



# **Životnost kovárenského nářadí v závislosti na teplotě a tlaku na kovací lise TR 1600PK Schuler ve firmě ŠKODA Auto a.s. Mladá Boleslav**

## **Bakalářská práce**

*Studijní program:* B2301 – Strojní inženýrství

*Studijní obor:* 2301R000 – Strojní inženýrství

*Autor práce:* **Marina Cebanu**

*Vedoucí práce:* doc. Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Marina Cebanu

Osobní číslo: S14000373

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: Strojní inženýrství

Název tématu: Životnost kovárenského nářadí v závislosti na teplotě a tlaku  
na kovací lise TR 1600PK Schuler ve firmě ŠKODA Auto  
a.s. Mladá Boleslav

Zadávací katedra: Katedra strojírenské technologie

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Základy pojmy objemového tváření za tepla (volné kování, zápustkové kování, kovářské nástroje a pomocná zařízení, volba přídavek atd.).
2. Přehled stávajícího postupu výroby kovárenského nářadí pro transferové kování na kovací lise TR 1600PK Schuler v Škoda Auto a.s.
3. Faktory ovlivňující životnost kovárenského nářadí pro transferové kování (vliv teploty, tlaku a dalších faktorů) na kovací lise TR 1600PK Schuler v Škoda Auto a.s.
4. Způsoby renovace kovárenského nářadí pro transferové kování v Škoda Auto a.s.
5. Shrnutí a zhodnocení dosahovaných výsledků transferového kování ve srovnání s ručním zakládáním výkovku.
6. Závěr.

Rozsah grafických prací: grafy, tabulky  
Rozsah pracovní zprávy: cca 30 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

- [1] BOLJANOVIC, V. *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*. New York 2004, ISBN 0-8311-3182-9.  
[2] ASM HANDBOOK. *Volume 14 - Forming and Forging*. 6th ed. Materials Park: ASM International, 2004. s. 978. ISBN 0-87170-020-4.  
[3] DAVIES, G. *Materials for Automobile Bodies*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003. s. 277. ISBN 0-7506-5692-1.  
[4] MICHNA, Š., NOVÁ, I. *Technologie a zpracování kovových materiálů*. Prešov: Adin, 2008. s. 326. ISBN 978-80-89244-38-6.  
[5] TSCHAETSCH, H. *Metal Forming Practise (Processes Machines Tools)*. Berlin: Springer-Verlag, 2006. s. 405. ISBN-10: 3-540-33216-2.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.  
Katedra strojírenské technologie  
Konzultant bakalářské práce: Ing. Jiří Sobotka, Ph.D.  
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání bakalářské práce: 31. října 2015  
Termín odevzdání bakalářské práce: 31. ledna 2017

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan



Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 2. listopadu 2015

## Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

## Anotace

Bakalářská práce je zaměřená na životnost kovárenského nářadí na kovací lise PK 1600 Schuler ve Škoda Auto a.s.. Cílem práce je zvýšit životnost kovárenského nářadí, která nespĺňuje požadavky kladené na výrobní proces na kovací lise. V první části práce je rozděleno a popsáno tváření za tepla a popsány jednotlivé části kovacího lisu PK 1600 Schuler jako indukční ohřev, transfer, čelisti. V druhé části jsou navrženy optimalizační kroky vedoucí ke zvýšení životnosti kovárenského nářadí jako zjištění teploty pomocí termokamery, změna geometrie nástroje a optimalizace mazacích obvodů. Jednotlivá odzkoušení optimalizačních kroků jsou následně realizovaná. V závěru práce jsou shrnuty výsledky o provedených optimalizačních krocích s doloženými výsledky a grafy.

## Klíčová slova

Tváření za tepla, kovací lis PK 1600 Schuler, životnost kovárenského nářadí, optimalizace

## Annotation

The bachelor thesis is focused on service life of forging tools on forging press PK 1600 Schuler in ŠKODA Auto, a.s. The aim of the thesis is to increase service life of forging machines which do not meet requirements placed on production process on forging press. The first part of the thesis describes and divides hot-forming. There is also a description of individual parts of press PK 1600 Schuler such as induction heating, transfer and jaws. The second part of the thesis suggests optimization steps such as temperature detection with a thermal imager, tool geometry modification and optimization of cool circuit, which lead to service life increase. Individual testing of optimization steps are implemented afterwards. The conclusion of the thesis summarizes results of implemented optimization steps supported by graphs and outcomes

## Key words

Hot-forming, forging press PK 1600 Schuler, service life of forging machines, optimization

## Poděkování

Chtěla bych poděkovat doc. Ing. Pavlovi Solfronkovi, Ph.D. a Ing. Aleši Kovářovi za vedení mé bakalářské práce, cenné rady a odborný dohled. Děkuji také panu Petru Bahníkovi jakožto zkušebnímu technikovi za spolupráci při získávání údajů pro praktickou část bakalářské práce.

# OBSAH

<b>OBSAH</b> .....	<b>5</b>
<b>SEZNAM ZNAČENÍ</b> .....	<b>7</b>
<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>2 TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
2.1 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ .....	10
2.1.1 Krystalická stavba kovu .....	10
2.1.2 Poruchy krystalové mřížky.....	11
2.1.3 Stupeň deformace a prokování .....	13
2.1.4 Výpočet síly a práce při kování .....	13
2.2 KOVÁNÍ .....	14
2.2.1 Volné kování .....	14
2.2.2 Zápustkové kování .....	16
2.3 KOVACÍ TEPLoty .....	18
2.3.1 Vady vzniklé nesprávným ohřevem .....	19
2.4 PŘEHLED STÁVAJÍCÍHO POSTUPU VÝROBY KOVÁRENSKÉHO NÁŘADÍ PRO TRANSFEROVÉ KOVÁNÍ NA KOVACÍM LISE PK 1600 SCHULER .....	20
2.4.1 Popis rozložení stroje .....	21
2.4.2 Indukční ohřev na kovací lise PK 1600 Schuler .....	22
2.4.3 Transfer .....	24
2.4.4 Tvářecí operace .....	25
2.4.5 Mazání na kovací lise TR 1600 Schuler .....	26
2.4.6 Postup navrhování konstrukce kovárenského nářadí .....	27
2.5 ZPŮSOB RENOVACE KOVÁRENSKÉHO NÁŘADÍ PRO TRANSFEROVÉ KOVÁNÍ.....	34
<b>3 PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>36</b>
3.1 ANALÝZA PROBLEMATIKY A PODMÍNKY SOUČASNÉHO PRŮBĚHU KOVÁNÍ.....	37
3.1.1 První průběh kování .....	37
3.1.2 Kroky vedoucí k optimalizaci životnosti .....	40
1) Zjištění teploty nářadí pomocí termokamery .....	40
2) Úprava geometrie nástroje .....	43
3) Úprava geometrie děr mazacích kroužků .....	44
4) Korekce mazání pomocí vysokorychlostní kamery a term kamery .....	47
3.1.3 Zkouška kování po provedení všech optimalizačních kroků .....	48
<b>4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ</b> .....	<b>50</b>
<b>5 ZÁVĚR</b> .....	<b>55</b>

<b>SEZNAM LITERATURY .....</b>	<b>57</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>58</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ.....</b>	<b>59</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>59</b>
<b>SEZNAM ROVNIC.....</b>	<b>60</b>



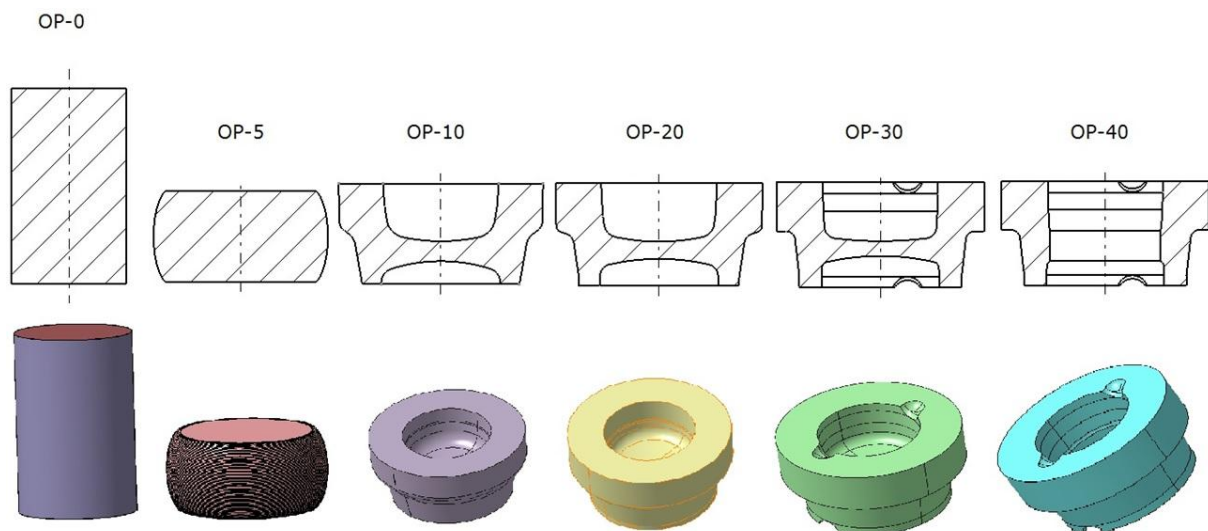
## SEZNAM ZNAČENÍ

$t$	teplota	[°C]
$A_{cm}$	segregační čára	[-]
$A_3$	čára rekrystalizace	[-]
$A_1$	eutektoidní teplota	[°C]
$\alpha$	ferit	[-]
$\gamma$	austenit	[-]
$\varepsilon$	stupeň přetvoření	[%]
$S_0$	plocha počátečního průřezu	[m <sup>2</sup> ]
$S_k$	plocha konečného průřezu po tváření	[m <sup>2</sup> ]
$p$	stupeň prokování	[-]
$h_0$	počáteční výška	[m]
$h_k$	konečná výška	[m]
$F$	tvářecí síla	[N]
$k_o$	přetvárný odpor (odpor proti tváření)	[MPa]
$S$	plocha kovadel	[mm <sup>2</sup> ]
$k_p$	přetvárná pevnost	[MPa]
$m$	koeficient závislý na způsobu tváření	[-]
ČSN	Česká Státní Norma (technická norma)	[-]
$s, b$	šířka můstku	[mm]
$R, r$	velký poloměr, malý poloměr	[mm]
$n, n_1$	hloubka zásobníku	[mm]
$h$	výška můstku	[mm]
$L$	délka	[mm]
$m$	hmotnost	[kg]
$R_e$	mez kluzu	[MPa]
$R_m$	mez pevnosti v tahu	[MPa]
$A_5$	tažnost	[%]

