zisk výrobce nástroje [Kč].

Cena navrženého ostřihovacího nástroje je tedy sumou ceny za potřebný materiál, zpracovatelské režie a zisku výrobce.

$$PC_{on} = CM_{on} + ZR + Z_v = 13\,274 + 360\,000 + 54\,000 = 427\,274 \text{ Kč}, \quad (4.12)$$

kde: PC_{on} – pořizovací cena ostřihovacího nástroje [Kč],
CM_{on} – cena materiálu na nástroj [Kč].

Ve zhodnocení výroby jsou také zahrnuty pořizovací náklady za kovací a ostřihovací lis. Prodejní ceny byly zjištěny od výrobce Šmeral Brno, a. s.

$$PC_{st} = PC_{kl} + PC_{ol} = 12\,500\,000 + 3\,800\,000 = 16\,300\,000 \text{ Kč}, \quad (4.13)$$

kde: PC_{st} – pořizovací cena strojů [Kč],
PC_{kl} – pořizovací cena kovacího lisu [Kč],
PC_{ol} – pořizovací cena ostřihovacího lisu [Kč].

Z těchto zjištěných hodnot bude určena hodnota celkových fixních nákladů. Budou také uvažovány fixní náklady výrobní režie, které zahrnují např. pronájem výrobní haly, ty byly odhadnuty na 350 000 Kč. Pro určení fixních nákladů bude uvažována životnost nástrojů 1 rok a pořizovací cena strojů bude rozpočítána do pěti let.

$$N_{fix} = \frac{PC_{záp}}{Ž} + \frac{PC_{on}}{Ž} + \frac{PC_{st}}{5} + n_{vf}\,, \tag{4.14}$$

kde: N_{fix} – celkové fixní náklady [Kč],
$PC_{záp}$ – pořizovací cena sady zápustek [Kč],
PC_{st} – pořizovací cena strojů [Kč],
Ž – životnost nástrojů [rok],
n_{vf} – fixní náklady výrobní režie [Kč].

Po dosazení tedy:

$$N_{fix} = \frac{420\,000}{1} + \frac{427\,274}{1} + \frac{16\,300\,000}{5} + 350\,000 = 4\,457\,274 \text{ Kč}.$$

V dalším kroku budou vypočteny náklady na mzdy na výrobní sérii. Uvažovaná mzda na jeden dílec byla odhadnuta cca na 3 Kč.

$$N_{mz} = \frac{T_v}{60} \cdot H_{vd} \cdot Q = \frac{4}{60} \cdot 90 \cdot 520\,000 = 3\,120\,000 \text{ Kč}, \tag{4.15}$$

kde: N_{mz} – náklady na mzdy [Kč],
T_v – čas výroby [hod],
H_{vd} – hodinová mzda výrobního dělníka [Kč].

Po výpočtu mezd je nutné stanovit režijní náklady, konkrétně se jedná o režii správní, výrobní a odbytovou. Hodnoty režijních nákladů budou stanoveny jako určité procento z mezd dělníků na výrobní sérii. Režijní náklady jsou určeny dle následující vzorce:

$$N_R = N_{mz} \cdot Q \cdot \left(\frac{SR}{100} + \frac{VR}{100} + \frac{OR}{100}\right), \tag{4.16}$$

kde: N_R – režijní náklady [Kč],
SR – správní režie [%],
VR – výrobní režie [%],
OR – odbytová režie [%].

Hodnota správní režie bude činit 110 % z mezd, výrobní režie 370 % a odbytová režie 80 %. Po dosazení tedy režijní náklady činí:

$$N_R = 3\,120\,000 \cdot \left(\frac{110}{100} + \frac{370}{100} + \frac{80}{100}\right) = 17\,472\,000 \text{ Kč}.$$

Na základě nákladů na mzdy, režijních nákladů a nákladů na materiál budou určeny celkové variabilní náklady, což jsou náklady, jejichž hodnota je závislá na velikosti výrobní série.

$$N_{var} = N_R + N_{mz} + N_{mc} + N_{ps}, \tag{4.17}$$

kde: N_{var} – variabilní náklady [Kč],
N_{ps} – náklady na provoz strojů [Kč].

Do variabilních nákladů jsou také zahrnuty náklady na provoz strojů, ty byly odhadnuty na cca 550 000 Kč.

$$N_{var} = 17\,472\,000 + 3\,120\,000 + 41\,755\,941 + 550\,000 = 62\,897\,941 \text{ Kč}.$$

Variabilní náklady na jeden výrobek:

$$N_{jd} = \frac{N_{var}}{Q} = \frac{62\,897\,941}{520\,000} = 120{,}96 \text{ Kč}, \tag{4.18}$$

kde: N_{jd} – náklady na jeden kus [Kč].

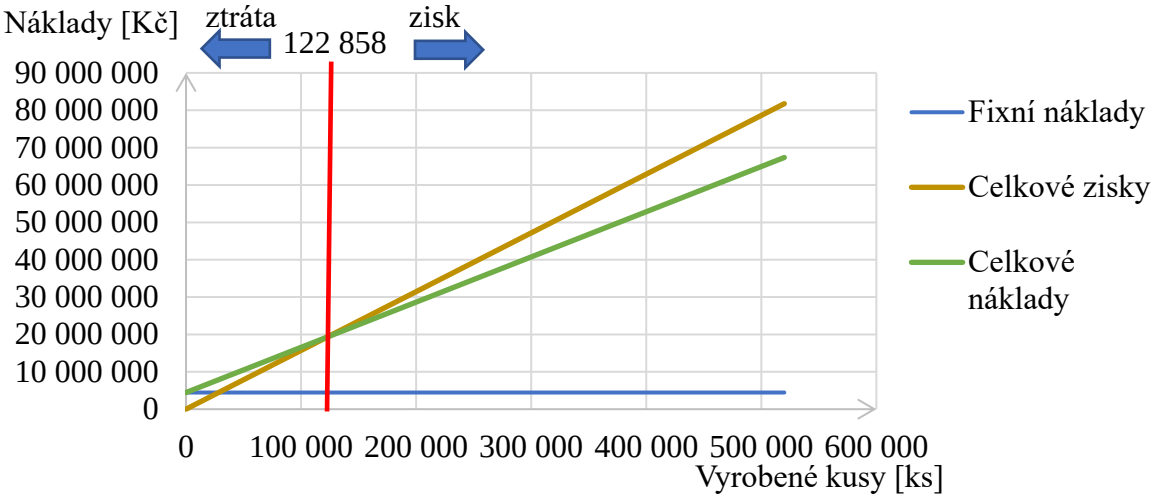
Ke zjištěné ceně je třeba připočítat zisk, ten bude tvořit 30 % z ceny. Po dosazení tedy:

