

# **Konstrukce tvářecích nástrojů a technologie výroby přesných děr na výkovku**

Bc. Radim Loukota

---

Diplomová práce  
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Radim Loukota**  
Osobní číslo: **T21408**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**  
Forma studia: **Prezenční**  
Téma práce: **Porovnání vybraných kovacích nástrojů**

## Zásady pro vypracování

1. Teoretická studie problematiky zápusťkového kování a kovacích nástrojů
2. Konstrukce kovacího nástroje pro daný výkovek
3. Analýza kovacího procesu a namáhání kovacího nástroje
4. Rešerše způsobů zvýšení životnosti exponovaných částí kovacích nástrojů se zaměřením na děrovací nástroje za tepla
5. Aplikace vybraných variant na dílčí kovací nástroje
6. Technicko-ekonomické vyhodnocení vybraných variant

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

EMAMVERDIAN, Ali Akbar, et al. Current Failure Mechanisms and Treatment Methods of Hot Forging Tools (Dies)-a Review. *Engineering Failure Analysis*, 2021, 129: 105678.

TSCHÄTSCH, Heinz. *Metal Forming Practise: Processes – Machines – Tools*. Berlin: Springer, [2010], XII, 405 s. ISBN 978-3-642-06977-2.

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, 169 s. ISBN 9788021447479.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2023**

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.**  
děkan

L.S.

**Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 7. února 2023

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce je zaměřena na problematiku opotřebení děrovacích nástrojů za tepla, konkrétně na funkční části tvarových razníků. Cílem práce bylo dosažení vhodného poměru nízkých nákladů a opotřebení spolu s požadovanou životností tvarových razníků. Opotřebení bylo aplikovanými variantami minimalizováno. Volbou vhodné konstrukce tvarového razníku spolu s volbou vhodného materiálu funkční části tvarového razníku, kterým byla slitina niklu s výrobním označením Nimonic 80 A, bylo dosaženo požadovaného poměru. Tato slitina byla nanášena na funkční plochu metodou LMD.

Klíčová slova: Kování, děrování, opotřebení, tvarové razníky, navařování

## **ABSTRACT**

The thesis is focused on the issue of hot wear of punching tools, specifically on the functional parts of shaped punching tools. The aim of the work was to achieve a suitable ratio of low cost and wear together with the required lifetime of the shaped punching tools. The wear was minimized by the applied variations. By selecting a suitable design for the shaped punching tools together with the choice of a suitable material for the functional part of the shaped punching tools, which was a Nickel alloy with the production designation Nimonic 80 A, the desired low wear ratio at low cost was achieved. This alloy was deposited on the functional surface using the LMD method.

Keywords: Forging, punching, wear, shaped punching tools, overlaying

Chtěl bych zde v první řadě poděkovat doc. Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D za cenné rady, přátelské vedení a hodnotnou komunikaci při tvorbě této práce.

Dále chci poděkovat v Kovárně VIVA a.s. a primárně oddělení TPV za možnost řešení konkrétní problematiky v oblasti kování. Jmenovitě Ing. Miroslavovi Papežíkovi za poskytnuté rady pro danou problematiku. Ing. Markovi Ježíkovi, který mi vždy poradil, jakým směrem práci směřovat. Dále Ing. Petrovi Chaloupkovi, který mi byl nápomocen v oblasti CAE simulací.

Mé poděkování patří mé rodině, která mi vždy, a hlavně při obtížných studijních chvílích byla oporou. Děkuji mému již zesnulému dědovi, Jiřímu Zimmermannovi, jehož životní úspěchy jsou pro mě hodnotnou inspirací a byly motivací k vysokoškolskému studiu.

Děkuji fakultě technologické za umožnění studia a hodnotné zkušenosti do technické praxe.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ZÁKLADY KOVACÍHO PROCESU</b> .....	<b>12</b>
1.1 VOLNÉ KOVÁNÍ .....	13
1.2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ .....	14
1.3 ÚPRAVA VÝKOVKŮ PO ZÁPUSTKOVÉM KOVÁNÍ.....	16
1.3.1 Ostříhovací a děrovací operace .....	16
1.3.2 Podstata střížné operace .....	17
1.4 ZVLÁŠTNÍ ZPŮSOBY KOVÁNÍ .....	18
1.4.1 Přesné kování .....	18
1.4.2 Kování na vodorovných kovacích strojích.....	18
1.4.3 Rotační způsob kování .....	19
1.4.4 Protlačovací způsob kování.....	19
1.5 KONSTRUKCE ZÁPUSTEK .....	20
1.5.1 Velikost bloku zápustek .....	22
1.5.2 Dělicí rovina.....	22
1.5.3 Přídavky na obrábění.....	23
1.5.4 Technologické přípravky .....	23
1.5.5 Výronek a výronková drážka .....	23
1.5.6 Blána .....	24
1.6 STROJE PRO KOVACÍ OPERACE .....	24
1.6.1 Kovací buchary .....	25
1.6.2 Kovací lisy .....	26
<b>2 OPOTŘEBENÍ KOVACÍCH NÁSTROJŮ</b> .....	<b>30</b>
2.1 PREDIKCE TOKU KOVU A KOVACÍCH NAPĚTÍ.....	32
2.2 PŘÍČINY SELHÁNÍ KOVACÍHO NÁSTROJE .....	32
2.3 PREDIKCE OPOTŘEBENÍ ZÁPUSTEK A MINIMALIZACE JEJICH OPOTŘEBENÍ .....	33
2.4 TŘENÍ A MAZÁNÍ V KOVACÍCH OPERACÍCH .....	35
2.4.1 Koloidní grafit.....	35
2.4.2 Disulfid molybdenu (MoS <sub>2</sub> ).....	35
2.4.3 Skla.....	36
<b>3 MATERIÁLY KOVACÍCH NÁSTROJŮ</b> .....	<b>37</b>
3.1 MATERIÁLY KOVACÍCH NÁSTROJŮ .....	37
3.1.1 Nástrojové oceli .....	37
3.2 VADY MATERIÁLŮ POUŽÍVANÝCH V KOVÁRENSTVÍ .....	38
3.2.1 Poruchy krystalové stavby kovů .....	38
3.2.2 Zpevnění materiálu.....	38
3.2.3 Anizotropie.....	39

<b>4</b>	<b>ADITIVNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY .....</b>	<b>40</b>
4.1	3D TISK.....	40
4.1.1	Princip 3D tisku.....	40
4.2	METODY 3D TISKU KOVŮ .....	42
4.2.1	Metoda Direct Metal Laser Sintering (DMLS).....	43
4.2.2	Technologie Laser Metal Deposition (LMD) .....	44
4.2.3	Technologie Electron Beam Melting (EBM).....	45
4.2.4	Navarování metodou WAAM.....	47
<b>5</b>	<b>POVLAKOVÁNÍ.....</b>	<b>48</b>
5.1	POVLAKOVÁNÍ A JEHO CHARAKTERISTIKA .....	48
5.1.1	Metoda PVD.....	48
5.1.2	Metoda CVD .....	49
5.1.3	Povlakování technologií PCD .....	50
5.1.4	Povlakování technologií DLC.....	50
<b>6</b>	<b>ZPŮSOBY RENOVACÍ A ÚPRAV KOVACÍCH NÁSTROJŮ .....</b>	<b>51</b>
6.1	PRINCIP RENOVACE KOVACÍCH NÁSTROJŮ METODOU NAVAŘOVÁNÍ.....	51
6.1.1	Operace po navaření.....	52
6.2	PRINCIP RENOVACE KOVACÍCH NÁSTROJŮ METODOU POVLAKOVÁNÍ .....	52
<b>7</b>	<b>TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ KOVACÍCH NÁSTROJŮ .....</b>	<b>54</b>
7.1.1	Tepelné zpracování nástrojových ocelí.....	54
<b>SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....</b>		<b>57</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>		<b>58</b>
<b>8</b>	<b>KONSTRUKČNÍ NÁVRH VÝKOVKU .....</b>	<b>59</b>
8.1	KONSTRUKČNÍ NÁVRH VÝKOVKU PODLE ZADÁNÍ ZÁKAZNÍKA .....	59
8.2	PŘÍDAVKY NA OBRÁBĚNÍ.....	60
8.3	ÚKOSY BOČNÍCH STĚN.....	60
8.4	ZAOBLNĚNÍ HRAN.....	61
8.5	BLÁNA .....	62
8.6	MODEL VÝKOVKU .....	63
<b>9</b>	<b>KONSTRUKČNÍ NÁVRH KOVACÍCH NÁSTROJŮ .....</b>	<b>65</b>
9.1	VOLBA KOVACÍHO STROJE.....	65
9.1.1	Výpočet přetvárného odporu polotovaru .....	65
9.1.2	Určení tvářecí síly .....	65
9.2	NÁVRH DOKOVACÍCH NÁSTROJŮ .....	67
9.2.1	Mústek.....	68
9.2.2	Konstrukce dokovacích nástrojů .....	68
9.2.3	Výsledky simulací dokovacích nástrojů.....	69
9.2.4	Konstrukce předkovacích nástrojů.....	73



9.2.5	Výsledky simulací předkovacích nástrojů .....	74
<b>10</b>	<b>KONSTRUKCE DĚROVACÍHO NÁSTROJE .....</b>	<b>82</b>
10.1	STANOVENÍ DĚROVACÍ SÍLY .....	82
10.2	KONSTRUKCE TVAROVÉHO RAZNÍKU .....	82
10.3	ANALÝZA KOVACÍHO PROCESU A NAMÁHÁNÍ RAZNÍKŮ .....	83
10.3.1	Vstupní data do simulace .....	83
10.3.2	Celková analýza opotřebení děrovacího nástroje.....	84
10.3.3	Analýza životnosti děrovacího nástroje .....	85
10.4	PRVNÍ ZKOUŠKA KOVÁNÍ.....	85
10.4.1	Volba vhodnějšího kovacího stroje.....	85
10.4.2	Tvarový razník .....	87
10.4.3	Výkovek po první zkoušce kování .....	87
10.5	DRUHÁ VERZE TVAROVÉHO RAZNÍKU.....	88
10.5.1	Volba materiálu tvarového razníku s vhodnějšími vlastnostmi .....	89
10.6	SESTAVA OSTRĚHU.....	93
10.7	DRUHÁ ZKOUŠKA KOVÁNÍ.....	95
10.7.1	Nový tvarový razník před kovací operací .....	95
10.7.2	Výkovek po kovací operaci.....	96
10.7.3	Tvarový razník po kovací operaci .....	98
10.8	TŘETÍ ZKOUŠKA KOVÁNÍ .....	98
10.8.1	Renovace tvarových razníků návarem .....	98
<b>11</b>	<b>APLIKACE VYBRANÉ VARIANTY NA KOVACÍ NÁSTROJE .....</b>	<b>101</b>
11.1	VOLBA MATERIÁLU TVAROVÉHO RAZNÍKU S VHODNĚJŠÍMI VLASTNOSTMI .....	101
11.1.1	Aditivní materiál razníku a technologie tisku .....	101
11.2	OBRÁBĚCÍ PROCESY TISKUTÉHO RAZNÍKU .....	104
11.2.1	První způsob obráběcí operace.....	104
11.2.2	Druhý způsob obráběcí operace .....	104
11.3	ČTVRTÁ ZKOUŠKA KOVÁNÍ .....	105
11.3.1	Výkovky po kovací operaci .....	106
<b>12</b>	<b>TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ VYBRANÝCH VARIANT .....</b>	<b>109</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>111</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>113</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>119</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>121</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>124</b>

## ÚVOD

Tématem této diplomové práce je oblast kování, konkrétně děrování tvarovými razníky. Tvarové razníky jsou určeny k děrování tří tvarových děr na výkovku. Výkovek je pro renomovaného výrobce nákladních automobilů (dále jen zákazník). Lze konstatovat, že se jedná se o součást dopravního prostředku, nejpravděpodobněji nákladního automobilu, jelikož tyto vozy jsou většinou částí portfolia zákazníka.

Kovací dávka spolu s životností razníků byly definovány na 2500 výkovků. Kovacích dávek zákazník požaduje 10 za kalendářní rok. Při děrovací operaci došlo ke značnému namáhání tvarových razníků. Razníky byly v důsledku namáhání opotřeby tak, že při děrovací operaci vytvořily výkovky, které jsou pro zákazníka nevhodné. Navíc s těmito razníky bylo vykováno nižší množství výkovků, než jaké bylo plánované.

V současné době byla problematika opotřeby minimalizována na přijatelnou hodnotu konstrukční úpravou a volbou odlišné oceli tvarových razníků. Tato volba však přinesla vyšší náklady a není tak z dlouhodobého hlediska, kdy zákazník požaduje více výkovků, vhodná.

Cílem této diplomové práce je nalezení vhodného poměru přijatelného opotřeby tvarových razníků spolu s vykováním požadovaného množství výkovků na jednu dávku.

Tato diplomová práce byla vytvořena pro potřebu kovárny VIVA a.s, kterou mi byla nabídnuta možnost spolupráce na řešení aktuální problematiky v oblasti tváření za tepla.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ZÁKLADY KOVACÍHO PROCESU

Kováním je obecně definována technologie objemové tváření za tepla, prováděna klidně působící silou nebo úderem. [1]

Ze všech výrobních procesů má technologie tváření zvláštní postavení, protože umožňuje výrobu dílů s vynikajícími mechanickými vlastnostmi a minimálním odpadem materiálu. [2]

Kování je proces, při kterém je kovaný materiál tvarován tlakovými silami působícími na kovaný materiál, které udávají finální tvar výkovku prostřednictvím zápustek a dalších kovacích nástrojů. [3]

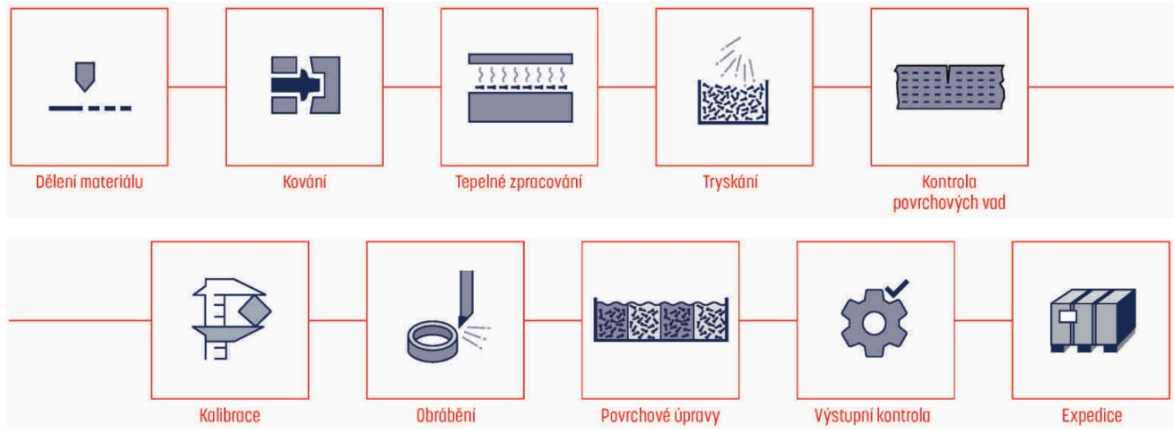
Materiál budoucího výkovku je plasticky v jedné nebo více operacích deformován do podoby i relativně složitěho tvaru. [2]

Jedná se o jednu z nejstarších operací pro zpracování kovů. Kování lze obecně klasifikovat na základě několika faktorů, např. teplota, nástroje používané pro kování, konstrukce kovacích zápustek, druh kovacího stroje atd. Nejběžnější klasifikace je podle teploty a konstrukce zápustky. [3]

Kování je význačné bohatou historií. Ruční kování pomocí kovačiny a kladiva je známo lidstvu několik tisíců let. Jde o přetržitý způsob a výkovek má příznivou makrostrukturu, výhodnou mikrostrukturu, zvýšené mechanické i fyzikální vlastnosti a požadovaný tvar. Kováním je možné zpracovat téměř všechny kovy. [1]

Kování je rozděleno na dva způsoby. Na volné kování, tj. pomocí univerzálních kovacích podložek nebo na kovačtině. Druhým způsobem je zápustkové kování, tj. kování v zápustkách (tvarových dutinách). Při volném kování je materiálu tvářenému úderem nebo tlakem umožněno téci volně především v kolmém směru na působení síly. Při zápustkovém kování dochází ke vtlačování materiálu tlakem nebo úderem do kovové, většinou dvoudílné zápustky. [1]

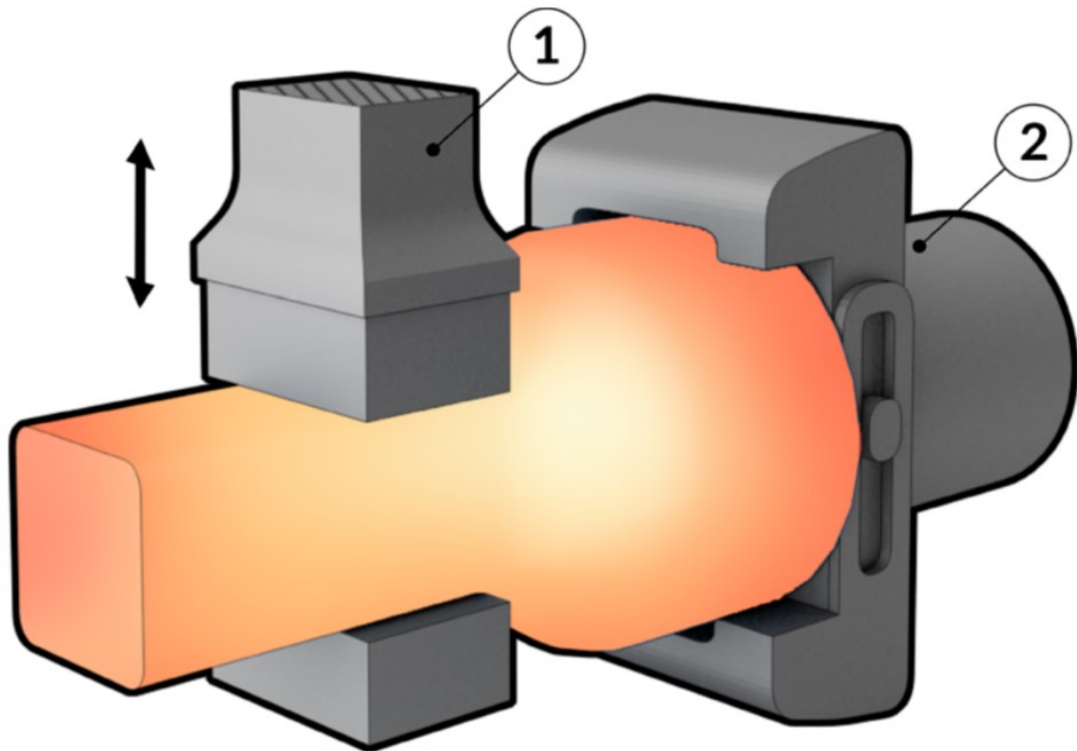
Schématický proces kování se všemi nezbytnými úkony spojenými s tímto procesem je zobrazen na Obrázku 1. [4]



Obrázek 1 Schéma procesu kování [4]

## 1.1 Volné kování

K volnému strojnímu kování je použito různých tvářecích strojů, zejména lisů a bucharů. Princip volného kování je zobrazen na Obrázku 2. Tvarované zjednodušení je nazýváno jako technologický přídavek. Mimo technologické přídavky obsahuje výkovek další přídavky, konkrétně na obrábění. Tyto přídavky jsou tolerovány. Pro správné určení technologického postupu je nutná znalost výkresové dokumentace obrobenej součásti, hmotnosti součásti (pro určení kovacíh časů), druhu a velikosti stroje a chemického složení materiálu (pro určení kovacíh teplot). [1]



Obrázek 2 Schéma volného kování, (1) – kovací nástroj, (2) – manipulační kleště [5]

## 1.2 Zápustkové kování

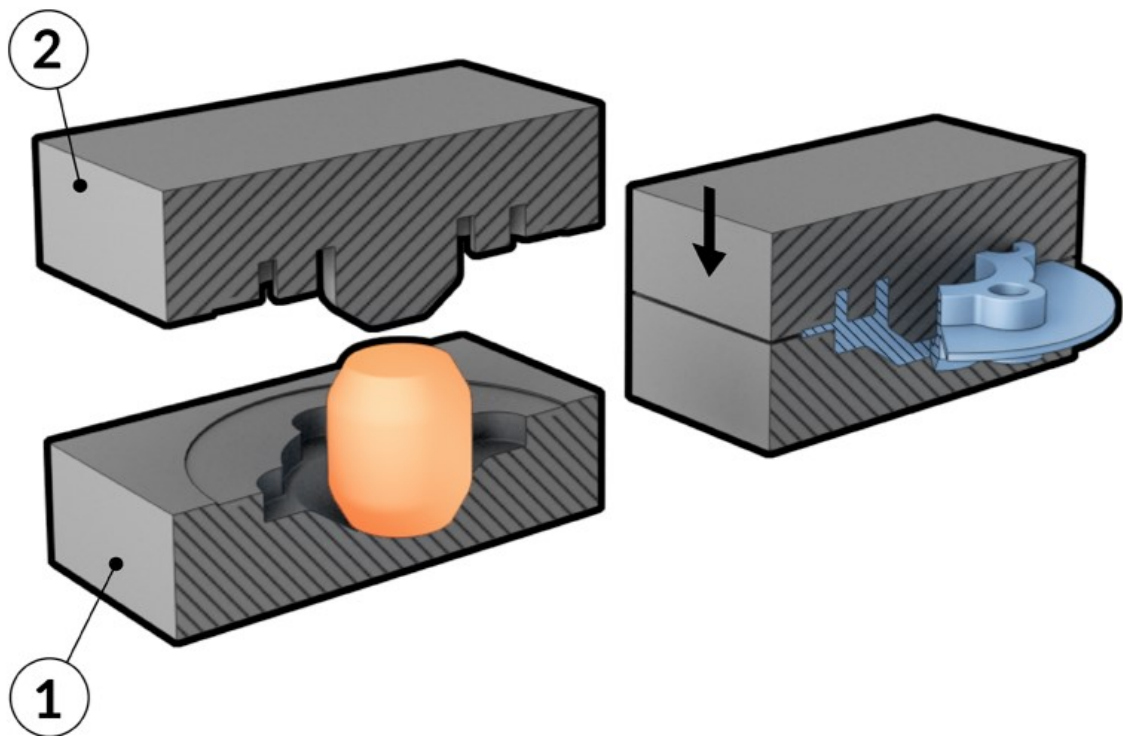
Kovaný polotovár je nutné vyhřát na vhodnou teplotu. Tímto vyhřátím je dosaženo snížení přetvárného odporu a vyššího stupně deformace. Nevýhodou při ohřívání polotovaru je oxidace, neboli opal, který negativně ovlivňuje materiál výkovku. Tato oxidace je urychlena konstantním opadáváním okují z povrchu polotovaru. Zápustky, které jsou používány v technické praxi jsou zobrazeny na Obrázku 3. Kovací síla může být vyvinuta okamžitě, jako při zápustkovém kování, kdy jsou zápustky uzavřeny nad polotovarem, nebo postupně, pokud je použito hydraulického lisu. K tomu, aby materiál tekla a naplnil zápustky, je zapotřebí vysokých hodnot kovacích tlaků, a proto se i pro kování menších rozměrů, jako jsou automobilové klikové hřídele, obvykle používají hydraulické nebo velké mechanické lisu. Vzhledem k tomu, že je nutné vynaložit značné náklady na zajištění požadované polohy zápustek, je kování v uzavřených zápustkách výhodnější. Mazání zápustek je nezbytné a zahrnuje použití materiálu, jako je koloidní grafit nebo disulfid molybdenu. U složitějších kovaných tvarů je polotovár před kovááním mezi koncovými zápustkami předkovan v mezisoupravě zápustek, často označovaných jako blokové zápustky. [6], [4]



Obrázek 3 Pohled na spodní (nepohyblivé) části zápustek upevněné na stroji Massey 1300T [7]

Pro tvarově složitější výkovky jsou uplatňovány následující zásady:

- není snahou v jedné zápustkové dutině deformovat kov v současně podélném i příčném směru
- rozdělení částic materiálu je provedeno dříve v podélném směru až poté ve směru příčném
- tvar předkovku je nutné navrhnout takovým způsobem, aby při kování měl předkovek rotační tvar a aby docházelo k posuvu částic v příčných směrech.



Obrázek 4 Zápustkové kování - zahřátý kovaný materiál umístěný mezi stacionární (spodní) polovinu formy (1) a pohyblivou (horní) polovinou formy (2). [8]

Při zápustkovém kování záleží na tvaru výkovku, na počtu kovacích dutin. Také záleží na tvaru polotovaru. Pouze výjimečně dojde k jevu, kdy k vykování výkovku stačí jen jedna dutina. Pro práci na bucharu je výhodné, pokud jsou jednotlivé dutiny často umístěny do společného bloku oceli – nástroje, tak jako je zobrazeno na Obrázku 4. Přenášení výkovku z jedné dutiny do druhé není zásadně časově náročné, výkovek nechladne rychle. V případě složitějších tvarů je nutné realizovat kování ve více dutinách, které zajistí tok materiálu v dutině zápustky. Tento způsob se nazývá kování v postupových zápustkách. [1]

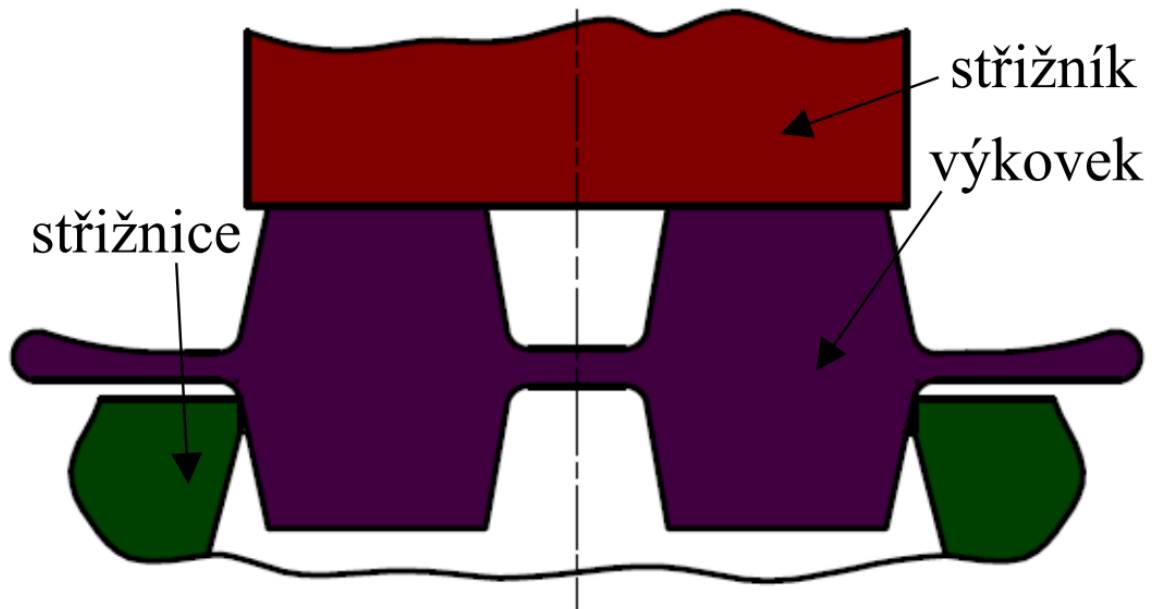
### 1.3 Úprava výkovků po zápustkovém kování

#### 1.3.1 Ostříhovací a děrovací operace

Operace ostříhování následuje po operaci zápustkového kování. Cílem je eliminace výronku, respektive i vyděrování blány výkovku. Princip ostříhovací operace je zobrazen na Obrázku 5. Ihned po zhotovení výkovku je zařazena operace ostříhování za tepla. Za studena je možné ostříhovat materiály s obsahem uhlíku menším než 0,5 %. Pokud je ostříhovací operace prováděna za tepla, pak lze v navazujících operacích, které mohou být například kalibrování nebo rovnání, využít dosažené teploty získané z ostříhování. Na výstředníkových a ostříhovacích lisech je nejčastěji prováděno ostříhování. Pevností materiálu ve smyku,



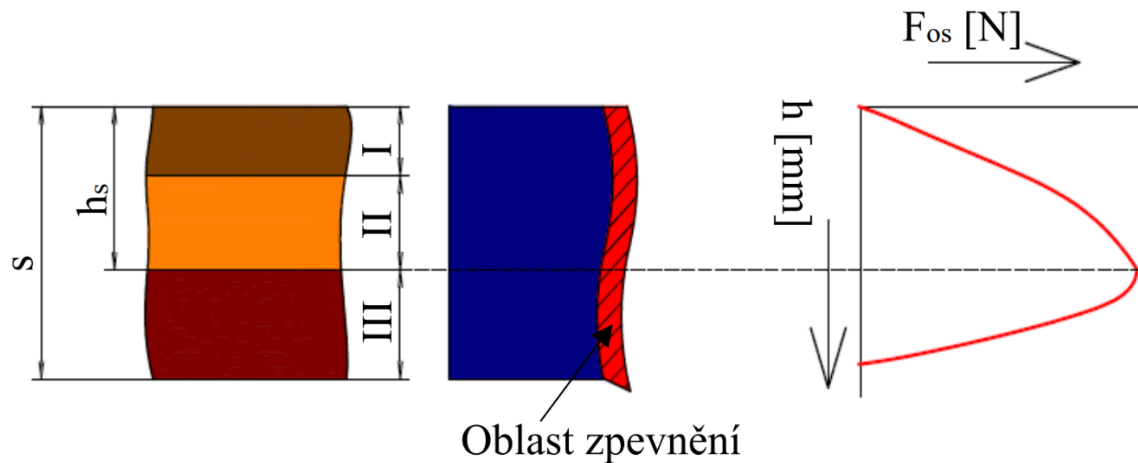
obvodem výronku a výškou můstku je ovlivněna velikost ostříhovací síly. Při ostříhování střížník pouze tlačí na tvar výkovku, nedosedá na střížnici. Proto je nutné zvětšit sílu potřebnou k ostřížení až 1,7krát. [9]



Obrázek 5 Princip ostřížení výronku [9]

### 1.3.2 Podstata střížné operace

Operace stříhání je jediná technologie tváření výjimečná tím, že je zakončena porušením materiálu. Proces stříhání lze rozdělit do tří fází. Tyto fáze lze na střížné ploše rozlišit, viz Obrázek 6. V první fázi dojde k elastické deformaci stříhaného materiálu, která je zapříčiněna vnikáním střížníku. Pásmo I má tloušťku cca 5 až 8 % tloušťky stříhaného materiálu. Ve druhé fázi dojde ke vzniku plastického stříhu, respektive plastické deformace. Jedná se o lesklou a hladkou část střížné plochy. V III. fázi dojde pod smykovým napětím k samovolnému uvolnění stříhané části (pásmo lomu). Takto dojde ke vzniku nejméně kvalitní části střížné plochy. Největší hodnoty nabude střížná síla během přechodu do pásma lomu. V okamžiku oddělení „*hs*“ je hloubka vniku střížné hrany do materiálu, u tvrdých a křehkých materiálů, rovna asi deseti procentům tloušťky materiálu. Pro měkké a houževnaté materiály je „*hs*“ rovno cca šedesáti procentům tloušťky materiálu. [10], [11]



Obrázek 6 Schématické zobrazení střižné plochy [10]

Velikost střižné mezery má velmi značný vliv na kvalitu střižné plochy a střižný proces. Pokud je příliš malá střižná vůle, tak jsou trhliny šířeny dvěma odlišnými rovinami. Snížení kvality střižné plochy je důsledkem toho, kdy horní nůž stříhá již oddělenou část. Dojde také ke zvýšení střižné práce a střižné síly. Sekundární trhliny jsou naopak důsledkem příliš velké střižné vůle. Znovu je zvýšena střižná práce a střižná síla. Materiál je oddělen primárně z velké části lomem. Takto získaná výsledná střižná plocha je velmi nekvalitní. [10], [11]

## 1.4 Zvláštní způsoby kování

### 1.4.1 Přesné kování

Výkovky s minimálními úkosity i přídavky na obrábění jsou zhotoveny v uzavřených zápustkách, tzv. přesným kováním. Pro úspěšné kování je nutné přesně dodržovat středění vloženého materiálu do zápustky a jeho objem. Rotační tvary jsou nejvhodnější. [1]

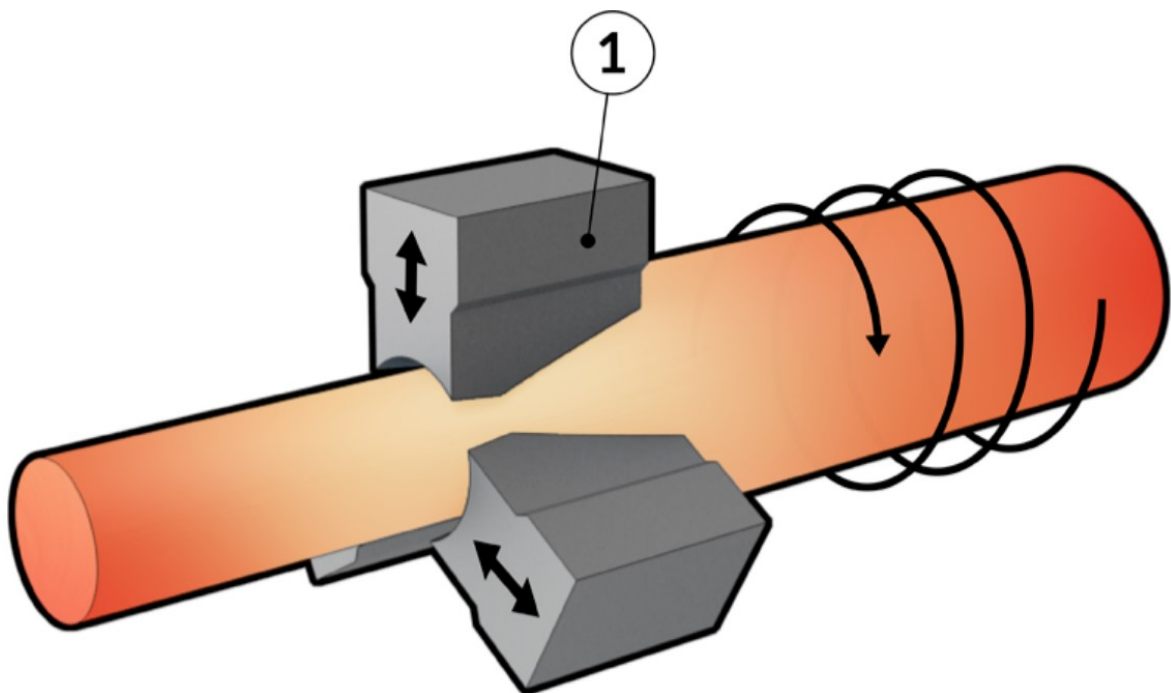
### 1.4.2 Kování na vodorovných kovacíh strojích

Kováním na vodorovných kovacíh strojích je dosaženo úplné nebo částečné automatizace výrobního procesu. V principu se jedná o horizontální klikové lisy vhodné primárně pro práci s uzavřenými zápustkami. Zápustka je uzavřená, třídílná, a jedná se o kování bez výronku. Dutinová část zápustky je dvoudílná a je rozdělena vodorovnou nebo svislou dělicí rovinou, která je opatřena zdrsňeným průchodem pro tyčový materiál. Po přiblížení obou polovin začne působit jako sklíčidlo tyčového materiálu. Pěchovací díl, třetí je do dutiny osově zasunut. Stroj pracuje tak, že dojde k posunutí tyče na zarážku, tedy do kovací polohy. Objem kovaného materiálu je tím přesně určen. Následně je tyč sevřena dvoudílným blokem a dojde k odsunutí zarážky. V této fázi je ohříván vyčnívající konec tyče, dnes nejčastěji

indukčně. Po zpěchování ohřátého konce tyče posuvný nůž oddělí výkovek od tyče a může dojít k opakování pracovního cyklu. [1]

### 1.4.3 Rotační způsob kování

Jako zvláštní způsob kování lze označit tzv. kování za rotace. Při tomto způsobu je dosaženo vykování válcové části na hranatém profilu nebo k redukce průřezu na menší průměr. Rotační způsob kování se liší od jiných způsobů kování tím, že je prováděn za studena. Součásti větších průměrů jsou kovány za tepla. Mezi kování jsou řazeny hlavně proto, že deformace nastává opakovanými údery. Princip rotačního způsobu kování znázorňuje Obrázek 7. Dvě kovádky jsou roztočena s možností posuvu v radiálním směru. Kovádky jsou odstředivou silou unášena směrem k obvodu, kde přitom narážejí na kalené válce, jenž udělují kovádlům zpětný impuls. Takto je dosaženo vzniku opakovaného rázu. Polotovar je osově posouván a pomalu otáčen do tvářecího procesu. [1]

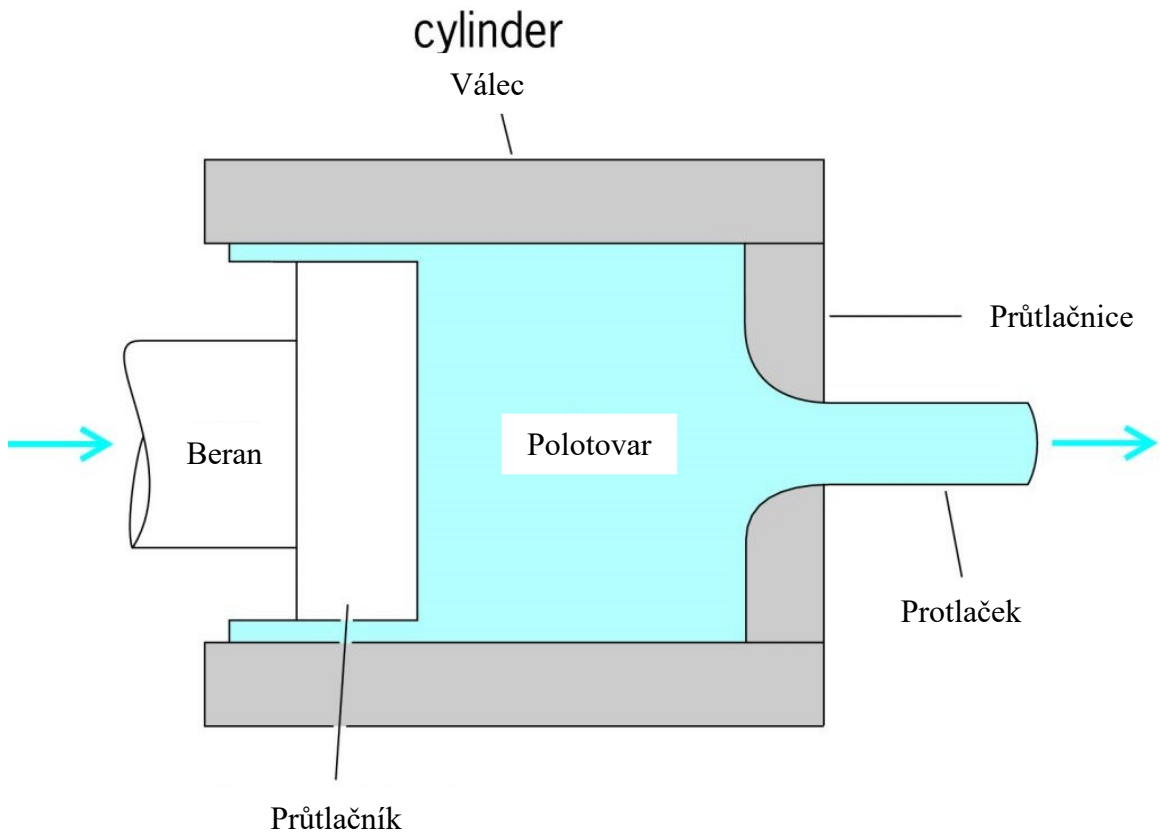


Obrázek 7 Princip rotačního způsobu kování, (1) - zápustka [12]