# 1 ÚVOD

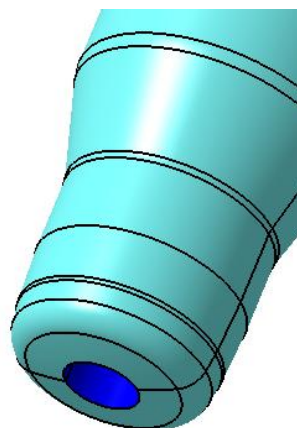
Tato bakalářské práce, se budu zabývat životností kovárenského nářadí na transferovém kovací lise TR 1600 Schuler. Životnost nářadí významně ovlivňuje cenu výkovku a je závislá na mnoha faktorech. Cílem je zaměřit se na faktory mající vliv na životnost kovárenského nářadí, která souvisí s tlakem a teplotou v zápustkách vznikající v procesu kování.

K optimalizaci životnosti bylo vybráno nářadí pro výkovek s interním označením 0AM 311 362AE. Nářadí bylo vybráno vzhledem k nízké dosahované životnosti a také kvůli nerovnoměrnému rozložení tváření v jednotlivých operacích, což způsobuje nadměrné opotřebení nářadí s interním pojmenováním trn vrchní.



**Obr. 1:** Ve vrchní části znázorněn průchodový plán, ve spodní části 3D modely jednotlivých operací (op.0÷op.40)

Z celé sady aktivních dílů bude tedy životnost zkoumána pouze na trnech vrchních op. 10 ÷ op. 30 vzhledem k dosavadní nejnižší dosahované životnosti a největšímu opotřebení.



**Obr. 2:** Trn vrchní

V dnešní době neustále narůstá strojírenská výroba a přibližně 65% spotřebované válcované oceli připadá na výrobu polotovarů a hotových výrobků ve strojírenství. Kování je nejstarším způsobem výroby polotovarů, které jsou pak určeny k finálnímu dotvoření.

Vyrobený materiál, tyčovina, je dodávána od výrobců do skladu kováren a je skladována v meziskladech, kde tvoří před zásobu pro výrobní potřeby kováren. Tyče o délce 6 m potřebného průměru a jakosti jsou pak dále zpracovávány, děleny stříháním nebo řezány na požadovanou váhu pro jednotlivé díly.

Vzniklý polotovar o přesné hmotnosti je dopravován k zásobníku, kde je zakládán a putuje do indukčního ohřevu. Indukčním ohřevem s příkonem 400kW je polotovar ohříván na kovací teplotu  $1100^{\circ}\text{C} \div 1300^{\circ}\text{C}$  odkud je zakládán ručně nebo strojně do zápustky upnuté v kovacím lisu, kde je přetvořen, zpravidla pomocí několika operací na finální tvar.

Pro získání požadovaných mechanických vlastností hotového výkovku, je nutné jeho další tepelné zpracování přímé nebo normalizační. Pro získání požadované kvality povrchu mohou být výkovky tryskány. Tryskáním je zbavován výkovek okují pomocí ocelových kuliček o průměru 1mm, nebo jiného abraziva používaného při této operaci. U některých druhů výkovků, kde je požadovaná vysoká objemová a rozměrová přesnost, se před dalším obráběním, se provádí kalibrace za studena.

U veškeré produkce výkovků je v kovárně prováděna rozměrová a vizuální kontrola, teprve poté jsou výkovky expedovány k odběrateli, kde se dále zpracovávají.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

V teoretické části bude blíže představena technologie tváření za tepla a to zejména rozdělení kování volného a zápustkového. Další nosnou částí bude představení kovacího hydraulického lisu PK 1600 Schuler s popisem jeho funkce a jednotlivých komponentů.

### 2.1 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ

Tvářením kovů rozumíme technologický (výrobní) proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru výrobku nebo polotovaru, příp., vlastností, v důsledku působení vnějších sil bez odběru třísek. Podstatou tváření je vznik plastických deformací, ke kterým dojde v okamžiku dosažení napětí na mezi kluzu pro daný materiál. Tento děj je provázen fyzikálními změnami a změnami struktury materiálu, což ovlivňuje mechanické vlastnosti materiálu. Výhodami tváření za tepla je vysoká produktivita práce, vysoké využití materiálu a velmi dobrá rozměrová přesnost tvářených výrobků. [3]

#### 2.1.1 Krystalická stavba kovu

Kovy v tuhém stavu jsou krystalické. Podstatným znakem krystalické stavby je geometrická pravidelnost v rozložení atomů nebo molekul. Tepelné, elektrické, magnetické a mechanické vlastnosti kovů závisí na jejich krystalické stavbě. Krystalizace kovů probíhá při přechodu ze stavu kapalného do stavu tuhého a nazývá se primární. Mnohé kovy mají však v tuhém stavu různé krystalické modifikace. Přejít těchto modifikací se nazývá přechod krystalizace nebo sekundární krystalizace. [1]

Většina technických kovů krystalizuje v soustavě krychlové a šesterečné. Některé kovy a jejich slitiny mohou mít v závislosti na teplotě různou krystalovou mřížku (viz. tab.1). [1]

**Tab. 1: Příklady krystalové mřížky**

Prvek	Teplota [ C ]	Krystalová mřížka
Fe <sub>α</sub>	pod 768	krychlová prostorově centrovaná
Fe <sub>β</sub>	678 - 906	krychlová prostorově centrovaná
Fe <sub>γ</sub>	906 - 1401	krychlová plošně centrovaná
Fe <sub>δ</sub>	1401 - 1539	krychlová prostorově centrovaná
Co <sub>α</sub>	pod 420	šesterečná těsné uspořádání
Co <sub>β</sub>	420 - 1495	krychlová plošně centrovaná
Ti <sub>α</sub>	pod 879	hexagonální těsné uspořádání
Ti <sub>β</sub>	879 - 1735	krychlová prostorově centrovaná

### 2.1.2 Poruchy krystalové mřížky

Plastická deformace je ve své podstatě pohyb jednotlivých částic kovů vůči sobě a mechanismus vzniku plastické deformace je možné vysvětlit na základě pohybu a vzniku mřížkových poruch. Stavba krystalové mřížky není v reálných kovech dokonalá. Podle velikosti a tvaru krystalografické neuspořádanosti atomů rozeznáváme několik typu poruch. (viz. tab.2) . [3]

**Tab. 2: Typy mřížkových poruch**

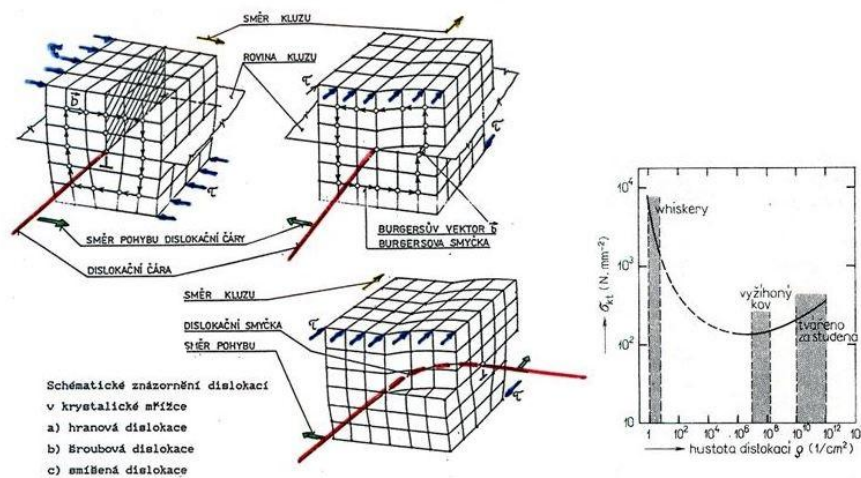
bodové	-	vakance, interstice, substituce
čárové (dislokace)	-	hranové, šroubové, kombinované
plošné	-	vrstvené vady, hranice zrn, subzrn, dvojčatění
prostorové	-	hranice krystalů, vměstky, amorfní částice, apod.