$$C_v = N_{jd} \cdot 1{,}3 = 120{,}96 \cdot 1{,}3 = 157{,}24 \text{ Kč}. \tag{4.19}$$

Pro celkové zhodnocení výroby je nutné určit bod zvratu, což je počet kusů, od kterých začne být výroba zisková. Bod zvratu je ovlivněn fixními a variabilními náklady, náklady na jeden výrobek a pořizovací cenou dílce. Bod zvratu je určen dle následujícího vztahu:

$$BZ = \frac{N_{fix}}{C_v - N_{jd}} = \frac{4\ 457\ 274}{157{,}24\ - 120{,}96} = 122\ 858\ \text{ks}, \tag{4.20}$$

kde: BZ – bod zvratu [ks],
C_v – cena výrobku [Kč].



Obr. 49 Bod zvratu

Z uvedených výpočtů plyne, že bod zvratu nastane při výrobě 122 858 ks (obr. 49). Tudíž při sériovosti 520 000 kusů za rok je výroba zisková. Je však důležité brát ohled na to, že mnoho veličin ovlivňujících výslednou hodnotu bodu zvratu byly pouze odhadnuty.

5 ZÁVĚRY

V bakalářské práci byla řešena problematika ostřihování a děrování výkovku pouzdra. Dílec je vyráběn z oceli ČSN 14 331 zápustkovým kováním. Sériovost činí 520 000 ks·rok^{-1}. Bylo posouzeno několik možných variant odstranění výronku a blány, z nichž byla zvolena technologie ostřihování, která byla ze všech uvažovaných metod nejvhodnější, jak z ekonomického hlediska, tak i z důvodu malé časové náročnosti.

Kvůli stanovení teploty, při které bude ostřižení realizováno, byla zpracována simulace zápustkového kování v softwaru FormFEM. Teploty po zápustkovém kování a transportu výkovku na ostřihovací lis se v místě děrování blány pohybují od 815 °C do 917 °C. V místě ostřihování výronku byla zjištěna teplota 610 °C až 815 °C. Na základě těchto hodnot byla pro ostřihování a děrování uvažována teplota 700 °C, a to s přihlédnutím k možnému delšímu času ochlazení při přesunu dílce. Po provedení simulace byla určena síla pro děrování blány na 115,8 kN. Síla pro ostřižení výronku byla stanovena na 645 kN.

Na základě teoretického rozboru technologie ostřihování byl dále navržen postupový ostřihovací nástroj pro daný výkovek, přičemž nejprve bude děrována blána výkovku a poté ostřižen výronek. Pro děrovací střižník byly provedeny kontrolní výpočty na vzpěr, otlačení a porušení.

Dle velikosti sil pro děrování blány a ostřižení výronku byl pro tyto operace zvolen lis S 160 E od výrobce Šmeral Brno, a. s., který disponuje nominální silou 1 600 kN.

Při ekonomickém zhodnocení byla stanovena cena nástroje na 427 274 Kč. Bylo zjištěno, že výroba bude rentabilní po překročení sériovosti 122 858 kusů za rok, tudíž je výroba o sérii 520 000 ks·rok^{-1} zisková. Náklady na jeden výrobek byly spočítány na 120,96 Kč. Při požadovaném zisku 30 % tak byla určena cena výrobku na 157,24 Kč.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [41]

1. Ojnice. In: *Kovárna Zetor* [online]. 2018 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: http://www.zetorkovarna.cz/ojnice
2. Zápustkové výkovky. In: *PBK BM s.r.o.* [online]. 2011 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: http://www.pbk.cz/vyrobni-program/vyroba-zapustkovych-vykovku
3. Zápustkové výkovky. In: *MSV METAL Studénka* [online]. 2018 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: http://www.msvmetal.eu/kovani/
4. Příklady výkovků. In: *SWR Jihlava* [online]. 2008 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: http://www.swrjihlava.cz/index.php?page=vyroba#
5. VOJTĚCH, Dalibor. *Materiály a jejich mezní stavy*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010, 204 s. ISBN 978-80-7080-741-5.
6. ČSN 41 4331. *Ocel 14 331 Mn-Si-Cr*. 8s. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1978.
7. Svislé kovací lisy. *ŠMERAL Brno* [online]. 2017 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: http://www.smeral.cz/svisle_kovaci_lisy.html
8. KŘÍŽ, Daniel. *Studium vlivu velikosti svazku na hloubku prokalení materiálu 42CrMo4 při laserovém kalení*. Brno, 2015. 57s, 3 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Obor technologie svařování a povrchových úprav. Vedoucí práce doc. RNDr. Libor Mrňa, Ph.D.
9. Řezání plazmou. *Schinkmann* [online]. 2018 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: https://www.schinkmann.cz/plazma
10. Vodní paprsek. In *Ml geardesigns* [online]. 2015 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: http://mlgeardesigns.blog.cz/1503/vodni-paprsek
11. BOUDA, Luděk. Řezání vodním paprskem. *MM Průmyslové spektrum* [online]. MM publishing, s.r.o, 2008 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/rezani-vodnim-paprskem.htm
12. TATÍČEK, František a Tomáš PILVOUSEK. Akademie tváření-stříhání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. MM publishing, s.r.o., 2010 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html
13. HAŠEK, Vladimír. *Kování: pomůcka pro studenty vysokých a odborných škol*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965, 730 s. Řada strojírenské literatury.
14. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2., v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
15. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-1-107-00452-8.
16. PROCHÁZKA, Karel. Průběh vláken. In: *SSPU Opava* [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: http://www.sspu-opava.cz/UserFiles/File/_sablony/KOM_IV/VY_52_INOVACE_J-06-02.pdf
17. LIDMILA, Zdeněk. *Technologické procesy*. Přednáška Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 30.11.2017