### 1.4.4 Protlačovací způsob kování

Souvisejícím technologickým procesem je kování - protlačování za tepla, kdy je tvářený materiál stlačován průtláčnickem v uzavřené zápustce – jako je zobrazeno na Obrázku 8. V podstatě se jedná o kombinaci protlačování a kování. Tento způsob je použit pro mědi a slitiny hliníku, avšak i pro ocel. Jelikož je materiál vystaven prostorové tlakové napjatosti, tak dochází ke zvýšení tvárnosti kovu. Může být řešeno jako zpětné, sdružené

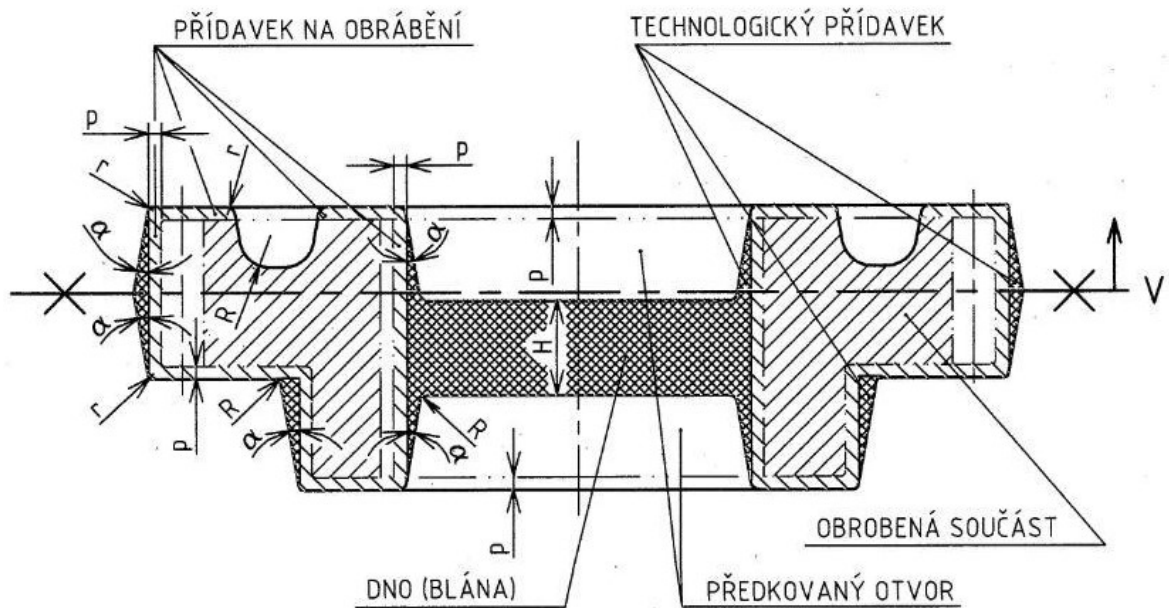
nebo dopředné. V tomto případě má podstatný vliv tření a je potřeba vzít v úvahu teplotní odolnost nástrojů a vysokou pevnost nástrojů. [1]



Obrázek 8 Schéma dopředného protlačování za tepla [13]

## 1.5 Konstrukce zápustek

Při kovací operaci je tok kovu ovlivněn geometrií zápustky (výkovku, jehož příklad je zobrazen na Obrázku 9). Často je nutné použít několika kovacích operací, např. předkování, aby bylo dosaženo postupného toku kovu z původně jednoduchého tvaru (např. válce, čtvercového polotovaru se zaoblenými rohy) do komplexnějšího tvaru konečného výkovku. V uzavřených zápustkách jsou obecně snadněji kovány kulovité a kvádrotvé tvary. [14]

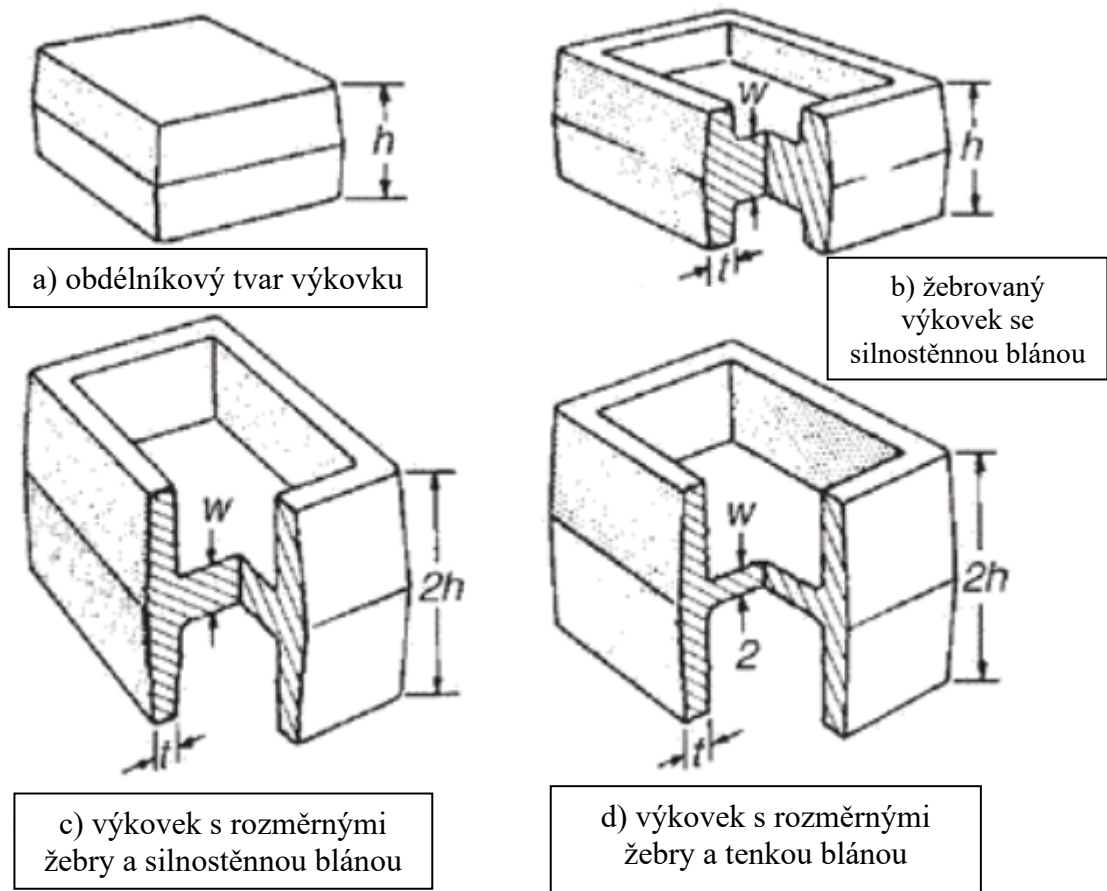


Obrázek 9 Schéma vhodného návrhu výkovku s přídavky [15]

Díly s dlouhými, tenkými úseky nebo výstupky, např. žebra, jsou kovány obtížněji, protože mají větší poměr plochy na jednotku objemu. Tvar konečného výkovku určují proměnné procesy, jako tření, teplotní změny v zápustkách a tlak potřebný k vyplnění dutin zápustek. Poměr plochy povrchu k objemu výkovku přímo souvisí s náročností výroby výkovku. Snadnost kování složitých tvarů závisí na relativním poměru svislých a vodorovných ploch dílu. Díly (c) a (d), na Obrázku 10, zobrazují obdélníkový tvar a tři modifikace tvaru, které ukazují rostoucí obtížnost kování (od a do d) s rostoucí výškou žeber a klesající tloušťkou blány. [14]

Tvar a konstrukce výkovku mají často větší vliv na životnost zápustky než jiné faktory. Data z nejmenovaného podniku, který se zabývá kovááním, prokázala, že při kladivovém kováání jednoduchých kruhových dílů (s téměř minimální přesností), při použití zápustek z nástrojové oceli se životnost pěti zápustek pohybovala v rozmezí od 6000 do 10000 výkovků. Naproti tomu při všech v podstatě stejných podmínkách s výjimkou toho, že výkovek měl řadu úzkých žeber hlubokých asi 25 mm se životnost pěti zápustek pohybovala od 1000 do 2000 výkovků. V tenkém místě výkovku dochází k poměrně rychlému ochlazování kovu. Tenké části výkovku by proto měly být vykovány v co nejkratší době. Maximální opotřebení v blízkosti dělicí roviny je způsobeno tím, že je kov nucen téct do dutiny a poté podél zápustky. Životnost tenkých zápustkových sekcí je obvykle nižší než životnost ostatních zápustkových sekcí, protože tenká sekce zápustky může být po opakovaném kováání porušena. Někdy i poměrně nepatrná změna v konstrukci výkovku má

významný vliv na životnost zápustky, a tedy na počet vykováných přijatelných výkovků. [16]



Obrázek 10 Rostoucí obtížnost kování (vzestupně od a do d) obdélníkového tvaru výkovku [14]

### 1.5.1 Velikost bloku zápustek

Velikost zápustkového bloku je určena šířkou výkovku, včetně velikosti můstku s výronkem, blánou, přídávky na obrábění, technologickými přídávky atd. Tlaky v zápustkách jsou odlišné podle druhu práce, kovů a tvaru výkovků. Obvykle je nutné použít větší blok zápustky, protože roste tlak v zápustce. [14]

### 1.5.2 Dělicí rovina

Dělicí rovina je rovina podél výkovku, na které se dochází ke styku zápustek, tedy v místě, které je zobrazeno na Obrázku 9. Může být v jedné rovině, která může být zakřivená nebo nepravidelná. Tvar a umístění dělicí roviny určují náklady na zápustku, požadavky na tok materiálu výkovku a postupy ostříhování. U většiny výkovků je dělicí rovina situována

v místě největšího rozměru výkovku, protože je snazší rozmístit výkovek kování na větší ploše než nutit téct materiál do hlubokých míst zápustky. [14]

### 1.5.3 Přídavky na obrábění

Vlivem kování je povrch výkovku vždy nevhodný a je nutné jej zvětšit o přídavek na obrábění, kterým bude eliminována tato nevhodnost. Tyto přídavky jsou nákladné a je proto zbytečné je umisťovat na plochy, které nejsou funkční, a není tedy nutné jejich obrábění. Nefunkční plochy jsou poté upraveny pískováním nebo otloukáním z důvodu odstranění okují. [4]

### 1.5.4 Technologické přípravy

Tvar součásti, a tedy výkovku je zjednodušen technologickými přípravky z důvodu zjednodušení procesu kování. [4]

#### 1.5.4.1 Zaoblení

Pro vhodné zatékání výkovku do dutin zápustky jsou použity zaoblené hrany. Tyto zaoblení mají také podstatný vliv na zvýšení životnosti zápustek. Zaoblení zajišťují vhodné vyjmutí výkovku z dutiny zápustky. Při nevhodně zvoleném zaoblení dochází k obtížnému vyjmutí z této dutiny a vzniku zákovku. [4]

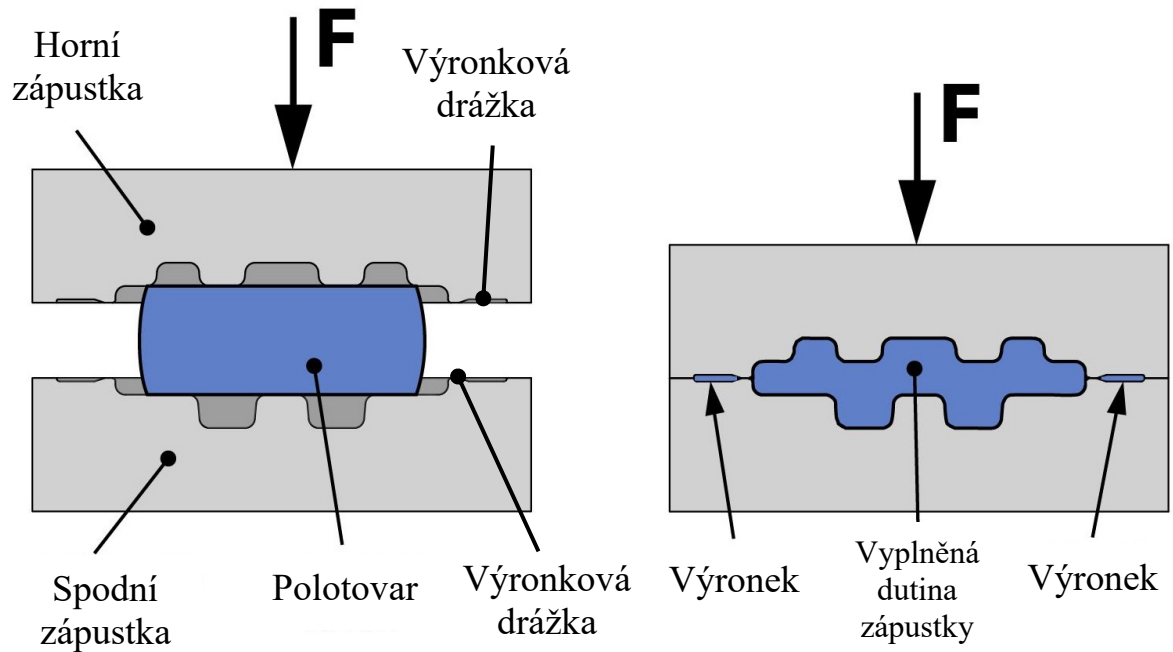
#### 1.5.4.2 Úkosy

K rovným bočním stěnám výkovku je přidáno zkosení, aby bylo možné výkovek snadněji vyjmout z dutiny zápustky. Výkovky s kulatým případně oválným průřezem nebo šikmými bočnicemi mají tak definovány vlastní úkosy. Výkovky s rovnými bočnicemi, jako jsou čtvercové nebo obdélníkové průřezy je nutné opatřit úkosy. Úkosy používány na výkovky jsou obvykle v rozmezí 3° až 7° pro vnější stěny výkovku. Pro vnitřní stěny výkovku jsou úkosy definovány v rozmezí od 5° do 10°. [14]

### 1.5.5 Výronek a výronková drážka

Při kování, plní funkci tlumiče nárazových úderů. Cílem výronku je omezit proudění kovu směrem ven, aby bylo možné vyplnit tenká žebra a otvory v horní dutině.

Výronková drážka je složena z můstku a místa pro zásobník. Je nutné dosažení vyváženého stavu, tedy dostatečným objemem kovu, aby bylo zajištěno vyplnění dutiny zápustky a dutiny výronku. [14]



Obrázek 11 Proces vzniku výronku [17]

#### 1.5.5.1 Můstek

Malý můstek v dutině zápustky s přebytečným objemem výkovku v dutině vyžaduje mnohem větší kovací zatížení nebo dodatečné zatížení, aby výkovek dosáhl požadovaných rozměrů a tvarů. Tím dochází k nadměrnému opotřebení dutiny zápustky, vznikají extrémní tlaky uvnitř této dutiny a může dojít k jejímu poškození, dokonce až k prasknutí. Naopak, pokud je můstek příliš velký, tak kov potřebný k vyplnění dutiny zápustky vytéká primárně do můstku, a výkovek není vhodně vyplněn. [14]

#### 1.5.6 Blána

Během zápustkového kování dojde ke vzniku výronku na vnější straně výkovku, případně i blány na vnitřní straně. Tyto nežádoucí tvary, tedy výronek s blánou vzniklé na výkovku je nutné odstranit k dosažení požadovaného tvaru. Příklad blány je zobrazen na Obrázku 9. [4]

### 1.6 Stroje pro kovací operace

Se znalostmi konstrukce kovacích nástrojů je užitečné mít základní znalosti o strojích, ve kterých jsou realizovány kovací operace. Kovací stroje lze rozdělit na lisы a buchary. K dispozici je široký interval kovacích strojů s různými tonážními rychlostmi a rychlostmi zdvihu od 0,06 do 9,0 m/s. Pro kovací stroje jsou vitální systémy izolace vibrací a rázů. Konstrukce kovacích strojů prošla v posledních desetiletích vývojem od instalací,



kteřé používaly masivní základny a kotvy. K izolaci těchto strojů bylo dříve užito velkých kusů tvrdého dřeva (nejčastěji dubových trámů), až po instalaci s ocelovými vinutými pružinami a elastomerovými izolačními systémy, které jsou užívány v současné technické praxi. Výrazným přínosem izolačních systémů se stala izolace proti otřesům a vibracím, která nejen výrazně zlepšila pracovní prostředí pro zaměstnance, ale také umožňuje ochranu přesných strojů a zařízení před vibracemi a otřesy. [18]

Kritériem volby tvarů a rozměrů většiny součástí tvářecích strojů je jejich největší dovolená pružná deformace. Tuhost je definována jako poměr mezi zatížením a přetvořením v místě zatížení a je měřítkem odolnosti proti pružným deformacím. Rozlišují se různé druhy tuhosti – statická nebo dynamická tuhost, tuhost v natočení, tuhost v posunutí, tuhost v tahu nebo tlaku a další. Tuhost má kromě vlivu na odpory proti smykovému tření také vliv na životnost nástrojů, na přesnost rozměrů výrobku aj. [19]

### 1.6.1 Kovací buchary

Buchar působí na materiál údery (rázy) beranu, ale umožňují prokování pouze do určité hloubky. Takto je možné dosáhnout vyššího stupně prokování, protože buchar působí více rázy. Při úderech beranu dochází k odpadávání okují z materiálu, a tak je povrch výkovků čistý. [1]

Příklad kovacího bucharu je zobrazen na Obrázku 12. Je možné rozdělit buchary na bezšabotové, protiúderové a šabotové. Šabota je nepohyblivá pracovní část kovacího bucharu. Šabota je u protiúderových bucharů nahrazena spodním beranem, jenž se pohybuje proti hornímu beranu. Šabotové buchary mají uloženou šabotu v základu stroje nezávisle ke stojinám pro vedení beranu. Takovéto buchary jsou určeny pro volné kování. Protiúderové buchary a šabotové buchary se šabotou pevně spojenou se stojinami jsou vzhledem k žádoucímu vedení beranu vyhovující pro zápusťkové kování. [19]

Volně padajícím beranem lze docílit standardních kovacích rychlostí. Například dopadová rychlost 4,5 až 6 (m/s) při volném pádu beranu odpovídá volnému pádu beranu z výšky 1 až 2 m. Přídavnou silou padajícího beranu lze docílit urychlení padajícího beranu, a tedy vyšších dopadových rychlostí. Pracovní schopnost bucharů a jejich velikost je definována prací (energií), jenž vykoná beran bucharu při jediném nejsilnějším úderu. Definovaná práce je nazývána úderová, nebo také rázová práce bucharu. [19]



Obrázek 12 Kovací buchar od výrobce NKH [20]

## 1.6.2 Kovací lisy

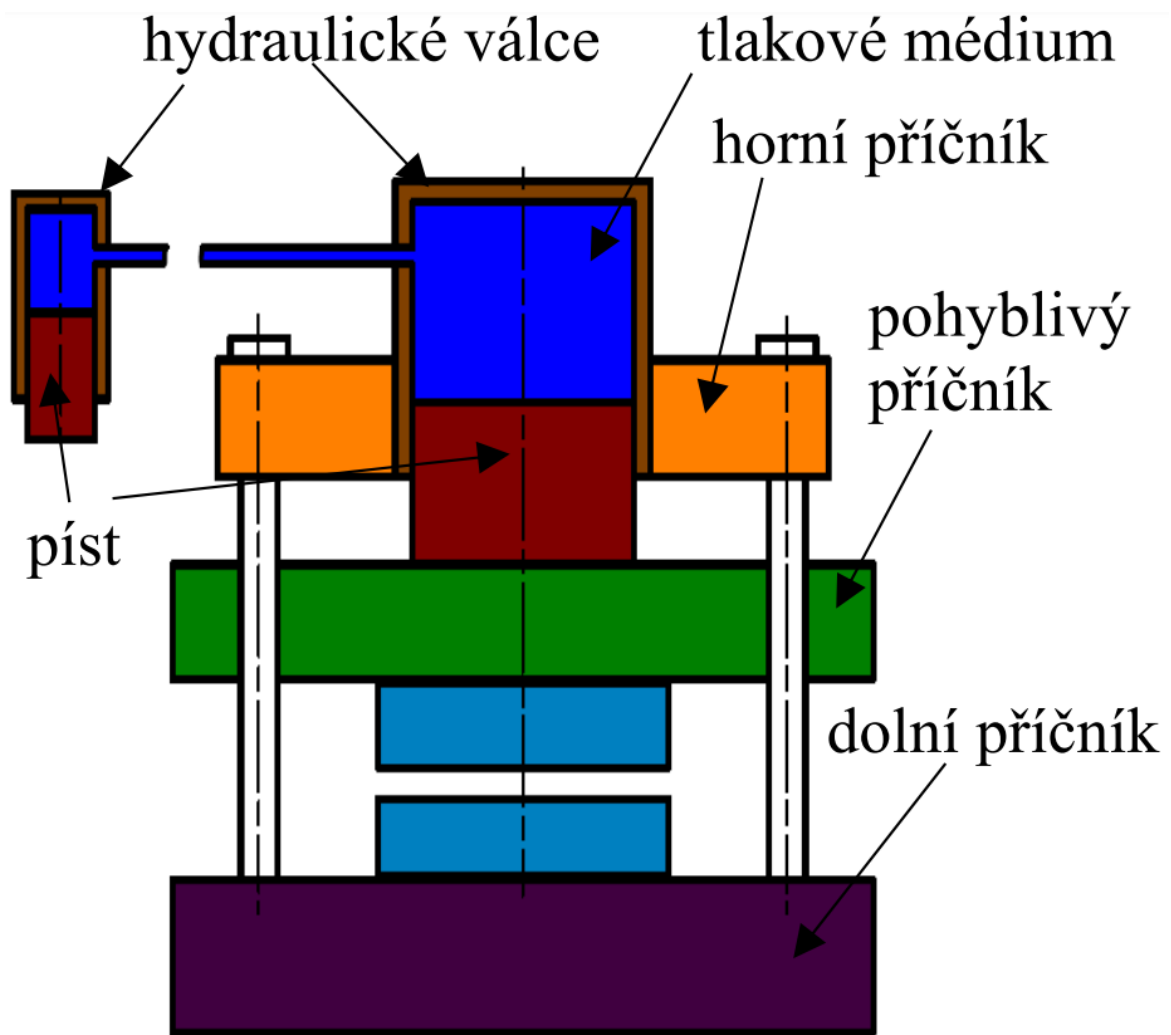
### 1.6.2.1 *Hydraulické lisy*

Hydraulické lisy působí na materiál klidným tlakem a díky tomu umožňují prokovat materiál v celém průřezu. [1]

Hydraulické lisy pracují na základě poznání z Pascalova zákona, tedy zákona o rovnoměrném šíření tlaku všemi směry. [19]

Charakteristické vlastnosti, které vykazují hydraulické lisy:

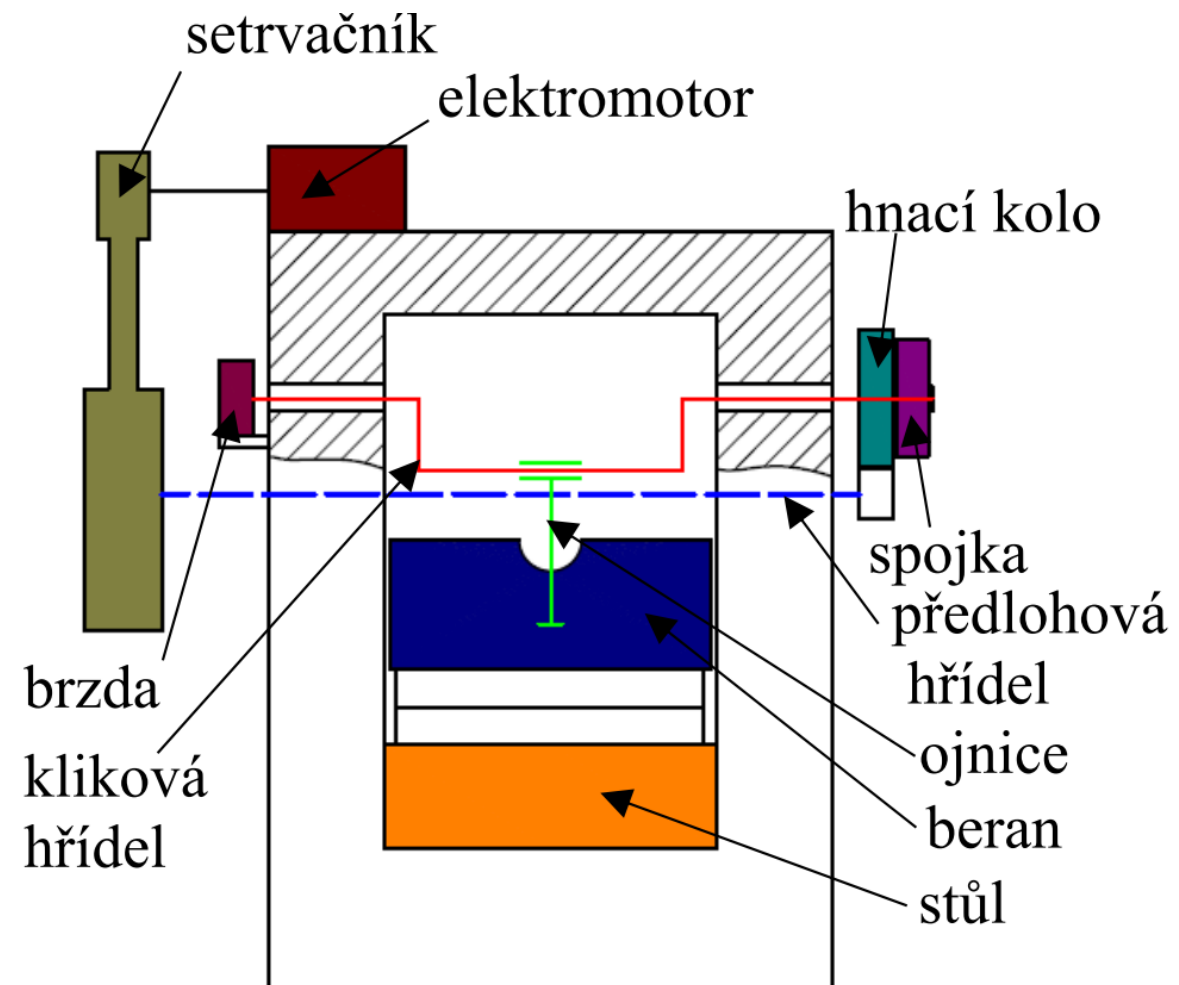
- Velikost pracovního zdvihu lze libovolně nastavit z celkového zdvihu beranu.
- Rychlá a jednoduchá reverzace pohybu.
- Možnost automatizace a mechanizace pomocných operací včetně pracovního cyklu.
- Možnost docílení konstantní rychlosti a konstantního tlaku beranu lisy.
- Možnost eliminace maximální síly v libovolném zdvihu.
- Možnost plynulého ovládání rychlosti lisy. [19]



Obrázek 13 Schéma hydraulického lisu [9]

### 1.6.2.2 Mechanické lisy

Pro různé tvářecí operace jsou nejvíce používány mechanické lisy, jehož schéma je zobrazeno na Obrázku 14 a na Obrázku 15 stroj z technické praxe. Tyto lisy jsou poměrně jednoduché a vykazují značnou výrobnost. Jako nevýhoda z technologického hlediska však je ta, že maximální tvářecí sílu lze eliminovat až těsně před dolní úvratí. Dále je komplikované tváření velkou silou po delší dráze, nebezpečí přetížení stroje a nevýhodný průběh rychlosti aj. I přes tyto nedostatky jsou mechanické lisy v provozu nejvíce využívány. Lis však může být zatížen pouze takovou silou, která nepřevyší sílu jmenovitou. Aby nedošlo k porušení kovací lisů při přetížení, lze použít různé pojistky, které zamezí přetížení. [19]



Obrázek 14 Schéma klikového lisu [9]



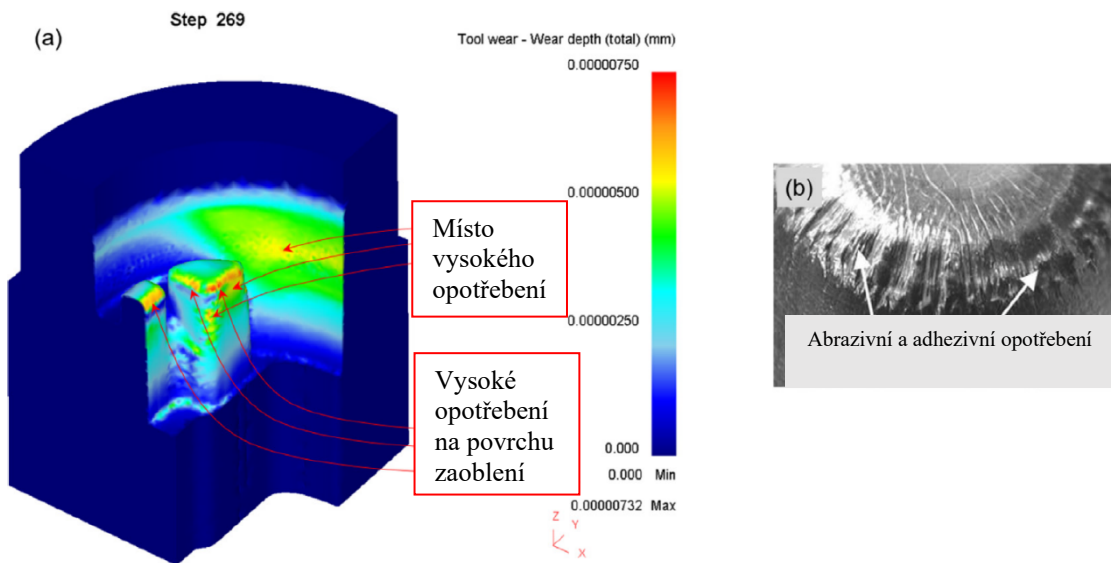
Obrázek 15 Svislý kovací lis [21]

## 2 OPOTŘEBENÍ KOVACÍCH NÁSTROJŮ

Kovací nástroje jsou vyrobeny z bloků nástrojových ocelí, které obsahují legující prvky, jako jsou chrom, nikl, molybden a vanad, které jsou poté opracovány do požadovaného tvaru se zvolenou povrchovou úpravou. [18]

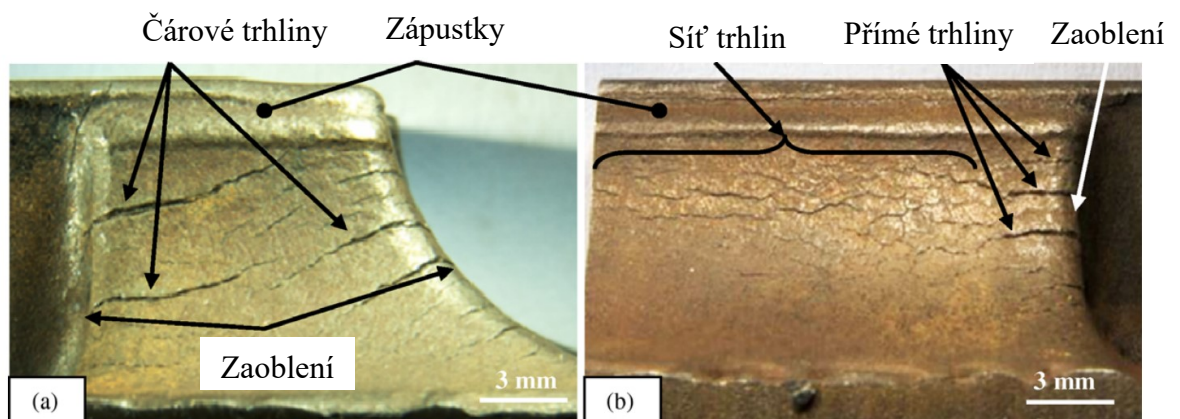
Životnost kovací zápustky závisí na mechanických vlastnostech oceli, ze které je zápustka vyrobena. Mezi vlastnosti zápustky, jenž definují volbu konkrétní zápustkové oceli, patří schopnost rovnoměrného kalení, odolnost vůči opotřebením, schopnost odolat plastické deformaci a teplotní odolnost. Pro dosažení vyšší životnosti zápustek při kování je nutné brát v úvahu hlavní příčiny poškození zápustek. Více než u 80 % zápustek dochází k trhlinám, které vznikají při ohřevu. Příklad těchto trhlin je zobrazen na Obrázku 17. Pro zvýšení odolnosti proti praskání při ohřevu musí mít nástrojová ocel dobrou pevnost při vysokých teplotách, houževnatost a tepelnou vodivost. Další příčinou poškození zápustky je pnutí, které má za následek trhliny. Příčina tohoto pnutí souvisí především konstrukcí nástroje, konkrétně s ostrými rohy a hranami. Pokud není možné konstrukci zápustky změnit, je vhodné ke zvýšení životnosti zvolit nástrojovou ocel s vysokou houževnatostí. [18]

Kování za tepla je jednou z metod objemového tváření kovů, která se provádí různými způsoby. Vysoké pevnosti součástí vyrobených touto metodou v různých průmyslových odvětvích jako je letecký, námořní průmysl a automobilový průmysl. Díky vysoké pevnosti bylo dosaženo poměrně zvýšené pozornosti v technické praxi. Kování za tepla je možné realizovat v horizontálním i vertikálním provedení. Životnost zápustek je proto velmi důležitá pro snížení výrobních nákladů a zvýšení produktivity výroby. Mechanismy poruch se obecně vyskytují v podobě růstu povrchových trhlin, plastických poruch, akumulace deformace, mechanicko-tepelné únavy a tepelné únavy malými rázy. Nicméně více než 70 % poškození v oblasti kování za tepla souvisí s opotřebením. Proto je studium opotřebením rozhodující pro odhad životnosti zápustky. K adheznímu opotřebením dochází, když je mikro oblast povrchu zápustky plasticky deformována. Na Obrázku 16 je zobrazena simulace opotřebením povrchu zápustky při kování za tepla. Část (a) znázorňuje výsledek 3D FEM analýzy opotřebením na kritických místech geometrie zápustky. Část (b) znázorňuje experimentální výsledek mechanismu opotřebením. [22]



Obrázek 16 Opotřebení povrchu zápustky při kování za tepla [22]

Abrazivní opotřebení je také jedním z nejdůležitějších typů opotřebení, který ovlivňuje životnost kovací zápustky. Tento typ opotřebení se vyskytuje, nachází-li se tvrdé a nepravidelné částice na povrchu zápustky. Povrch kovací zápustky musí být mnohem tvrdší než tvářený materiál. Pokud tomu tak není, lze obvykle pozorovat tento typ opotřebení. Výskyt tohoto opotřebení se také zvyšuje s rostoucí oxidací povrchu zápustky. Obecně platí, že destruktivní účinky tohoto typu opotřebení se projevují jako drážky podél kovaného materiálu ve směru formování. Abrazivní opotřebení lze pozorovat na vnějších poloměrech dutiny zápustky, kde dochází k přemísťování materiálu z dutiny zápustky do dutiny můstku. [22]



Obrázek 17 Trhliny na povrchu zápustek, které vznikly vlivem teplotní únavy [23]

## 2.1 Predikce toku kovu a kovacíh napětí

Při zkoumání výrobních procesů spočívá jeden z hlavních problémů v nalezení optimálních výrobních podmínek spolu s nízkými výrobními náklady a dobou realizace. [24]

## 2.2 Příčiny selhání kovacího nástroje

Kování za tepla je široce využívaný výrobní proces v automobilovém průmyslu. Životnost zápuštěk určuje buď tepelné praskání, nebo opotřebení. Tento příklad zkoumá vliv termomechanického namáhání na životnost nástroje při kování automobilové součásti za tepla, které je znázorněno na Obrázku 18. Bylo zjištěno, že napětí způsobená tepelným cyklováním tvoří přibližně 75 % celkového napěťového pole. Změna geometrie není nejlepším způsobem, jak snížit úroveň napětí s ohledem na tepelné namáhání. Z této studie vyplynulo, že zvýšení životnosti nástroje lze dosáhnout úpravou parametrů procesu kování, jako je teplota polotovaru a rychlost kování. [24]





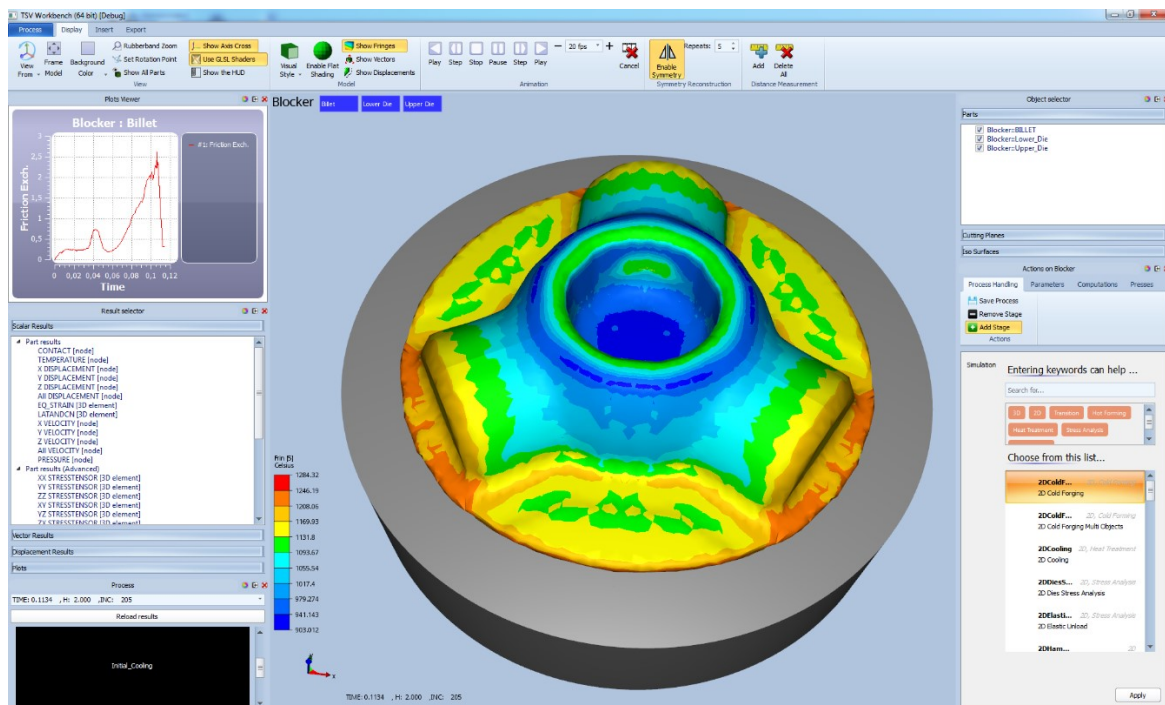
Obrázek 18 Součást automobilu vytvořena kováním za tepla [25]

Aby došlo ke snížení tepelného namáhání, je nutné dosáhnout snížení teplotního gradientu během kování. Existují dvě možnosti: úprava procesních parametrů za účelem snížení teploty, nebo použití mazacích/izolačních prostředků během kování, aby došlo ke snížení přenosu tepla. [24]

### **2.3 Predikce opotřebení zápustek a minimalizace jejich opotřebení**

Ve snaze odhadnout životnost zápustek při kování za tepla bylo provedeno několik studií. Schopnost predikovat opotřebení zápustky umožňuje optimalizovat procesní proměnné parametry tak, aby byla zvýšena životnost zápustky. Mnoho výzkumníků bylo využito metody konečných prvků a softwarů takových, jako je na Obrázku 19 (z anglické zkratky

Finite Element Method – dále jen FEM) k odhadu opotřebení zápustek při kování za tepla. [2]



Obrázek 19 FEM model v simulačním programu [26]

Obecně byly všechny výsledky podobné. Obecné profily predikcí byly shodné s experimentem. Predikce přesné velikosti opotřebení zápustky je však obtížná. Predikce únavového lomu pomocí FEM má tyto výhody:

- Výměny zápustek lze plánovat na základě jejich odhadované životnosti s cílem snížení neočekávaných prostojů stroje.