Z hlediska teorie plastických přetvoření mají největší vliv a význam čárové poruchy – dislokace. Dislokace jsou poruchy, které se projevují vysunutím atomů z pravidelných poloh krystalové mřížky, které se mohou pohybovat, mohou vznikat a zanikat. Dislokace jsou buď hranové nebo šroubové, resp. kombinované. Hustota dislokací  $\rho$  je celková délka dislokačních čar  $L$ , obsažených v jednotce objemu  $V$ . Hustota dislokací ovlivňuje pevnost kovu. Tvářením se počet dislokací zvyšuje, tím roste i odpor proti deformaci a dochází ke zpevnění a zvýšení pevnosti. [3]

$$\rho = \frac{\Sigma L}{V} = \frac{n}{S} \text{ [m}^{-2}\text{]} \quad (1)$$

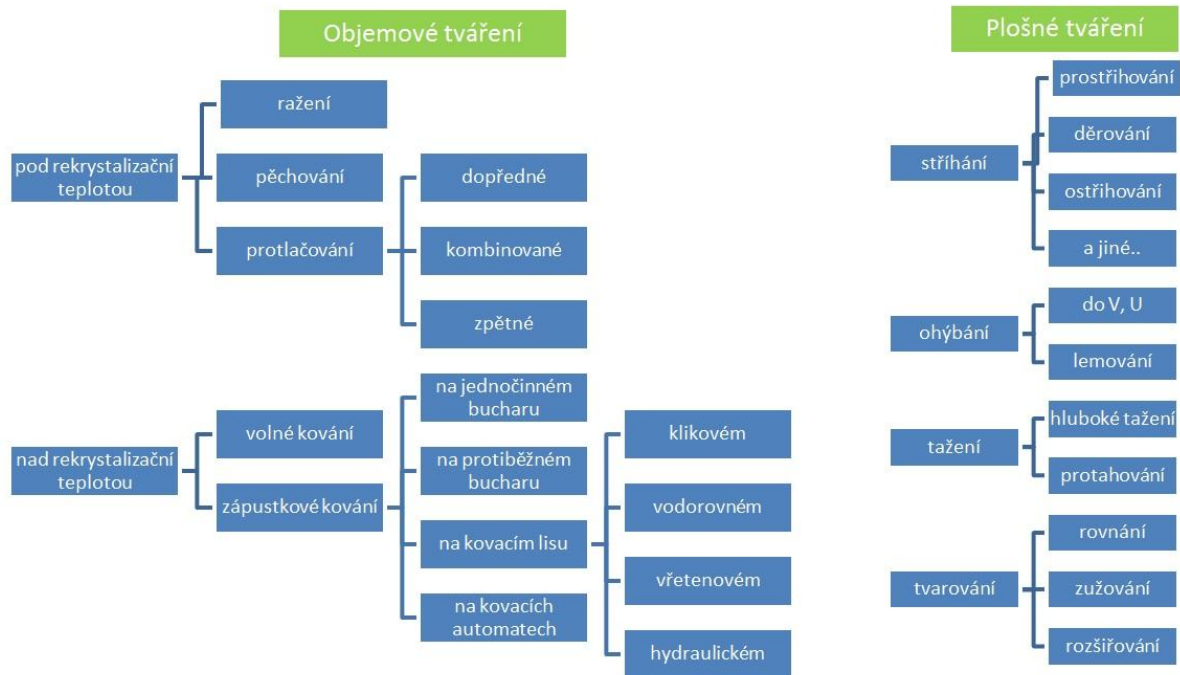
Tab. 3: popis jednotlivých symbolů k rovnici

kde:	$\rho$	hustota
	L	celková délka dislokačních čar
	V	objem
	n	počet dislokací protínající jednotku plochy S



Obr. 3: vlevo rozdělení dislokací, vpravo vliv hustoty dislokací [3]

Technologické procesy, při nichž probíhá změna tvaru součástí, ať plastickou deformací nebo obráběním, jsou ovlivňovány mimo jiné nástroji, které se podílejí na změně tvaru. V současné době existují dva způsoby rozdělení, technologické a tvarové. Vzhledem k tomu, že při tváření probíhá proces plastické deformace buď v celém objemu anebo pouze ve vymezené části, je třeba rozdělit nástroje pro objemové a plošné tváření. [3],[2]

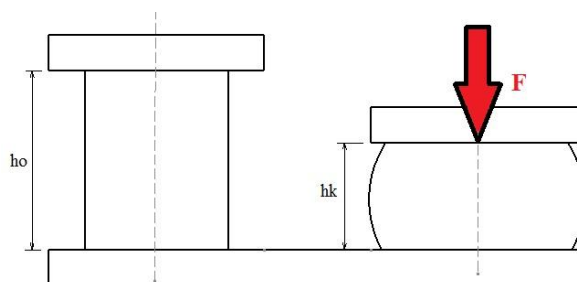


Obr. 4: Rozdělení objemového a plošného tváření

### 2.1.3 Stupeň deformace a prokování

Při tváření za tepla se tvar primárních krystalů, dendritů mění (dochází k jejich rozrušování) a vytvářejí se vlákna. Protože však nastává dynamická rekrytalizace, deformovaná zrna se změní na nová, jemnější a textura zmizí. Nečistoty v povrchových vrstvách krystalů nepodléhají rekrytalizaci, a proto nemění svůj tvar – vzniká vláknitá struktura, kterou nelze žádným tvářením ani tepelným zpracováním odstranit. [3]

### 2.1.4 Výpočet síly a práce při kování



Obr. 5: Stupeň deformace a prokování

Velikost deformační síly [N] je dána součtem přetvárného odporu (odpor proti tváření) a průmětu plochy polotovaru do roviny kolmé ke směru působící síly:

$$F = k_o * S \quad (2)$$

$$k_o = k_p * m \quad (3)$$

kde:  $k_o$  ... přetvárný odpor [MPa]

$k_p$  ... přetvárná pevnost [MPa]

$S$  ... plocha kovadel [mm<sup>2</sup>]

$m$  ... koeficient závislý na způsobu tváření, tvaru a rozměrech a na tření [3]

## 2.2 KOVÁNÍ

Kování je beztržkové tváření kovů pomocí spojitě vzrůstající silou na lisech nebo dynamicky působící silou na bucharech. Materiál se nahřeje v peci nebo kovářské výhni na kovací teplotu, která se liší podle druhu oceli. Tváření kovu může probíhat pomocí ručního kování nebo strojně, které probíhá pomocí bucharu a lisu. Kování lze rozdělit na volné a zápustkové.



Obr. 6: Základní rozdělení kování

### 2.2.1 Volné kování

V průběhu volného kování přetváříme vždy jen omezenou část materiálu. Finální tvar se tvoří postupně. Provádí se za tepla pomocí univerzálních nástrojů, jejichž tvar není svázán s konečným tvarem výkovku. Tvarová členitost výkovku nebývá složitá a téměř vždy následuje obrábění.

#### Volné ruční kování

Při volném ručním kování se materiál ohřívá ve výhních na kovací teplotu. Výhně jsou stabilní nebo přenosné. Stabilní výhně jsou zděné a mají velkou jímku pro ohniště. Přenosné



bývají většinou litinové. Ohřátý polotovar se kove na kovadlině pomocí úderu kladiva, které vyvíjí kovář vlastní silou a tím dosáhne přibližného tvaru hotové součásti.



Obr. 7: Výheň s odvodem spalin, umístěném ve zděném podstavci [9]

## Volné strojní kování

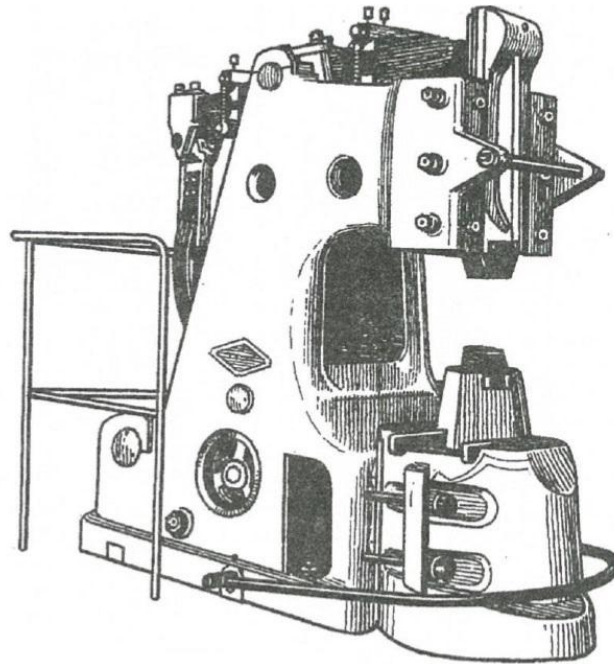
Strojně se kove pod buchary o váze beranu až 5 t. Pro kování výkovků, které vyžaduje větší váhu beranu, se zpravidla používá místo bucharu hydraulický lis. Polotovarem je válcovaný materiál nebo ingot. [1]

### a) Tvářecí stroje pro volné kování

Sem patří buchary, které tváří rázovou silou pomocí úderu kladiva a jsou určeny pro kování menších výkovků a hydraulické lisy, které využívají velikost lisovací síly až 5000kN a mohou sloužit pro kování velkých výkovků.

### Pružinové buchary

Pružinové buchary patří mezi nejjednodušší tvářecí stroje. Jsou poháněny od elektromotoru třecím převodem na setrvačnick a od klikového hřídele mechanicky pákami na beran. Rychlost beranu (rázová energie) se zvětšuje tím, že dvouramenná horní páka je odpružená gumovými špalíky nebo vytvořená ze svazku listových pružin. [1]



Obr. 8: Pružinový buchar [1]

## Kompresorové buchary

Tyto buchary jsou určeny pro kování malých i středně velkých výkovků. Skládají se ze stojanu a šaboty. Ve stojanu je pracovní a kompresorový válec. V pracovním válci se pohybuje beran vytvořený jako plunžr, který je poháněn stlačeným vzduchem. Pístu kompresoru je udělován pohyb klikovým mechanismem a převodem klikovými řemeny od elektromotoru. Úder beranu se mění větším nebo menším sešlápnutím nožní páky nebo pootočením ruční páky. [1]

### 2.2.2 Zápustkové kování

Zápustkové kování se používá ve strojním průmyslu, kde je zapotřebí kovat větší množství rozměrově stejných výkovků za předpokladu splnění ekonomických podmínek z čehož plyne levnější výroba.

Jedná se o proces tváření za tepla pomocí tlaku, který je vyvíjen kovacím lisem. Polotovár je tvářen nástrojem, který se pohybuje a tím vtlačuje předehřátý polotovár do dutiny zápustky, kde se postupně přetváří v jednotlivých operacích na požadovaný tvar výkovku. V případě, že jsou u hotových výrobků požadovány specifické mechanické vlastnosti, jsou výkovky dále tepelně zpracovávány.