18. SOMMER, Boris. *Technologie tváření kovů*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1988, 228 s

19. VRÁNA, Václav. Elektrické teplo. *Katedra elektrotechniky VŠB* [online]. 2008 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske_FMMI/Prednasky/TEPLO_bc_08.pdf

20. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.

21. Okuje. In: *KOMPASS Czech Republic, s.r.o* [online]. 2018 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: https://cz.kompass.com/p/ostrik-odstraneni-primarnich-a-sekundarnich-okuji/0bb46933-de84-406f-9ec7-f9c4a8e1b752/

22. MAÁR, Karol. *Kovanie*. Košice: Technická univerzita, 1991. ISBN 80-709-9073-2

23. SMOLEK, Jan. Vlákna výkovku. In: *SPŠ a VOŠT Sokolská, Brno* [online]. 2013 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_24-19.pdf

24. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

25. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

26. SUCHOPÁREK, Rudolf. *Základy zápustkového kování oceli*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956, 380 s.

27. LIDMILA, Zdeněk a Emil SVOBODA. *Strojírenská technologie*. Brno: Univerzita obrany, 2006, 250 s. ISBN 978-80-7231-220-7.

28. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980, 216 s.

29. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010, 245 s. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.

30. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 103 s. ISBN 80-214-2881-3.

31. PFROGNER, František. *Konstrukce nástrojů pro tváření*. Plzeň: Vysoká škola strojní a elektrotechnická, 1984, 146 s.

32. LIDMILA, Zdeněk. *Přípravky a nástroje.* Přednáška Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 27.3.2018

33. ŘIHÁČEK, Jan. *Sylabus k předmětu počítačová podpora technologie* [online]. Brno, 2015 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/dpp__pocitacova_podpora_technologie__tvareni__rihacek.zip

34. FABÍK, Richard. *Modelování tvářecích procesů* [online]. Ostrava, 2013, 76s. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: http://www.fmmi.vsb.cz/export/sites/fmmi/modin/cs/studijni-opory/resitelsky-tym-2-metalurgie/modelovani-tvarecich-procesu/Fabik_Modelovani_tvarecich_procesu.pdf

35. Výstředníkové lisy. *ŠMERAL Brno* [online]. 2017 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: http://www.smeral.cz/vystrednikove_lisy.html

36. ČSN 41 9550. *Ocel 19 550 Cr-Mo-V*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1984.

37. Tlačné pružiny. *Hennlich s.r.o*. [online]. 2018 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: https://www.hennlich.cz/produkty/pruziny-tlacne-pruziny-162/tlacne-pruziny-z-pruzinove-oceli.html

38. Vázací bod VWBG. *Tesort, s.r.o* [online]. [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: https://www.tesort.cz/produkt/178-sroubovaci-vazaci-body-s-kulickovym-loziskem-vwbg

39. MÍKA, Tomáš. *Výroba víka kotlového grilu*. Brno, 2017. 57s, 4 výkresy, 7 příloh, CD.Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

40. Bod zvratu. *Market Mind* [online]. 2017 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: https://www.marketingmind.cz/bod-zvratu-priklad-vzorec-vypocet-graf/

41. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2018 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: http://citace.lib.vutbr.cz/info