- Parametry kování, jako jsou rychlost lisu, materiály zápustek, teploty výkovků a zápustek, lze optimalizovat tak, aby byla jimi prodloužena ekonomická životnost na rozdíl od nákladných experimentálních studií.

- Vliv změn geometrie zápustky na opotřebení zápustky lze z hlediska času efektivně zkoumat, čímž opět dojde k eliminaci vysokých nákladů na experimentální studie. [2]

Rozdílné teploty na povrchu mají za následek asymetrický průběh toku materiálu výkovku. Tento jev spolu s asymetrickým rozložením teplot na povrchu zápustky značně ovlivňuje opotřebení zápustky. [2]

## 2.4 Tření a mazání v kovacíh operacích

Při kování je tření efekt, který podstatně ovlivňuje tok kovu a požadovanou tvářecí energii. Kromě mazacích účinků musí být také zohledněny účinky zápusťkového chlazení nebo přenosu tepla z horkého materiálu na chladnější zápusťky. Například pro konkrétní mazivo nelze data tření, získané z kování hydraulickým tlakem, použít pro kladivové kování, i když jsou shodné teploty zápusťky i výkovku. [14]

Ideální kovací mazivo by mělo mít tyto vlastnosti:

- Minimalizovat tření mezi zápusťkou a výkovkem, za účelem snížení požadovaného kovacího tlaku. Tím lze efektivněji vyplnit dutinu zápusťky a určit tok kovu.
- Působit jako dělicí prostředek a eliminovat poškození povrchu zápusťky a výkovku.
- Mít izolační vlastnosti, tedy minimalizace tepelných ztrát z výkovku a minimalizace teplotních výkyvů na povrchu zápusťky.
- Zajistit rovnoměrné pokrytí povrchu zápusťky, aby nedocházelo k lokálnímu rozpadu maziva a ani nerovnoměrnému toku kovu.
- Být neabrazivní a nekorozivní. Tímto bude zamezeno erozi zápusťky.
- Neobsahovat znečišťující nebo jedovaté složky a neprodukovat dým při aplikaci na zápusťky. [14]

Žádné mazivo není ideální, a tedy nedokáže splnit všechny požadavky uvedené v seznamu; je nutné pro každou konkrétní aplikaci nalézt kompromis. [14]

### 2.4.1 Koloidní grafit

Suspenze grafitu ve vodě je charakteristická nízkým koeficientem tření a tepelnou stabilitou do velmi vysokých teplot. V kovářských aplikacích je teplotní okno omezeno na rozsah 500 až 600 °C, aby bylo zabráněno oxidaci. Takže není plně využit potenciál práce při velmi vysokých teplotách. Při teplotách nižších než 538 °C je mazání grafitem na vzduchu podstatně účinnější než ve vakuu. [14]

### 2.4.2 Disulfid molybdenu (MoS<sub>2</sub>)

Stejně jako grafit má Disulfid molybdenu nízký koeficient tření. Disulfid molybdenu má také větší schopnost odolávat zatížení než grafit. Tepelná stabilita v neoxidujícím prostředí

je dostatečná až do 1100 °C, ale na vzduchu je snížena na rozmezí 350 až 400 °C. Může být nanášen na povrch běžnými metodami ve formě prášku, maziva nebo spreje. [14]

### 2.4.3 Skla

Skla jsou využívána pro svou schopnost minimalizace tření. Existuje mnoho systémů na bázi skel, ale pouze ty, které jsou založeny na Oxidu křemičitém, boritém a fosforečném lze aplikovat pro účely kování. Skla nemají žádné mezní mazací vlastnosti, a proto je jejich nejdůležitější vlastností viskozita. Skla jsou v podstatě newtonovské kapaliny a jejich viskozita klesá s rostoucí teplotou. Obecně platí, že silikátová skla jsou pro nejvyšší teploty, boritá skla pro střední teploty a fosfátová skla pro nejnižší teploty. Protože skla nemají žádné významné mazací vlastnosti, musí být skelný film zcela souvislý a přiléhající k povrchu zápustky. Přísady, které zamezují porušení skleněného filmu a které brání kontaktu zápustky s výkovkem jsou přísady těchto skelných filmů, nebo jsou nanášeny na zápustku jako samostatný povlak. [14]

### 3 MATERIÁLY KOVACÍCH NÁSTROJŮ

Kovací nářadí je nejčastěji zhotoveno z ušlechtilých druhů ocelí. Tyto materiály jsou charakteristické poměrně vysokými a náklady, pořizovacími i výrobními, a proto je vhodné hledat způsoby jejich dlouhodobého efektivního využití. [4]

#### 3.1 Materiály kovacího nářadí

Jako materiály kovacího nářadí jsou nejčastěji použity nástrojové oceli. V následujících podkapitolách budou rozebrány klíčové vlastnosti těchto ocelí. [4]

##### 3.1.1 Nástrojové oceli

Nástrojové oceli (označení dle ČSN je třída 19.). Podskupinu těchto ocelí jsou nástrojové oceli uhlíkové, legované atd. [4]

Nástrojové oceli (dále jen NO) jsou svými vlastnostmi specifické oproti běžné oceli a vysoce kvalitní oceli, které jsou použity pro výrobu nástrojů. I přesto že postupem času došlo k uvedení na trh nového nástrojového materiálu, jsou NO důležité a stále používány. Od prvního uvedení nástroje z nástrojové oceli byl technologický vývoj posunut podstatně vpřed. Díky tomu je v současné technické praxi široký sortiment NO, a lze tak pro definované opracování materiálu zvolit vhodný nástroj. Ten je zvolen především s ohledem na životnost, jenž má vliv nejen mechanické vlastnosti a chemické složení, ale také vlastnosti opracovávaného materiálu. Díky vývoji lze poměrně přesně vyhovět požadavkům na vlastnosti materiálu. Dosažení výhodnějších vlastností je možné tepelným zpracováním, změnou chemického složení a úpravou povrchu. Nástroje lze vyrobit buď odléváním přímo do forem, které jsou negativem tvaru výsledného nástroje nebo odlévání do ingotů a následným tvářením. NO jsou určeny pro výrobu nástrojů na stříhání, formování a řezání atd. [27]

##### 3.1.1.1 Nástrojové oceli uhlíkové

Jsou používány na méně prokalitelné oceli, s cílem zvýšení houževnatosti. Řezné nástroje z této oceli mají vyšší obsah uhlíku (0,7 až 1,4 %), nástroje na stříhání mají 0,5 až 1,2 % uhlíku. [4]

### 3.1.1.2 Nástrojové oceli slitinové legované

Tyto oceli jsou voleny pro více namáhané nástroje. Jsou legovány prvky Vanadu, Chromu, Wolframu, Molybdenu, Manganu a Niklu. Legující prvky usnadňují proces kalení a zamezují vzniku trhlin při tomto procesu. [4]

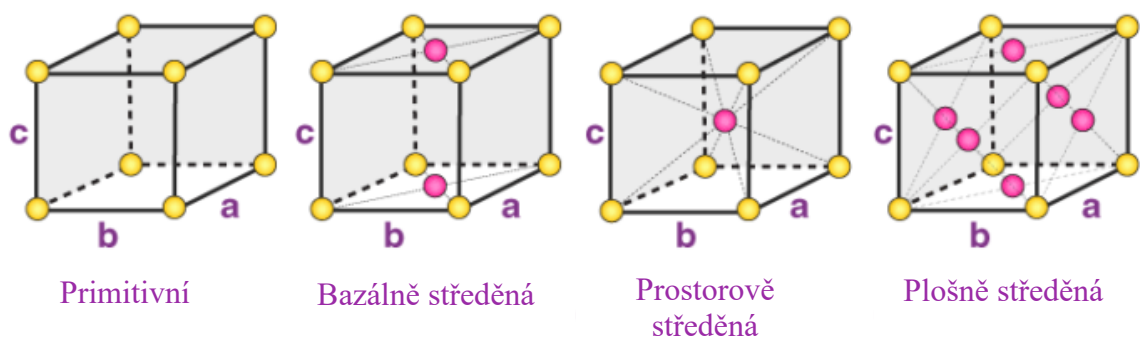
## 3.2 Vady materiálů používaných v kovárenství

Každá pevná látka je definována jako materiál, který je možné technologicky zpracovat ve výrobě. [28]

### 3.2.1 Poruchy krystalové stavby kovů

Atom je základní částí hmoty. Je složen z obalu a jádra. Téměř veškerá hmota atomu je soustředěna v jádře. U pevných látek se vyskytují různé typy vazeb mezi atomy. Jedná se o vazby iontové, kovalentní, kovové a Van der Waalsovy. Látky mohou být dále rozděleny na amorfni, krystalické a semikrystalické. [28]

Podle krystalické stavby kovů, tedy podle stupně krystalografických elementů, je rozlišováno 7 krystalických soustav a existují celkem 4 typy základních prostorových mřížek, které jsou zobrazeny na Obrázku 20. Jedná se o mřížky primitivní, bazálně středěné, prostorově středěné a plošně středěné. [28]



Obrázek 20 Druhy základních prostorových mřížek [28]

Krystalové mřížky mohou mít značné poruchy neboli vady. Tyto poruchy je možné rozdělit na čárové, bodové, plošné a objemové. Ke vzniku poruch mřížky dochází už během procesu tuhnutí. [28]

### 3.2.2 Zpevnění materiálu

Díky plastické deformaci je dosaženo zpevnění materiálů. Plastická deformace vzniká díky pohybu dislokací. Hranice mezi uskutečněným a neuskutečněným skluzem krystalu je

označena jako dislokace. Přítomnost dislokace v krystalu je příčinou napět'ového pole okolo dislokace a plastické deformace mřížky. Během plastické deformace hustota dislokací prudce roste a tento jev dále vysvětluje Frankův – Readův zdroj. Příkladem deformačního zpevnění je kování. Pokud během výroby dojde k podstatnému zpevnění kovu a výsledný materiál má protáhlejší tvar zrn, tak se tento jev označuje jako tzv. textura. [28]

### 3.2.3 Anizotropie

Jedná se o podstatnou vlastnost monokrystalů a je fyzikální vlastností. Anizotropie označuje různé vlastnosti v různých směrech, jako jsou například elektrické a optické vlastnosti, nebo modul pružnosti. Anizotropie má podstatný vliv na mechanické vlastnosti materiálů používaných pro tváření. Lze ji rozdělit na anizotropii plastickou (někdy také plošnou) a normálovou. Plastická anizotropie je definována jako nesejnosměrnost fyzikálních a mechanických vlastností materiálu ke směru tváření. Určení plastické anizotropie poskytne data o chování materiálu, obecně při zatížení. Tyto data lze využít k dosažení vyšší životnosti tvářecích nástrojů. Anizotropie normálová je závislá na metalurgických podmínkách výroby, které ovlivňují její krystalickou strukturu. [28], [31]

## 4 ADITIVNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY

Metodami aditivní výroby je dosaženo komplexních tvarů z polymerů i kovů při poměrně rychlém procesu výroby. V současné technické praxi se toto odvětví těší velkému zájmu, kdy mnoho výrobců vidí v aditivních technologiích možnost řešení komplexních a nákladných zadání. [4]

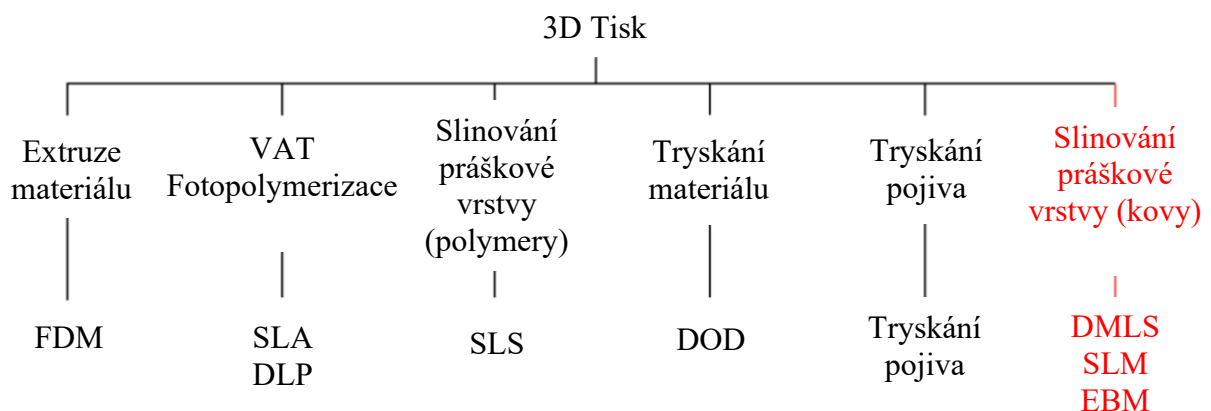
### 4.1 3D Tisk

3D Tisk je aditivní výrobní technologie, při které je díl vytvořen způsobem vrstvení tisknutého materiálu. Objekty vytištěné 3D tiskem mohou být tvarově složité a mají velké spektrum uplatnění. [29]

Jednotlivé technologie 3D tisku jsou zobrazeny na Obrázku 21.

Od počátku technické aplikace je 3D tisk stále vyvíjen v mnoha směrech:

- Kvalitnější materiály: tvrdší, pevnější, lehčí.
- Velikost tisknutých objektů. Od malých objektů o velikosti nanometrů po objekty velikosti budov.
- Poměr cena/výkon.
- Aplikace. Od prototypových dílů po potraviny, struktury až živé tkáně. [30]



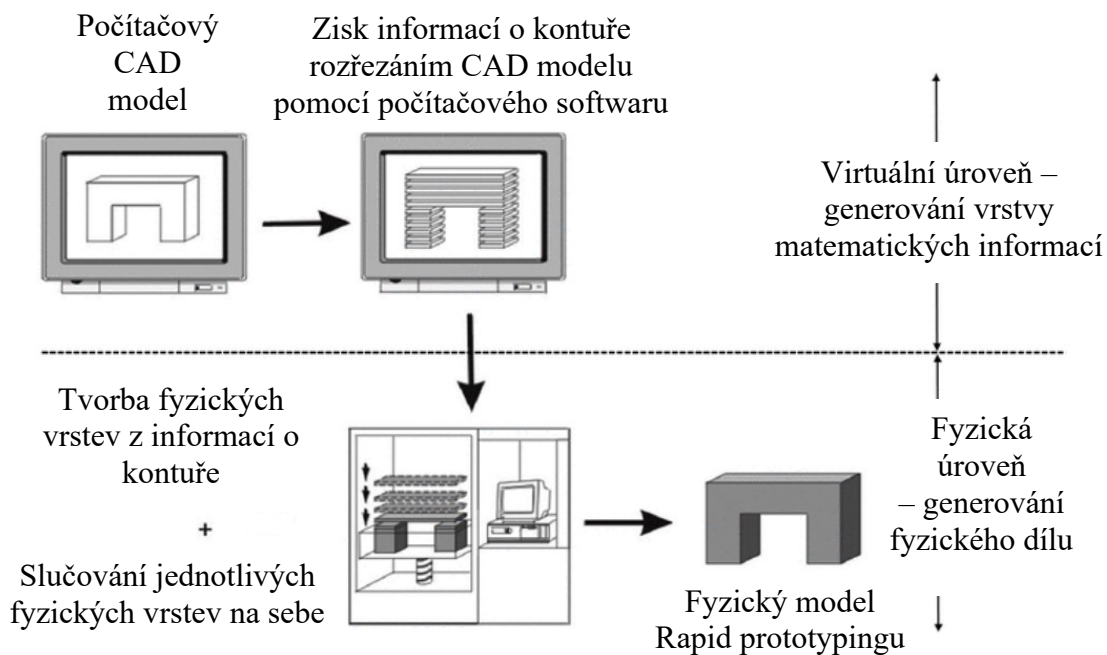
Obrázek 21 Druhy technologií 3D tisku [32]

#### 4.1.1 Princip 3D tisku

Proces tisku je charakterizován procesním řetězcem, který je znázorněn na obrázku 22. Proces tisku je zahájen (virtuálním) trojrozměrným datovým CAD modelem. Tento model představuje výrobek, jenž má být zhotoven. V technické praxi je model obvykle vytvořen

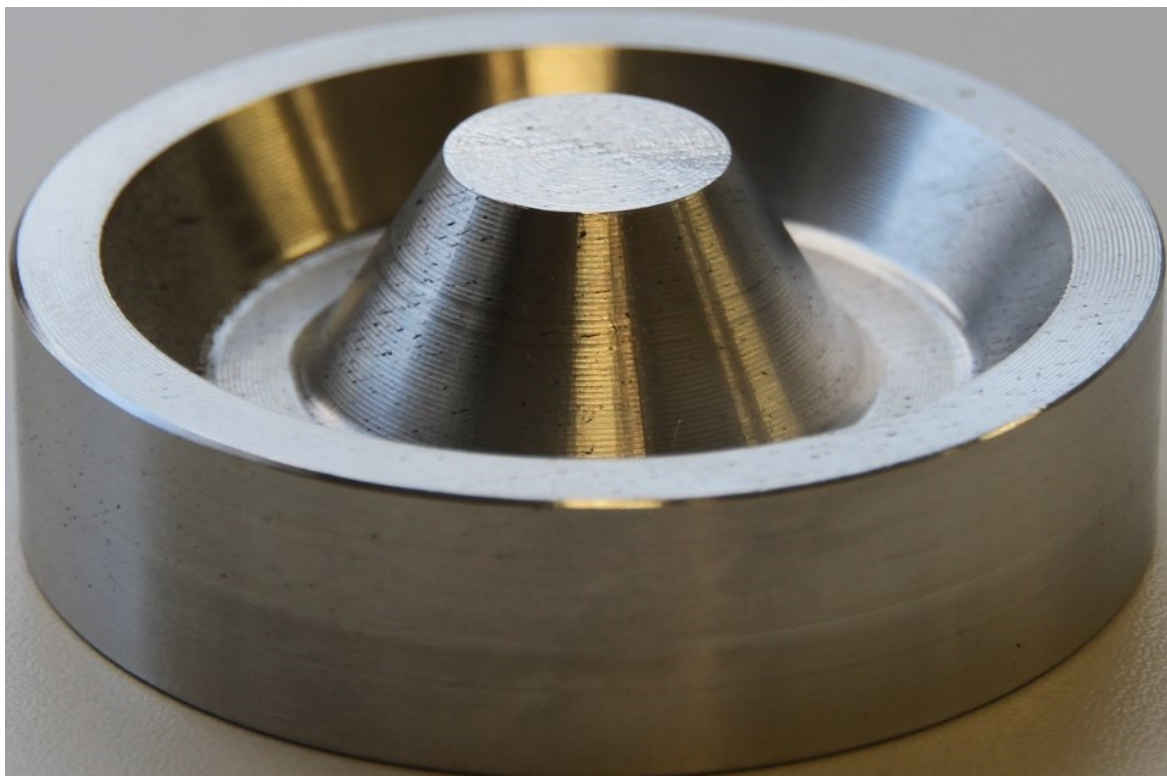


pomocí 3D návrhu (Computer Aided Design), skenování nebo pomocí zobrazovacích procesů, jako je počítačová tomografie (CT skenování). [33]



Obrázek 22 Procesní řetězec aditivní výroby [33]

Nezávisle na tom, jak je 3D datový soubor vygenerován, je v prvním kroku rozdělen pomocí vhodného softwaru na řezy nebo vrstvy. Výstupem jsou data obsahující hodnoty obrysu ( $x$ - $y$ ), velikost tloušťky vrstvy ( $dz$ ) a  $z$ -ovou souřadnici každé vrstvy. Data jsou poté předána stroji, který daný model zhotoví (vytiskne). V prvním kroku je každá vrstva vytvořena podle definovaného obrysu a tloušťky vrstvy. Ve druhém kroku je každá nově vytvořená vrstva spojena s vrstvou předchozí. Tak dochází k postupnému vrstvení jednotlivých vrstev na sebe směrem vzhůru, až dojde ke zhotovení celého výrobku. V závislosti na rovnoměrné tloušťce vrstev jsou modely vyrobeny metodou vrstvení a vykazují tzv. schodovitý efekt, jak ukazuje Obrázek 23. [33]

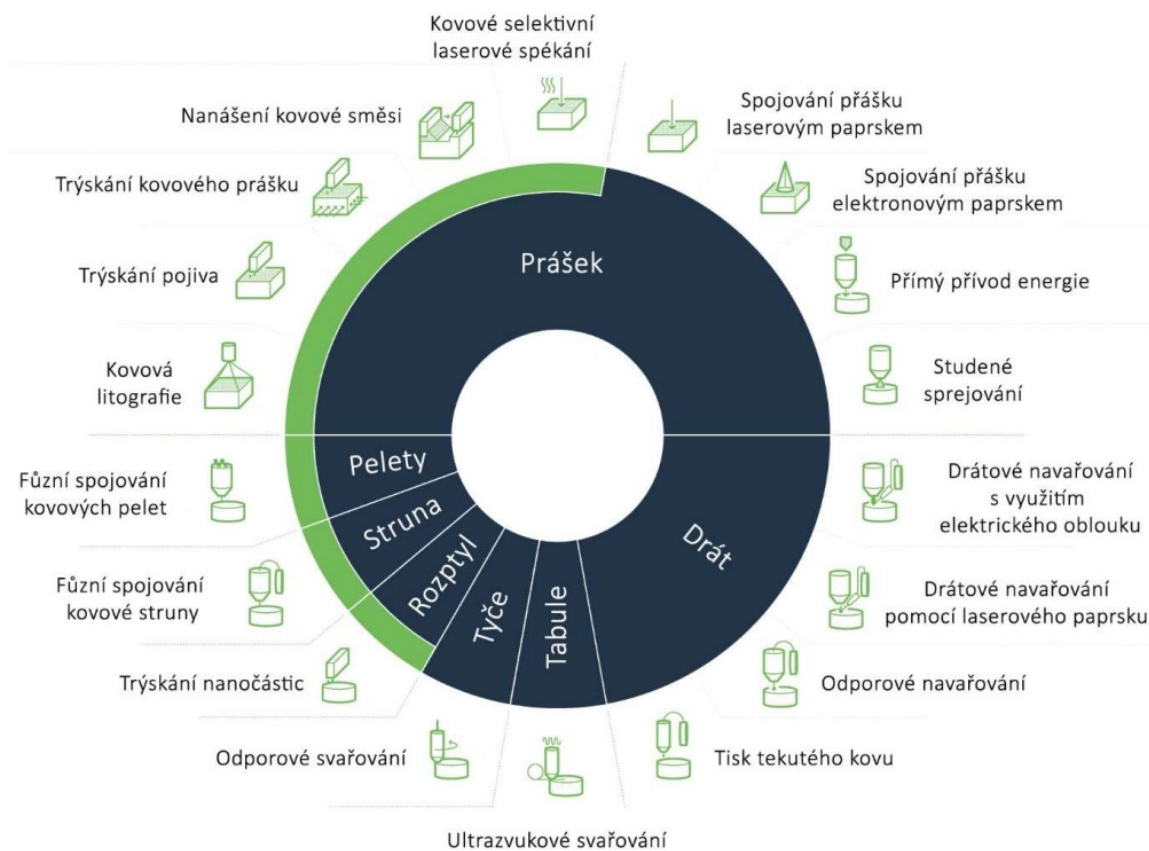


Obrázek 23 Zápustka vytvořena technologií vrstvení [34]

## 4.2 Metody 3D tisku kovů

3D tisk kovů byl objeven v 90. letech 20. století spolu s rozvojem technologie DMLS. Současné dostupné technologie 3D Tisku jsou zobrazeny na Obrázku 24. Technické možnosti, jako je výroba bez použití nástrojů, výroba dílů na míru podle návrhu a výroba vysoce komplexních součástí v jednom kroku téměř okamžitě po vytvoření konceptu, poskytují aditivním metodám výroby nebývalé technické výhody. Aditivní výroba kovů však obecně nemusí být výhodná pro všechny výrobky. Při přechodu na větší rozměry výrobků, mohou faktory, jako je doba tisku a náklady, omezit výhody aditivní výroby kovů. Ačkoli některé systémy 3D tisku kovů mají relativní kapacitu pro sériovou výrobu, je obecně méně nákladné použití konvenčních metod výroby pro jednodušší díly. V případech, kdy je definována složitá geometrie výrobku, rychlá výroba prototypů, je naopak výhodné a efektivní použití aditivní výroby. Jednou z hlavních výhod 3D tisku kovových dílů je totiž možnost výroby lehčí, duté součásti se stejnými mechanickými vlastnostmi, díky čemuž jsou přínosy 3D tisku kovů významné. Hlavní výhoda je zejména v případě sestavování

konstrukcí nebo součástí se složitou geometrií s cílem optimalizovat hmotnost a využití materiálu, jejichž výroba by běžnými metodami výroby byla obtížná, ne-li nemožná. [35]



Obrázek 24 Dostupné technologie 3D tisku kovů [36]

#### 4.2.1 Metoda Direct Metal Laser Sintering (DMLS)

Jde o identickou metodu jako je Selective Laser Melting (SLM). Podstatným rozdílem je, že nedojde k překročení teploty tání práškového materiálu. V případě této technologie je dosaženo teploty blízko pod teplotu tání a prášek má možnost se sloučit na molekulární úrovni. Výrobek vykazuje heterogenní vlastnosti jako běžná slitina. Po dokončení tisku jsou součásti tepelně zpracovány. [37]

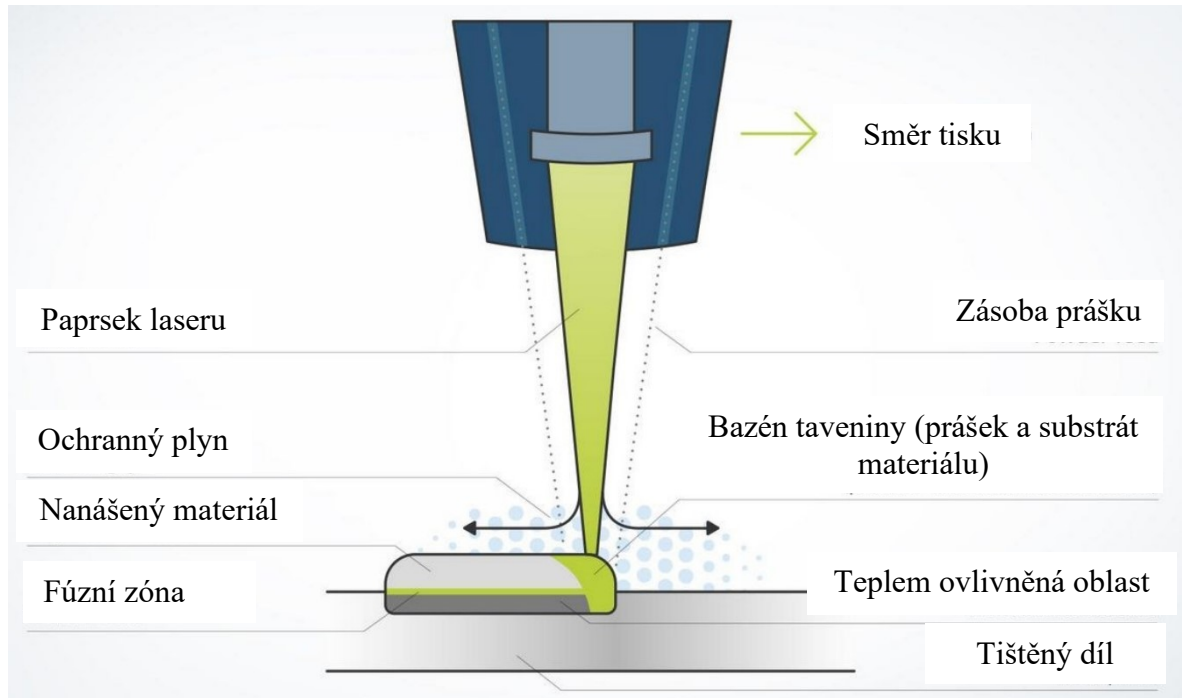


Obrázek 25 Součásti se složitou geometrií vytvořené metodou DMLS [37]

#### 4.2.2 Technologie Laser Metal Deposition (LMD)

Tato metoda je vhodná pro opravu výrobků, kde chybí část materiálu nebo k opravě poškozených součástí nebo k vytvoření ochranných vrstev. Touto metodou je také možné vyrobit nové výrobky. [38]

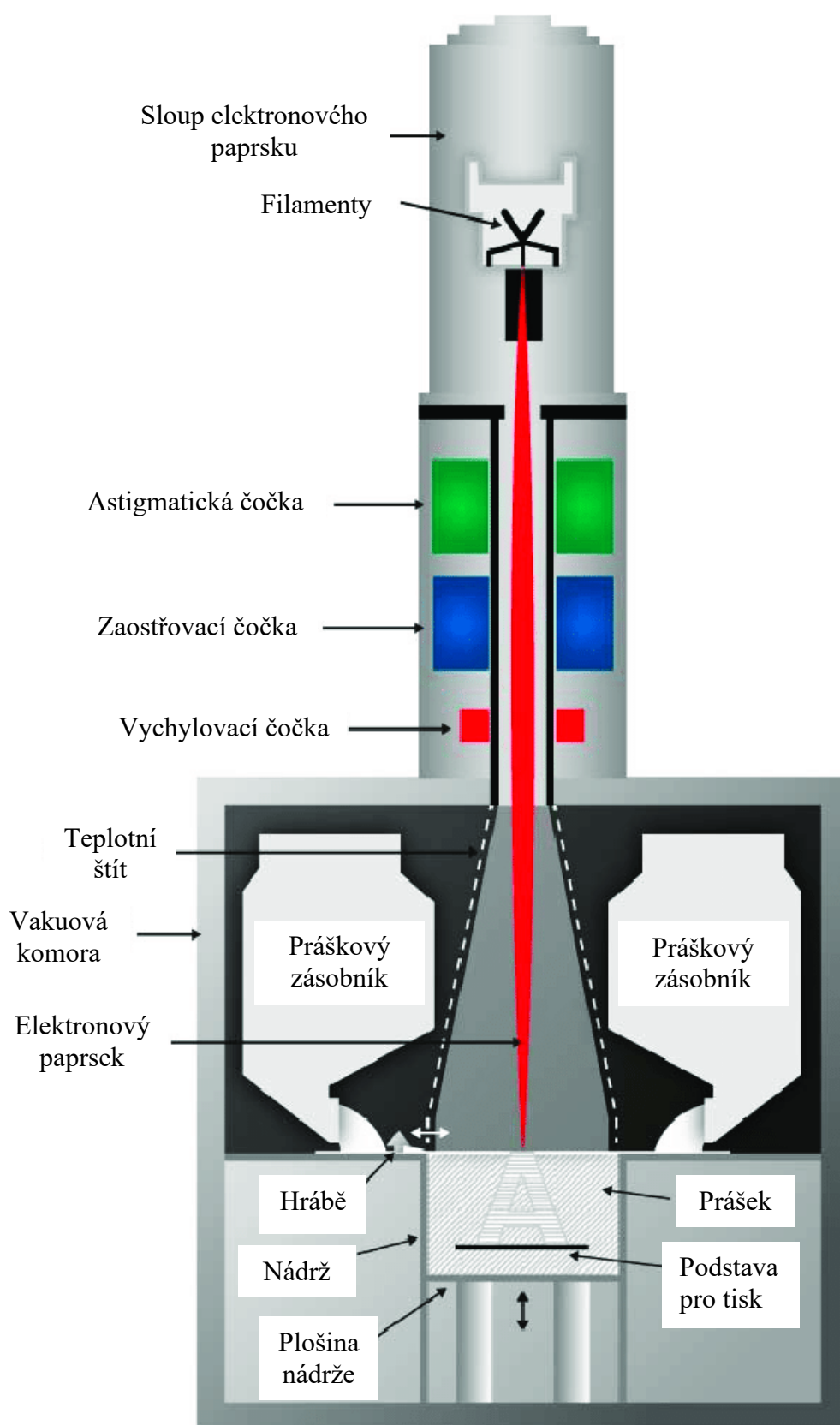
Hlava s laserem a několika tryskami je umístěna nad výrobní zónou. Celá dávka prášku je postupně zahřívána laserem těsně pod teplotu tání, dokud nedojde k natavení celé dávky. Během procesu vznikají jemné i hrubé struktury. Paprsek laseru tvoří tavnou lázeň a zahřívá tištěný díl. Materiál do této natavené oblasti tryská ve formě prášku. Při dopadu je materiál roztaven a spojen s prvotní tištěnou vrstvou. Během procesu je používána ochranná atmosféra. Tato metoda se vyznačuje širokou oblastí použití například v podobě povlakování s dlouhou životností, svařování jednotlivých částí dohromady, nebo opravy poškozených součástí. Při jednom procesu je k dispozici několik práškových zásobníků. Je možné vytvořit slitiny kombinací několika práškových materiálů. [38]



Obrázek 26 Princip laserového práškového navařování LMD [38]

#### 4.2.3 Technologie Electron Beam Melting (EBM)

Princip této metody spočívá ve využití elektronů nebo vysoké energie paprsku k indukovaní fúze mezi částicemi kovového prachu. Koncentrovaný paprsek prochází přes tenkou vrstvu prachu, kterou částečně vytvrzuje a natavuje. Tato technologie se vyznačuje vyšší produktivitou výroby oproti ostatním metodám jako je například metoda SLM nebo DMLS, primárně kvůli vyšší objemové hustotě energie. Tloušťka jedné vrstvy, velikost částic prášku, velikost jednotlivých tvarů je typicky větší než u podobných metod. Pro tento proces lze použít pouze vodivé materiály. Součásti jsou vytvářeny touto metodou ve vakuové komoře. Tento způsob je vhodný pro použití v leteckém a vesmírném průmyslu, medicíně a dentální hygieně. [39]



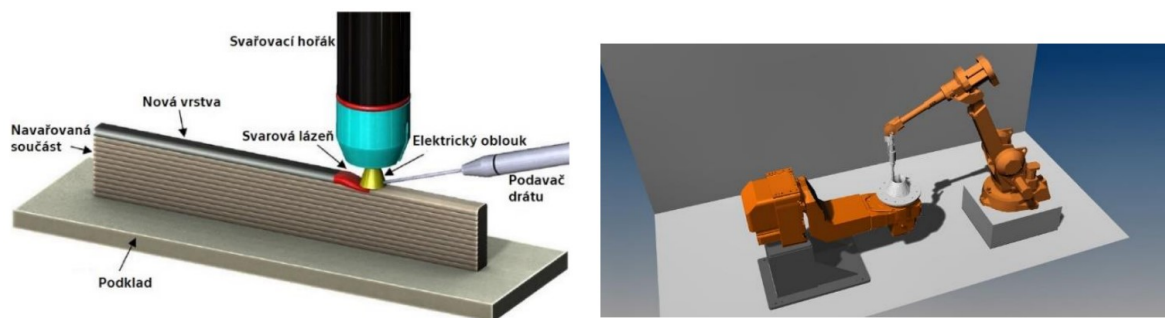
Obrázek 27 Princip metody EBM [40]

#### 4.2.4 Navařování metodou WAAM

Metoda WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing) je zobrazena na obrázku 28. [41]

Princip metody výroby spočívá v pokládání definovaného počtu jednotlivých návarových housenek na sebe, případně vedle sebe. Výrobky jsou tvořeny postupným navařováním jednotlivých vrstev po dráze budoucího obrysu navařované součásti (směrem od podkladu) spolu se zvolenou tloušťkou návarové stěny. Touto metodou lze vytvořit i plné součásti ukládáním materiálu do těchto obrysů. [42]

Jde o typ SMD (Shaped Metal Deposition). Tedy technologie, která kombinuje elektrický oblouk s využitím kovového drátu v podobě přídavného materiálu. Jako přídavného materiálu jsou používány prosté svařovací dráty pro MAG/MIG svařování. [42]



Obrázek 28 Schéma metody WAAM (s pomocí navařování TIG) – vlevo. Běžné uspořádání robotického pracoviště – vpravo. [43]

Svařovací automat u této technologie slouží k synchronizaci pohybu svařovacího hořáku a zdroje napájení. Ke vzniku svařovacího oblouku lze použít buď hořák pro technologii MAG/MIG, nebo hořák pro technologii TIG. Hořáky jsou zvoleny v závislosti na požadovaných vlastnostech, kladených na navařovaný materiál. Metoda navařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou je prováděna primárně kvůli velké produktivitě výroby. Tavená svarová lázeň vznikne, když dojde mezi svařovaným drátem a svařovaným materiálem ke vzniku elektrického oblouku. Svařovací drát je přiveden do roztavené svarové lázně pod ochranným plynem. Pro bezchybné vytvoření jednotlivých svarových vrstev je nutné zajistit přesné přesouvání svařovacího hořáku podle předem definovaných vstupů jako je rychlost posuvu hořáku, jeho souřadnice a trasy posuvu. [41]

## 5 POVLAKOVÁNÍ

Povlakování je způsob výroby, přesněji úpravy, kdy dojde k nanesení tenké vrstvy povlaku na kovací nástroj. Tato technologie umožňuje zvýšení odolnosti proti opotřebení, tepelným šokům a působení vysokých teplot. Povlaky mohou být vícevrstvé, nebo jednovrstvé. [4].