Kováním v zápustkách lze vyrobit velmi jakostní výrobky značné přesnosti a ve velkých množstvích a plně tedy uspokojovat požadavky moderního strojírenství. Snížení pracnosti

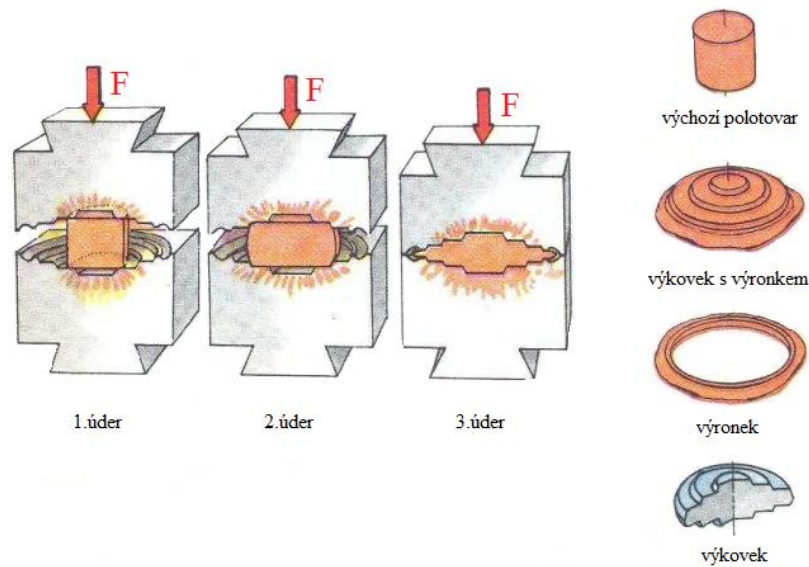
výroby a velký součinitel využití kovového materiálu při zápusťkovém kování zintenzivňuje strojírenskou výrobu a umožňuje soustavně snižovat vlastní náklady na výrobu. [6]

Zápusťkové kování má hned několik výhod:

- dosahuje vyšší produktivity práce
- menší spotřeba materiálu s čímž souvisí i minimalizace obrábění při snaze dosáhnout požadovaného finálního tvaru
- lze vyrábět tvarově složité součásti
- je zaručená opakovatelnost tvaru

Ohřátý materiál se tváří v dutině zápusťky, jejíž tvar je shodný s tvarem výkovku. Tvar zápusťky je rozměrově menší o hodnotu smrštění, která praxi činí 1,014% z finálních rozměrů výkovku. Proti volnému kování se dosahuje přesnějšího tvaru výkovku. Přesnost a jakost povrchu se dá výrazně zlepšit následným kalibrováním. Zápusťkovým kováním se dosahuje vysokého stupně prokování a průběh vláken sleduje obrys výkovku. Při zápusťkovém kování se postupuje tak, že se výchozí polotovar, ohřátý na potřebnou kovací teplotu, vloží do dutiny zápusťky a působí se na něj tlakem nebo údery tvářecího stroje. [3]

Zápusťky se vyrábějí z nástrojových ocelí vhodných pro práci a namáhání za vysokých teplot. Dutina zápusťky se vyrábí třískovým obráběním a dále se tepelně zpracovávají pro zlepšení mechanických vlastností. Konstrukce a výroba zápusťek se liší podle způsobu kování a typu stroje. Podle typu stroje rozeznáváme jednodutinové zápusťky, postupové zápusťky či zápusťkové vložky. V případě kování na bucharech je možné volit postupovou zápusťku, nebo jednodutinovou zápusťku [4]. Na lisech se lépe kovou díly s převažujícím rozměrem kolmým na směr působící síly a zápusťka se skládá z několika jednotlivých tvarových dílů, kdy jedná část je pevná a druhá pohyblivá.



Obr. 9: Postup kování v jednodutinové zápustce na bucharu [3]

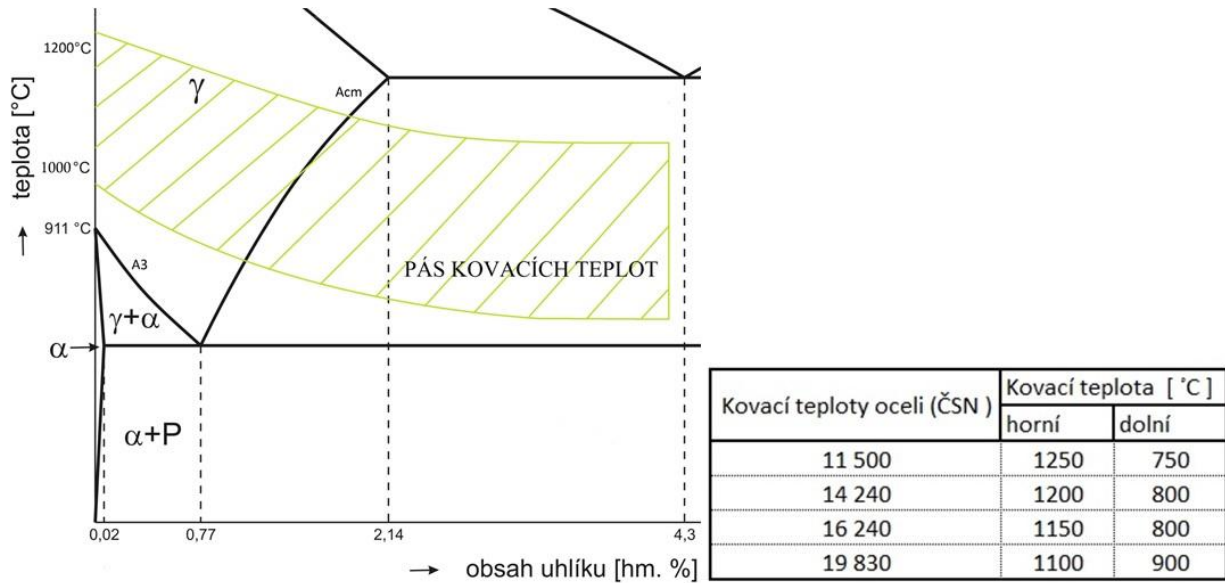
### Tvářecí stoje pro zápustkové kování

buchary: padací buchary, dvojčinné zápustkové buchary, protiúderové buchary

lisy: vřetenové lisy, svislé klikové kovací lisy, vodorovné klikové kovací lisy, hydraulické lisy

### 2.3 Kovací teploty

Proces kování se provádí v rozsahu kovacích teplot. Čím je teplota vyšší, tím je zpravidla ocel tvárnější a materiál tak klade menší odpor při tváření. Nevýhodou je ale hrubnutí struktury, pokles houževnatosti a tvorba okují. Z tohoto důvodu musí být ohřev materiálu rovnoměrný v celém svém průřezu, tak aby nedocházelo k velkým objemovým ztrátám opalem. Podle druhu oceli lze říct, že legované oceli mají nejmenší rozsah (interval) kovacích teplot a uhlíkové největší. Horní tvářecí teploty se u ocelí pohybují podle jejich chemického složení od 1100°C do 1300°C a je to nejvyšší teplota, na níž lze materiál ohřát. Nejnižší se pohybují mezi 750°C až 950°C.



Obr. 10: Vlevo kovací teploty v diagramu Fe-Fe<sub>3</sub>C, vpravo kovací teploty ocelí [3]

### 2.3.1 Vady vzniklé nesprávným ohřevem

Je velice důležité dbát na správnou volbu tvářecích teplot v závislosti na technologických a ekonomických požadavcích výrobku. Při použití vyšších teplot při tváření za tepla může dojít k tzv. vadám, kdy dochází k porušení soudržnosti oceli nebo zhoršení mechanických vlastností.

Druhy vad vzniklých nesprávným ohřevem: a) přehřátí oceli, b) spálení oceli, c) vznik okují

#### a) Přehřátí oceli

K přehřátí oceli dochází při jejím zahřívání nad přípustnou kovací teplotu nebo jejím delším ponechání na nejvyšší kovací teplotě. Při takovém ohřevu se zrna oceli zvětšují. Přehřátá ocel má pak hrubší strukturu a je křehká. Při velmi silném přehřátí se také sníží obsah uhlíku, který vyhoří a vznikne tak povrchové oduhličení oceli. Přehřátí můžeme částečně napravit překováním materiálu za teploty nižší asi o 30°C, než je nejnižší přípustná kovací teplota a dostatečným tepelným zpracováním. [7]

Přibližné teploty ohřáté oceli je možné určit odhadem podle její barvy.

Barva ohřáté oceli	Teplota	Barva
	1250 - 1350 C	bílá
	1150 - 1250 C	světle žlutá
	1050 - 1150 C	tmavě žlutá
	880 - 1050 C	žlutočervená
	830 - 880 C	světle oranžová
	800 - 830 C	tmavě oranžová
	780 - 800 C	třešňově červená
	750 - 780 C	tmavě třešňově červená
	650 - 750 C	tmavě červená
	580 - 650 C	hnědočervená
	520 - 580 C	černohnědá



Obr. 11: Odhad teploty ohřáté oceli podle barvy [5]

### b) Spálení oceli

Ke spálení oceli dochází při jejím ohřívání na mnohem vyšší teplotu, než je maximální přípustná teplota. Při tomto procesu nastává oksylichování oceli nejen na povrchu, ale i uvnitř materiálu podél hranic zrn. Vazba mezi jednotlivými zrny se narušuje a vznikají trhliny. [7]