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A_1	Eutektoidní teplota	[°C]
A_3	Teplota překrystalizace austenitu	[°C]
A_5	Tažnost	[%]
A_{bk}	Práce posledního úderu bucharu	[J]
A_{ed}	Rozměr střižnice při děrování	[mm]
A_{eo}	Rozměr střižnice při ostřihování	[mm]
A_j	Jmenovitý rozměr	[mm]
A_{kd}	Rozměr střižníku při děrování	[mm]
A_{ko}	Rozměr střižníku při ostřihování	[mm]
b_1	Vzdálenost mezi hranou otvoru a okrajem střižnice	[mm]
B_v	Šířka výronku	[mm]
BZ	Bod zvratu	[ks]
CM_{on}	Cena materiálu na nástroj	[Kč]
C_{od}	Výkupní cena odpadu	[Kč·kg^{-1}]
C_t	Cena materiálu	[Kč·kg^{-1}]
C_v	Cena výrobku	[Kč]
D_d	Horní průměr předkovávané dutiny	[mm]
d_d	Dolní průměr předkovávané dutiny	[mm]
D_{DS}	Průměr dosedací plochy střižníku	[mm]
DKT	Dolní kovací teplota	[°C]
d_o	Průměr děrovaného otvoru	[mm]
D_S	Průměr střižné plochy	[mm]
D_{sd}	Průměr děrovacího střižníku	[mm]
d_t	Jmenovitý průměr tyče	[mm]
D_v	Stisknutý průměr výkovku	[cm]
D_{vo}	Průměr ostřihovaného rotačního výkovku	[mm]
$D_{výk}$	Průměr výkovku v dělící rovině	[mm]
$D_{výr}$	Průměr výronku	[mm]
E	Youngův modul pružnosti v tahu	[GPa]
e	Rozměr určující velikost mezery středících ploch	[mm]
F_D	Síla pro děrování blány	[N]
F_{kov}	Kovací síla	[N]
F_{os}	Ostřihovací síla	[N]
F_p	Síla ke stlačení pružiny	[N]
G	Modul pružnosti ve smyku	[GPa]
h	Výška výstupku na střižnici	[mm]
h_b	Vzdálenost blány od střižnice	[mm]
H_D	Hloubka dutiny v zápustce	[mm]
h_d	Vzdálenost horní hrany výkovku od dělící roviny	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
HKT	Horní kovací teplota	[°C]
H_{min}	Minimální výška střižnice	[mm]
H_n	Hodinová mzda nástrojaře	[Kč]
H_o	Vzdálenost hrany střižníku od dělící roviny u zp. ostřihu I	[mm]
h_r	Vzdálenost dělící roviny od spodní hrany výkovku	[mm]
h_{rov}	Přímá část otvoru ve střižnici	[mm]
h_s	Hloubka vniku střižné hrany v okamžiku oddělení	[mm]
H_s	Výška propadu v děrovací střižnici	[mm]
H_{smin}	Minimální výška propadu v děrovací střižnici	[mm]
h_v	Výška můstku výronkové drážky	[mm]
H_{vd}	Hodinová mzda výrobního dělníka	[Kč]
J	Kvadratický moment průřezu	[mm^4]
k	Tuhost pružiny	[$N \cdot mm^{-1}$]
k_s	Tvarový součinitel	[-]
l‘	Vzdálenost mezi blánou a čelní plochou ostřihovacího trnu	[mm]
l‘‘	Vzdálenost blány od dělící roviny po ostřižení	[mm]
l_{krit}	Kritická délka střižníku	[mm]
$l_{př}$	Délka přířezu	[mm]
l_{st}	Délka střižníku	[mm]
L_t	Délka tyče	[mm]
m	Střižná mezera	[mm]
m_b	Hmotnost děrované blány	[kg]
m_d	Střižná mezera při děrování	[mm]
M_n	Mzdy nástrojaře na výrobu nástroje	[Kč]
m_o	Střižná mezera při ostřihování	[mm]
m_p	Postranní mezera nestředících ploch	[mm]
m_t	Hmotnost tyče	[kg]
$m_{výr}$	Hmotnost výronku	[kg]
n	Hloubka zásobníku výronkové drážky	[mm]
n_b	Bezpečnostní koeficient	[-]
N_{fix}	Celkové fixní náklady	[Kč]
N_{jd}	Náklady na jeden kus	[Kč]
N_{mc}	Celkové náklady na materiál	[Kč]
N_{mv}	Vratné náklady za odpad	[Kč]
N_{mz}	Náklady na mzdy	[Kč]
$n_{př}$	Počet přířezů z tyče	[ks]
$n_{pruž}$	Počet pružin	[ks]
N_{ps}	Náklady na provoz strojů	[Kč]
N_R	Režijní náklady	[Kč]
N_t	Počet tyčí pro sérii	[ks]
N_{tc}	Náklady na pořízení tyčí	[Kč]

Označení	Legenda	Jednotka
N_{var}	Variabilní náklady	[Kč]
n_{vf}	Fixní náklady výrobní režie	[Kč]
o_o	Obvod děrovaného otvoru	[mm]
OR	Odbytová režie	[%]
o_v	Obvod výronku	[mm]
p	Přesah střižníku	[mm]
PC_{kl}	Pořizovací cena kovacího lisu	[Kč]
PC_{on}	Pořizovací cena ostřihovacího nástroje	[Kč]
PC_{ol}	Pořizovací cena ostřihovacího lisu	[Kč]
PC_{st}	Pořizovací cena strojů	[Kč]
$PC_{záp}$	Pořizovací cena sady zápustek	[Kč]
Q	Výrobní série	[ks]
R_1	Poloměr přechodu rovné a zakřivené části blány typu III	[mm]
R_b	Poloměr přechodu mezi stěnou dutiny a blánou	[mm]
$R_{et19550}$	Mez kluzu v tlaku oceli ČSN 19 550	[MPa]
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
r_p	Poloměr přechodu do dělící roviny	[mm]
$R_p0,2$	Smluvní mez kluzu	[MPa]
r_{pmax}	Maximální poloměr přechodu do dělící roviny	[mm]
s	Tloušťka blány	[mm]
s_0	Vzdálenost hrany střižníku od dělící roviny	[mm]
S_D	Dosedací plocha střižníku	[mm^2]
S_{DV}	Plocha průmětu výkovku do roviny kolmé k rázu	[mm^2]
s_{III}	Tloušťka blány typu III	[mm]
s_m	Šířka můstku výronkové drážky	[mm]
s_{max}	Největší tloušťka blány	[mm]
s_{min}	Nejmenší tloušťka blány	[mm]
SR	Správní režie	[%]
S_S	Střižná plocha střižníku	[mm^2]
s_z	Šířka zásobníku výronkové drážky	[mm]
$š_p$	Šířka pásu pily	[mm]
T	Teplota	[°C]
t	Čas	[h]
t_{rek}	Teplota rekrystalizace	[°C]
t_{stud}	Teplota tváření za studena	[°C]
t_{tav}	Teplota tavení	[°C]
T_v	Čas výroby	[hod]
V_b	Objem děrované blány	[mm^3]
VR	Výrobní režie	[%]
$V_{výk}$	Objem výkovku	[mm^3]
$V_{výr}$	Objem výronku	[mm^3]