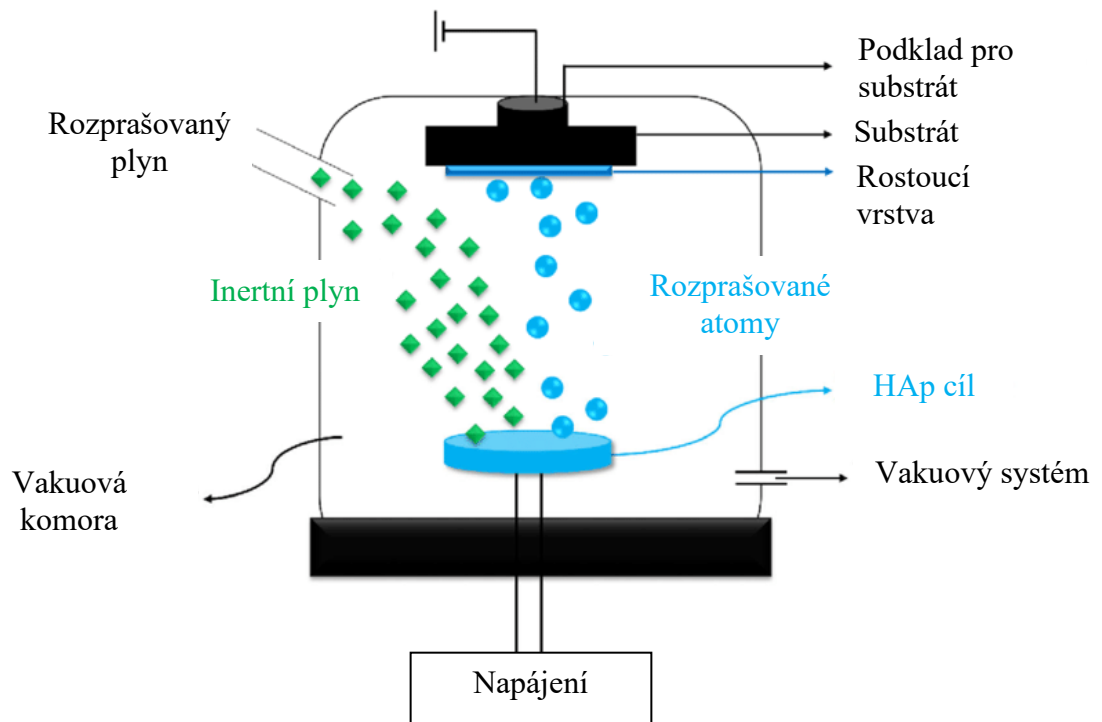
### 5.1 Povlakování a jeho charakteristika

Za účelem zvýšení životnosti jsou kovací nástroje povlakovány. Vrchní vrstva povlaku působí jako tepelná a chemická bariéra mezi výkovkem a kovacím nástrojem, zabraňuje deformaci kovacího nástroje v důsledku nadměrného zahřívání a zvyšuje odolnost proti opotřebení kovacího nástroje. Řada faktorů má vliv na účinnost povlaku, například zvolená povlakovací metoda, tvrdost, tloušťka, adheze povlaku na substrát, chemické složení, krystalická struktura, chemická a tepelná stabilita, modul pružnosti, lomová houževnatost, odolnost proti opotřebení, tepelná vodivost, difuzní stabilita a geometrie nástroje [44].

#### 5.1.1 Metoda PVD

Metoda fyzikálního napařování je nazývána jako metoda PVD, pochází z anglických slov Physical Vapour Deposition metoda je charakteristická nízkými pracovními teplotami (pod 500 °C). Princip této metody je zobrazen na obrázku 29. Metoda povlakování byla prvotně určena pro nástroje z oceli třídy 19 dle ČSN (vlivem nízké teploty nedojde k tepelnému ovlivnění nástroje). Ke vzniku PVD povlaku dojde za sníženého tlaku ( $0,1 \div 1,0$ ) Pa kondenzací částic (atomů). Tyto atomy jsou uvolněny ze zdroje částic (terčů) fyzikálními metodami (odporovým ohřev nebo odpařováním nebo rozprašováním). Dojde k ionizaci uvolněné částice a k reakci s atmosférou komory (obsahující reaktivní a inertní plyny, např. Ar a N<sub>2</sub>) a záporným předpětím dojde k urychlení směrem k povrchu substrátu, kde dojde k usazení ve formě tenké vrstvy homogenního povlaku ( $1 \div 5$  μm, v atmosféře, jež obsahuje dusík, jsou tvořeny povlaky TiN). [44]

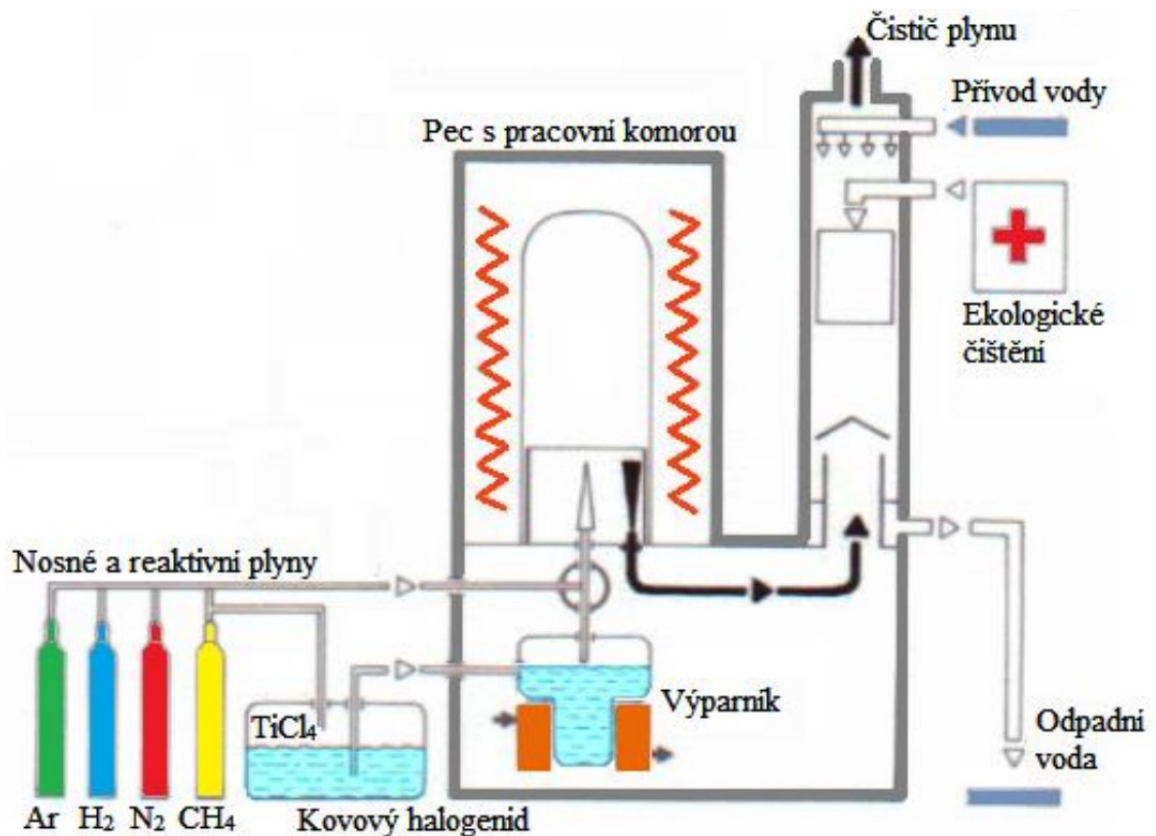




Obrázek 29 Princip metody PVD [45]

### 5.1.2 Metoda CVD

Princip metody CVD je zobrazen na Obrázku 30. Metoda CVD je chemický proces povlakování, který je založen na reakci plynných chemických sloučenin v plazmě, které vzniknou v bezprostřední blízkosti substrátů a následně jsou tyto produkty uloženy na povlakovaném povrchu. Povlaky, které jsou nanášeny metodou CVD jsou typické svojí vysokou odolností proti opotřebení a vysokou přilnavostí (adhezí) povlaku a substrátu. Metoda CVD je prováděna při vysokých teplotách v rozmezí 1000÷1200 °C a tlaku 1÷100 kPa a je využívána ve velkosériové výrobě. Tloušťka povlaků je definována v rozmezí 8÷10 μm. Jako nevýhodu lze definovat ovlivnění substrátu vlivem vysokých teplot. Z důvodu vysoké povlakovací teploty je nutné, aby byl nástroj po povlakování zušlechťen na požadovanou tvrdost. Tloušťka vytvořeného povlaku je homogenní s konstantní tloušťkou po celém povrchu substrátu. [44].



Obrázek 30 Princip metody CVD [44]

### 5.1.3 Povlakování technologií PCD

Nástroje z polykrystalického diamantu (PCD) jsou složeny z mikrokrystalů diamantu v karbidovém substrátu ztuhnutých a spojených za vysokého tlaku a teploty (slinováním). Přírodní a syntetické diamantové krystaly lze slinovat tímto způsobem. [46]

### 5.1.4 Povlakování technologií DLC

DLC povlaky (diamantu podobný uhlík) jsou povlaky na bázi uhlíku, které jsou typické otěruvzdorností, vysokou tvrdostí a extrémní kluzností. Technologie tzv. PACVD je technologie, kterou jsou DLC povlaky nanášeny. [47]

## 6 ZPŮSOBY RENOVACÍ A ÚPRAV KOVACÍCH NÁSTROJŮ

Cílem renovací kovacího nářadí je tedy zvýšení životnosti. V této kapitole budou uvedeny běžně používané způsoby renovace. [4]

### 6.1 Princip renovace kovacích nástrojů metodou navařování

Metodou renovace kovacích zápustek navařováním dojde k vytvoření vysoce kvalitního svarového nánosu, který je zobrazen na Obrázku 31. Svařování pod tavidlem není netypický svařovací postup; jedná se o aplikaci některého z obloukových svařovacích postupů jako je svařování v ochranné atmosféře nebo obloukové svařování pod tavidlem, při kterém lze použít elektrody s velkým průměrem. Svařováním pod tavidlem je provedeno odstranění znehodnocené „vrstvy“ kovacího nářadí a poté zaplavením roztavenou svarovou elektrodou. Rychlost nanášení kovu je až 14 kg/h. Elektrody pro obloukové svařování v ochranné atmosféře jsou k dispozici v průměrech až 19 mm. Elektrody pro obloukové svařování pod tavidlem jsou k dodávány ve formě drátu o průměru až 4 mm. [48]



Obrázek 31 Navařená funkční část ostříhovacího nástroje [49]

### 6.1.1 Operace po navaření

Po vytvoření tohoto návaru je nutné ostříhovací nástroj vhodně upravit, aby efektivně prováděl ostříhovací operaci. Na funkčních plochách výkovku je nutné opracovat navařenou vrstvu z důvodu dodržení předem stanovené drsnosti a tolerance jednotlivých rozměrů. [4]

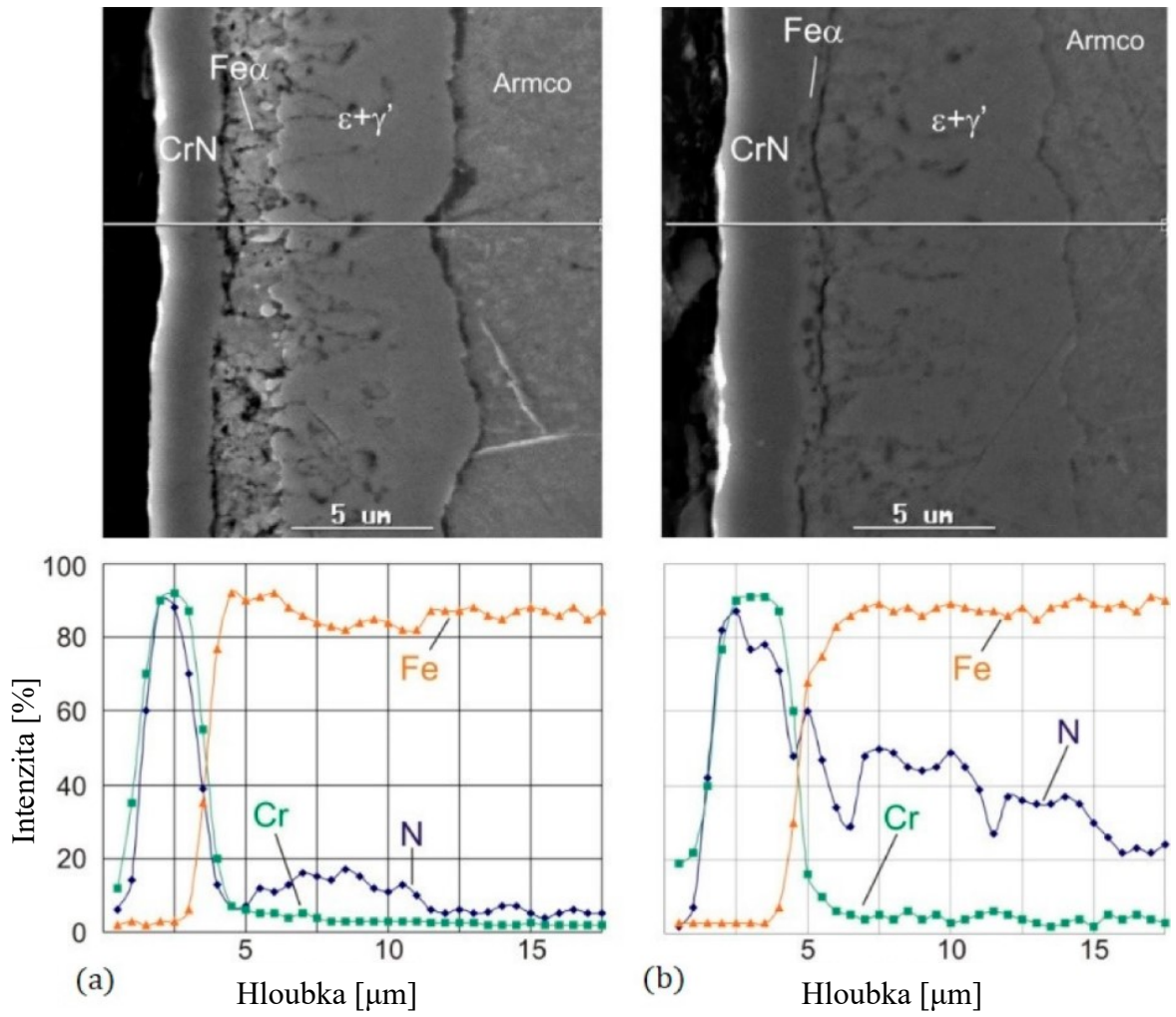
Pro vhodnější obrobiteľnosť návaru je pred obráběcí operaci zařazena operace žihání na měkko či žihání ke snížení pnutí. Návar je poté obroben třískovým způsobem, v tomto případě metodou frézování, po kterém následuje povrchová úprava, například kalení na vzduchu. Po operaci kalení je ostříhovací nástroj povrchově upraven, v tomto případě metodou leštění. [4]

## 6.2 Princip renovace kovacích nástrojů metodou povlakování

Na zkoumaný povrch zápustky byl nanesen hybridní povlak – nitridační vrstva spolu s PVD povlakem. Cílem je úprava vlastností povrchové vrstvy kovacích nástrojů vytvořením vrstev a povlaků, které by zlepšily odolnost těchto nástrojů. [50]

Povlaky, které byly účinné při prodlužování životnosti kovací zápustky, kde došlo ke kumulaci několika intenzivních degradačních faktorů, např. vysoké mechanické zatížení, vysoká teplota, tření, eroze atd., nedosáhly významných výsledků snižování opotřebení. Výsledky mnoha výzkumných prací dokazují, že substrát je důležitým prvkem, který by měl být brán v úvahu při výrobě povlaků, které mají být prevencí proti opotřebení a destruktivním faktorům. Povlak plní funkci přímého přenosu mechanického zatížení, které vznikne během kovacího procesu. Povrch povlakovaného nástroje má vliv na napětí a adhezi povlaku, velikost plastické deformace a určuje tuhost povlaku. [50]

Hybridní vrstva je složena z nitridované vrstvy a z povlaku vytvořeném fyzikální depozicí z plynné fáze PVD. Tato hybridní vrstva je zobrazena na Obrázku 32. Důsledkem interakce dvou povrchových vrstev, tj. nitridované vrstvy a povlaku PVD, je hybridní vrstva typická vlastnostmi, které jsou jinak nedosažitelné. Hlavní faktory, které způsobují opotřebení kovací zápustky, jsou intenzivní mechanické zatížení, vysoké a intenzivní tepelné rázy a tření. [50]



Obrázek 32 Analýza chemického složení povlakované zápusky po nitridování a nanesení povlaku CrN: (a) leptání v plazmatu Cr<sup>+</sup>, (b) leptání v plazmatu Cr<sup>+</sup> + N<sup>+</sup>. [50]

## 7 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ KOVACÍCH NÁSTROJŮ

Proces tepelného zpracování zahrnuje řadu procesů pro úpravu mikrostruktury a získání požadovaných vlastností. Patří sem různé metody žíhání, kalení a popouštění. Žíhací postupy mají různé cíle, například změkčit ocel nebo upravit strukturu před, či po zpracování. Tepelné zpracování může zmírnit vnitřní napětí, obnovit tažnost a houževnatost, zjemnit zrno atd. [51]

### 7.1.1 Tepelné zpracování nástrojových ocelí

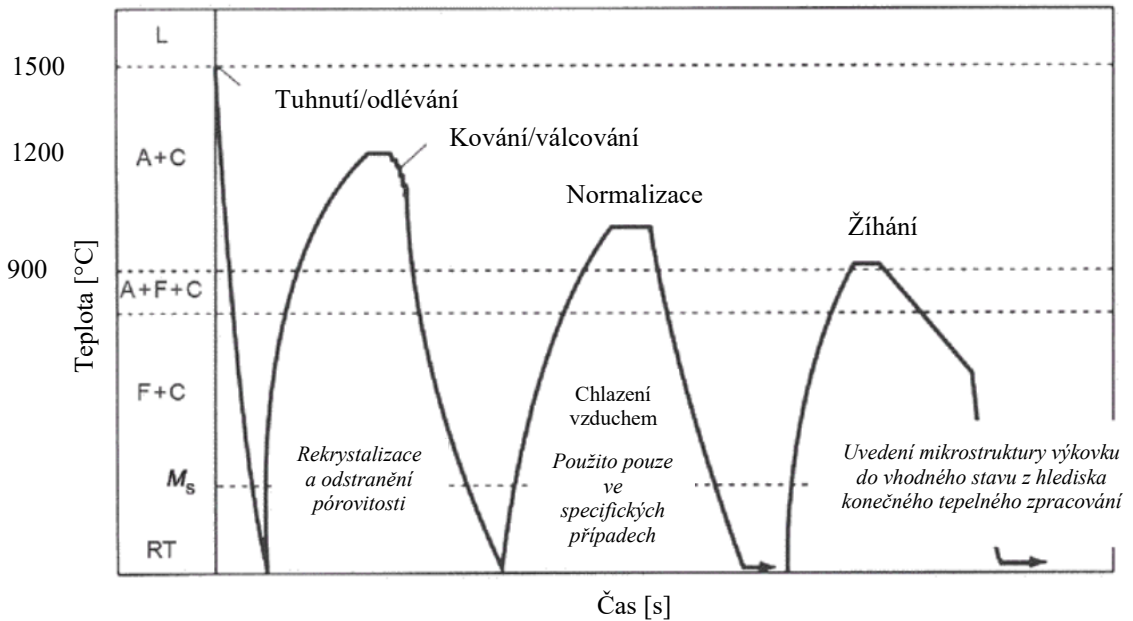
Přestože mnoho postupů tepelného zpracování používaných u nástrojových ocelí je podobných postupům používaných u uhlíkových a legovaných ocelí, je třeba uvést několik upozornění. Správné tepelné zpracování nástrojových ocelí není snadné. V průběhu celého procesu je nutné věnovat pozornost detailům a pečlivě sledovat teploty a časy. Většina nástrojových ocelí tepelně zpracovaných je citlivá na chyby či nedbalost při procesu. Je nutné dodržovat přesné teploty a doby udržování, aby bylo těmto chybám zamezeno. Ačkoli každé tepelné zpracování vyžaduje pečlivost, nástrojové oceli obecně potřebují co nejlepší tepelné zpracování, aby byl plně využit potenciál jejich vlastností. [51]

#### 7.1.1.1 Žíhání nástrojových ocelí

Nástrojové oceli jsou sféroidně žíhány, aby byly měkké a snadno obrobitelné. Je běžné, že dodavatel obvykle dodává nástrojové oceli ve sféroidně žíhaném stavu, což umožňuje jejich snadné obrábění. Pokud jsou podrobeny tváření za tepla nebo za studena, musí být často před těmito operacemi znovu sféroidně žíhány. To platí i v případě, že došlo k chybě při tepelném zpracování během kalení. [51]

Úplné žíhání je rozdílné u každé nástrojové oceli, ale obecně se skládá z:

1. Pomalého a rovnoměrného zahřívání oceli mírně nad horní kritickou teplotu.
2. Udržování na této úrovni po dostatečně dlouhou dobu, aby byl možný úplný prostup tepla.
3. Pomalé a kontrolované ochlazování.
4. Volné ochlazování vzduchem na pokojovou teplotu. [51]



Obrázek 33 Tepelné zpracování - graf závislosti teploty na čase znázorňující sled operací potřebných při tepelné úpravě nástrojových ocelí. [51]

### 7.1.1.2 Kalení nástrojových ocelí

Proces kalení kovacího nástroje z nástrojové oceli je obvykle proveden ve čtyřech krocích:

1. Zmírnění napětí
2. Předehřívání
3. Austenitizace
4. Kalení [51]

Cílem zmírnění, či odlehčování napětí, je snížení zbytkových napětí, která vznikla v nástroji během obrábění nebo během tváření. Tím je snížena pravděpodobnost vzniku deformace nebo trhlin při kalení. Odlehčování napětí spočívá v pomalém zahřívání kovacího nástroje na teplotu 540 až 595 °C, setrvání na této teplotě po dobu přibližně 30 minut a následném ochlazení v peci na pokojovou teplotu. Pokud by tato napětí nebyla zmírněna, mohla by způsobovat nadměrné deformace nebo praskání při kalení. [51]

Předehřívání nástrojových ocelí před austenitizací je vhodné, ale není vždy nutné. Zejména u malých součástí jednoduchého tvaru lze tento krok často vynechat. Předehřev je obvykle použit jako ochrana před praskáním a extrémní deformací, která může vzniknout v důsledku tepelného šoku, kterému je studená součást vystavena v austenitizační peci. [51]

U procesu austenitizace je potřeba určitého času k tomu, aby legující prvky v karbidech slitin difundovaly do austenitu. Nástrojové oceli je nutné udržovat při austenitizační teplotě po

přesně definovanou dobu, přičemž se tato doba liší u jednotlivých tříd nástrojových ocelí. U některých nástrojových ocelí, které obsahují 1 %, či více procent vanadu, nejsou všechny karbidy během austenitizace nikdy zcela rozpuštěny. [51]

Při dostatečně rychlém ochlazení dojde ke vzniku kontrolovaného množství martenzitu v mikrostruktuře (nebo někdy bainitu). Kalitelnost nástrojové oceli, spolu s velikostí výrobku určují, v jakém rozsahu při dané rychlosti kalení dojde ke vzniku martenzitu ve struktuře. Tvrdost na povrchu bude velmi vysoká, přibližně 65 HRC, zatímco jádro zůstane měkké, přibližně 30 HRC. Tento efekt zpevnění je výhodou pro nástroje, které potřebují tvrdý povrch odolný proti opotřebení. Vhodné je také houževnaté a tvárné jádro. [51]



## SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části byly popsány používané kovací procesy, principy konstrukce zápusťek se stroji pro kovací operace a problematika ostříhvací a děrovací operace při dokončování zápusťkových výkovků.

Byly uvedeny příčiny vzniku opotřebení kovacích nástrojů spolu s popisem procesu tření a jeho ovlivnění kovacích nástrojů s možnostmi minimalizace tření.

Dále byly uvedeny příklady dostupných a používaných ocelí v kovárenství s jejich možnými vadami.

V další části bylo cíleno na dostupná a inovativní řešení opotřebení kovacích nástrojů. Bylo cíleno na trendy v současné technické praxi, konkrétně na metody aditivní výroby a metody povlakování. Renovace kovacích nástrojů byly zaměřeny na konkrétní způsob navařovací metody LMD a povlakování hybridní vrstvou složené z nitridační vstvy a PVD vrstvy.

Poslední kapitola je zaměřena na tepelné zpracování kovacích nástrojů se zaměřením na nástrojové oceli.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 8.2 Přídavky na obrábění

Obráběné plochy zápusťkových výkovků, obráběné třískovým způsobem, byly opatřeny přídávkem na obrábění. Tyto přídávky umožní dostatečný minimální úběr třísky vzhledem k dovoleným odchylkám podle normy DIN 7526. Přídavek se stanovuje podle Tabulky 2, podle největšího průměru a tloušťky. Přídavky byly zvoleny 2,5 mm. Tento přídavek je hraniční, avšak z konstruktérských zkušeností z podobných projektů je vyhovující a méně nákladný z hlediska obráběcího procesu.

Tabulka 2 Přídavky na obrábění [52]

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

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

## 8.3 Úkosy bočních stěn

Plochy, které ve směru tváření musí být skloněny z důvodu vyjmutí výkovku ze zápusťky. Potřebný boční úkos (sklon), nabývá různých hodnot na vnějších i vnitřních plochách a závisí na velikosti i tvaru výkovku, na způsobu tváření. Úkos stěny je definován jako sklon nebo úhel. Pro tento díl by byly dostatečné vnější úkosy s hodnotou 2° a vnitřní s hodnotou 3°, jak definuje Tabulka 3. Z konstruktérských zkušeností je však vhodné zvolit větší úkosy, protože bude zamezeno nežádoucím jevům jako je například náročné odformování od horní zápusťky. Vnější i vnitřní úkosy byly zvoleny 6°. Po konzultaci se zákazníkem byly v určitých místech úkosy upraveny na jiné hodnoty kvůli kolizím v sestavě s jinou součástí.

Tabulka 3 Úkosity bočních stěn [52]

Vnitřní úkosity			Vnější úkosity		
Buchar nebo lis		Vodorovný pěchovací stroj	Buchar nebo lis		Vodorovný pěchovací stroj
Zápustka			Zápustka		
Bez vyhazovače	S vyhazovačem		Bez vyhazovače	S vyhazovačem	
6°	3°	3°	4°30'	2°	2°
1:10	1:20	1:20	01:12,5	1:30	1:30
90 (3°)	6° (1° 30')	6° (0° 30')	6° (2°)	3° (0° 30')	3° (0° 30')
1 : 6 (1 : 20)	1 : 10 (1 : 40)	1 : 10 (1 : 115)	1 : 10 (1 : 30)	1 : 20 (1 : 115)	1 : 20 (1 : 115)
Hodnoty vytisknuté <b>tučně</b> se v praxi běžně používají					
Hodnotám uvedeným v závorkách se z důvodu vyšších technických nákladů pokud možno vyhýbat.					

## 8.4 Zaoblení hran

Plochy třískově obráběné mohou mít hodnotu zaoblení hran 1,5 až 2 násobku hodnoty přídatku na obrábění. Tato volba se odvíjí podle provedení hrany obráběné součásti – například při malém sražení je možné přidavek na obrobení v kritické oblasti zvětšit vhodným způsobem. V konkrétních případech mohou být větší zaoblení potřebné, aby bylo zamezeno vzniku trhlin v zápustce. Podle Tabulky 4 byla hodnota zaoblení hran zvolena 8 mm. Toto zaoblení je hraniční, avšak je z konstruktérských zkušeností dostatečné. Tato volba je také méně nákladná z hlediska obráběcího procesu. Po konzultaci se zákazníkem bylo pro každou hranu zvoleno odlišné, avšak vhodné zaoblení. Například na tzv. nose, který je zobrazen na Obrázku 35 zákazník definoval zaoblení 3 mm. Tato hodnota byla nedostatečná, protože v praxi často docházelo k praskání na této části. Po konzultaci se zákazníkem bylo zákazníkem schválen kompromis v podobě hodnoty 4,5 mm.

Tabulka 4 Zaoblení hran [52]

Největší výška $h_g$ každé poloviny zápustky		Největší průměr příp. největší šířka $b_1$ výkovku								
od	do	od	25	40	63	100	160	250	400	630
		do 25	40	63	100	160	250	400	630	1000
-	16	3 (2)	3 (2)	4	4 (3)	4 (3)	5 (4)	5 (4)	-	-
16	40	4 (3)	4 (3)	5	5 (4)	5 (4)	6 (5)	6 (5)	8 (6)	10 (8)
40	63	-	6 (4)	6	6 (5)	6 (5)	8 (6)	8 (6)	10 (8)	12
63	100	-	-	8	8 (6)	8 (6)	10 (8)	10 (8)	6 (4)	16
100	160	-	-	-	10	10 (8)	12	12	16	20
160	250	-	-	-	-	12	12	16	20	25

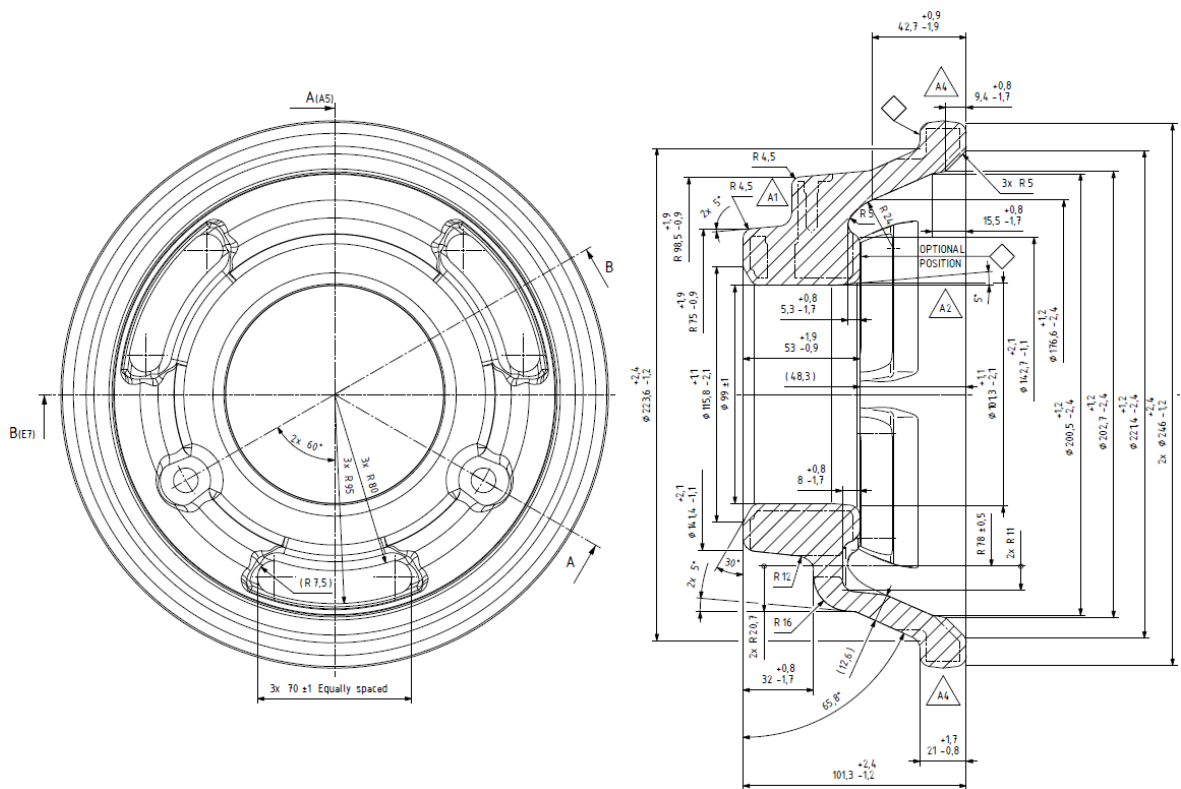
Hodnotám uvedeným v závorkách se z důvodu vyšších technických výdajů pokud možno vyhýbejte.

### 8.5 Blána

Velikost blány 17 mm byla definována dle Tabulky 5. Z konstrukčních zkušeností a na základě podobných projektů, kterými kovárna VIVA a.s. disponuje na dané kovací lince, byla zvolena tloušťka blány 9 mm.

Tabulka 5 Velikost dna [52]

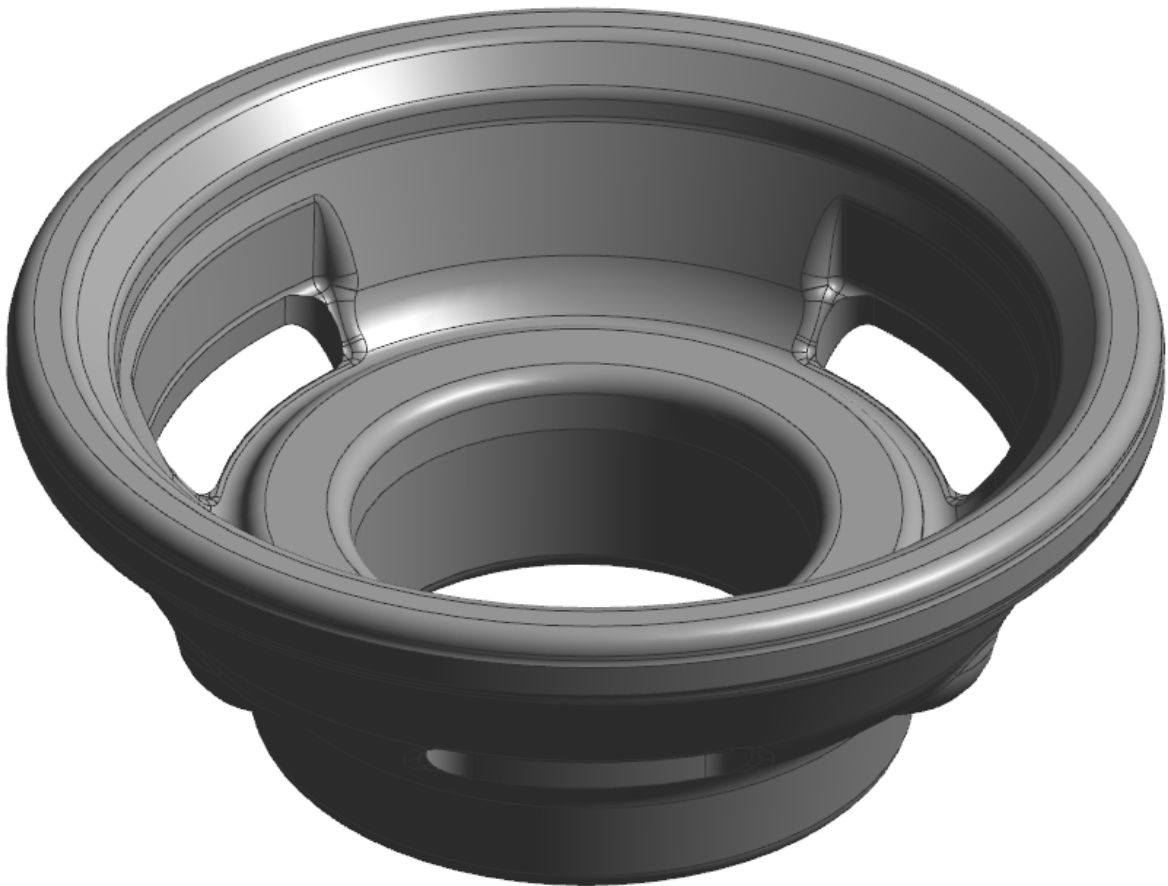
Největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu (B,D)		Největší výška výkovku H							
		přes do 10	10	25	40	63	100	160	250
		10	25	40	63	100	160	250	400
přes	do	Nejmenší tloušťka dna, disku H1 a stěny s							
		4	5	6	7	9	11	13	15
40	63	5	5	6	7	9	11	13	15
63	100	5	6	7	9	11	13	15	17
100	160	6	7	9	11	13	15	17	20
160	250	8	9	11	13	15	17	20	25
250	400	10	13	15	17	20	25	30	35
400	630			20	25	30	35	40	50
630	1000			25	30	35	40	50	60



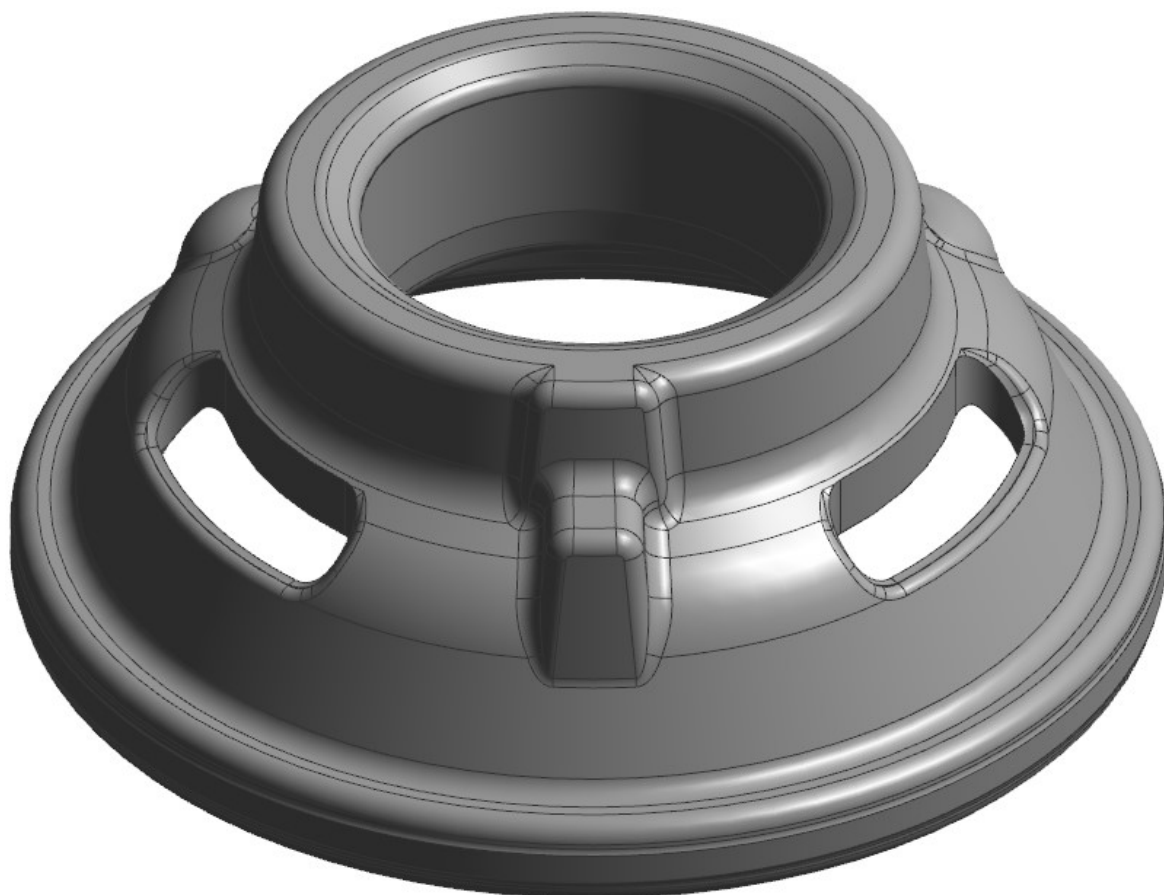
Obrázek 35 Základní zákaznické rozměry výkovku

## 8.6 Model výkovku

Model výkovku byl zhotoven pomocí technologických přídavek, nutných pro kovací operaci vycházející z normy DIN 7523 a také konzultací se zákazníkem. Model byl vyhotoven v programu Siemens NX. Výkovek váží 8,8 kg a má objem 1,121 dm<sup>3</sup>. Polotovar je kruhová tyč o průměru 246 mm, délce 101,3 mm váží 38,4 kg.