### c) Vznik okují

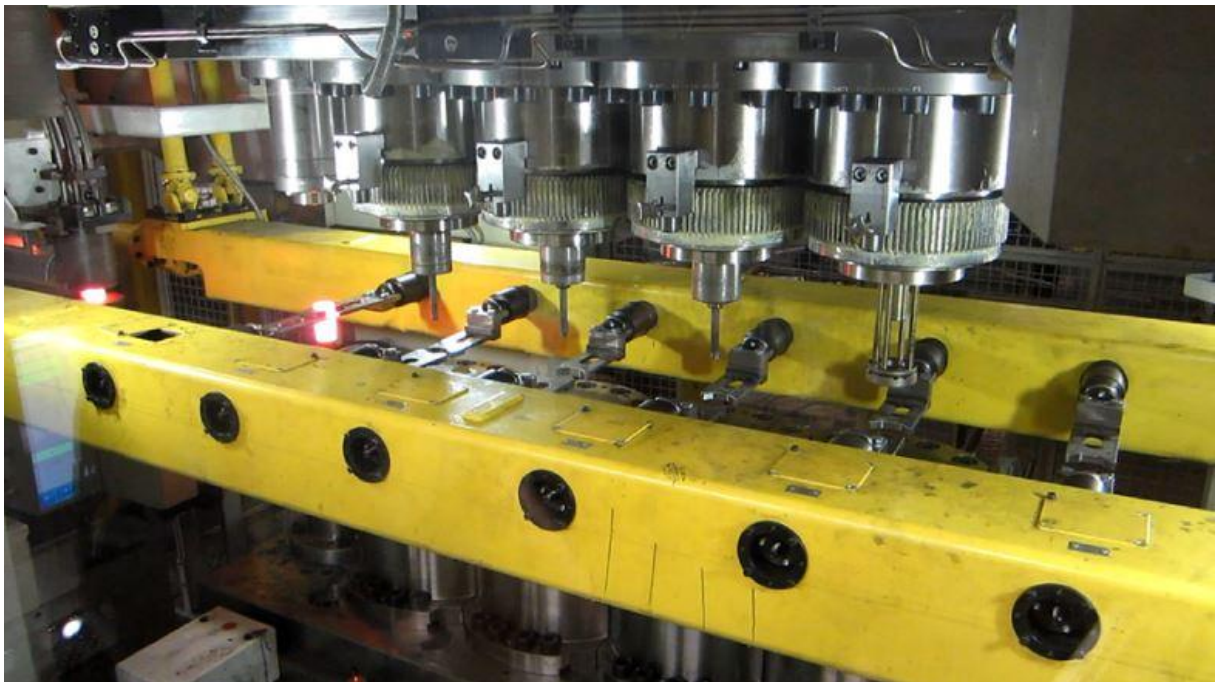
Okuje se tvoří v intervalu kovacíh teplot ( $850^{\circ}\text{C} \div 1250^{\circ}\text{C}$ ) působením volného kyslíku ze vzduchu a působením plynů obsahující kyslík. Na vznik okují má vliv způsob ohřevu, teplota pece, trvání ohřevu a složení plynů v peci. Ohřátý kov se oksylichuje i mimo pec při kování a při ochlazování na vzduchu po vykování. [6]

## 2.4 Přehled stávajícího postupu výroby kovárenského nářadí pro transferové kování na kovacím lise PK 1600 Schuler

V této části bakalářské práce bude představen hydraulický kovací lis PK 1600 Schuler a popis postupu navrhování nářadí ve ŠKODA AUTO a.s. v oddělení konstrukce.



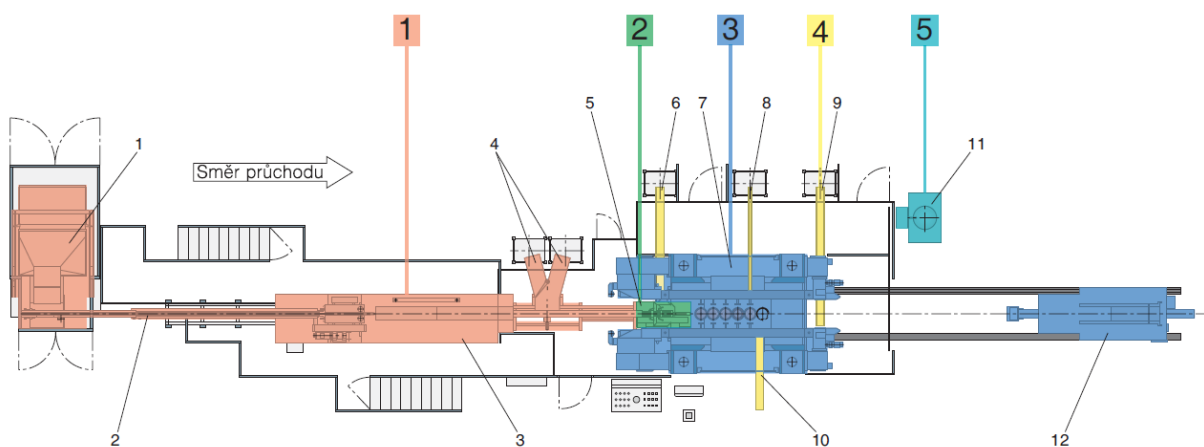
## Popis kovacího lisu PK 1600 Schuler



Obr. 12: Transferový kovací lis PK 1600 Schuler

Transferový kovací lis PK 1600 Schuler je velkokapacitní kovací lis s kadencí až 35 zdvih/min, kde je tváření rozloženo do 4 ÷ 5 operací s integrovanými chladicími (mazacími) okruhy. Díky rozložení tváření do více operací a centrálně řízeným chlazením je dosahováno poměrně velké životnosti náradí při vysoké rychlosti kování.

### 2.4.1 Popis rozložení stroje



Obr. 13: Rozpoložení kovacího lisu PK 1600 Schuler

1. Nakládací jednotka
2. Dopravní a zásobovací pás
3. Indukční zahřívací zařízení
4. Vyřazování příliš horkých/studených dílů
5. Vkladač
6. Vyřazovací zařízení vkladače
7. Lis PK 1600 SDT
- 8,9. Vyřazovací zařízení odpadu
10. Dopravník hotových dílů
11. Postřikový agregát
12. Vozík pro výměnu nářadí

Nakládací jednotka (1) plní funkci zásobníku polotovarů (válečků), které jsou řezány na požadovanou váhu podle druhu výkovku. Odtud je prostřednictvím pásu (2) materiál dopravován do indukční pece (3), kde je pomocí elektromagnetické indukce zahříván na teplotu kování. Ohřátý materiál je následně zkontrolován pyrometrem (4), který rozpoznává a vyřazuje příliš horké nebo studené kusy tak, aby kovaný materiál měl vždy požadovanou teplotu. Předehřáté díly jsou dále pomocí pásu posouvány ke vkladači (5), jehož úkolem je podávat jednotlivé válečky k transferu. Transfer následně pomocí úchopových čelistí přemísťuje váleček z jedné tvářecí operace do druhé. V poslední operaci je již tvarově hotový výkovek vyděrován a exportován dopravníkem (10) z kovacího prostoru lisu k přímému tepelnému zpracování, kde výkovek získává požadované mechanické vlastnosti (především tvrdost).

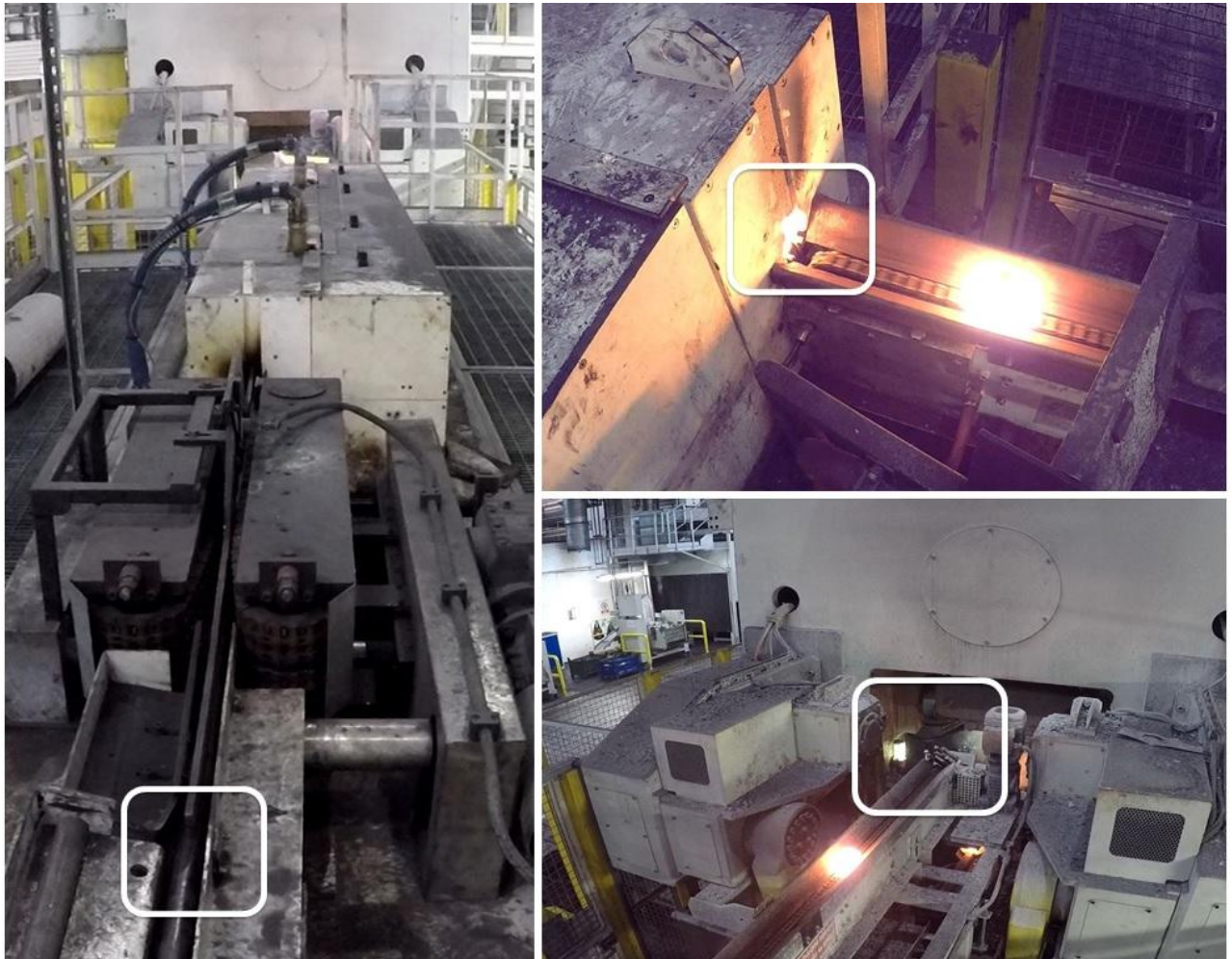
#### **2.4.2 Indukční ohřev na kovacím lise PK 1600 Schuler**

Indukční ohřev splňuje provozně důležité požadavky, které jsou na ohřev materiálu v kovárnách kladeny, tj. dokonalé prohřátí materiálu, přesné dodržení kovací teploty, stejnou dobu ohřevu. Předností indukčního ohřevu je pohotovost, provozní spolehlivost, jednoduchá obsluha i údržba, zkrácená doba ohřevu i její stejnoměrnost. Také zmírňuje oduhličení a oxidaci materiálu. [1]

Ohřev materiálu probíhá axiálně kdy materiál (váleček) prochází indukční cívkou s podélným (axiálním) magnetickým polem. Cívkou prochází střídavý proud o dané frekvenci. Standardní výkon je 1100kW při kmitočtu 2,4kHz a je dodáván statickým měničem uloženým v rámu topné jednotky.