Označení	Legenda	Jednotka
Z	Kontrakce	[%]
ZR	Zpracovatelská režie	[Kč]
Z_v	Zisk výrobce nástroje	[Kč]
Ž	Životnost nástrojů	[rok]
α_t	Teplotní délková roztažnost	[K^{-1}]
$\alpha_ú$	Vnější úkos výkovku	[°]
α_v	Vnitřní úkos výkovku	[°]
Δ	Tolerance jmenovitého rozměru	[mm]
δ_e	Výrobní tolerance střižnice	[mm]
δ_k	Výrobní tolerance střižníku	[mm]
Δl_p	Stlačení pružiny	[mm]
Δ_p	Postranní mezera středících ploch	[mm]
ΔT	Přípustný teplotní rozdíl	[K]
ρ	Hustota oceli	[$kg \cdot mm^{-3}$]
σ_m	Dovolené teplotní napětí	[MPa]
σ_o	Pevnost materiálu za ostřihovací teploty	[MPa]
σ_p	Přetvárný odpor	[MPa]
σ_s	Deformační odpor materiálu za kovací teploty	[MPa]
σ_t	Tlakové napětí působící na střižnou plochu střižníku	[MPa]
σ_{td}	Tlakové napětí působící na dosedací plochu střižníku	[MPa]
σ_{tddov}	Dovolené tlakové napětí působící na dosedací plochu střižníku	[MPa]
τ	Střižný odpor	[MPa]
φ	Logaritmické přetvoření	[-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Produkty tváření za tepla [1], [2], [3], [4] 9
Obr. 2 Hotový dílec a výkovek 10
Obr. 3 Lis řady LMZ [7] 11
Obr. 4 Sestava zápustek 11
Obr. 5 Princip řezání laserem [8] 12
Obr. 6 Řezání vodním paprskem [10] 12
Obr. 7 Schéma střihu [12] 12
Obr. 8 Vliv teploty na přetvárný odpor oceli ČSN 14 140.3 [14] 13
Obr. 9 Průběh vláken obráběné a tvářené součásti [16] 14
Obr. 10 Teplotní rozdíl při ohřevu [17] 14
Obr. 11 Odporový ohřev [19] 15
Obr. 12 Princip a schéma indukčního ohřevu [19] 15
Obr. 13 Okuje [21] 16
Obr. 14 Vlivy kování na strukturu materiálu [14], [23] 17
Obr. 15 Kovací teploty [14] 17
Obr. 16 Upínání zápustek [24] 19
Obr. 17 Uzavřená a otevřená dutina zápustky [14] 19
Obr. 18 Výronkové drážky prokování na bucharu typ I a III [24] 20
Obr. 19 Výronková drážka pro kování na lisu typ I a II [25] 21
Obr. 20 Typy blan [24] 22
Obr. 21 Kovací lisy [27] 22
Obr. 22 Kovací buchary [26] 23
Obr. 23 Schéma ostřihování výronku [13] 24
Obr. 24 Střižná plocha [29] 24
Obr. 25 Nastavení střižné mezery [29] 25
Obr. 26 Střižnice pro ostřihování [24] 25
Obr. 27 Způsoby ostřihování [31] 25
Obr. 28 Předkování otvoru [13] 26
Obr. 29 Postranní mezery [13] 27
Obr. 30 Sloučené střihadlo [24] 27
Obr. 31 Rozměru střižníku a střižnice [32] 28
Obr. 32 Vliv počtu prvků na přesnost řešení [31] 29
Obr. 33 Sítě konečných prvků [31] 29
Obr. 34 Ostřihování a děrování výkovku 31
Obr. 35 Geometrie nástrojů pro simulaci 31
Obr. 36 Aplikace sítě konečných prvků 32
Obr. 37 Teploty dílce bezprostředně po kovacích operacích 32
Obr. 38 Mezioperační chladnutí výkovku 33
Obr. 39 Děrovaný otvor 33
Obr. 40 Rozměry výronkové drážky 33
Obr. 41 Lis S 160 E [7] 34
Obr. 42 Děrovací střižník 35
Obr. 43 Schéma sestavení střižnice pro děrování 36
Obr. 44 Řez nástrojem (operace děrování) 37
Obr. 45 Způsob ostřihování 38
Obr. 46 Schéma střižnice [24] 38
Obr. 47 Řez nástrojem (část ostřihování) 39
Obr. 48 Skladovací stav nástroje 40
Obr. 49 Bod zvratu 44

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické složení oceli 14 331 [6]. 10
Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli 14 331 [6]. 10
Tab. 3 Parametry lisu LMZ 1 000 [7]. 11
Tab. 4 Doporučené frekvence v závislosti na průměru polotovarů [20]. 16
Tab. 5 Orientační rozměry pro výronkové drážky pro kovaní na lisech [25]. 21
Tab. 6 Nejmenší tloušťka stěny výkovku [25]. 22
Tab. 7 Hodnoty střižné mezery při ostřihování způsobem I a II [24]. 26
Tab. 8 Parametry zvoleného lisu [35]. 34
Tab. 9 Střižná mezera při děrování [31]. 34
Tab. 10 Mechanické vlastnosti oceli ČSN 19 550 [36]. 35
Tab. 11 Základní rozměry střižnice pro ostřihování [24]. 38
Tab. 12 Spotřeba mat. na výrobu ostřihovacího nástroje. 42

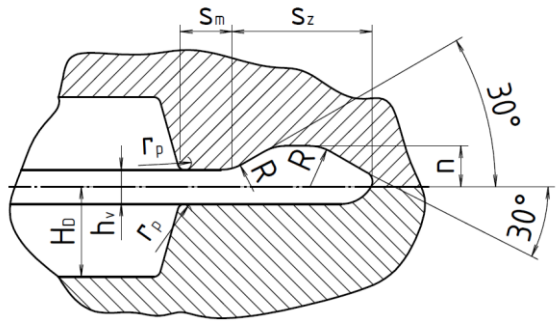
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Tvary výronkových drážek [24]
Příloha 2 Rozměry výronkových drážek pro buchar [24]
Příloha 3 Pevnost oceli za kovacích teplot [13]
Příloha 4 Určení velikosti bucharu pro nekruhový výkovek [24]
Příloha 5 Konstrukční řešení stěračů výronku [24]
Příloha 6 Určení mezery při děrování tvarově předk. výkovků [13]
Příloha 7 Ostatní výsledky simulace ve FormFEMu