Obrázek 36 První pohled na model výkovku



Obrázek 37 Druhý pohled na model výkovku



## 9 KONSTRUKČNÍ NÁVRH KOVACÍCH NÁSTROJŮ

Po návrhu výkovku byly zkonstruovány zápustky, předkovací i dokovací. Návrh zápustek vycházel z tvaru výkovku, který byl zvětšen o hodnotu smrštění kovu. Hodnota smrštění byla: 1,014 %. Plánovaná životnost veškerého kovacího nářadí byla 2500 výkovků na jednu kovací dávku.

### 9.1 Volba kovacího stroje

Volba stroje byla ovlivněna stávajícími upínacími možnostmi ostříhovacího i kovacího nářadí, velikostí tvářecí síly, předtvárným odporem polotovaru, hmotností výkovku a velikostí vsázky. Dále s ohledem na technické možnosti induktoru, konkrétně maximálními rozměry pro ohřev. Požadovaný stroj bylo nutné zvolit s ohledem na aktuální stroje vlastněné kovárnou VIVA a.s.

#### 9.1.1 Výpočet přetvárného odporu polotovaru

Hodnota kovací teploty byla zvolena 1235 °C. Hodnota přetvárného odporu je určena vztahem:

$$Re = 9,81 (14 - 0,01 \cdot t) \cdot (1,4 + \% C + \% Mn + 0,3 \cdot \% Cr)$$

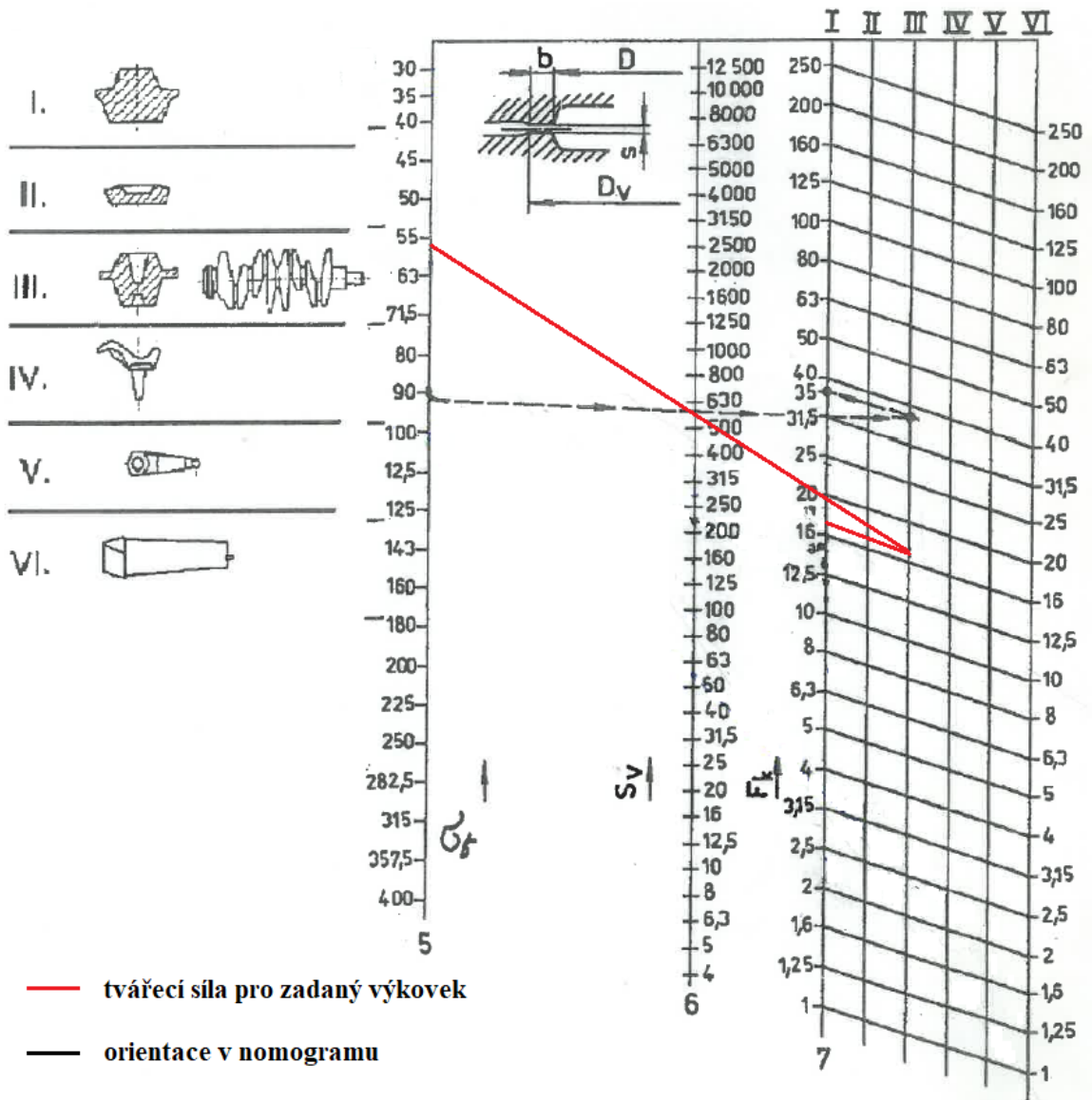
$$Re = 9,81 \cdot (14 - 0,01 \cdot 1235) \cdot (1,4 + 0,41 + 1,60 + 0,3 \cdot 0,30)$$

$$Re = 56,65 \text{ MPa}$$

#### 9.1.2 Určení tvářecí síly

Pro určení tvářecí síly byl nutný výpočet průměru a plochy výkovku spolu s jeho hmotností. Tyto hodnoty byly zjištěny z modelu výkovku vytvořeném v programu Siemens NX.

$$\emptyset D_v = 271,2 \text{ mm}^2, S_v = 577,36 \text{ mm}^2, m = 8,8 \text{ kg}$$



Obrázek 38 Nomogram pro určení tvářecí síly

Z nomogramu (Obrázku 39) byla určena hodnota tvářecí síly  $F_k = 17 \text{ MN} = 1706 \text{ tun}$ .  
Z důvodů řečených v předchozích podkapitolách byl zvolen kovací stroj od výrobce Žďas s označením LVH 2500.

<b>Průměr vřetena</b>	<b>mm</b>	<b>500</b>
Lisovací síla	<b>MN</b>	25
Max. kinetická energie setrvačnicku	<b>kJ</b>	350
Max. rychlost beranu	<b>m/sec</b>	1
Max. zdvih	<b>mm</b>	500
Max. počet zdvihů ( využitelný počet zdvihů a počet úderů bezprostředně za sebou následujících je dán dimensí akustanice a je nutné oboje udat v objednávce )	<b>za min.</b>	20
Tlak kapaliny	<b>MPa</b>	16
Spotřeba tlakové kapaliny na 1 plný zdvih	<b>dm<sup>3</sup></b>	34
Pracovní kapalina		minerální olej
Průchod mezi krytem	<b>mm</b>	1090
Průchod nad krytem	<b>mm</b>	1120
Vzdálenost beranu od stolu max.	<b>mm</b>	1210
Vzdálenost beranu od stolu min.	<b>mm</b>	710
Plocha upínací desky stolu	<b>mm</b>	1400x1090
Plocha upínací desky beranu	<b>mm</b>	1040x1000
Spodní vyhazovač – hydraulický – síla	<b>MN</b>	0,27
– max. zdvih	<b>mm</b>	50
Horní vyhazovač – pneumatický vibrační		
- energie úderu	<b>J</b>	22
- zdvih	<b>mm</b>	57
- tlak vzduch	<b>MPa</b>	0,5+0,7
- spotřeba vzduchu při tlaku 0,6 Mpa	<b>m<sup>3</sup>/min</b>	1,2
- počet úderů	<b>n/min</b>	1550

Obrázek 39 Technické specifikace vřetenového kovacího lisu LVH 2500

## 9.2 Návrh dokovacích nástrojů

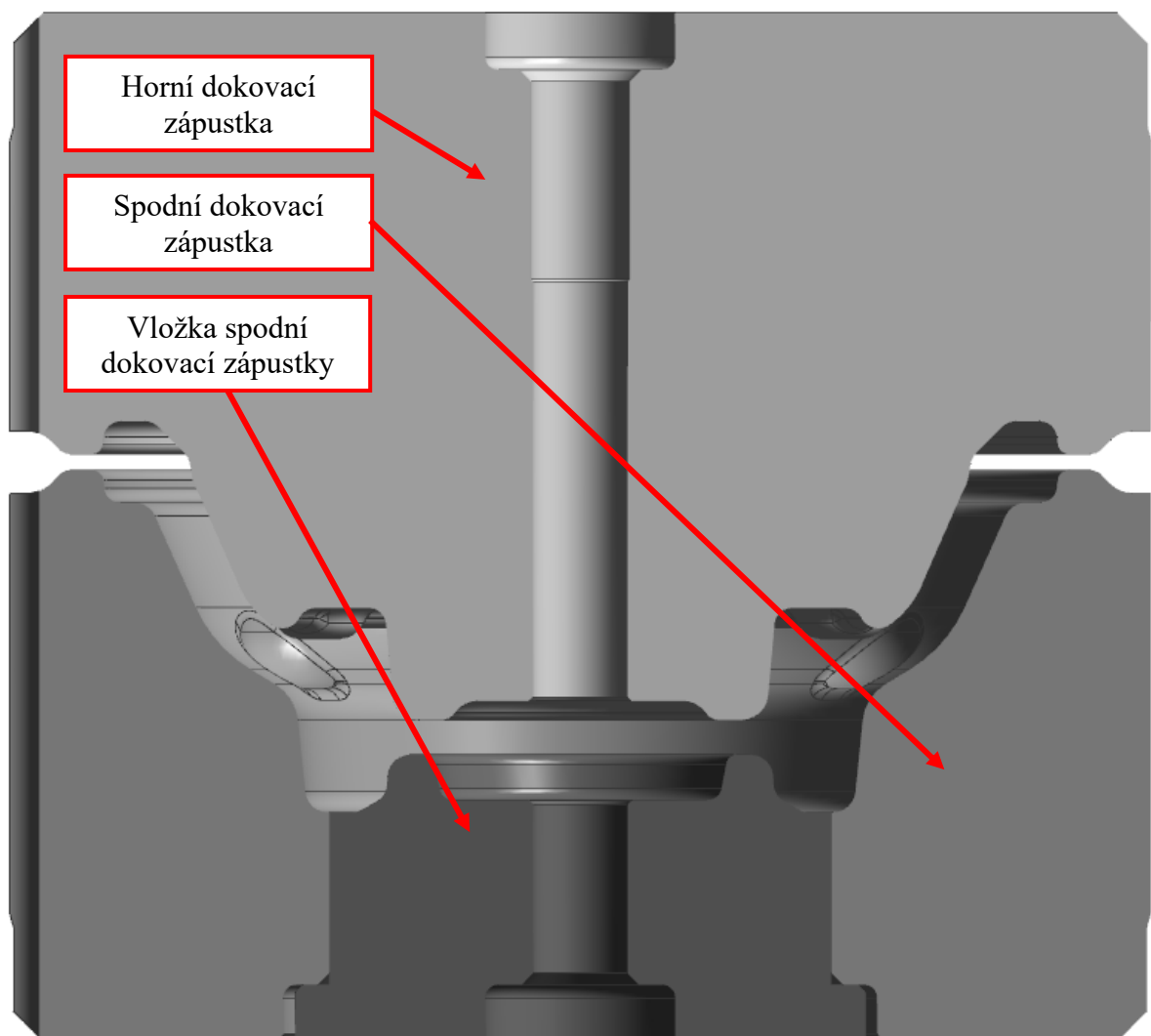
Návrh dokovacích nástrojů definoval program FORGE NX 3.2. Dokovací nářadí bylo zvoleno se zřetelem na výkovek, který je opatřen blánou a můstkem. Dokovací nástroje vycházely z tvaru výkovku a byly zvětšeny o hodnotu smrštění. Můstek byl zvolen na základě konstrukčních zkušeností z podobných projektů na stejné kovací lince.

### 9.2.1 Můstek

Můstek byl zvolen na základě konstrukčních zkušeností z podobných prací na zvolené kovací lince. Šířka můstku byla zvolena 4,2 mm.

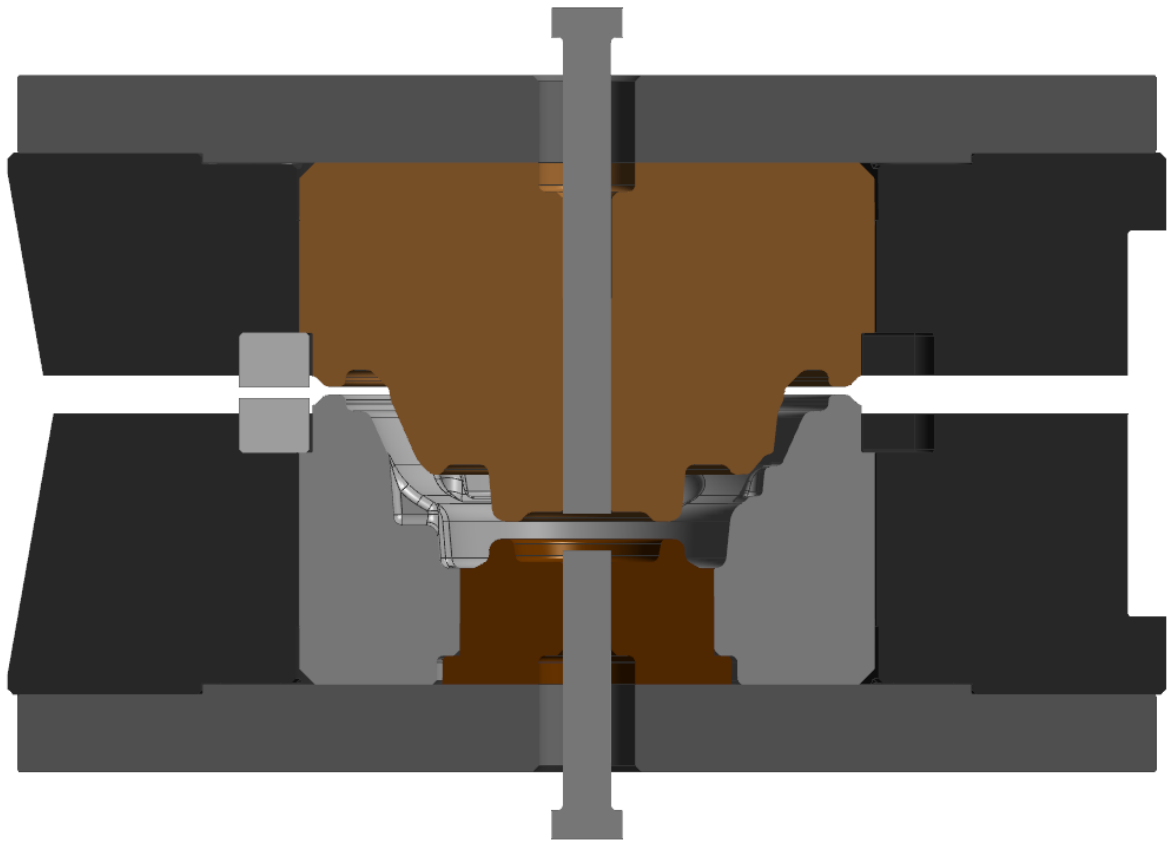
### 9.2.2 Konstrukce dokovacích nástrojů

Byly zkonstruovány celkem tři zápustky. Horní zápustka spolu se spodní tvoří negativ výkovku. Spodní zápustka byla sestavena ze dvou částí, konkrétně ze spodní zápustky spolu s vložkou. Cílem vložky spodní zápustky je odvod vzduchu spolu se snížením rizika prasknutí zápustky.



Obrázek 40 Sestava dokovacích zápustek v řezu

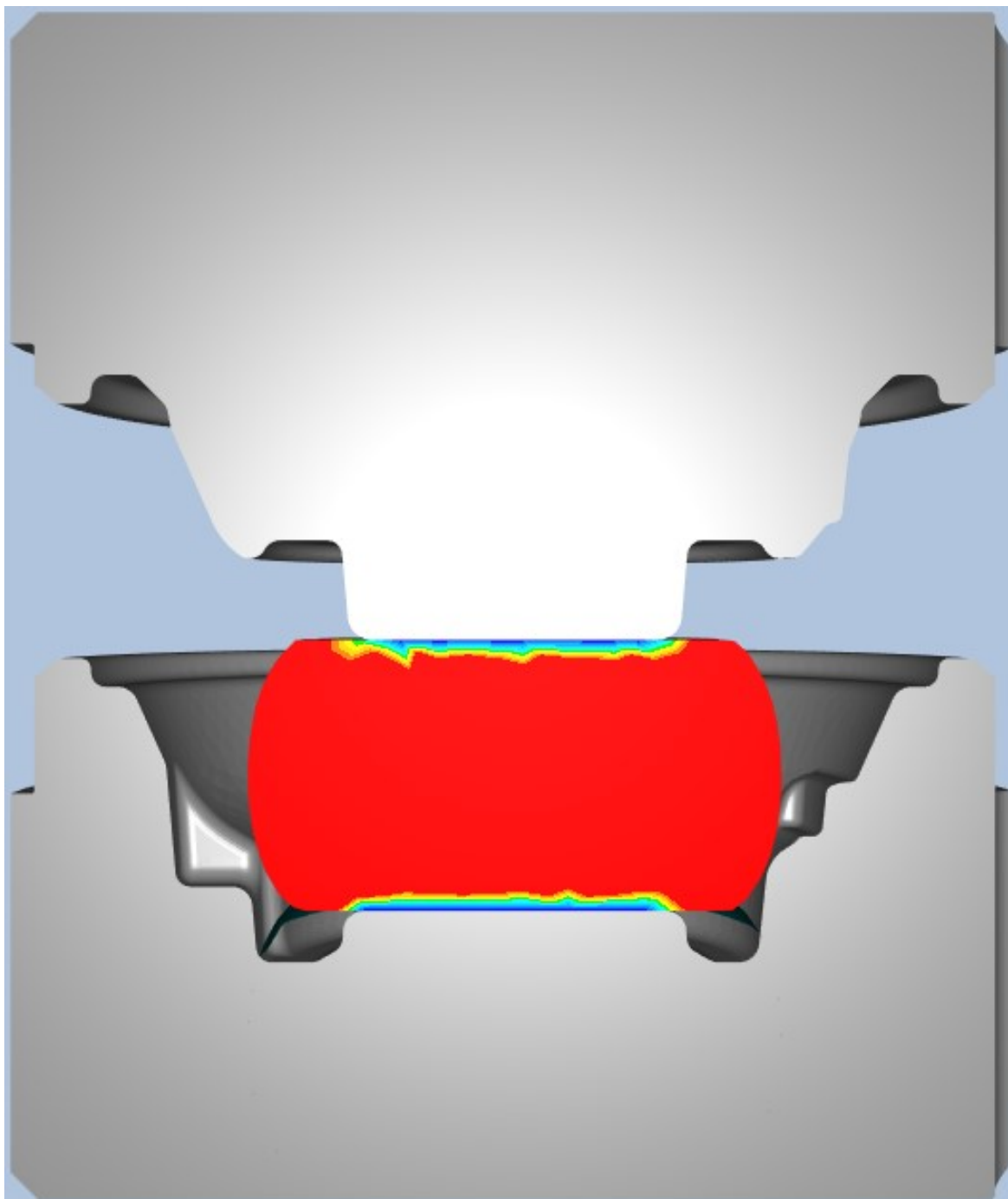
Tyto zápustky jsou poté vloženy do univerzálního držáku zápustek a tvoří tak celkovou sestavu, která je po složení upnuta na kovací stroj.



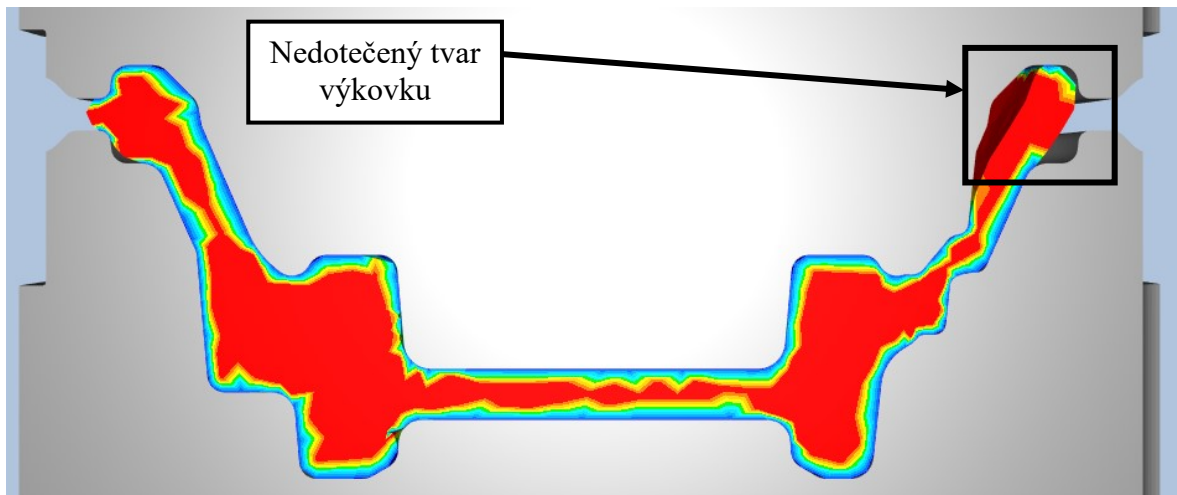
Obrázek 41 Řez sestavou dokovacích zápustek vložena v univerzálních držácích, které jsou upnuty na kovací stroj

### 9.2.3 Výsledky simulací dokovacích nástrojů

Všechny simulace byly provedeny v programu FORGE NX 3.2. První simulace byla provedena pro založení pěchu do dokovací dutiny. Výsledek simulace reprezentuje Contact analýza.

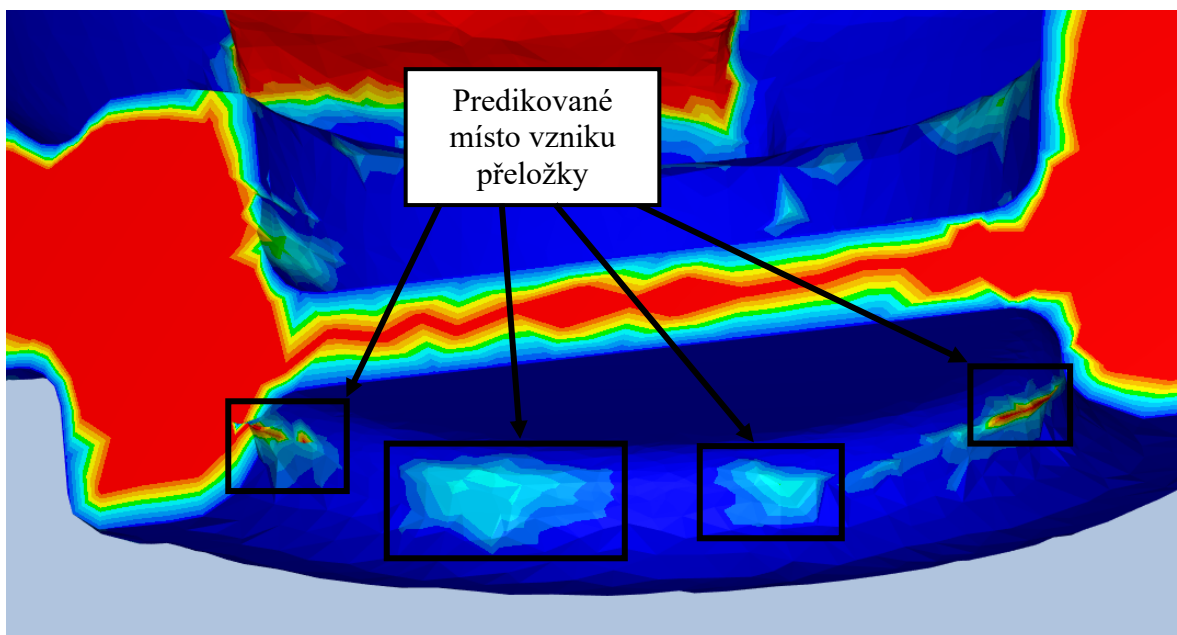


Obrázek 42 První krok Contact simulace dokovacími zápustkami  
Již z průběhu toku materiálu dutinou dokovací zápustky je zřejmá nesouměrnost rozložení materiálu v dutině zápustky, které je příčinou zvýšeného rizika vzniku přeložek.

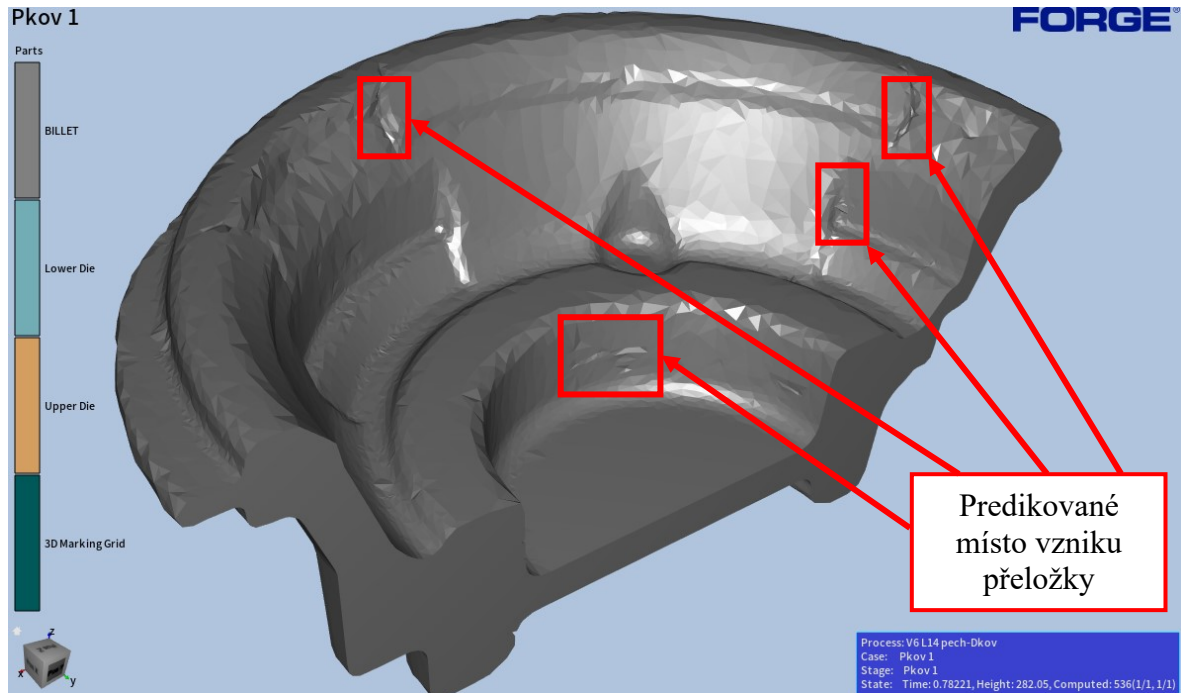


Obrázek 43 Zobrazení toku materiálu dokovacími zápustkami

Na Obrázku 44 je z výsledku simulace zřejmé predikované místo vzniku přeložky na spodní straně výkovku. Z Obrázku 45 je patrný vznik přeložek na horní straně výkovku.



Obrázek 44 Predikce vzniku přeložky na spodní straně výkovku

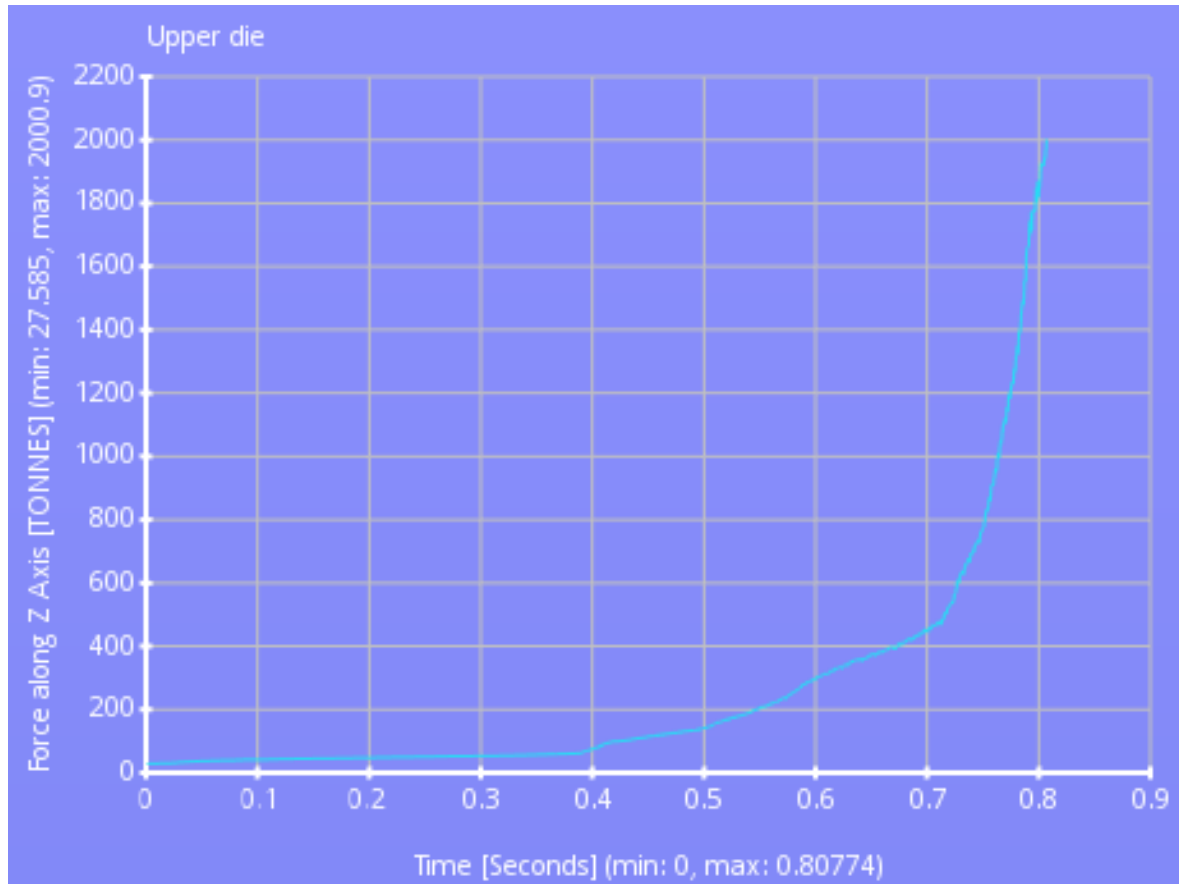


Obrázek 45 Predikce vzniku přeložky na horní straně výkovku

Z těchto simulací je zřejmé, že pro optimální materiálový tok spolu s nízkým opotřebením a eliminací přeložky je nutná konstrukce předkovacích nástrojů. Mezi pěchem a dokováním dochází k většímu přetváření spolu s nemožností využití výronkových zásobníků.

Součástí simulací jsou výsledky tunového zatížení dutin zápustek. Protože do simulace je zadána pouze polovina celkové geometrie všech modelů z důvodu časové úspory při výpočtu, je výsledek tunového zatížení zápustky také poloviční. Pro skutečné hodnoty je nutné tento výsledek vynásobit dvěma.





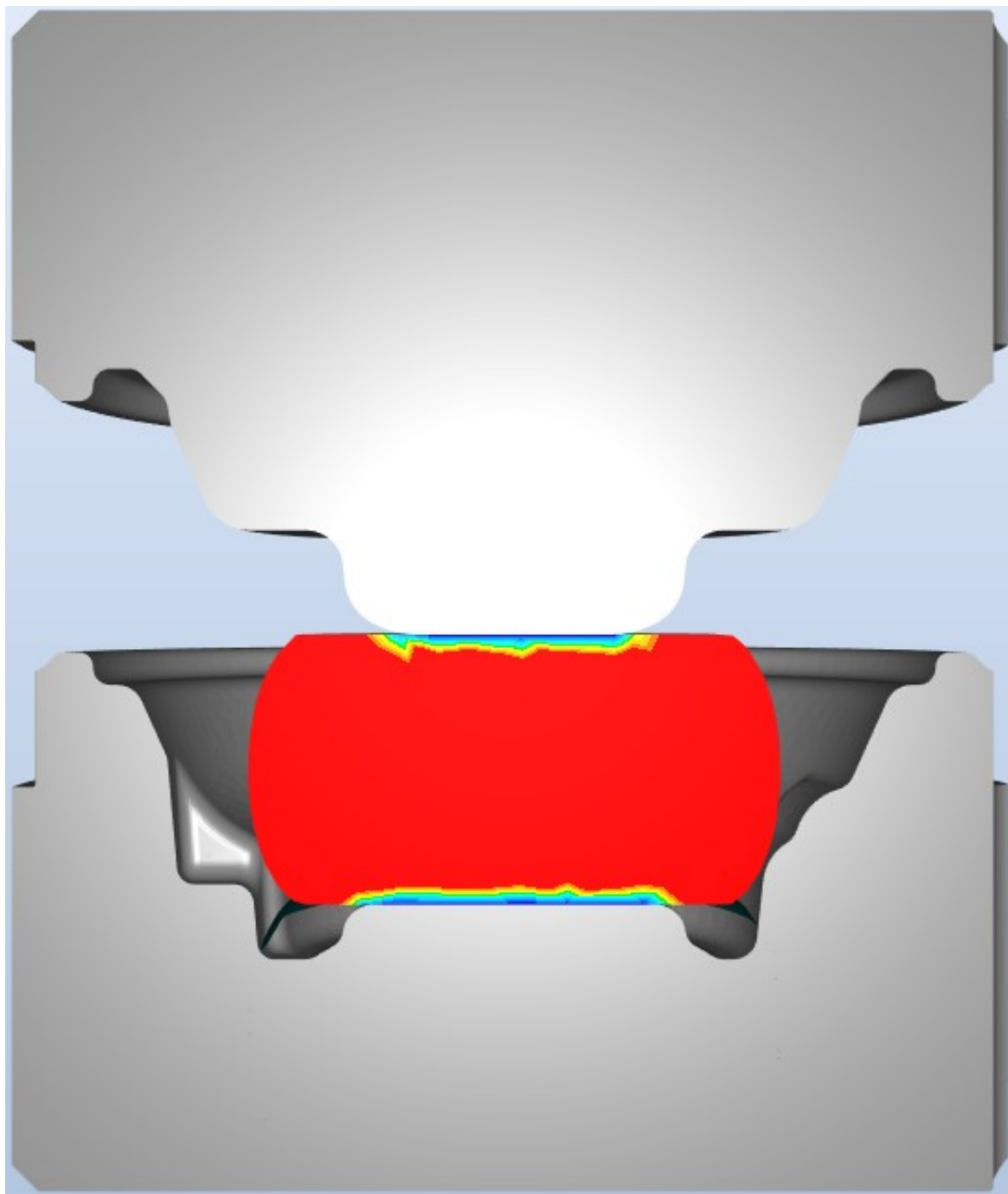
Obrázek 46 Tunové zatížení při pēchování v dokovacích zápustkách

Tunové zatížení při pēchování v dokovacích zápustkách program vyhodnotil jako 2000 tun. Skutečná hodnota tunového zatížení je 4000 tun. Tento výsledek opět potvrzuje nutnost konstrukce předkovacích nástrojů

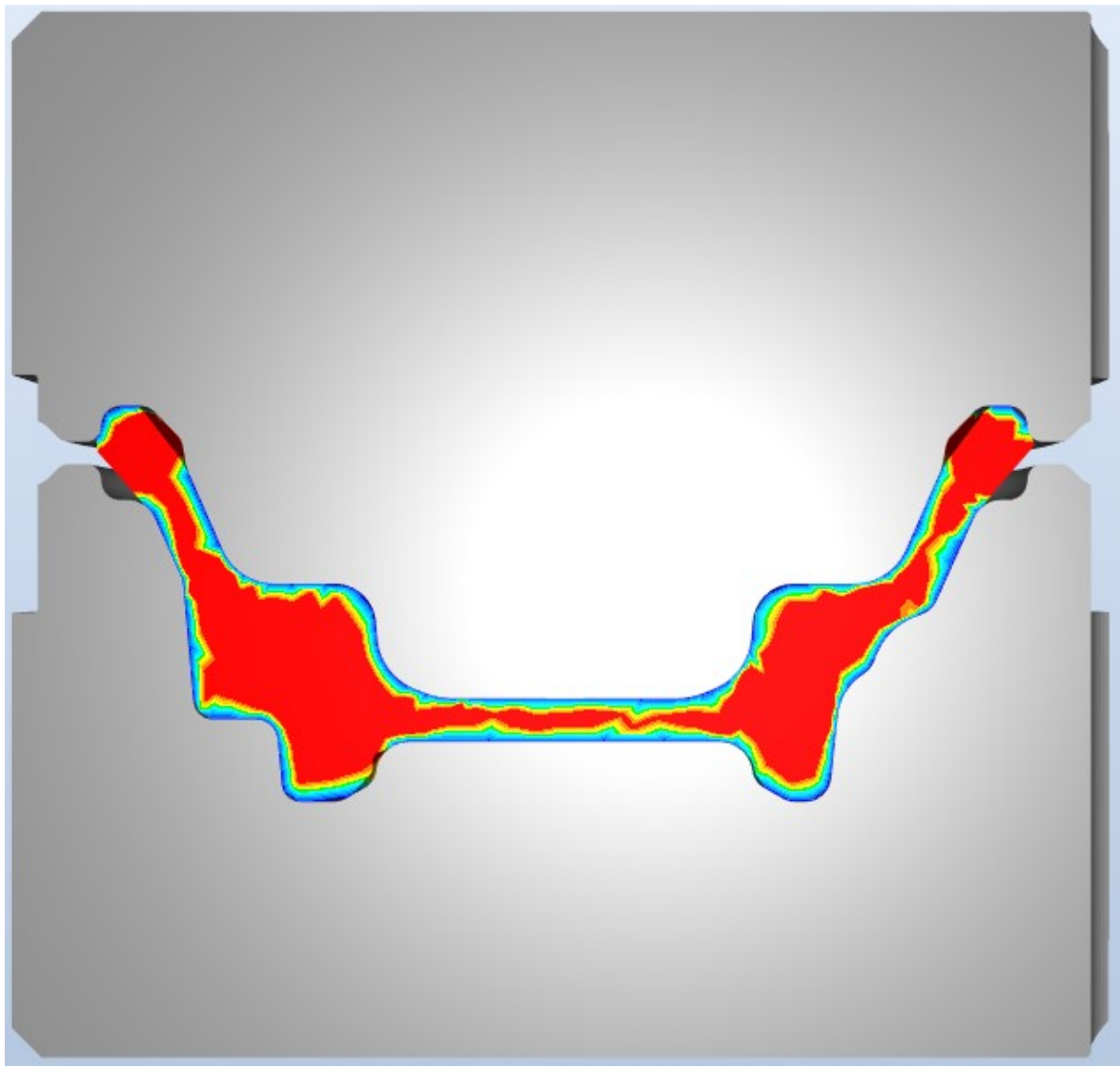
#### 9.2.4 Konstrukce předkovacích nástrojů

Model předkovku byl konstrukčně navržen vyšší, s většími zaobleními a zvětšen přibližně o 5 %, než je tvar výkovku. Následně z modelu předkovku bylo vytvořeno předkovací nářadí stejným principem jako u dokovacího nářadí s ohledem na výsledky simulací z programu FORGE NX 3.2.