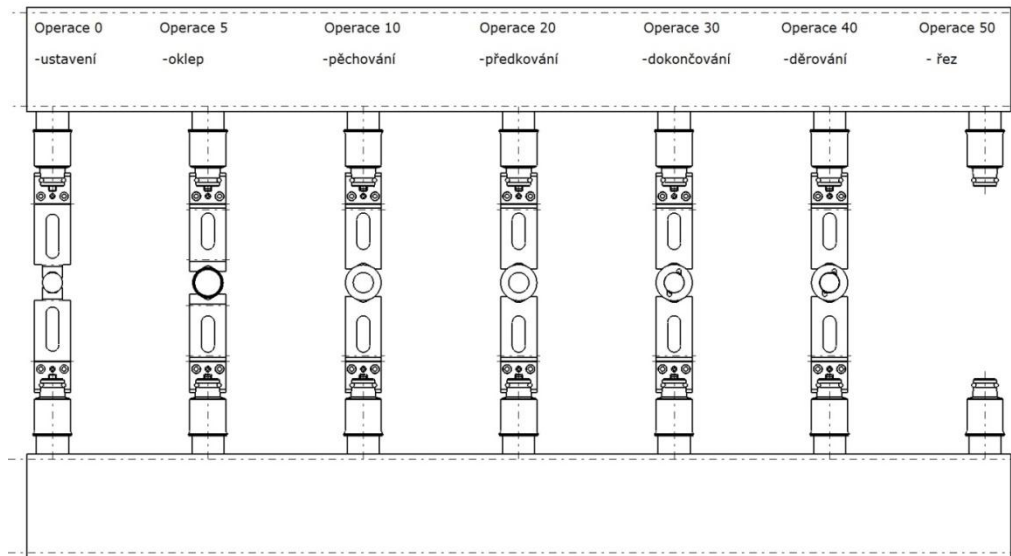


Nařezaný materiál pomocí dopravníku putuje do induktoru, kde indukčním ohřevem je kus ohřát na požadovanou teplotu. Po opuštění induktoru ohřátý kus putuje po dopravníku k tzv. chobotu, který ho dopraví k první operaci oklepu. (viz.obr.14)



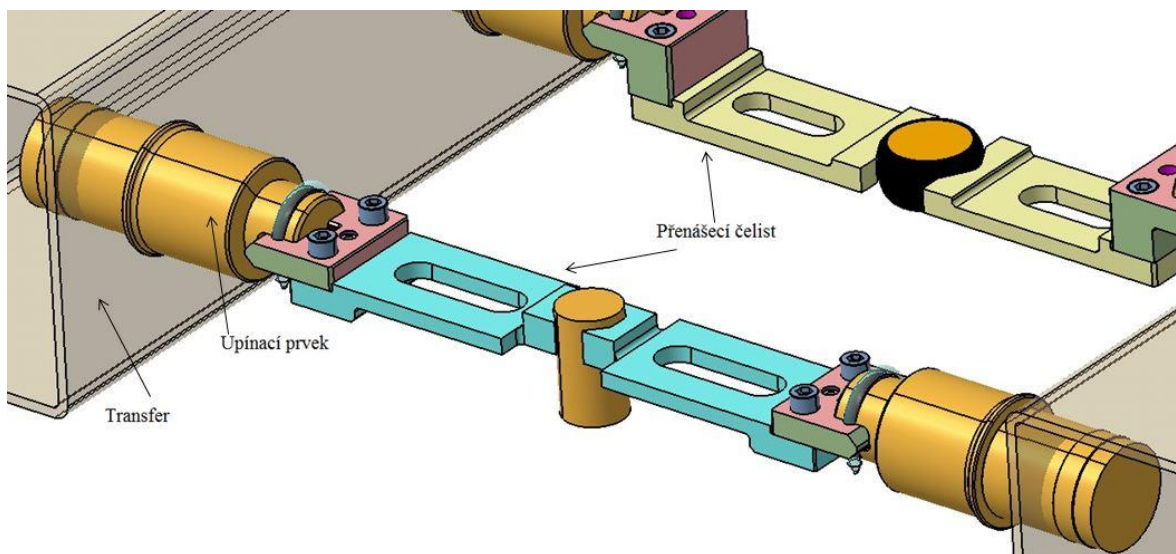
Obr. 14: Indukční ohřev

### 2.4.3 Transfer



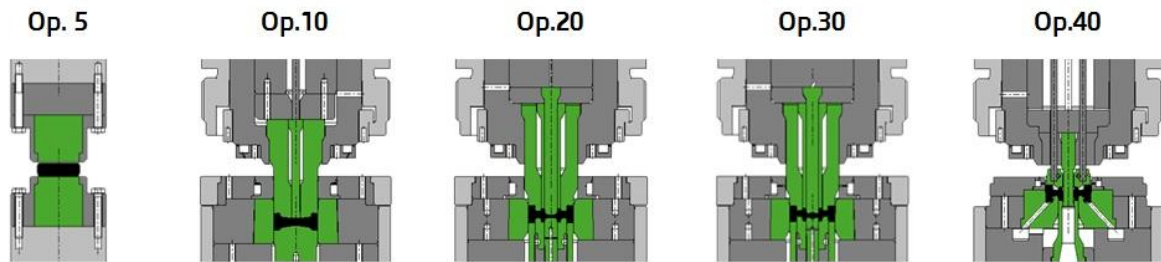
Obr. 15: Transfer

Transfer je pohyblivé zařízení mechanicky a elektronicky vázané k pohybu lisu, na které jsou namontovány čelisti sloužící k manipulaci a zakládání výkovků mezi jednotlivými kovacími operacemi. Důležitou součástí transferu je upínací prvek, na kterém jsou pomocí závlačky připevněny čelisti, které přenáší výkovek z jedné operace do druhé. Na jedné straně je upínací prvek pohyblivý a to hlavně kvůli možnosti nastavení přesné polohy čelisti pro správné uchopení a přenesení výkovku. Založení musí být přesné.



Obr. 16: Detailní pohled úchopových čelistí

## 2.4.4 Tvářecí operace



Obr. 17: Tvářecí operace

Průběh kování a počet tvářecích operací při transferovém kování na kovacím lise PK 1600 Schuler je rozděleno do 4 ÷ 5 tvářecích operací. Počet operací se odvíjí od způsobu a typu kovaného výkovku a to zdali se jedná o přesné kování (op. 5 ÷ op. 40) nebo o výronkové (op. 5 ÷ op. 50, která není znázorněna na obr. 17). Pátá operace plní funkci obvodového řezu.

### Operace 5 – oklep

Tato operace zbavuje přehřátý váleček okujů vzniklých při ohřevu, které jsou nežádoucí kvůli velkému obsahu uhlíku. Tvar válečku je za působení síly lisu přetvořen tak, aby lépe zapadnul při vložení do další tvářecí operace. Je důležité, aby oklepnutý váleček byl správně založen kvůli rovnoměrnému přerozdělení materiálu v dutině zápustky.

### Operace 10 – pěchovací operace

Tvářecí nástroj (trn vrchní) u pěchovací operace vniká do plného materiálu, který ještě nevykazuje velké tepelné ztráty a předkovává budoucí tvar výkovku. Jelikož nástroj pracuje v plném objemu, trpí jeho činná plocha díky působení částic kovů, které kloužou po tvarovém povrchu nástroje, a jejich rychlost se zvyšuje s postupným uzavíráním dutiny zápustky. S tím je spojená i zvyšující se teplota nástroje, kdy v důsledku toho dochází k největšímu opotřebení činné části. Rychlost vnikání je závislá na nastaveném kovacím taktu.

### Operace 20, Operace 30 – předkovací a dokončovací operace

V těchto dvou operacích je výkovek postupně přetvořen tak, aby jeho rozměry po vychlazení co možná nejvíce korespondovaly s finálními rozměry uvedenými na výkrese výkovku a pohybovaly se v povolených tolerančních mezích.

## Operace 40 – Děrovací operace

Děrovací operace zajišťuje odstranění vnitřního technologického přídatku (blány).

### 2.4.5 Mazání na kovací lise TR 1600 Schuler

Hlavním významem maziva (v tomto případě směs vody a mazadla) je odvést teplo z nástroje. K odvedení tepla dochází při dopadu směsi a následném odpaření vody, kdy na tvarové části náradí zůstane tenká vrstva separátu, která chrání nástroj proti mechanickému opotřebením. Teplota nástroje se v průběhu tváření pohybuje v rozmezí teplot  $180^{\circ}\text{C} \div 350^{\circ}\text{C}$  (což nemusí být pokaždé). Max. teplota, na kterou se ohřeje nástroj se odvíjí (jak již bylo uvedeno výše) od mnoha faktorů a rozmezí  $180^{\circ}\text{C} \div 350^{\circ}\text{C}$  je nejlepší rozmezí pro dlouhodobé kování. Mazivo také zmenšuje tření mezi náradím a výkovkem a zlepšuje tok tvářeného materiálu.