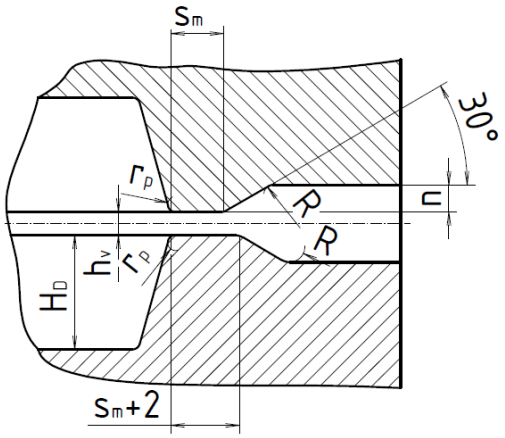
SEZNAM VÝKRESŮ

Pouzdro BP-PZ-01
Ostřihovací střižník BP-OSK-01
Ostřihovací střižnice BP-OSE-01
Děrovací střižník BP-DSK-01
Děrovací střižnice BP-DSE-01
Středič BP-OSČ-01
Ostřihovací nástroj BP-SN-01

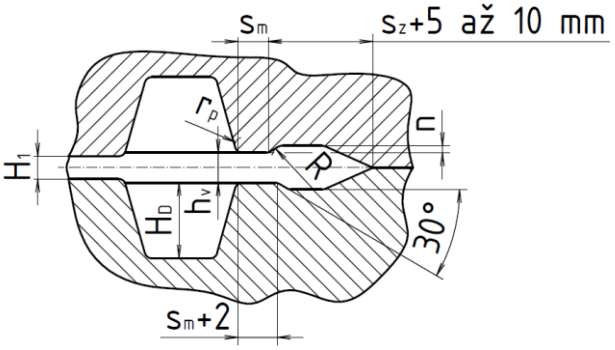
Příloha 1 Tvary výronkových drážek [24] **1/1**



Výronková drážka pro kování na bucharu
typ II



Výronková drážka pro kování na lisu
typ III



Výronková drážka pro kování na lisu
typ IV

Příloha 2 Rozměry výronkových drážek pro buchar [24] 1/1

h_v [mm]	n [mm]	Pěchování			Jednoduché protlačování			Složité protlačování		
		s_m [mm]	s_z [mm]	$F_{výr}$ [cm^2]	s_m [mm]	s_z [mm]	$F_{výr}$ [cm^2]	s_m [mm]	s_z [mm]	$F_{výr}$ [cm^2]
0,6	3	6	18	0,52	6	20	0,61	8	22	0,74
0,8	3	6	20	0,69	7	22	0,77	9	25	0,88
1,0	3	7	22	0,80	8	25	0,91	10	28	1,04
1,6	3,5	8	22	1,02	9	25	1,13	11	30	1,55
2,0	4	9	25	1,36	10	28	1,53	12	32	1,77
3,0	5	10	28	2,01	12	32	2,33	14	38	2,78
4,0	6	11	30	2,68	14	38	3,44	16	42	3,85
5,0	7	12	32	3,43	15	40	4,34	18	46	5,06
6,0	8	13	35	4,35	16	42	5,30	20	50	6,42
8,0	10	14	38	6,01	18	46	7,45	22	55	9,03
10,0	12	15	40	7,68	20	50	9,88	25	60	12,08

Příloha 3 Pevnost ocelí za kovacích teplot [13] 1/1

Označení oceli, ČSN	Rychlost [mm/s]	Mez pevnosti σ_{Pt} [kp/mm²]								
		Teplota [°C]								
		500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
12 010	1,2	—	—	—	3,3	3,7	2,7	2,0	—	—
12 020	1,1	23,0	12,6	5,6	5,8	4,5	2,8	2,4	1,4	—
12 023	1,1	—	—	—	5,3	4,5	2,8	2,4	1,4	—
N2024	10	37	25	13	9,1	7,7	4,8	3,1	2,0	—
12 031	10	40	27	15	10	7,9	4,9	3,1	2,1	—
12 050	10	4,5	32	17	11	8,3	5,1	3,1	2,1	—
12 060	—	—	—	17,7	9,83	7,02	5,02	3,79	2,58	—
13 270	1,1	51,6	27,5	16,7	8,1	5,7	3,4	2,6	3,3	0,6
14 100	16	—	—	—	—	—	4,3	3,0	2,1	—
14 220	16	—	—	—	9,5	8,6	5,2	3,4	2,6	—
14 331	1,1	—	18,6	9,7	7,4	4,2	3,6	2,2	1,8	—
16 420	1,1	40,5	22,8	13,0	8,1	5,2	4,0	2,8	1,6	1,3
16 720	—	—	—	22,9	11,3	6,6	4,9	2,7	1,9	1,5
17 021	1,1	—	16,5	6,6	3,6	2,7	3,7	2,2	1,2	—
17 041	1,1	31,0	22,9	8,6	4,1	2,2	2,1	1,4	0,80	0,6
N7141	1,1	—	34,7	17,7	8,25	4,82	2,05	1,00	0,62	0,56
17 241	1,1	45,8	36,6	21,6	12,2	6,9	3,9	3,1	1,6	—
17 246	1,1	—	—	—	18,5	9,1	5,5	3,8	1,8	—
17 255	1,1	—	—	33,8	19,4	10,7	6,1	3,8	1,9	—
19 132	1,1	—	19,2	8,6	6,1	3,8	3,1	1,9	1,1	—
19 191	10	—	—	—	9,2	5,6	3,0	1,8	1,6	—
19 221	1,1	—	13,5	7,2	6,9	2,8	2,4	1,5	1,3	—
19 436	1,1	—	27,6	14,3	12,5	8,3	4,7	2,5	0,8	—
19 800	1,1	—	31,8	19,6	9,7	8,3	5,7	3,3	2,1	—
N9824	1,1	—	34,7	22,6	11,4	11,0	6,8	3,2	2,1	—