### 9.2.5 Výsledky simulací předkovacích nástrojů

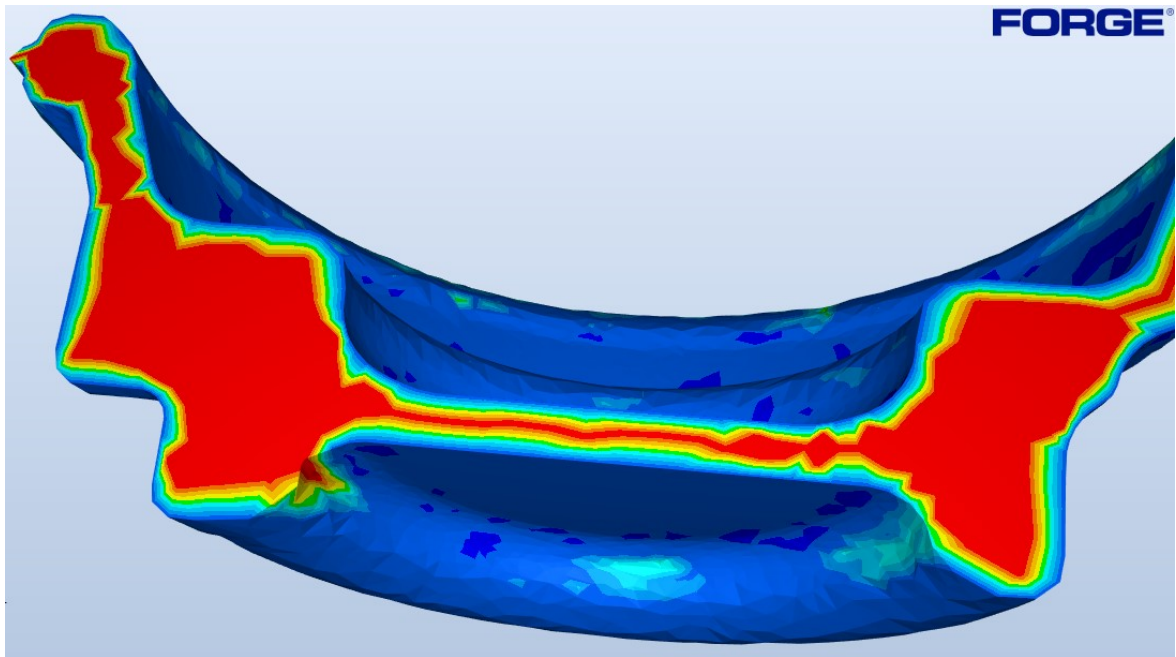


Obrázek 47 První krok Contact simulace předkovacích nástrojů



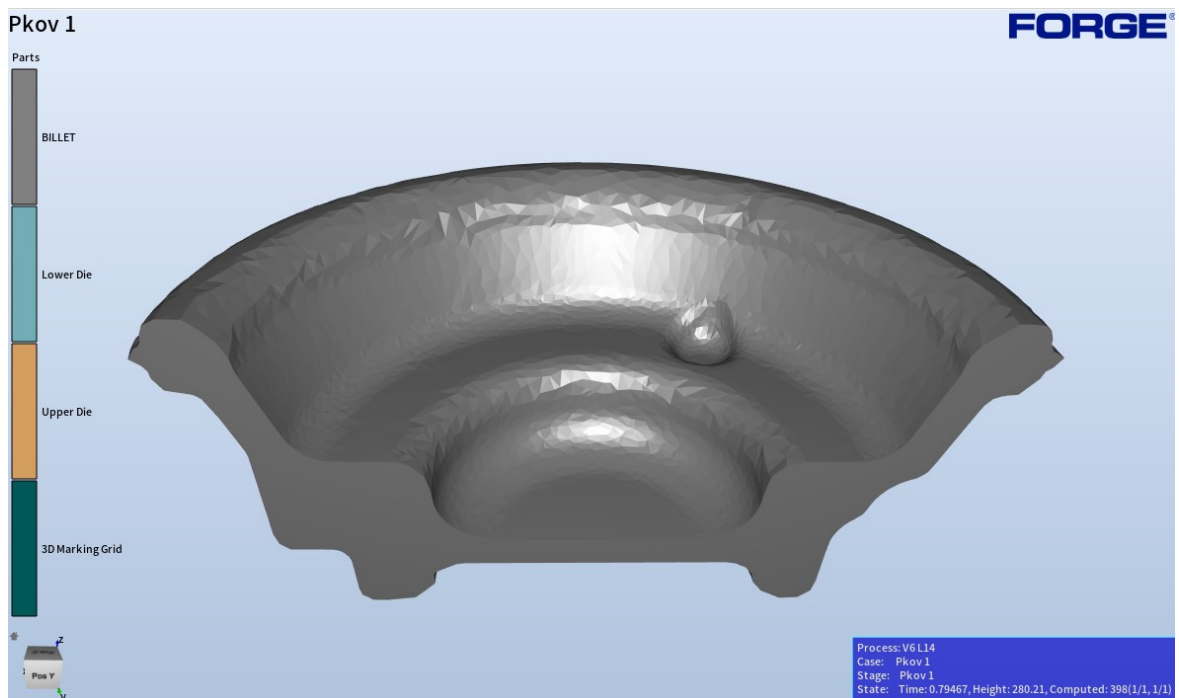
Obrázek 48 Zobrazení toku materiálu předkovacími zápustkami

Z Obrázku 49 a 50 je zřejmé, že nedojde ke vzniku přeložky na spodní ani na horní straně výkovku.

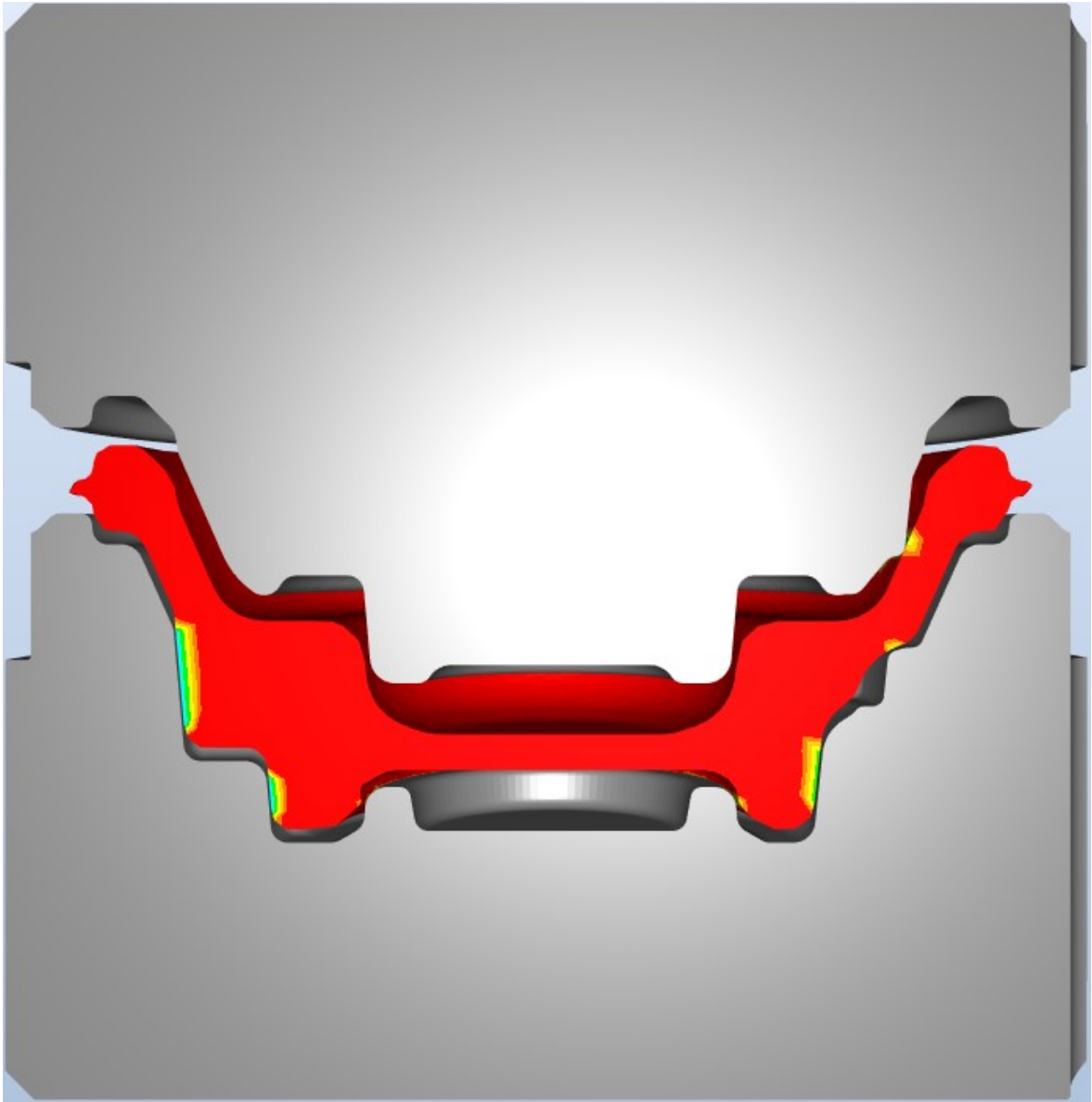


Obrázek 49 Predikce vzniku přeložky na spodní straně předkovku

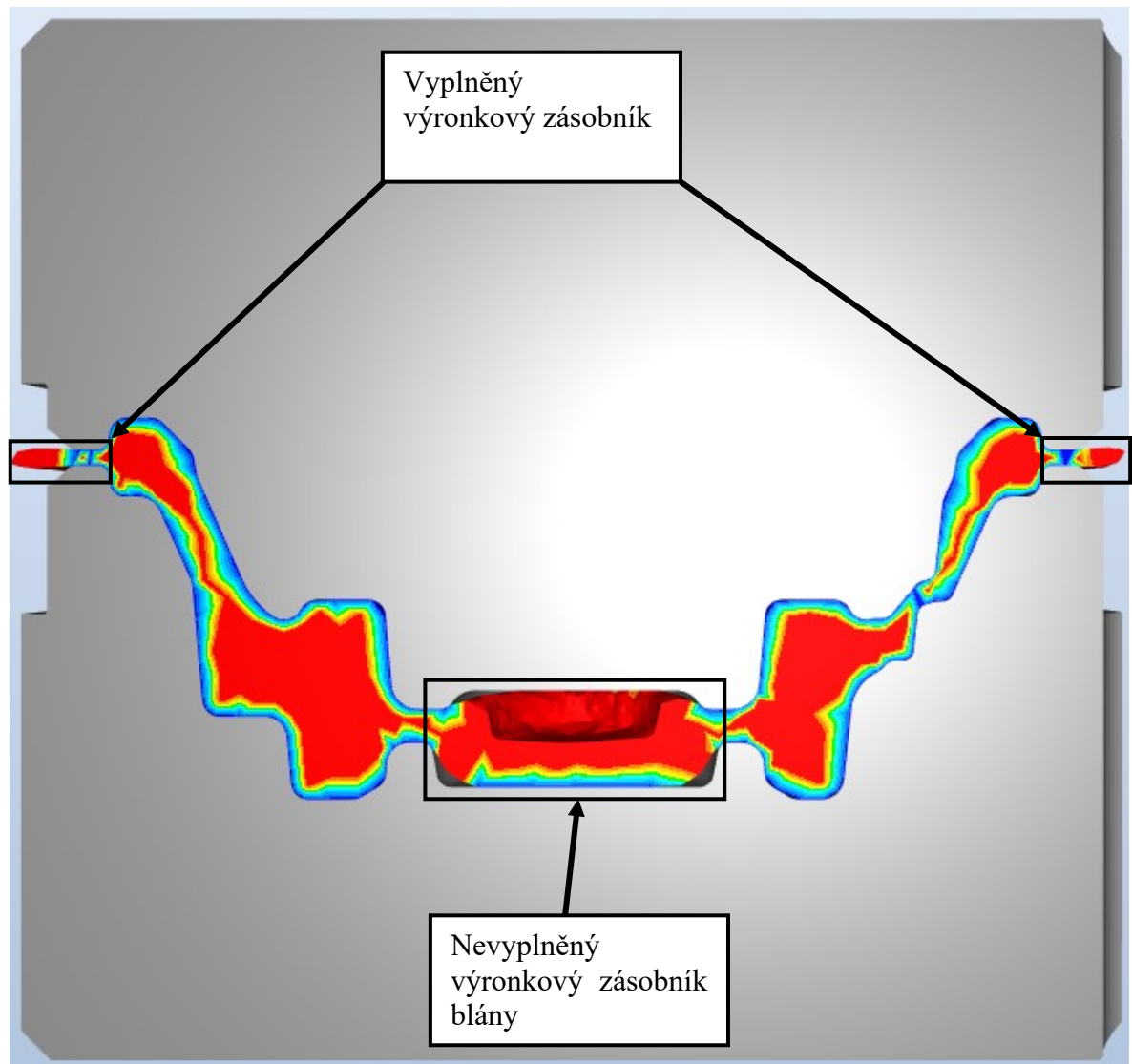
Při pohledu na horní stranu výkovku nedochází ke vzniku přeložek. Tyto přeložky nejsou na první pohled patrné, avšak při podrobnějším zkoumání je lze pozorovat. Nejedná se však o přeložky. Tento nedostatek je způsoben velikostí sítě a bylo by možné jej eliminovat zjemněním sítě. Zjemnění sítě by však přineslo vyšší časovou náročnost výpočtu a tento výsledek je z kovárenského hlediska dostatečný.



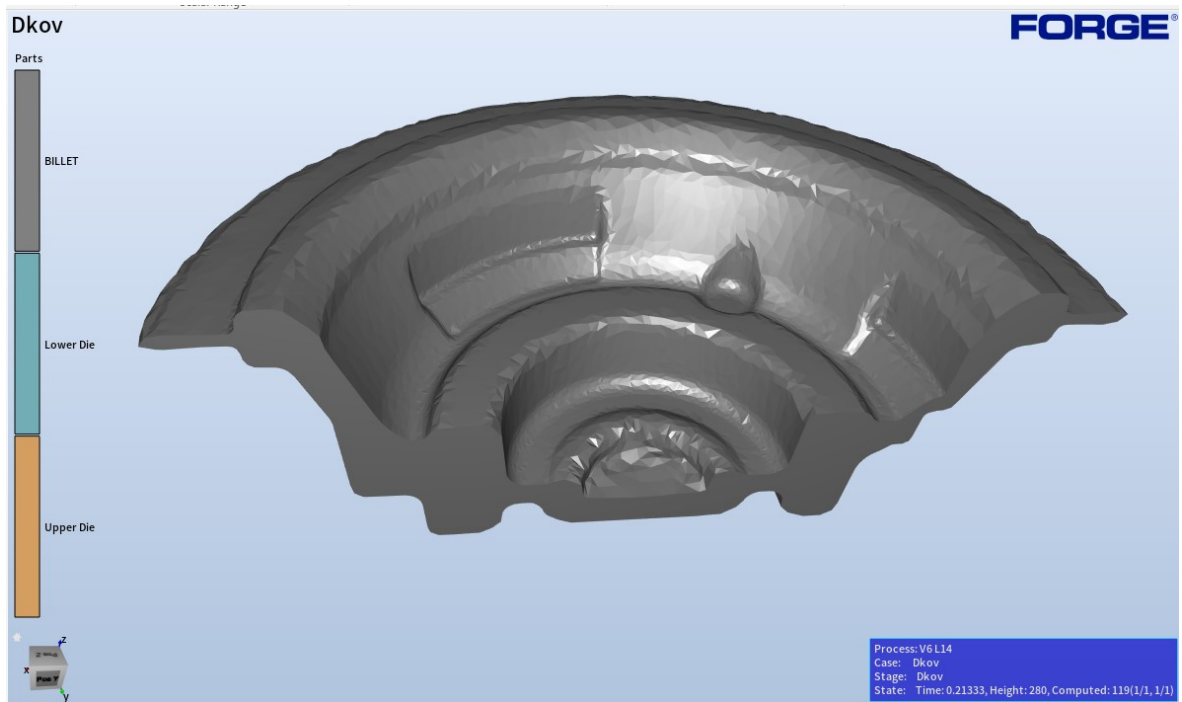
Obrázek 50 Predikce vzniku přeložky na horní straně předkovku



Obrázek 51 Průběh Contact simulace výkovku v dokovacích zápuskách  
První kontakt předkovku v dutině předkovací zápusky. Zápusky jsou opatřeny výronkovými zásobníky v místě blány, aby materiál z blány znovu netekl do zaoblení a nezpůsobil v daném místě přeložku. Zároveň slouží k snížení tunové zátěže při dokování tím, že nedojde k vyplnění tohoto zásobníku.

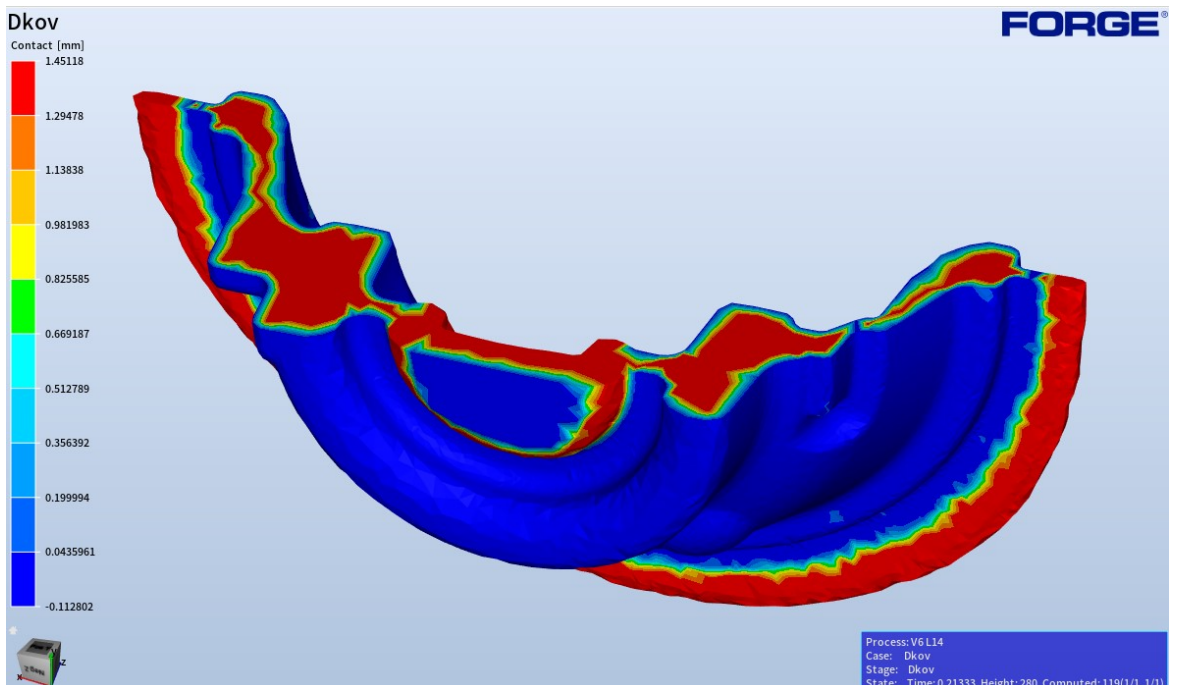


Obrázek 52 Výsledek Contact simulace výkovku v dokovacích zápustkách  
Poslední krok simulace zobrazuje Obrázek 52. Dutiny dokovacích zápustek jsou vyplněny, zásobníky jsou nevyplněny.



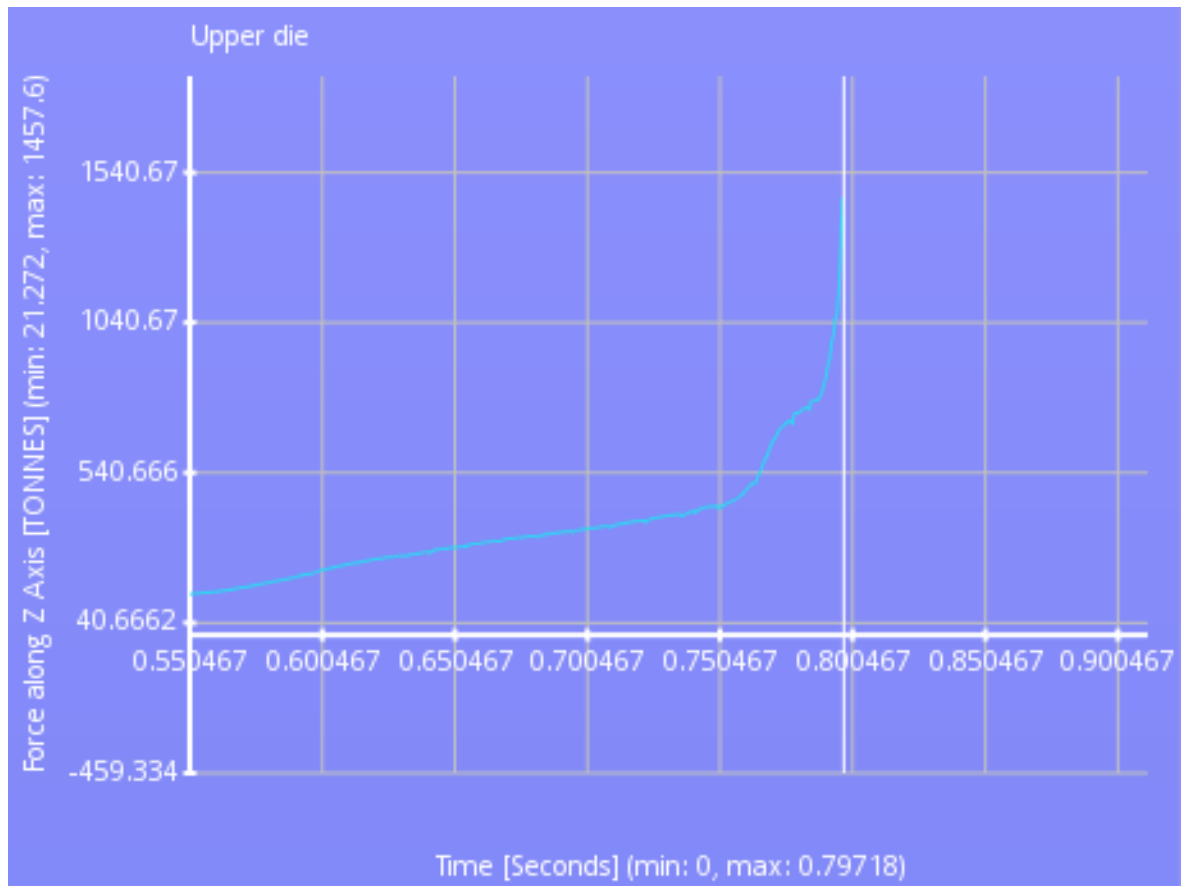
Obrázek 53 Pohled na horní stranu výkovku

Ze simulace, zobrazené na Obrázku 53 a 54, je zřejmé, že k přeložce nedojde na horní ani spodní straně výkovku. Dutiny zápustek jsou plně dotečeny.



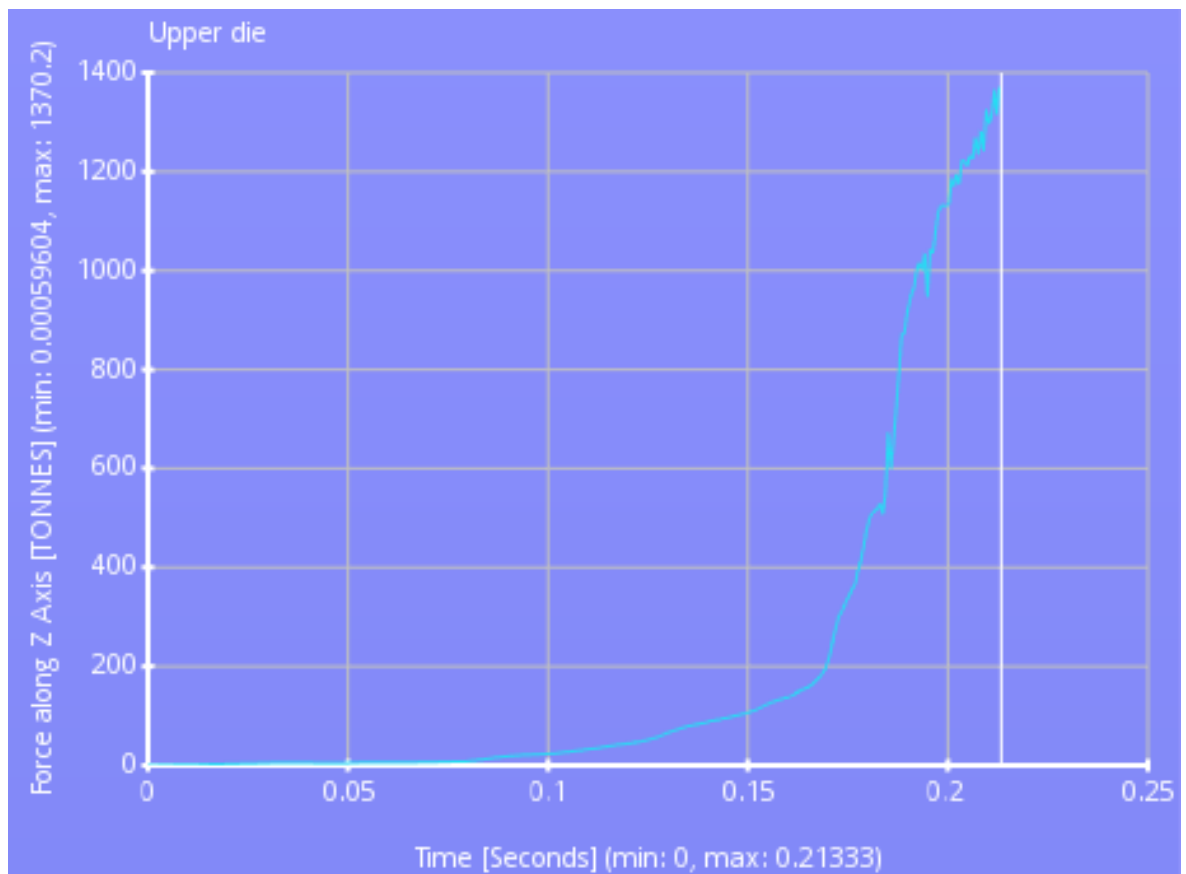
Obrázek 54 Pohled na spodní stranu výkovku

Díky konstrukční úpravě, popsané na začátku kapitoly 9.2.4, byl vhodněji usměrněn tok materiálu v dutině zápustek. Důsledkem toho bylo snížení tunové zatížení v dutině dokovacích zápustek ze 4000 tun na 2740 tun, jak dokazuje Obrázek 56.



Obrázek 55 Tunové zatížení při předkovací operaci





Obrázek 56 Tunové zatížení při dokovací operaci

## 10 KONSTRUKCE DĚROVACÍHO NÁSTROJE

Po kovací operaci se na výkovku nachází konstrukční elementy, konkrétně blána a výronek. Tyto elementy bylo nutné odstranit z výkovku pomocí operace stříhání za tepla. Dále bylo nutné vyděrovat otvory na obvodu výkovku. K ostřihovacím operacím byla zkonstruována postupová zápustka z důvodu jednoduché konstrukce a nižších nákladů. Nejprve došlo k ostřížení blány, které bylo uskutečněno jedním středovým a třemi tvarovými razníky. Výkovek byl poté přemístěn do následující zápustky, ve které došlo k ostřížení výronku.

### 10.1 Stanovení děrovací síly

Pro určení síly potřebné k vyděrování blány platí vztah:

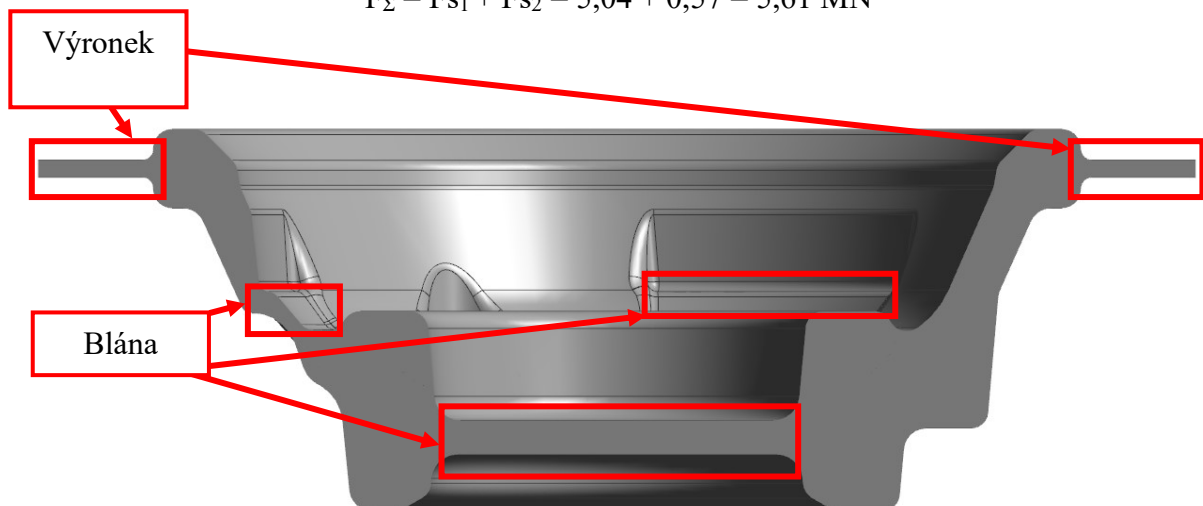
$$F_{S1} = L_1 \cdot s_1 \cdot \sigma_{Pt} \cdot 10^{-6} = 311 \cdot 9 \cdot 180 \cdot 10^{-6} = 5,04 \text{ MN}$$

Analogicky pro určení síly potřebné k vyděrování výronku platí:

$$F_{S2} = L_2 \cdot s_2 \cdot \sigma_{Pt} \cdot 10^{-6} = 794 \cdot 4 \cdot 180 \cdot 10^{-6} = 0,57 \text{ MN}$$

Celková síla potřebná k ostříhu blány s výronkem je tedy:

$$F_{\Sigma} = F_{S1} + F_{S2} = 5,04 + 0,57 = 5,61 \text{ MN}$$



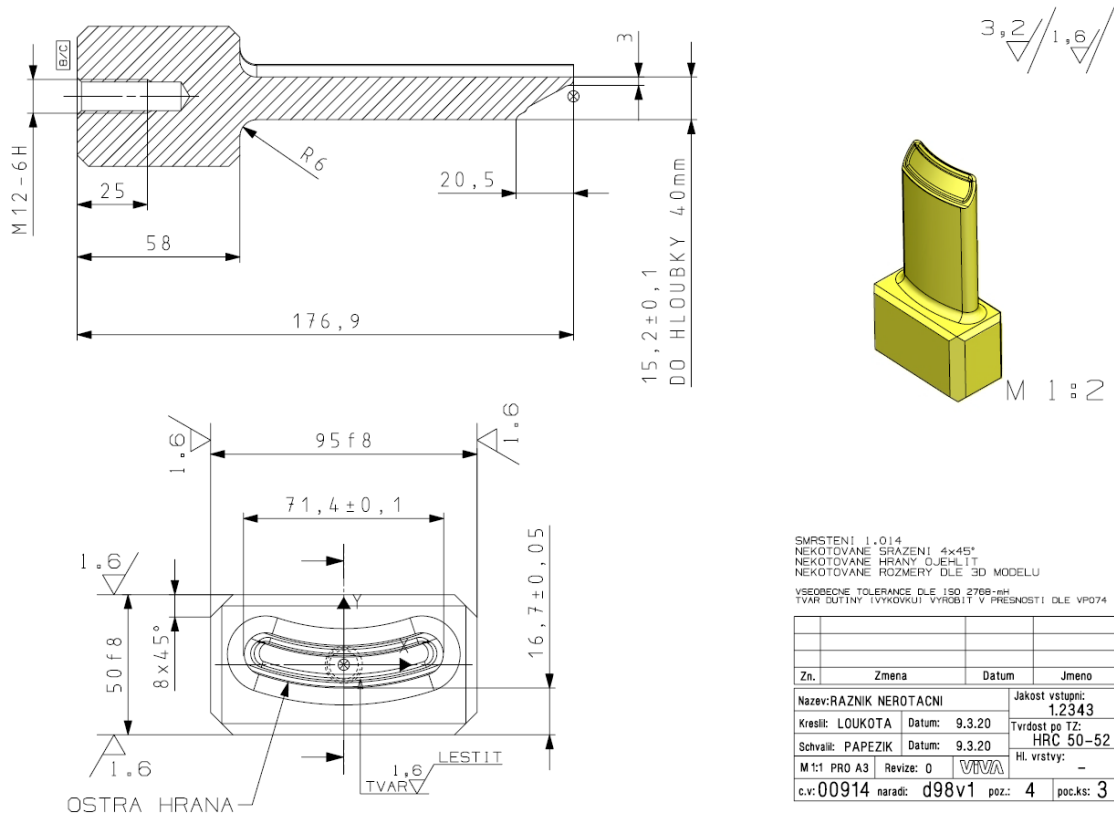
Obrázek 57 Model výkovku po dokovací operaci s funkčními částmi, které budou odstraněny děrováním

### 10.2 Konstrukce tvarového razníku

Na základě technických informací od zákazníka bylo nutné, mimo ostříhu výronku a vyděrování středové blány, vyděrovat také tři tvarové díry na výkovku. Konstrukce tvarového razníku vychází obecně z požadovaného tvaru, který je nutné vyděrovat. Díky této

informaci nelze významně upravovat funkční část střížného nástroje, ale pouze v intervalu kovárenských tolerancí vycházejících z normy pro návrh výkovku.

Princip vzniku tohoto tvarového razníku bylo vyfrézováním z tyčového polotovaru kruhového průřezu. Polotovar byl zvolen o průměru 100 mm.



Obrázek 58 První verze tvarového razníku

### 10.3 Analýza kovacího procesu a namáhání razníků

Pro vhodnou optimalizaci ostříhovacího nástroje byla provedena FEM simulace děrování programu Forge NX 3.2.

#### 10.3.1 Vstupní data do simulace

Materiál výkovku byl zvolen 38MnVS6. Kovací teplota byla zvolena 1235 °C. Teplota v okolí výkovku 50 °C. Simulace děrování probíhá bez mazání. Byl zvolen střední přestup tepla. Teplota na razníku, raznici a tvarovém razníku byla zvolena 100 °C.

Byla zvolena prostorová trojúhelníková síť o velikosti elementu 3 mm. Pro přesnější výpočet byla síť zjemněna v místech, kde došlo k děrování, konkrétně na 1 mm.

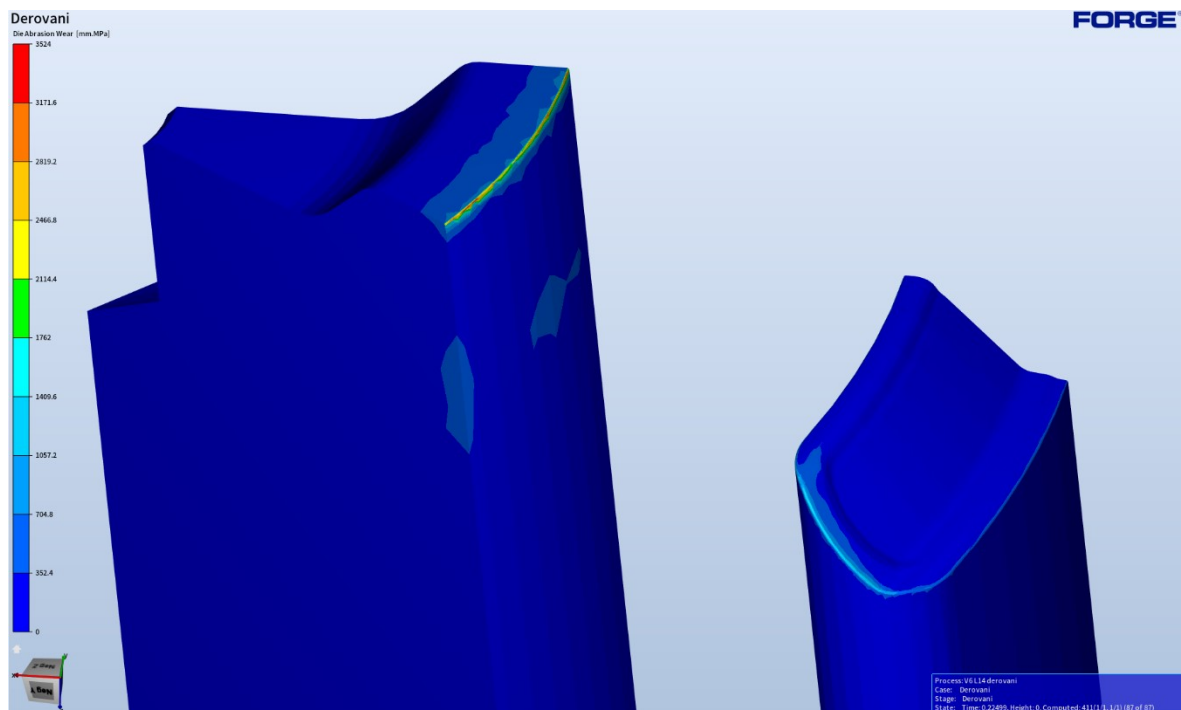
Pro tuto simulaci bylo nutné zvolit hodnotu kritéria podle Lathama a Crofta. Toto kritérium ve výpočetním programu odmazalo jednotlivé elementy, jejichž hodnota překročila hodnotu

plastické deformace, a tedy došlo oddělení materiálu výkovku. Pro přesnější výpočet by bylo vhodné zmenšit velikost elementů, ale skrz časovou náročnost výpočtu nebylo realizováno. Hodnota tohoto kritéria byla zvolena 0,5. K simulaci bylo použito 6 výpočtových jader. Doba výpočtu byla přibližně 150 minut.

### 10.3.2 Celková analýza opotřebení děrovacího nástroje

Analýzou opotřebení středového razníku bylo zjištěno, že k největšímu opotřebení dochází na horní části střižné hrany, a to v rozmezí 3172 - 3524 mm.MPa. To znamená, že byla překročena mez plastické deformace zvoleného materiálu razníku 1.2343 a dojde k opotřebení střižné hrany. Avšak jedná se pouze o jeden děrovací cyklus. Program umí spočítat i více cyklů, kdy narůstá opotřebení nástroje. Tyto výpočty jsou však časově velmi náročné a v technické praxi se s nimi takřka nepracuje.

Největší opotřebení tvarového razníku dochází na horní (funkční) části symetricky na levé a pravé straně a to hodnotou v rozmezí 1410 – 1440 mm.MPa. Tato hodnota je v dovořených mezích pevnosti zvoleného materiálu, ale cyklickým namáháním bude docházet k opotřebení ploch s nejvyššími hodnotami takovými, které jsou zobrazeny na Obrázku 59.