Mazadlo je transparentní separátor na bázi fosfátových solí a přesné složení podléhá utajení dodavatele. Pomocí zásobovacího zařízení s míchací nádrží je mazivo naředěno v daném poměru mazadlo/voda a dodáváno pro jednotlivé operace pomocí ventilů, které jsou součástí systému na lise Schuer a plní důležitou funkci pro chlazení. Ventily jsou nainstalovány na jednotce držáků pro horní nebo spodní nástroj.

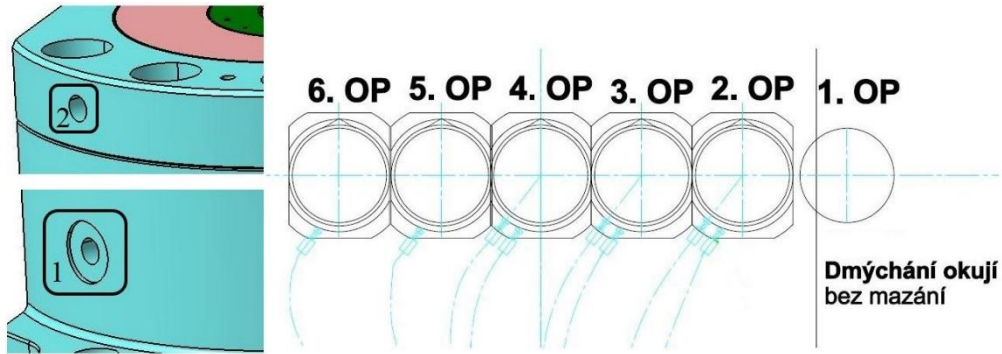


Obr. 18: vlevo přívod maziva do náradí, vpravo ventil

Dále je mazivo přivedeno za pomoci hadic do spodního a vrchního otvoru v tzv. hylzně, do které jsou složeny všechny pasivní a aktivní díly nezbytné pro kování. Prvním otvorem (viz. obr. 19 čílo1) je mazadlo přivedeno vnitřkem celé hylzny až k aktivnímu náradí uvnitř.

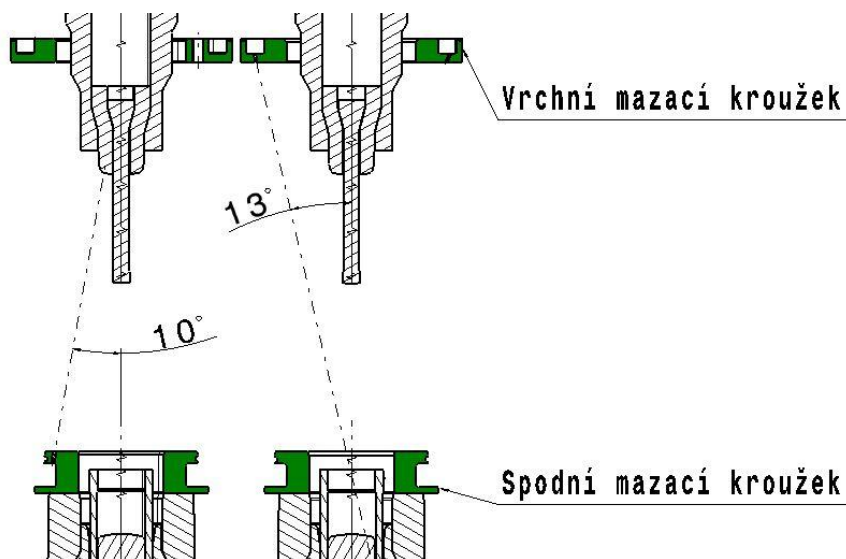


Hylzna je kruhový válec, do kterého jsou složeny veškeré pasivní a aktivní díly potřebné pro kování.



Obr. 19: Vpravo detailní pohled na chladičí otvory, vlevo zapojení mazacího okruhu

Druhým otvorem (viz. obr. 19 číslo 2), který je ve víku, je mazadlo dodáváno do ostřikovacích kroužků, které chladí vrchní aktivní díly. Přívod maziva do vrchní hylzny funguje na stejném principu jako spodní a za pomoci vrchního ostřikovacího kroužku chladí spodní aktivní díly. Proud ostříku můžeme vidět na obrázku níže.



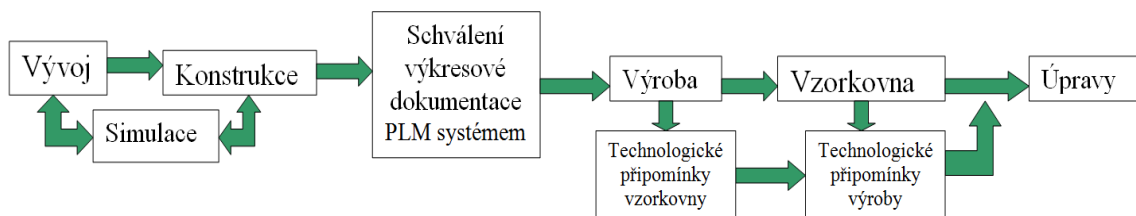
Obr. 20: Způsob ostříku aktivního nářadí

#### 2.4.6 Postup navrhování konstrukce kovárenského nářadí

Technologické procesy, při nichž probíhá změna tvaru součásti, ať plasticou deformací nebo obráběním, jsou ovlivňovány mimo jiné nástroji, které se podílejí na změně tvaru. Na rozdíl od obrábění, kde obráběcí nástroj má více méně složitý tvar, ale rozměrová přesnost je dána převážně strojem, který pohyb nástroje nebo obrobku řídí, u tvářecích nástrojů ve velké

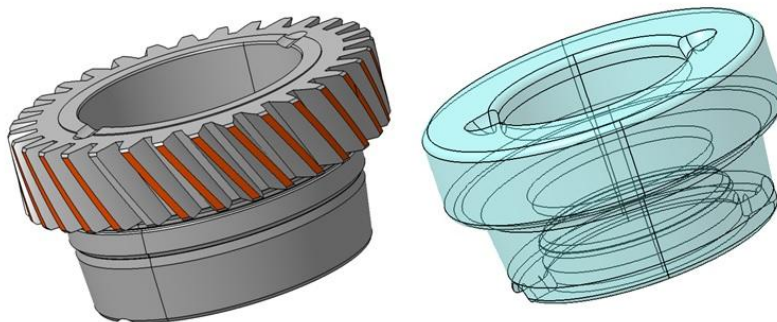
většinou jsou změny tvaru dány provedením a přesností výroby nástrojů, kde tvářecí stroj převážně slouží jako silová jednotka. Současně se i liší napěťové vztahy v tvářecím nástroji. Konstrukce nástrojů a tvary jednotlivých tvářecích kroků jsou pak odrazem materiálových, konstrukčních a technologických faktorů, ovlivňujících tváření. Z této úvahy tedy vyplívá různorodost nástrojů, jejich variabilita v závislosti na použitém tvářecím stroji, sériovosti, mechanizaci, materiálu polotovaru apod. [2]

Celý proces výroby kovárenského nářadí má daný technologický proces, který se musí dodržet a dá se rozdělit na několik jednotlivých etap.



Obr. 21: Schéma procesu vývoje-výroby kovárenského nářadí

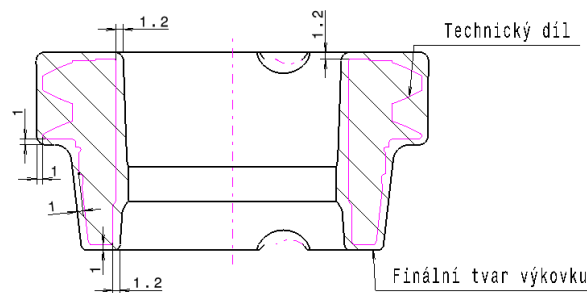
Veškerý proces začíná v oddělení technického vývoje, které navrhuje a vyvíjí celou převodovku, kde jsou odvozeny požadavky na tvary převodových kol. Následně je konečný datový model převodového kola, včetně výkresové dokumentace, zaslán do oddělení konstrukce, kde je dále zpracován metodický plán kování a navržen tvar nářadí a zápustek. Konstruktor vychází z tvaru technického dílu, pomocí kterého přidáním technologických přídavek vytvoří finální tvar výkovku.



Obr. 22: Vlevo technický díl, vpravo finální tvar výkovku

### a) Přídavky na obrábění

Přídavky na obrábění jsou dány složitostí tvaru a jsou ovlivněny zvolenou technologií kování, do které zahrnujeme typ tvářecího stroje, teplotu kování, počet tvářecích operací, konstrukci zápustky, požadavek na přesnost a jakost povrchu výkovku. V technické praxi to probíhá tak, že konstruktér obalí model technického dílu vrstvou přidaného materiálu, která se odvíjí od konečných rozměrů výkovku. Výkovky vyráběné kovááním za tepla mají znehodnocený povrch okujemi, který je poměrně drsný. Následným obráběním se dosáhne požadovaných rozměrů a přesnosti.

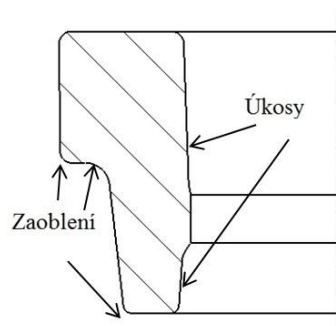


Obr. 23: Přídavky na obrábění při tvorbě výkovku

### a) Volba a stanovení úkosů a zaoblení

Úkosy se navrhují kvůli snadnému vyjmutí výkovku z dutiny, uvolnění tlaku na plochy výkovku, životnosti zápustky a rozlišujeme úkosy vnitřní a vnější. Volí se podle typu kovacího lisu a jeho samotné konstrukce. Má to vliv na jejich velikost, kdy pro lisy s vyhazovačem se volí hodnoty vnějších úkosů  $2^\circ \div 3^\circ$  a vnitřní  $3^\circ \div 5^\circ$  a pro buchary  $7^\circ \div 10^\circ$ .