Příloha 4 Určení velikosti bucharu pro nekruhový výkovek [24] 1/1

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

Kde: D_{vred} – redukovaný průměr výkovku [cm]
F_D – plocha průmětu výkovku do roviny kolmé k rázu [cm^2]

$$A_{bn} = 18 \cdot (1 - 0{,}005 \cdot D_{vr}) \cdot \left(1{,}1 + \frac{2}{D_{vr}}\right)^2 \cdot (0{,}75 \cdot 0{,}001 \cdot D_{vr}^2) \cdot D_{vr} \cdot \sigma_s$$

Kde: A_{bn} – práce posledního úderu bucharu pro nekruhové výkovky [J]
D_{vr} – redukovaný průměr výkovku [cm]
σ_s – deformační odpor materiálu za kovací teploty (příloha 8) [MPa]

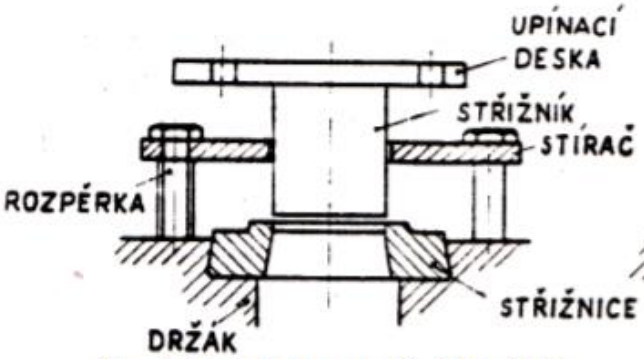
$$B_{vstř} = \frac{F_D}{L_D}$$

Kde: $B_{vstřed}$ – střední šířka výkovku [cm]
F_D – plocha průmětu výkovku do roviny kolmé k rázu [cm^2]
L_D – délka výkovku [cm]

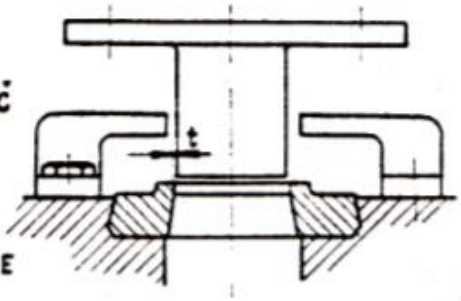
$$A_{bnc} = A_{bn} \cdot \left(1 + 0{,}1 \cdot \sqrt{\frac{L_D}{B_{vstř}}}\right)$$

Kde: A_{bnc} – celková práce posledního úderu bucharu pro nekruhové výkovky [J]
A_{bnc} – práce posledního úderu bucharu pro nekruhové výkovky [J]
L_D – délka výkovku [cm]
$B_{vstřed}$ – střední šířka výkovku [cm]

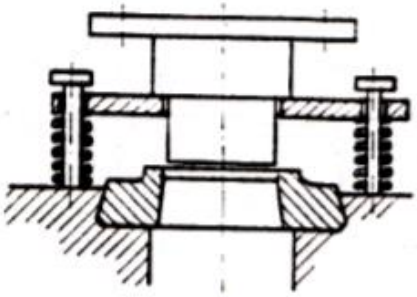
Příloha 5 Konstrukční řešení stěračů výronku [24] **1/1**



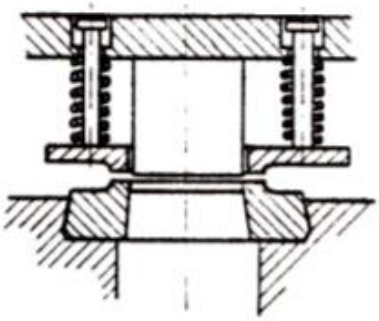
Pevná stírací deska na rozpěrných trubkách