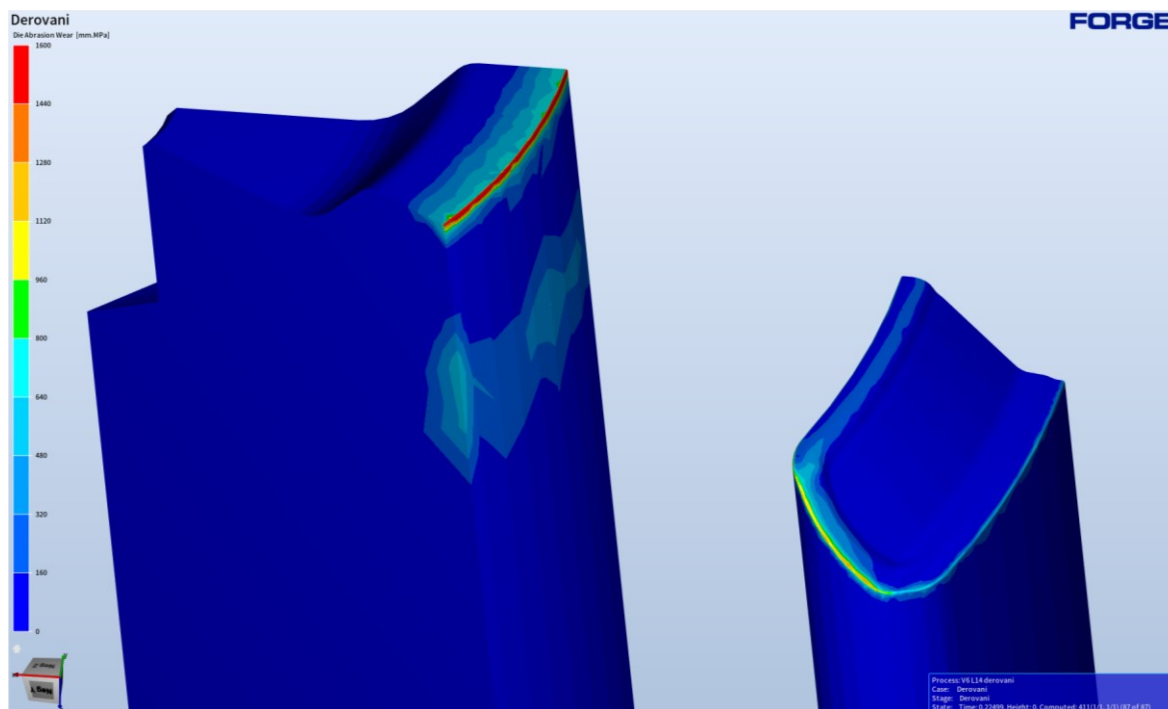
Obrázek 59 Výsledek celkové analýzy opotřebení děrovacího nástroje

### 10.3.3 Analýza životnosti děrovacího nástroje

Analýza značí, na které části nástroje dojde k prvnímu znatelnému opotřebení cca za 3 výkovky.

Pole opotřebení je podobné s polem z první analýzy, tedy na hraně děrovacího nástroje. Byly omezeny hodnoty pevnosti děrovacích nástrojů. Tím byla zobrazena další místa, která budou cyklickým namáháním pravděpodobně opotřebena. Přibyla další místa opotřebení v místech středu válcové části středového razníku.

Pole opotřebení na tvarovém razníku bylo také rozšířeno a nabylo dalších ploch. Toto indikuje, ve kterých místech dojde k prvnímu opotřebení.



Obrázek 60 Výsledek analýzy životnosti děrovacího nástroje

## 10.4 První zkouška kování

### 10.4.1 Volba vhodnějšího kovacího stroje

Vhodnější stroj, kterým Kovárna VIVA a.s. disponuje, byl místo LVH 2500 zvolen LZK 4000B. Na kovacím stroji byly upnuty dvě sestavy, konkrétně předkovacích a dokovacích zápustek. Stroj uvádí posledních pět hodnot, historii tvářecích sil je možné najít v datech

stroje. Řádek jedna, tři a pět jsou dokovací hodnoty tvářecích sil. Řádek dva a čtyři představují hodnoty předkovacích tvářecích sil.

	SÍLA
1	2647
2	2274
3	2655
4	2275
5	2642

Obrázek 61 Skutečné hodnoty tvářecí síly ze svislého kovacího lisu LZK 4000B Výpočet z kapitoly 9.1.2. uvádí hodnotu tvářecí síly, tedy hodnoty, která je nutná k funkčnosti procesu kování, celkem 1706 tun. Tento výpočet byl pouze orientační. Hodnoty na Obrázku 61 značí, že hodnota tvářecí síly je podstatně vyšší, než jaká byla zjištěna výpočtem. Tuto skutečnost potvrzují výsledky simulací na Obrázcích 55 a 56 a proto bylo nutná volba odlišného kovacího stroje.

#### TECHNICKÁ DATA

		LZK 4000 B
Jmenovitá tvářecí síla	kN	40000
Sevření	mm	1000
Průchod	mm	1580
Upínací plocha stolu	mm	1520x1600
Upínací plocha beranu	mm	1470x1500
Hydraulické přestavení beranu	mm	20
Zdvih/Počet zdvihů	mm/min-1	380/60
Instalovaný výkon	kW	200
Rozměry stroje d*s*v	m	4,6*4,7*7,6
Přestavování beranu	-	hydraulické
Uvolňování beranu	-	hydraulické

Obrázek 62 Technické specifikace svislého kovacího lisu LZK 4000 B

### 10.4.2 Tvarový razník

Jako materiál razníku byla zvolena ocel s označením ČSN 19 552 (DIN 1.2343). Z Obrázku 63 je patrné nežádoucí opotřebení funkční plochy razníku. Byl nalezena shoda, že tato ocel je nedostatečná vzhledem k brzkému a značnému opotřebení funkčních částí razníku.



Obrázek 63 Opotřebené tvarové razníky (první verze) z oceli ČSN 19 552 po kovací operaci

### 10.4.3 Výkovek po první zkoušce kování

Během děrovací operace došlo ke vzniku nežádoucího opotřebení na kovaném díle, které bylo způsobeno poškozeným razníkem. Bylo nutné eliminovat tento otřep, jelikož by dále došlo ke vzniku dalších zmetků. Je zřejmé, že tento otřep na výkovku byl důsledkem opotřebením na funkční ploše razníku.



Obrázek 64 Nežádoucí otřep na 1500. výkovku důsledkem opotřebení tvarového razníku

### 10.5 Druhá verze tvarového razníku

Děrovací operaci prováděly tři mimostředné tvarové razníky, které byly navrženy pro tři tvarové díry, které se nachází na šikmé ploše. Za poměrně krátký časový interval, kdy byl během první zkoušky kování vykován poměrně nízký počet výkovků, než byl plánován, byl zaznamenán projev významného opotřebení na výkovicích i tvarových raznících. Při děrovací operaci došlo k opotřebení funkční části tvarového razníku, konkrétně hrany i boční plochy. Příčina opotřebení tvarového razníku byla způsobena šikmou plochou, která způsobila vysoké tření, a tedy zvýšenou technickou náročnost děrovací operace, jehož důsledkem bylo opotřebení razníku spolu s výkovky. Dále bylo opotřebení způsobeno ohybem razníku, jehož následkem byla deformace děr spolu se vznikem otřepu na výkovku, jako je zobrazeno na Obrázku 64. Také dráha děrování je poměrně dlouhá a v průběhu kování dojde k postupnému ochlazení materiálu razníku (od jádra směrem k děrované hraně) což se projevilo třením, a tedy dalším opotřebením.

S podobnou problematikou děrování tvarové šikmé plochy byla Kovárna VIVA a.s. seznámena poměrně nedávno a je tedy znatelná absence zkušeností s podobnými projekty. Po zkušenostech z technické praxe a konzultacích s projektovým oddělením bylo dospěno



k závěru, že je nutné tvarový razník zásadně upravit. Po první zkoušce kování byl zvolen vhodnější materiál. Dále byly provedeny úpravy středící části. Následně byly provedeny další úpravy, které přidaly výztužnou část tvarového razníku. Tvarový razník lze podle funkce rozdělit na tři části, které jsou zobrazeny na Obrázku 67.

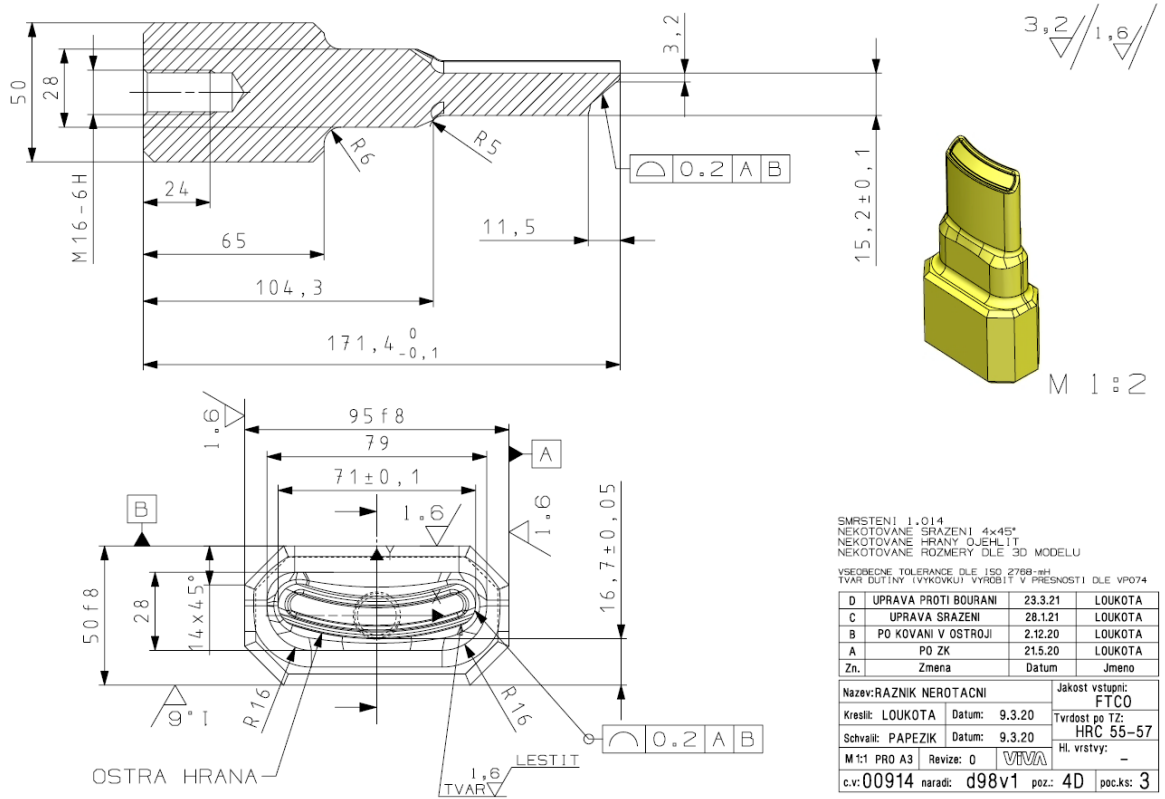
### 10.5.1 Volba materiálu tvarového razníku s vhodnějšími vlastnostmi

Od nového materiálu byly požadovány primárně vlastnosti, jako jsou splnění plánované životnosti kovacíh nástrojů, vysoká produktivita výroby, kvalita renovační technologie a nízké pořizovací náklady.

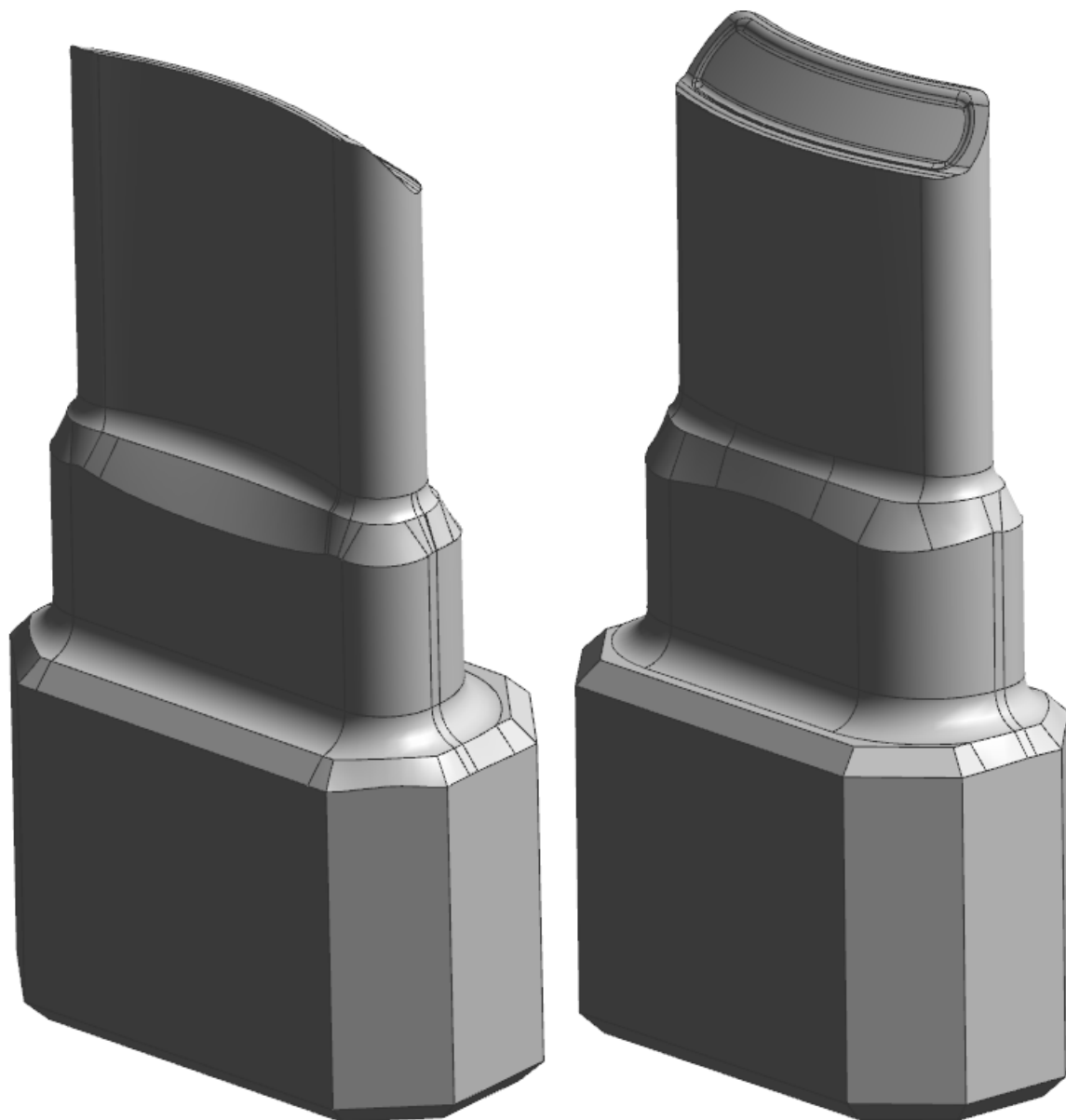
Jako náhrada oceli ČSN 19 552 (W.Nr. 1.2343) byla zvolena nástrojová ocel s označením FTCo. Tato ocel byla zvolena z důvodu vyšší oteřuvzdornosti a pevnosti. Touto ocelí běžně disponuje Kovárna VIVA a.s. a je standardně používána v projektech, kde je běžná nástrojová ocel ČSN 19 552 nedostatečná.

Tabulka 6 Porovnání chemického složení oceli ČSN 19 552 a oceli FTCo

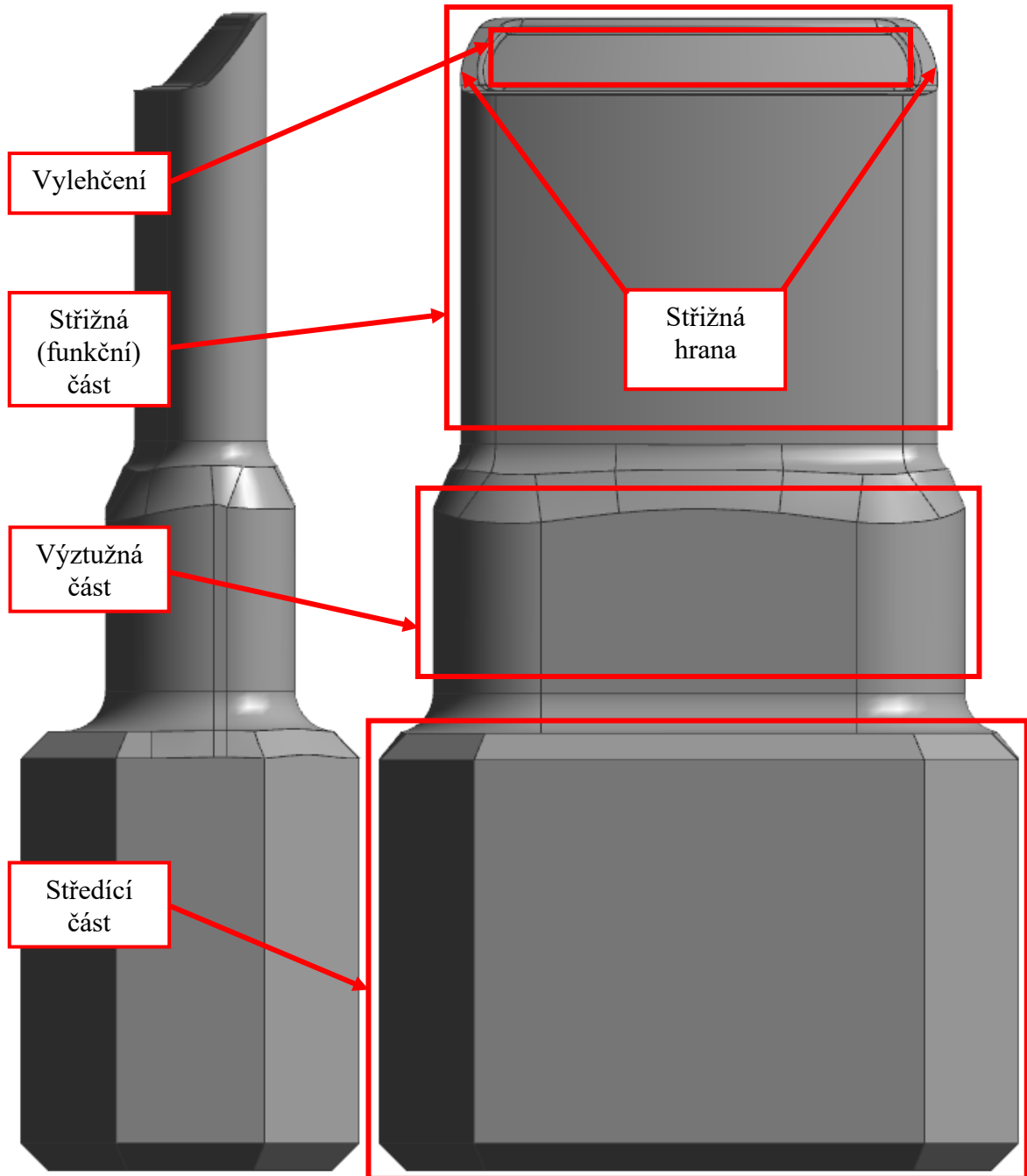
Chemické složení oceli ČSN 19 552 [hm. %]							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
0,36-42	0,90-1,20	0,30-0,50	max 0,03	max 0,03	4,80-5,50	1,10-1,40	0,25-0,50
Chemické složení oceli FTCo [hm. %]							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
0,53	0,26	0,40	0,02	0,002	3,8	1,98	1,10



Obrázek 65 Druhá verze tvarového razníku

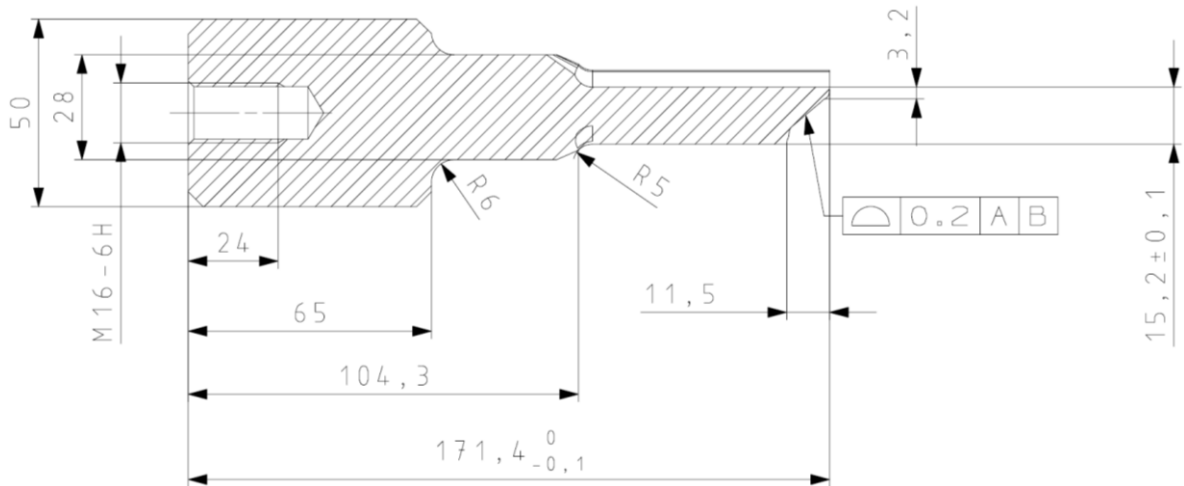


Obrázek 66 Model tvarového razníku



Obrázek 67 Části tvarového razníku

Funkční část koná děrovací úkon. Na této části se nachází vylehčení, které napomáhá funkční části setrvat ve své základní pozici. Vylehčením je zamezeno razníku děrovat jinou část výkovku, než je požadována a zároveň je to prevence proti deformacím blány vzniklým při děrování. Délka této části byla zvolena 66 mm (51,6 mm + 10 mm rezerva pro přestavení stroje), viz Obrázek 68.

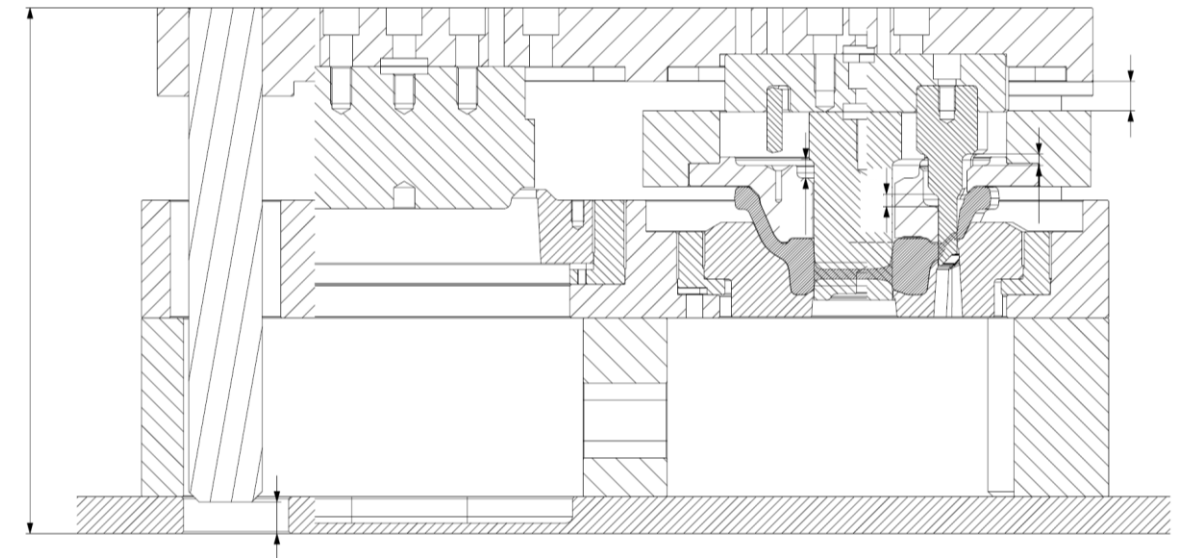


Obrázek 68 Základní rozměry tvarového razníku

Cílem výztužné části je zvýšení tuhosti a pevnosti tvarového razníku. Tato část je tvarová kvůli stěrači a zároveň zajistí vůli nezbytnou ke chlazení tvarového razníku. Výztužná část také napomohla eliminovat chvění během obrábění.

Poslední částí je středící část, která slouží ke vhodnému zapolohování razníku v sestavě ostříhu.

## 10.6 Sestava ostříhu



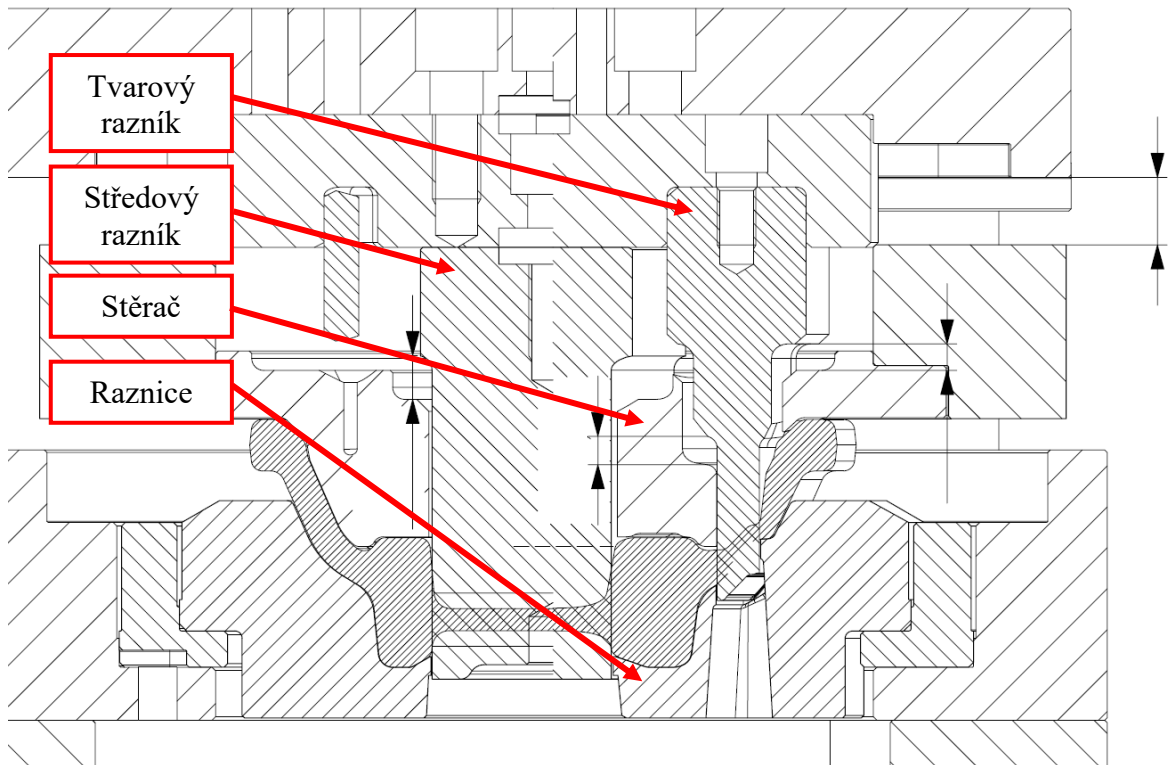
Obrázek 69 Sestava ostříhu v dolní úvrati

Na Obrázku 69 je zobrazena sestava ostříhu v dolní úvrati. Na Obrázku 70 je zobrazen detail sestavy ostříhu. Sestava ostříhu je sestavena z více komponentů, těmi nejdůležitějšími jsou razník a raznice. Tvarový razník provádí děrovací operaci tří mimostředních děr na výkovku. Středový razník děruje blánu na středu výkovku. Stěrač stírá výkovek z razníků

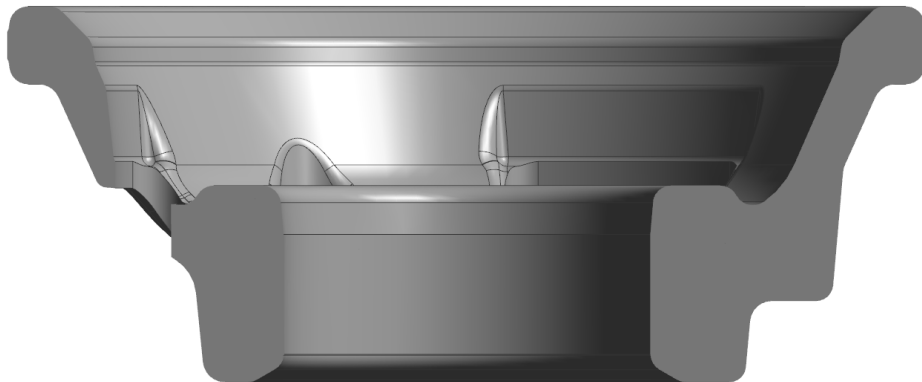
a zároveň brání tvarovým razníkům proti deformaci ohybem. Raznice byla zkonstruována celistvá s ohledem na tvar blány. Na raznici se nachází střižná vůle z důvodu eliminace jehly na výkovku. Jako děrovací stroj byl zvolen ořezávací lis od výrobce Voroněž KG2538 s maximální silou 630 tun, kterým firma disponuje.

Tabulka 7 Technické specifikace děrovacího stroje Voroněž 630

<b>Děrovací stroj Voroněž 630</b>	
Maximální tvářecí síla [tun]	630
Délka zdvihu jezdce [mm]	320
Počet chodů posuvníku [za minutu]	20
Maximální vzdálenost mezi kolébkou a beranem [mm]	800
Nastavení [mm]	180
Rozměr stolu [mm]	1250x1250
Celkové rozměry jezdce [mm]	1200x1000
Otvor ve stole [mm]	800x800
Rozměry okna v lících [mm]	750x400
Hydropneumatický polštář [-]	k dispozici
Celkové rozměry lisu [mm]	3659x3680x6370
Hmotnost lisu [kg]	55500



Obrázek 70 Detail sestavy ostříhu



Obrázek 71 Výkovek po ostřížení a vyděrování výkovku

## 10.7 Druhá zkouška kování

Od druhé zkoušky kování bylo očekáváno vykování požadovaného množství 2500. kusů, které odpovídá jedné dávce.

### 10.7.1 Nový tvarový razník před kovací operací

Byla provedena druhá zkouška kování s tvarovými razníky, u kterých byla zvolena vhodnější ocel spolu s vhodnou úpravou konstrukce. Tyto úpravy byly podrobněji popsány v předchozích kapitole 10.5.a 10.5.1.



Obrázek 72 Nový celistvý razník z oceli FTCo, před kovací operací

### 10.7.2 Výkovek po kovací operaci

Výkovky jsou podle dat od výstupní kontroly a vizuální kontroly vhodné. Tato skutečnost byla způsobena volbou odlišné oceli, jejímž důsledkem byla eliminace nežádoucích otřepů a jehel na výkovicích jako je patrné na Obrázku 73 až 75.





Obrázek 73 Výkovek po odkování cca 500 ks



Obrázek 74 Výkovek po odkování cca 1500 ks



Obrázek 75 Výkovek po odkování 2500 ks

### 10.7.3 Tvarový razník po kovací operaci



Obrázek 76 Detailní pohled na opotřebené tvarové razníky z FTCo po konci kování 2500 kusů

Razníky po odkování požadovaného množství 2500 výkovků jsou opotřebené, avšak podstatně méně než u první zkoušky kování. Toto řešení, byť splňuje požadované vlastnosti dříve požadované, je nevhodné, neboť tato ocel má vysoké materiálové náklady. Navíc polotovar pro výrobu tohoto razníku je dodáván ve formě tyčí kruhových průřezů, v poměrně úzkém intervalu definovaných průměrů. Díky tomu je 7,5 kg (71 %) materiálu přeměněno na odpad, který již z pohledu Kovárny VIVA a.s. nemá další efektivní využití.

## 10.8 Třetí zkouška kování

### 10.8.1 Renovace tvarových razníků návarem

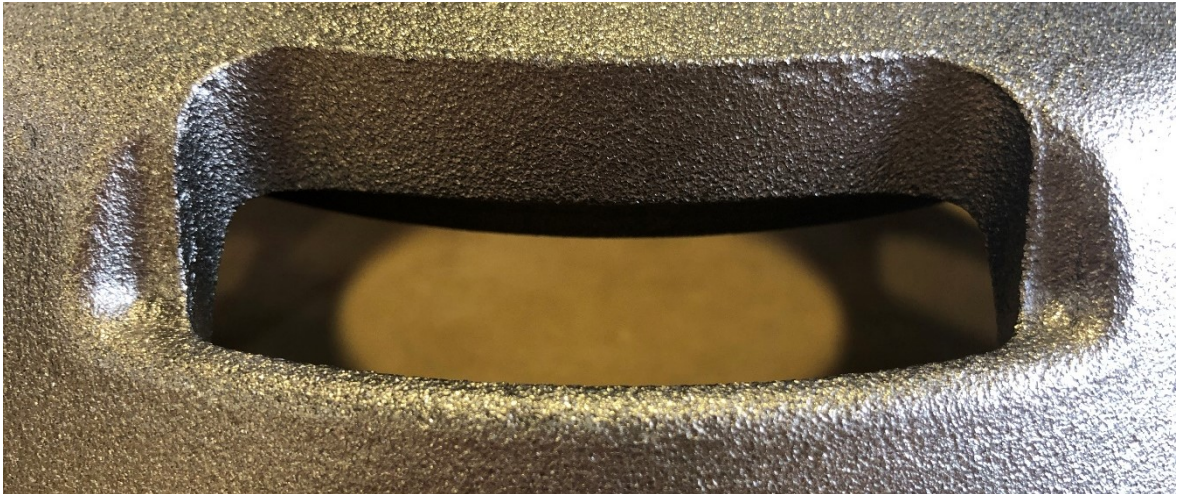
S cílem využití maximální životnosti kovacího nářadí byla provedena renovace tvarových razníků z ČSN 19 552 oceli. Renovována byla pouze funkční část tvarového razníku. K renovaci byly použity svařovací elektrody, které firma běžně používá k renovačním

metodám. Tato renovace dodala další životnost tvarových razníků pro děrovací operace. Tvarové razníky byly navařeny elektrodami s označením Capilla 66. Jedná se o návarové elektrody, pro nástrojové oceli. Funkční plocha by díky těmto elektrodám měla z návaru získat potřebnou odolnost a tvrdost.

S těmito renovovanými tvarovými razníky bylo vykováno 2000 výkovků, což bylo množství menší, než na jaké byly tyto nástroje navrženy, což mělo za následek vady na výkovcích. Příčina je opět v nevhodné volbě materiálu elektrody, kterým byly razníky zrenovovány.

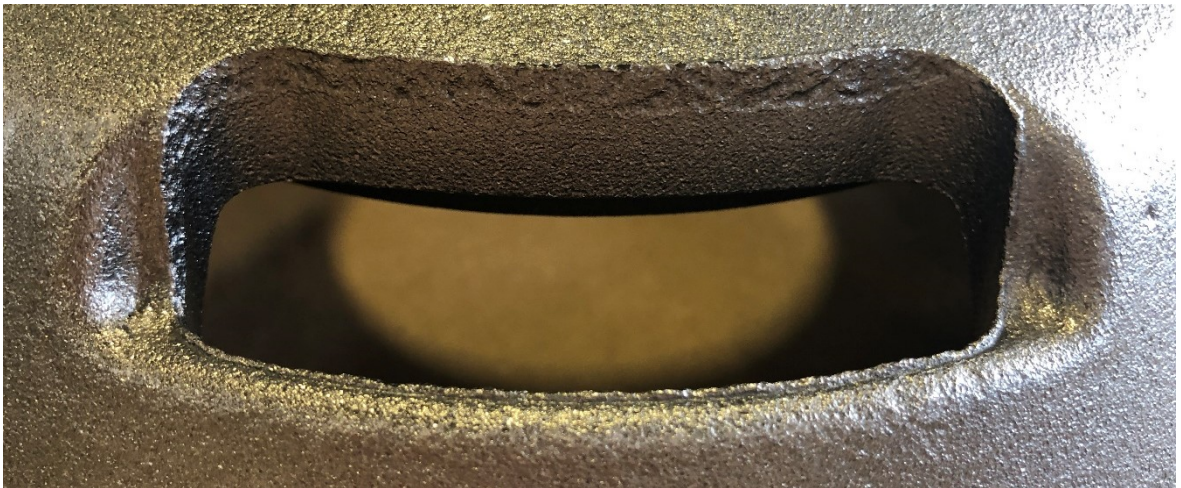


Obrázek 77 Tvarové razníky z oceli ČSN 19 552 renovovány Capilla elektrodami



Obrázek 78 Prvotní výkovky po děrovací operaci

Prvotní výkovky, takové jako na Obrázku 78 byly vhodné. Po vykování cca 1500 výkovků však došlo k jevu opotřebení na exaktním místě jako v předchozích případech, tedy na horní ploše děrovaného otvoru, jako je zobrazeno na Obrázku 79.

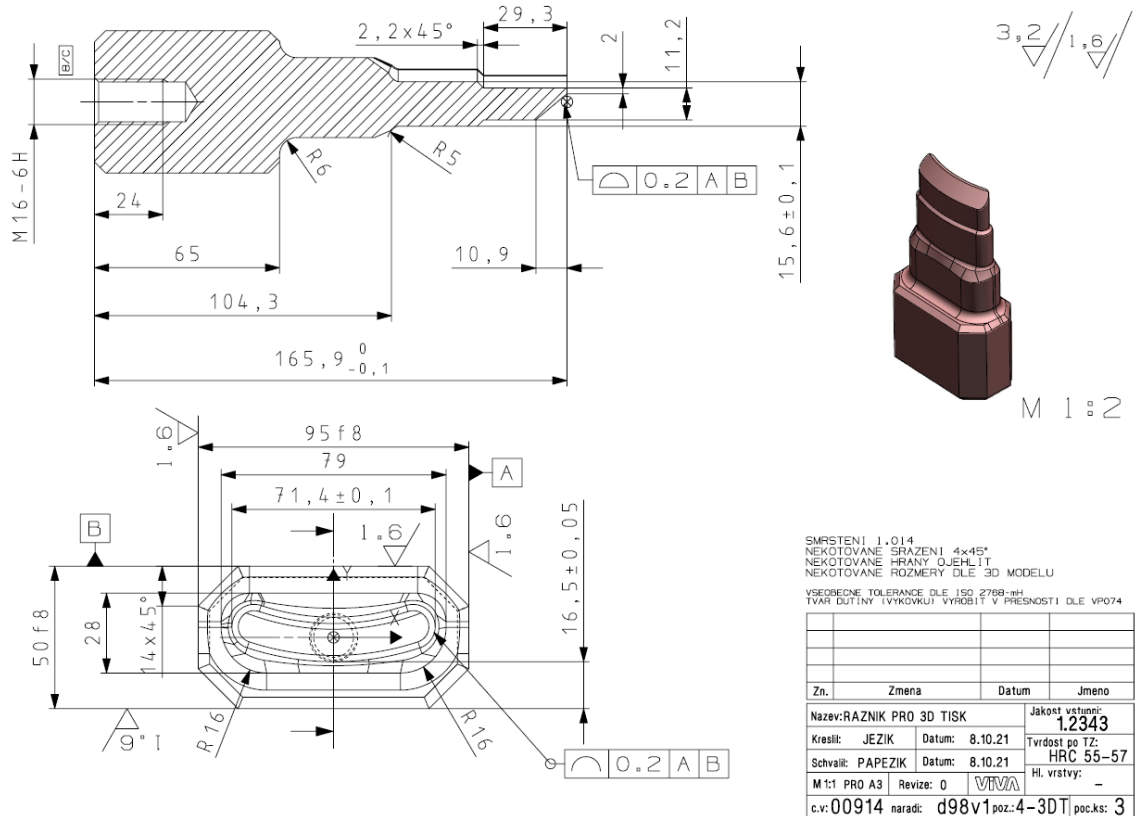


Obrázek 79 Opětovný nežádoucí otřep na výkovku způsobený opotřebeným renovovaným razníkem

## 11 APLIKACE VYBRANÉ VARIANTY NA KOVACÍ NÁSTROJE

### 11.1 Volba materiálu tvarového razníku s vhodnějšími vlastnostmi

V současné technické praxi jsou na vzestupu aditivní technologie, které by vlastnosti, jako již uvedené na začátku kapitoly 10.5.1, mohly splnit. Koncept konstrukce tvarového razníku byl tedy pozměněn. Dříve spočívalo zvýšení životnosti tvarového razníku ve výrobě nového razníku, případně ve zvolené renovaci. Tato řešení byla nevhodná z důvodů dříve uvedených v této práci. Nový způsob výroby spočíval ve výrobě v principu stejného předešlého typu razníku. Avšak na části funkční plochy bylo nutné zkonstruovat osazení, na kterou bylo možné aplikovat aditivní materiál. Toto řešení podstatně snížilo výrobní náklady na výrobu razníku.