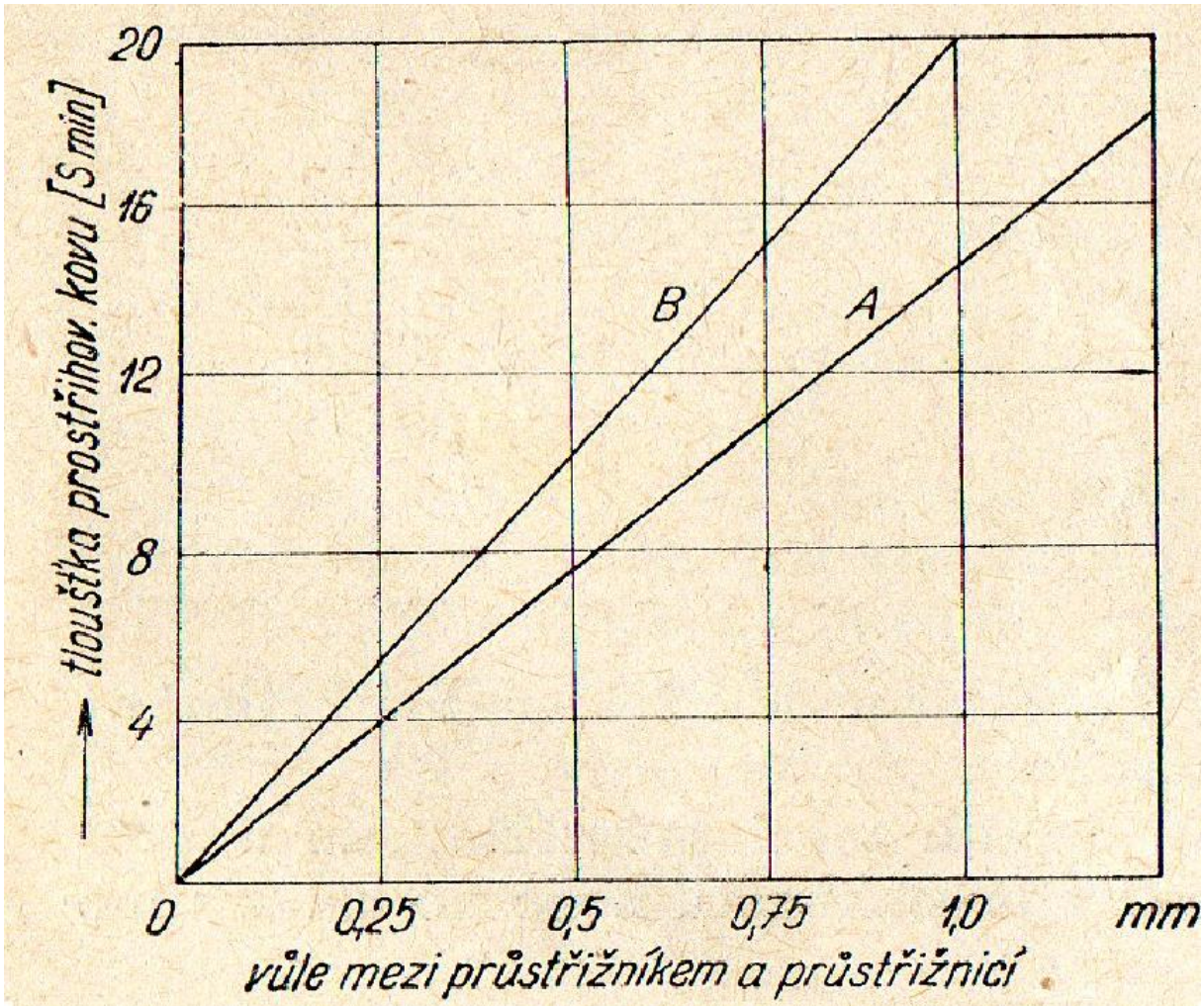
Stírací záchytky



Rovná stírací deska na pružinách

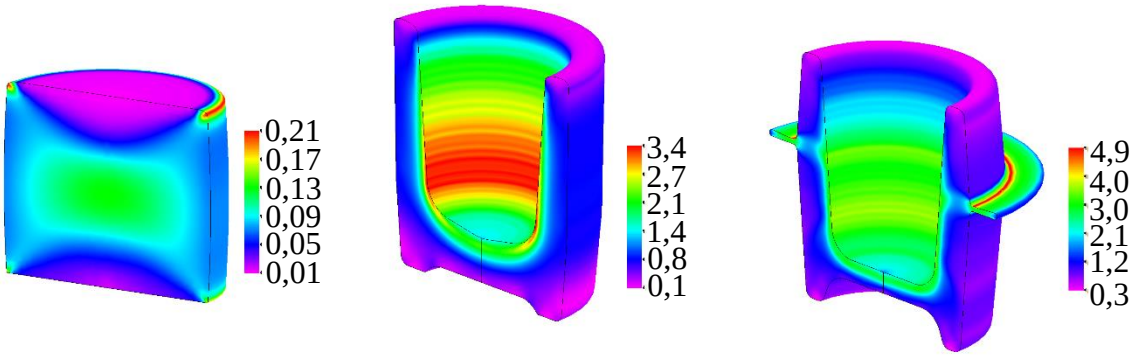
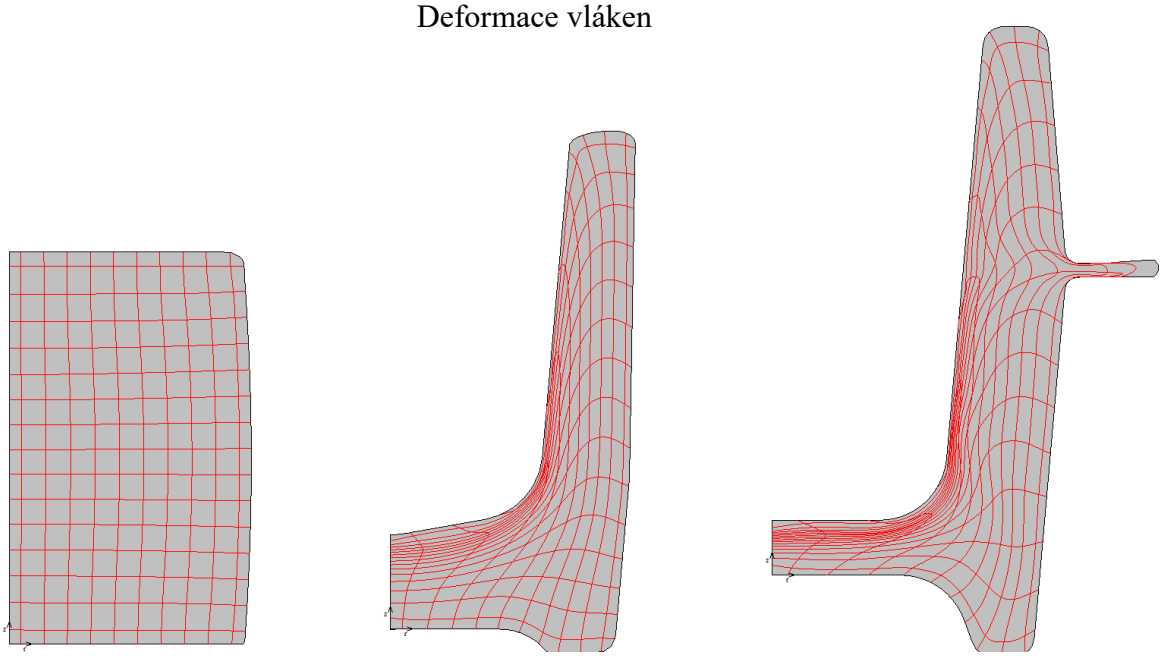


Horní stírací deska na pružinách



Obr. 10.132. Diagram k určení vůle mezi průstřižníkem a průstřižnicí:
A — pro ocel s malým obsahem uhlíku za studena,
B — pro ocel konstrukční za tepla

Intenzita přetvoření [-]



Deformace vláken