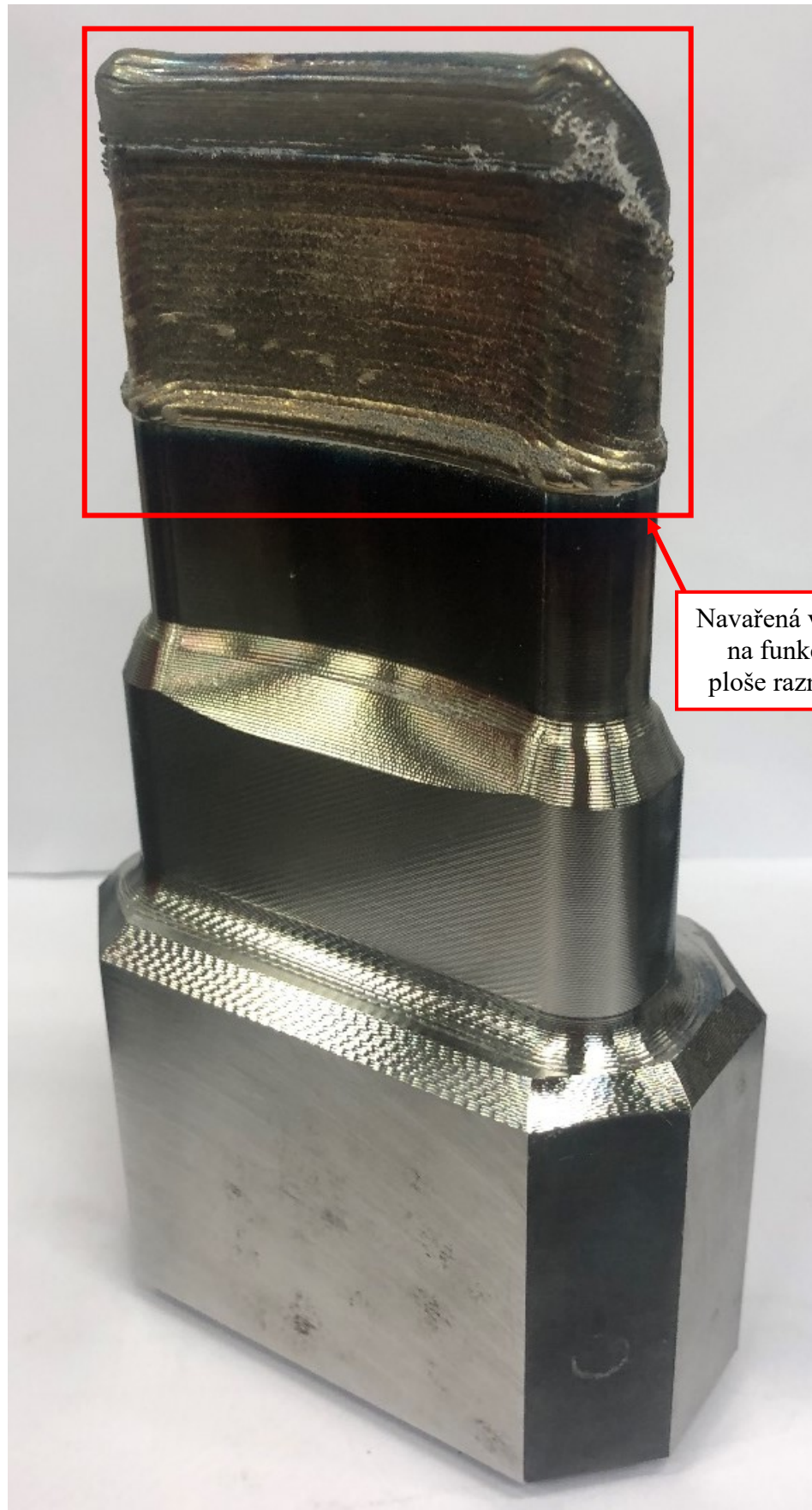


Obrázek 80 Verze tvarového razníku pro 3D návrh

#### 11.1.1 Aditivní materiál razníku a technologie tisku

Jelikož kovárna VIVA a.s., nedisponuje strojními zařízeními pro aditivní technologie, bylo proto natištěno externě u výrobce, který si nepřeje být uveden. Výrobce provedl tisk technologií LMD. Na funkční plochu razníku byl natištěn práškový materiál ze slitiny niklu s označením Nimonic 80A. Tištěný materiál je typický porezitou menší než 0,1 %, nejsou u

něj pozorovány trhliny, má tepelně ovlivněnou oblast do 0,3 mm, mikrostruktura je tvořena austenitickou maticí s přítomností karbidických částí.



Obrázek 81 Renovovaný razník metodou LMD

## 11.2 Obráběcí procesy tisknutého razníku

Po navaření musí následovat operace v podobě třískového obrábění k dosažení požadované přesnosti a kvality, jež je odrazem kvality na výkovku. Došlo k obrobení pouze funkční části razníku, tedy části, která byla potisknuta.

### 11.2.1 První způsob obráběcí operace

V tomto obráběcím procesu bylo použito chladicí emulze pro získání potřebných řezných podmínek. Jako obráběcí operace byla zvolena metoda čelního frézování. Jako nástroj byla zvolena válcová fréza o průměru 20 mm od výrobce HOLEX.



Obrázek 82 Nevhodný povrch razníku po obráběcí operaci

Z obrázku 82 je zřejmé, že tato obráběcí operace byla nevhodná. Na funkční části razníku se nachází stopy karbidu z tiskové operace.

### 11.2.2 Druhý způsob obráběcí operace

Výsledek druhé obráběcí operace je vyhovující. Byla zvolena odlišná fréza, konkrétně válcová fréza o průměru 20 mm s výměnnou břitovou destičkou. Řezné podmínky byly



zvoleny identické s předchozí obráběcí operací. Identická je také operace čelního frézování.



Obrázek 83 Vhodný povrch razníku po obráběcí operaci

### 11.3 Čtvrtá zkouška kování

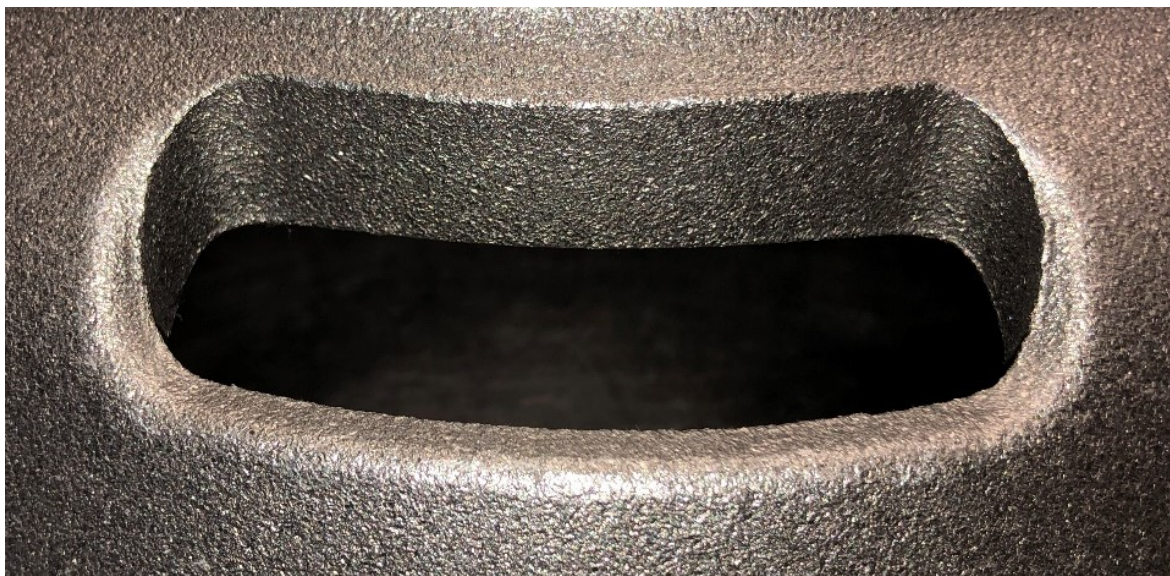
Po čtvrté zkoušce kování byly výkovky vhodné. Tento fakt potvrdila výstupní kontrola. Bylo odkováno celkem 2500 výkovků, což bylo v plánu kování. Opatření tvarových razníků dosáhlo přípustných hodnot. Tyto skutečnosti potvrzují přiložené Obrázky 84 až 88.



Obrázek 84 Tvarové razníky po kompletním kování

### 11.3.1 Výkovky po kovací operaci

Výkovky po čtvrté kovací operaci jsou vhodné. Bylo odkováno požadované množství kusů, tedy 2500 což je množství definované pro jednu dávku.



Obrázek 85 Pohled na tvarovou díru u 500. výkovku



Obrázek 86 Pohled na tvarovou díru u 1000. výkovku



Obrázek 87 Pohled na tvarovou díru u 1500. výkovku



Obrázek 88 Pohled na tvarovou díru u 2500. výkovku

## 12 TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ VYBRANÝCH VARIANT

Po prověření a vyzkoušení všech vybraných variant v technické praxi bylo nutné vyhodnotit konkrétní výdaje pro vznik tvarových razníků. Vhodná volba byla provedena v kapitole 11. Výdaje na razníky jsou tvořeny primárně materiálovými a výrobní náklady, jak dokazuje Tabulka 8.

Z Tabulky 8 je zřejmé, že 2. varianta má nejvyšší materiálové náklady ze všech vybraných variant tvarových razníků. Navíc ocel FTCo je na trhu dostupná pouze v určitých rozměrových řadách, což komplikuje řešení současné problematiky. FTCo ocel je však nejvíce jakostní ze všech vybraných variant což dokazují i zkoušky kování.

Materiálové náklady 4. varianty jsou shodné s 1. variantou, avšak oproti 2. variantě jsou nevýznamné. Celkové náklady na varianty 1. a 3. jsou uvedeny pouze pro porovnání, protože z důvodů předchozích výsledků nejsou relevantní.

Tabulka 8 Porovnání nákladů použitých materiálů pro tvarové razníky

<b>Porovnání nákladů vybraných materiálů. Cena je uvedena pro tři tvarové razníky</b>				
<b>Pořadí aplikovaných variant</b>	<b>Materiál</b>	<b>Materiálové náklady [Kč]</b>	<b>Výrobní náklady [Kč]</b>	<b>Celkové náklady [Kč]</b>
1.	Ocel ČSN 19 552	2604	13161	15765
2.	Ocel FTCo	11123	14811	25934
3.	Renovované ČSN 19 552 razníky návarovými elektrodami Capilla	2604	18156	20760
4.	Ocel ČSN 19 552 spolu s Nimonic 80A	2604	31161	33765

Výrobce poskytl základní přehled o nákladech na tiskové operace tvarových razníků. Zbytek informací by výrobce byl ochoten sdělit, avšak pro účely práce je tento přehled dostatečný.

Tabulka 9 Přehled tiskových nákladů tvarového razníku

<b>Přehled jednotlivých nákladů na tisk jednoho razníku materiálem Nimonic 80A</b>			
	<b>Množství [-]</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Cena [Kč]</b>
Množství použitého materiálu	0,412	kilogram	1754
Doba tisku	75	minuta	-
Spotřeba plynu Argonu	1725	litr	-
Provoz tiskárny	-	-	-
Ostatní náklady	-	-	-
<b>Celkem</b>	-	-	<b>6000</b>

Externí výrobce konstatoval, že výroba tohoto návaru zabrala trojnásobek času oproti plánovanému. Jako další příčiny vysokých nákladů uvedl obtíže s přípravou CAM dat pro výrobu, která byla rovněž náročná časově i technicky. Navíc druh tohoto návaru prováděl poprvé, takže lze předpokládat, že s přibývajícimi zakázkami by výrobce získal potřebné výrobní zkušenosti, které by vedly k zefektivnění procesu, a tedy i nižším nákladům. Výrobce s tímto předpokladem souhlasil.

Bylo by nutné prodiskutovat, jak velkou tloušťku tisku je skutečně nutné nanést na razníky. Pokud by tato tloušťka byla menší, došlo by ke snížení nákladů. O jak přesnou úsporu by se jednalo, nelze přesně určit na základě odhadu.

Další možné práškové materiály, kterými externí výrobce disponuje, z kategorie niklových slitin, jsou NiCrSiB, Inconel, nebo Hastelloy. Dalšími alternativami mohou být Kobaltové slitiny. Volbou odlišného tištěného materiálu by došlo ke změně nákladů, které by bylo nutné prodiskutovat, zda by došlo ke shodě ze strany výrobce tak Kovárny VIVA a.s.

Z těchto důvodů byla zvolena 4. varianta od které lze v budoucnosti očekávat významné snížení celkových nákladů razníků při splnění požadované životnosti.

## ZÁVĚR

Teoretická část diplomové práce byla zaměřena na obecné možnosti kovacích procesů s příklady běžně používaných metod kování. Byly uvedeny aspekty, podle kterých jsou konstruovány zápustky spolu s kovacími stroji.

Byly popsány materiály kovacích nástrojů spolu s jejich opotřebením a možnou minimalizací těchto opotřebení.

Aditivní technologie výroby byly rozebrány v další části. Bylo cíleno na trendy v současné technické praxi s konkrétními metodami 3D tisku kovových součástí, které mohou být využity v kovárenství.

Dále byly popsány způsoby povlakování kovacích nástrojů s cílem zvýšení jejich životnosti spolu se způsoby renovací kovacích nástrojů.

Popsány byly způsoby tepelného zpracování kovacích nástrojů, které byly zaměřeny primárně na nástrojové oceli.

Praktická část Diplomové práce byla zaměřena na problematiku děrování tvarových děr třemi tvarovými razníky.

Razníky byly nejprve zkonstruovány z nástrojové oceli ČSN 19 552. Po první zkoušce kování se tento materiál prokázal jako nedostatečný, z důvodu vysokého opotřebením na výkovku, jehož příčinou byl opotřebený razník.

V této návaznosti byla pozměněna konstrukce razníku spolu s volbou vhodnějšího materiálu, konkrétně oceli FTCo. Po druhé zkoušce kování byly výkovky přijatelné a tedy prodejné. Razníky byly také nejméně opotřebené ze všech variant, avšak jejich celkové náklady byly vysoké.

Byla provedena třetí zkouška kování, která byla z renovovaného razníku ČSN 19 552 a návaru z elektrod Capilla 66. Tato zkouška byla vyhodnocena nedostatečná z důvodu nízkého počtu vykovaných výkovků, z důvodu vysokého opotřebením funkční části razníku.

Jako alternativní materiál funkční plochy razníku byla zvolena prášková niklová slitina s označením Nimonic 80A, který byl nanesen laserovým navařením u externího výrobce. Zbytek razníku byl zkonstruován z původní ČSN 19 552 oceli a provedena čtvrtá zkouška kování. Po zkoušce byly vyhodnoceny výkovky jako vyhovující.

Následně byly konkrétně vyhodnoceny jednotlivé technicko-ekonomické vlastnosti použitých variant tvarových razníků. Na základě těchto dat bylo nalezeno řešení v podobě těla razníku z nástrojové oceli ČSN 19 552 a funkční plochy, která byla externě navařena. Samotný tisk byl pro externího výrobce novou zkušeností, a tak přinesl zvýšené výrobní náklady. U tohoto projektu bude v budoucnosti Kovárny VIVA a.s. s největší pravděpodobností možné dosažení dalších úspor v podobě volby odlišného práškového materiálu a úpravy technologických parametrů tisku a případné optimalizace navařované části tvarového razníku, které povedou ke snížení celkových nákladů a požadované úspoře oproti variantě FTCo razníků.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] LENFELD, Petr., Technologie II, 1. část, (Tváření kovů): Technická univerzita Liberec, 2009, 110s. Dostupné také z:  
[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/obsah\\_kovy.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/obsah_kovy.htm)
- [2] ALTAN, Taylan, Gracious NGAILE a Gangshu SHEN, 2004. Cold and Hot Forging - Fundamentals and Applications. ASM International. ISBN 978-0-87170-805-2. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpCHFFA003/cold-hot-forging-fundamentals/cold-hot-forging-fundamentals>
- [3] NIINOMI, Mitsuo, 2019. Metals for Biomedical Devices. 2nd Edition. Elsevier. ISBN 978-0-0810-2666-3. Dostupné také z: [https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/search?include\\_synonyms=off&page=0&query=metal%20forging](https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/search?include_synonyms=off&page=0&query=metal%20forging)
- [4] INTERNÍ MATERIÁLY KOVÁRNÝ VIVA a.s.
- [5] Open Die Forging [online], [cit. 2022-08-23]. Dostupné z:  
<https://www.manufacturingguide.com/en/open-die-forging>
- [6] NISBETT, Edward G., 2005. Steel Forgings: Design, Production, Selection, Testing and Application:(MNL 53). ASTM International. ISBN 978-0-8031-3369-3. Dostupné také z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpSFDPSTA1/toc>
- [7] WIDOMSKI, Paweł et al., 2021. Development of a method of increasing the wear resistance of forging dies in the aspect of tool material, thermo-chemical treatment and PVD coatings applied in a selected hot forging process: Wear. ISSN 0043-1648. Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164821002179>
- [8] Closed Die Forging [online], [cit. 2022-08-23]. Dostupné z:  
<https://www.manufacturingguide.com/en/closed-die-forging>
- [9] KOPEČNÝ, Adam, 2018. PROBLEMATIKA OSTŘIHOVÁNÍ A DĚROVÁNÍ VÝKOVKU. Dostupné také z:  
[https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=172597](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=172597).  
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ing. Jan Řiháček, Ph.D.
- [10] BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. Technológia tvárnenia. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010, 245 s. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.

- [11] 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.
- [12] Radial forging [online], [cit. 2022-12-09]. Dostupné z:  
<https://www.manufacturingguide.com/en/radial-forging>
- [13] The free dictionary [online], [cit. 2023-02-17]. Dostupné z:  
[https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/\\_/viewer.aspx?path=mgh\\_cee&name=Schema  
tic-of-the-direct-hot-extrusion-  
process.jpg&url=https%3A%2F%2Fencyclopedia2.thefreedictionary.com%2Fextrude](https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/_/viewer.aspx?path=mgh_cee&name=Schema+tic-of-the-direct-hot-extrusion-process.jpg&url=https%3A%2F%2Fencyclopedia2.thefreedictionary.com%2Fextrude)
- [14] CAMPBELL, F. C., 2013. Metals Fabrication - Understanding the Basics. ASM International. ISBN 978-1-62708-018-7. Dostupné také z:  
[https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMFUB000J/metals-fabrication-  
understanding/metals-fabrication-understanding](https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMFUB000J/metals-fabrication-understanding/metals-fabrication-understanding)
- [15] SVOBODA, Pavel. Základy konstruování. 3. vyd. Brno: CERM, 2009. 234 s. ISBN 978-80-7204-633-1
- [16] NARESH, Poppathi Naresh et al., 2016. Design and Analysis of a Hot Forging Dies. Dostupné také z:  
[https://www.researchgate.net/publication/310772867\\_Design\\_and\\_Analysis\\_of\\_a\\_Hot\\_Fo  
rging\\_Dies](https://www.researchgate.net/publication/310772867_Design_and_Analysis_of_a_Hot_Forging_Dies)
- [17] Engineering Clicks [online], [cit. 2023-02-02]. Dostupné z:  
<https://www.engineeringclicks.com/metal-forging/>
- [18] BOLJANOVIC, Vukota, 2010. Metal Shaping Processes - Casting and Molding; Particulate Processing; Deformation Processes; and Metal Removal. 2010. ISBN 978-0-8311-3380-1. Dostupné také z: [https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMSPCMPP1/metal-  
shaping-processes/metal-shaping-processes](https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMSPCMPP1/metal-shaping-processes/metal-shaping-processes)
- [19] NOVOTNÝ, Karel, 2002. Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje [online]. Brno [cit.2022-08-30]. Dostupné z:  
[http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hvs\\_vyrobní\\_stroje\\_a\\_zarizeni\\_novotny.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hvs_vyrobní_stroje_a_zarizeni_novotny.pdf)
- [20] NK Hammers, [online], [cit. 2022-11-28]. Dostupné také z:  
<https://nkhammers.com/drop-forging-hammer/>

- [21] Šmeral Brno a.s. [online], [cit. 2022-09-26]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/index.html>
- [22] DAVOUDI, Mohammadmahdi et al., 2021. Investigation of effective geometrical parameters on wear of hot forging die. 5221-5231. Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785421012291#section-cited-by>
- [23] KCHAOU, Mohamed et al. Failure mechanisms of H13 die on relation to the forging process. 403-415. Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630709002222>
- [24] DIETER, George E., Howard A. KUHN a S. Lee SEMIATIN, 2003. Handbook of Workability and Process Design. ISBN 978-0-87170-778-9. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHWP0001/handbook-workability/handbook-workability>
- [25] Pankl racing systems [online], [cit. 2023-01-26]. Dostupné z: <https://pankl.com/racing/en/products/forged-part/>
- [26] Ceetron [online], [cit. 2023-01-26]. Dostupné z: <https://ceetron.com/>
- [27] BÍZA, Michal, 2017. Oceli na nástroje. Dostupné také z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=150112](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=150112). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Eva Mollíková.
- [28] LIČKOVÁ [online], [cit. 2023-01-26]. Dostupné z: [https://homel.vsb.cz/~lic098/files/Skriptum\\_VaZM.pdf](https://homel.vsb.cz/~lic098/files/Skriptum_VaZM.pdf)
- [29] 3D Printing Basics. Markforged [online]. Massachusetts, c2020 [cit. 2022-8-11]. Dostupné z: <https://markforged.com/resources/learn/3d-printing-basics>
- [30] JORDAN, John M. 3D printing. Cambridge: MIT Press, 2019, [online] (240 stran). MIT Press essential knowledge series. ISBN 9780262352413. Dostupné také z: <https://proxy.k.utb.cz/login?url=https://doi.org/10.7551/mitpress/11800.001.0001?locatt=m>  
[ode:legacy](#)
- [31] DVORŮÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: Plošné a objemové tváření. Vyd. 2. Brno: PC-DIR Real, 1999. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1481-2.

- [32] Introduction to 3D metal printing. 3D Hubs [online]. [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-metal-3d-printing/>
- [33] GEBHARDT, Andreas, Julia KESSLER a Laura THURN, 2019. 3D Printing - Understanding Additive Manufacturing. 2nd Edition. ISBN 978-1-56990-702-3. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpDPUAME04/printing-understanding/printing-understanding>
- [34] Produktionstechnik Hannover [online], [cit. 2023-02-16]. Dostupné z: <https://phi-hannover.de/en/>
- [35] CASINI, Marco, 2022. Construction 4.0 - Advanced Technology, Tools and Materials for the Digital Transformation of the Construction Industry. Elsevier. ISBN 978-0-12-821797-9. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpCATTMDT3/construction-4-0-advanced/construction-4-0-advanced>
- [36] Technology overview metal Additive Manufacturing. AMPOWER [online]. Hamburg, c2020 [cit. 2022-8-12]. Dostupné z: <https://ampower.eu/tools/metal-additive-manufacturing/>
- [37] FEENEY, David. SD3D: Direct Metal Laser Sintering – DMLS 3D Printing Services Now Available [online]. 2019 [cit. 2022-08-22]. Dostupné z: <https://www.sd3d.com/dmls-3d-printing/>
- [38] TRUMPF: Laserové práškové navařování (LMD) [online]. [cit. 2022-08-22]. Dostupné z: [https://www.trumpf.com/cs\\_CZ/reseni/aplikace/aditivni-vyroba/laserove-praskove-navarovani-laser-metal-deposition/](https://www.trumpf.com/cs_CZ/reseni/aplikace/aditivni-vyroba/laserove-praskove-navarovani-laser-metal-deposition/)
- [39] ResearchGate [online]. [cit. 2022-08-12]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-drawing-of-an-electron-beam-melting-system\\_fig2\\_269836411](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-drawing-of-an-electron-beam-melting-system_fig2_269836411)
- [40] Lancaster, Robert & Davies, Gareth & Illsley, Henry & Jeffs, Spencer & Baxter, G.. (2016). Structural Integrity of an Electron Beam Melted Titanium Alloy. Materials. 9. 470. 10.3390/ma9060470. Dostupné také z: [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-the-electron-beam-melting-EBM-process-4\\_fig1\\_303980465](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-the-electron-beam-melting-EBM-process-4_fig1_303980465)
- [41] BAZALUK, Oleg et al., 2021. Actual Challenges in Materials Science and Processing Technologies II. Trans Tech Publications. ISBN 978-3-0357-1883-6. Dostupné také z:

<https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpACMSPTI2/actual-challenges-in/actual-challenges-in>

[42] SHEN, Chen, 2016. Application of wire-arc additive manufacturing (WAAM) process in in-situ fabrication of iron aluminide structures. Dostupné také z:

<https://ro.uow.edu.au/theses/4844/>. Disertační práce. University of Wollongong.

[43] KOLAŘÍK, Ladislav, Karel KOVANDA a Tomáš GURČÍK. Robotické navařování metodou WAAM jako alternativa k 3D tisku kovových materiálů. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie. [cit. 2022-8-12]. Dostupné také z:

[http://esab.cz.uvirt66.active24.cz/images/PDF-prednasky/14\\_Roboticke-navarovani-metodou-WAAM-alternativa-3D.pdf](http://esab.cz.uvirt66.active24.cz/images/PDF-prednasky/14_Roboticke-navarovani-metodou-WAAM-alternativa-3D.pdf)

[44] KANTAR, Filip, 2015. PVD povlaky nové generace. Dostupné také z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=102944](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=102944). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Aleš Jaroš.

[45] WALSH, Frank C. et al., 2021. Electrodeposited Hydroxyapatite-Based Biocoatings: Recent Progress and Future Challenges. Dostupné také z: [https://www.researchgate.net/publication/348616827\\_Electrodeposited\\_Hydroxyapatite-Based\\_Biocoatings\\_Recent\\_Progress\\_and\\_Future\\_Challenges](https://www.researchgate.net/publication/348616827_Electrodeposited_Hydroxyapatite-Based_Biocoatings_Recent_Progress_and_Future_Challenges)

[46] RUFÉ, Phillip D., 2013. Fundamentals of Manufacturing. 3rd Edition. ISBN 978-0-87263-870-9. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpFME00023/fundamentals-manufacturing/fundamentals-manufacturing>

[47] Technologie DLC povlakování [online], [cit. 2022-12-09]. Dostupné z: <https://povlakovani-ionbond.cz/dlc-povlaky>

[48] O'BRIEN, Annette. Welding Handbook, Volume 4 - Materials and Applications, Part 1. American Welding Society (AWS). 9th Edition. ISBN 978-0-87171-759-7. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpWHVMAP01/welding-handbook-volume/welding-handbook-volume>

[49] FORGEWELD, [online], [cit. 2023-01-26]. Dostupné z: <https://www.forgeweld.co.uk/>

[50] SMOLIK, Jerzy, 2021. Hard Protective Layers on Forging Dies - Development and Applications. Dostupné také z: <https://www.mdpi.com/2079-6412/11/4/376>

[51] DOSSETT, John L., 2020. Practical Heat Treating - Basic Principles. 2nd Edition. Ohio: ASM International. ISBN 978-1-62708-324-9. Dostupné také z:

<https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPHTBPE05/practical-heat-treating/practical-heat-treating>

[52] DIN 7523: Navrhování zápusťkových výkovků. DIN Německý Institut pro normování, 1986.

[53] TSCHATSCH, Heinz. Metal Forming Practise: Processes — Machines — Tools. Berlin: Springer, [2010], XII, 405 s. ISBN 978-3-642-06977-2.

[54] EMAMVERDIAN, All Akbar, et al. Current Failure Mechanisms and Treatment Methods of Hot Forging Tools (Dies)-a Review. Engineering Failure Analysis, 2021, 129: 105678.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

°C	Stupeň Celsia
t	Kovací teplota
C	Uhlík
Mn	Mangan
Cr	Chrom
Re	Mez kluzu
m	Hmotnost
ØD <sub>v</sub>	Průměr výkovku
S <sub>v</sub>	Plocha výkovku
F <sub>s1</sub>	Síla potřebná pro ostřížení blány
F <sub>s2</sub>	Síla potřebná pro ostřížení výronku
L <sub>1</sub>	Skutečný obvod ostřížku po čáře vnitřního ostřížení výronku (blány)
s <sub>1</sub>	Skutečná tloušťka stříhaná vrstvy vnitřního výronku (blány)
L <sub>2</sub>	Skutečný obvod ostřížku po čáře vnějšího výronku
s <sub>2</sub>	Skutečná tloušťka stříhaná vrstvy vnějšího výronku
σ <sub>Pt</sub>	Mez pevnosti v tahu při stříhání za tepla při teplotě 800-750 °C
MN	Mega Newton
mm <sup>2</sup>	Milimetr čtvereční
mm	Milimetr
kg	Kilogram
kJ	Kilojoule
%	Procento
dm <sup>3</sup>	Decimetr krychlový
MoS <sub>2</sub>	Disulfid molybdenu
SiO <sub>2</sub>	Oxid křemičitý

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Oxid boritý

A<sub>c1</sub> Teplota překrystalizace

A<sub>c3</sub> Teplota překrystalizace u podeutektoidních ocelí

A<sub>cm</sub> Teplota překrystalizace u nadeutektoidních ocelí

ČSN Česká technická norma

W.Nr. Werkstoffnummer (systém číslování materiálů)

m/s Metry za sekundu

38MnVS6 Feriticko-perlitická vytvrditelná ocel

Kč Koruna česká - měnová jednotka České republiky

min Minuta, jednotka času



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Schéma procesu kování [4] .....	13
Obrázek 2 Schéma volného kování, (1) – kovací nástroj, (2) – manipulační kleště [5].....	14
Obrázek 3 Pohled na spodní (nepohyblivé) části zápustek upevněné na stroji Massey 1300T [7].....	15
Obrázek 4 Zápustkové kování - zahřátý kovaný materiál umístěný mezi stacionární (spodní) polovinu formy (1) a pohyblivou (horní) polovinou formy (2). [8] .....	16
Obrázek 5 Princip ostřížení výronku [9].....	17
Obrázek 6 Schématické zobrazení střížné plochy [10].....	18
Obrázek 7 Princip rotačního způsobu kování, (1) - zápustka [12] .....	19
Obrázek 8 Schéma dopředného protlačování za tepla [13] .....	20
Obrázek 9 Schéma vhodného návrhu výkovku s přísavky [15].....	21
Obrázek 10 Rostoucí obtížnost kování (vzestupně od a do d) obdélníkového tvaru výkovku [14].....	22
Obrázek 11 Proces vzniku výronku [17] .....	24
Obrázek 12 Kovací buchar od výrobce NKH [20] .....	26
Obrázek 13 Schéma hydraulického lisu [9].....	27
Obrázek 14 Schéma klikového lisu [9].....	28
Obrázek 15 Svislý kovací lis [21].....	29
Obrázek 16 Opatření povrchu zápustky při kování za tepla [22] .....	31
Obrázek 17 Trhliny na povrchu zápustek, které vznikly vlivem teplotní únavy [23] .....	31
Obrázek 18 Součást automobilu vytvořena kováním za tepla [25] .....	33
Obrázek 19 FEM model v simulačním programu [26].....	34
Obrázek 20 Druhy základních prostorových mřížek [28] .....	38
Obrázek 21 Druhy technologií 3D tisku [32] .....	40
Obrázek 22 Procesní řetězec aditivní výroby [33].....	41
Obrázek 23 Zápustka vytvořena technologií vrstvení [34].....	42
Obrázek 24 Dostupné technologie 3D tisku kovů [36].....	43
Obrázek 25 Součásti se složitou geometrií vytvořené metodou DMLS [37] .....	44
Obrázek 26 Princip laserového práškového navařování LMD [38] .....	45
Obrázek 27 Princip metody EBM [40] .....	46
Obrázek 28 Schéma metody WAAM (s pomocí navařování TIG) – vlevo. Běžné uspořádání robotického pracoviště – vpravo. [43] .....	47
Obrázek 29 Princip metody PVD [45].....	49
Obrázek 30 Princip metody CVD [44] .....	50
Obrázek 31 Navařená funkční část ostříhovacího nástroje [49] .....	51

Obrázek 32 Analýza chemického složení povlakované zápustky po nitridování a nanesení povlaku CrN: (a) leptání v plazmatu Cr <sup>+</sup> , (b) leptání v plazmatu Cr <sup>+</sup> + N <sup>+</sup> . [50].....	53
Obrázek 33 Tepelné zpracování - graf závislosti teploty na čase znázorňující sled operací potřebných při tepelné úpravě nástrojových ocelí. [51] .....	55
Obrázek 34 Schéma zákaznického výkresu obrobku .....	59
Obrázek 35 Základní zákaznické rozměry výkovku.....	62
Obrázek 36 První pohled na model výkovku.....	63
Obrázek 37 Druhý pohled na model výkovku .....	64
Obrázek 38 Nomogram pro určení tvářecí síly .....	66
Obrázek 39 Technické specifikace vřetenového kovacího lisu LVH 2500.....	67
Obrázek 40 Sestava dokovacích zápustek v řezu .....	68
Obrázek 41 Řez sestavou dokovacích zápustek vložena v univerzálních držácích, které jsou upnuty na kovací stroj.....	69
Obrázek 42 První krok Contact simulace dokovacími zápustkami .....	70
Obrázek 43 Zobrazení toku materiálu dokovacími zápustkami .....	71
Obrázek 44 Predikce vzniku přeložky na spodní straně výkovku .....	71
Obrázek 45 Predikce vzniku přeložky na horní straně výkovku .....	72
Obrázek 46 Tunové zatížení při pechování v dokovacích zápustkách .....	73
Obrázek 47 První krok Contact simulace předkovacími nástrojů.....	74
Obrázek 48 Zobrazení toku materiálu předkovacími zápustkami .....	75
Obrázek 49 Predikce vzniku přeložky na spodní straně předkovku .....	76
Obrázek 50 Predikce vzniku přeložky na horní straně předkovku .....	76
Obrázek 51 Průběh Contact simulace výkovku v dokovacích zápustkách.....	77
Obrázek 52 Výsledek Contact simulace výkovku v dokovací zápustkách.....	78
Obrázek 53 Pohled na horní stranu výkovku.....	79
Obrázek 54 Pohled na spodní stranu výkovku.....	79
Obrázek 55 Tunové zatížení při předkovací operaci .....	80
Obrázek 56 Tunové zatížení při dokovací operaci .....	81
Obrázek 57 Model výkovku po dokovací operaci s funkčními částmi, které budou odstraněny děrováním .....	82
Obrázek 58 První verze tvarového razníku.....	83
Obrázek 59 Výsledek celkové analýzy opotřebení děrovacího nástroje .....	84
Obrázek 60 Výsledek analýzy životnosti děrovacího nástroje .....	85
Obrázek 61 Skutečné hodnoty tvářecí síly ze svislého kovacího lisu LZK 4000B.....	86
Obrázek 62 Technické specifikace svislého kovacího lisu LZK 4000 B .....	86
Obrázek 63 Opotřebené tvarové razníky (první verze) z oceli ČSN 19 552 po kovací operaci .....	87

Obrázek 64 Nežádoucí otřep na 1500. výkovku důsledkem opotřebení tvarového razníku	88
Obrázek 65 Druhá verze tvarového razníku .....	90
Obrázek 66 Model tvarového razníku .....	91
Obrázek 67 Části tvarového razníku.....	92
Obrázek 68 Základní rozměry tvarového razníku .....	93
Obrázek 69 Sestava ostříhu v dolní úvrati .....	93
Obrázek 70 Detail sestavy ostříhu .....	95
Obrázek 71 Výkovek po ostřížení a vyděrování výkovku.....	95
Obrázek 72 Nový celistvý razník z oceli FTCo, před kovací operací .....	96
Obrázek 73 Výkovek po odkování cca 500 ks .....	97
Obrázek 74 Výkovek po odkování cca 1500 ks .....	97
Obrázek 75 Výkovek po odkování 2500 ks.....	98
Obrázek 76 Detailní pohled na opotřeбенé tvarové razníky z FTCo po konci kování 2500 kusů.....	98
Obrázek 77 Tvarové razníky z oceli ČSN 19 552 renovovány Capilla elektrodami.....	99
Obrázek 78 Prvotní výkovky po děrovací operaci.....	100
Obrázek 79 Opětovný nežádoucí otřep na výkovku způsobený opotřeбенým renovovaným razníkem.....	100
Obrázek 80 Verze tvarového razníku pro 3D návar .....	101
Obrázek 81 Renovovaný razník metodou LMD.....	103
Obrázek 82 Nevhodný povrch razníku po obráběcí operaci.....	104
Obrázek 83 Vhodný povrch razníku po obráběcí operaci .....	105
Obrázek 84 Tvarové razníky po kompletním kování .....	106
Obrázek 85 Pohled na tvarovou díru u 500. výkovku .....	107
Obrázek 86 Pohled na tvarovou díru u 1000. výkovku .....	107
Obrázek 87 Pohled na tvarovou díru u 1500. výkovku .....	108
Obrázek 88 Pohled na tvarovou díru u 2500. výkovku .....	108

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Chemické složení oceli W.Nr. 1.1303 .....	59
Tabulka 2 Přídavky na obrábění [52] .....	60
Tabulka 3 Úkosy bočních stěn [52] .....	61
Tabulka 4 Zaoblení hran [52] .....	61
Tabulka 5 Velikost dna [52] .....	62
Tabulka 6 Porovnání chemického složení oceli ČSN 19 552 a oceli FTCo.....	89
Tabulka 7 Technické specifikace děrovacího stroje Voroněž 630 .....	94
Tabulka 8 Porovnání nákladů použitých materiálů pro tvarové razníky .....	109
Tabulka 9 Přehled tiskových nákladů tvarového razníku .....	110