Poloměry zaoblení redukuje velikost napětí v oblasti jeho vzniku a tím zvyšují odolnost proti mechanickému namáhání.



Obr. 24: Ukázka úkosů a zaoblení

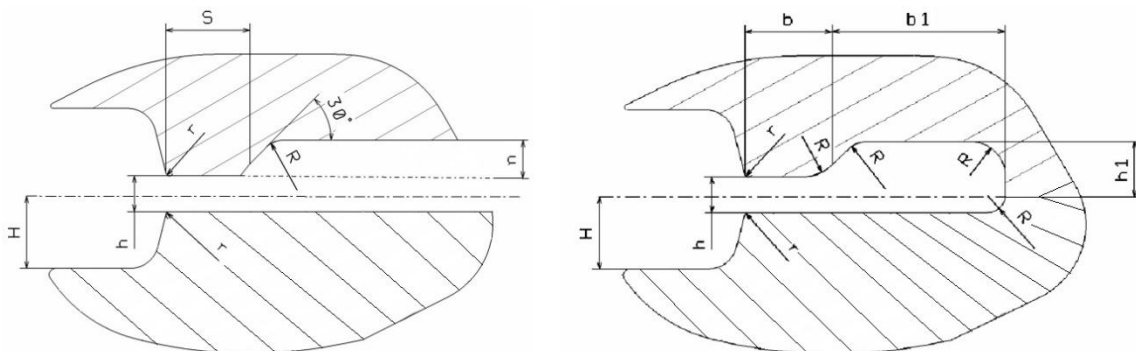
## b) Volba polohy a tvaru dělicí roviny

Dělicí rovinou se rozumí rovina, která rozděluje zápustku na jednotlivé díly tak, aby bylo možné výkovek vyjmout z dutiny zápustky. Poloha dělicí roviny vzhledem k výkovku může být buď ve směru hlavní osy výkovku, nebo kolmo na hlavní osu výkovku. Podle tvaru výkovku může být dělicí rovina přímá, lomená, zakřivená v jednom či ve více směrech. Dále rozeznáváme vnější a vnitřní dělicí rovinu. [4]

Vnitřní dělicí rovinu určujeme při kování tvarových výkovků, když se předkovávají otvory s následným děrováním. V této rovině (ploše) je umístěna vnitřní blána. Poloha blány se volí běžně uprostřed výšky otvoru. Nedoporučuje se volit polohu vnitřní blány ve stejné výškové úrovni jako rovinu vnějšího výronku. Otvory se předkovávají, pouze pokud je průměr otvoru větší než 10 mm. Vnitřní dělicí rovina je tedy dána polohou vnitřní blány. Vnitřní blána může sloužit i jako výronková drážka pro případ kování s vnitřním výronkem. [4]

## c) Výronková drážka

Výronková drážka se vytváří okolo celé dokončovací dutiny zápustky v dělicí rovině a tvoří tak přídatnou dutinu pro přebytečný materiál. Jsou dva základní typy drážek, které většinou využívají.



Obr. 25: Vpravo otevřená výronková drážka, vlevo uzavřená výronková drážka [3]

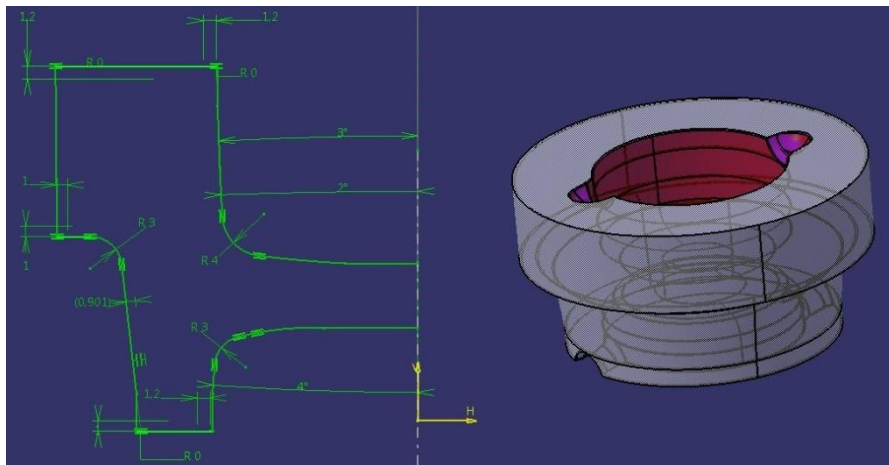
Uzavřené tvary drážek se používají u zápustek pro buchar. Tyto zápustky je nutno na rozdíl od zápustek pro lisy opatřit po obvodě styčnou plochou, která přenáší přebytečnou energii beranu. Zúžení drážky – brzdicí můstek – je regulátorem měrného tlaku v dutině zápustky. Zvyšuje odpor proti vytečení materiálu do drážky a pomáhá zajistit dokonalé zaplnění dutiny zápustky. V dalším umožňuje snadnější odstřížení výronku svým nejmenším



průřezem. Rozměry výronkové drážky a můstku se navrhují podle tvaru výkovku a jsou uvedeny v ČSN 22 8308 a ČSN 42 8306. [5]

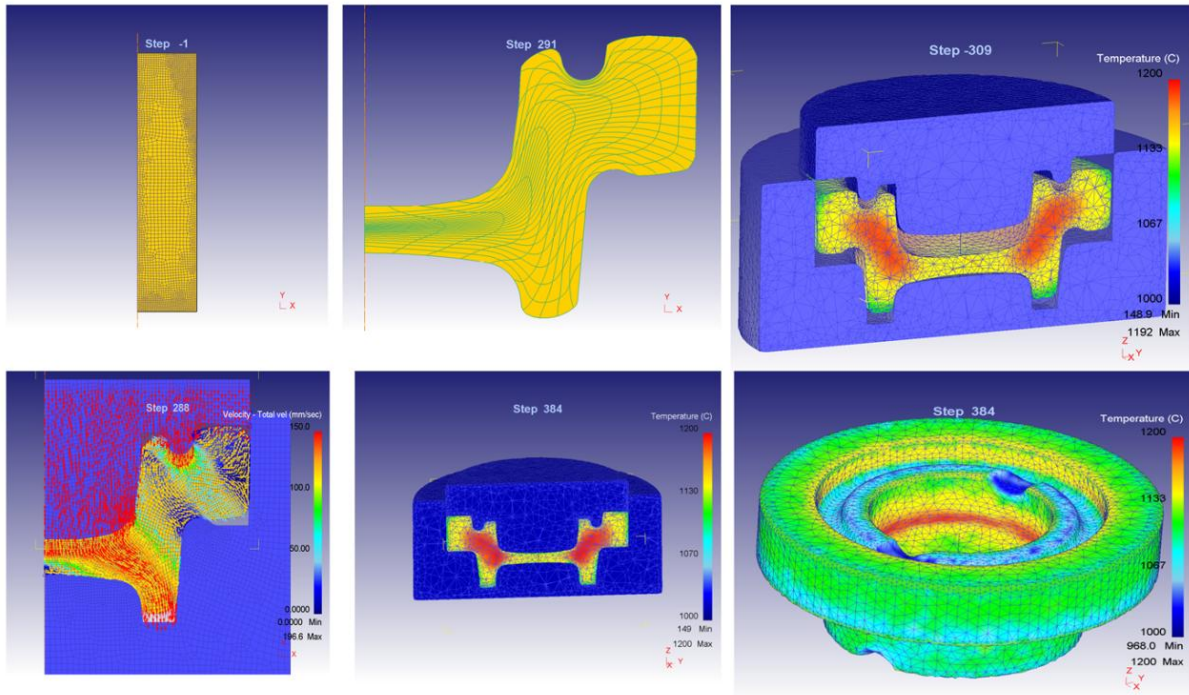
#### d) Návrh tvaru tvářecích operací a kovárenského nářadí

Na základě tvaru finálního výkovku je konstruktér schopen vytvořit tvářecí operace s pomocí technologického oddělení, platných předpisů a směrnic, dlouholetých zkušeností a zvyklostí kovárenské konstrukce. Prvním krokem je v programu CATIA V5 obalit technický díl přídatky na obrábění, zvolení dělicí roviny a následně určit tloušťku blány. Po vykonání těchto kroků má konstruktér finální tvar dokončovací operace, od které se odvíjí konstrukce a návržení zbývajících tvarů tvářecích operací.



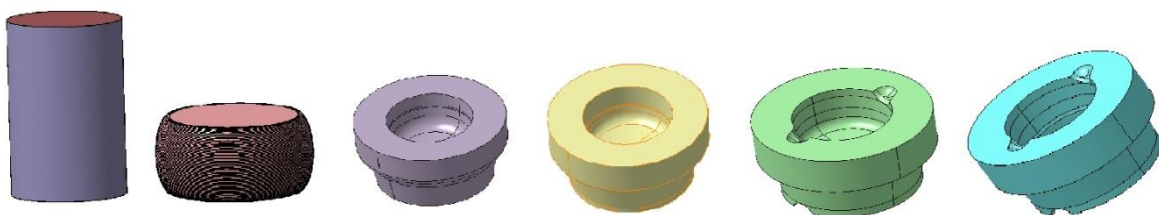
Obr. 26: Návrh tvaru dokončovací operace a finální tvar za pomocí programu CATIA V5

Správnost navrženého tvaru výkovku, který zároveň slouží i jako předloha pro konstrukci tvarové zápustky a tvarového kovacího nářadí, ověří konstruktér v softwaru CATIA Deform, pomocí kterého lze zjistit správnost vyplnění dutiny, směr toku vláken, teploty dosahované na povrchu nástrojů a zápustky, pevnost a opotřebení a tak analyzovat chyby.



Obr. 27: Příklad numerické simulace v softwaru Catia Deform

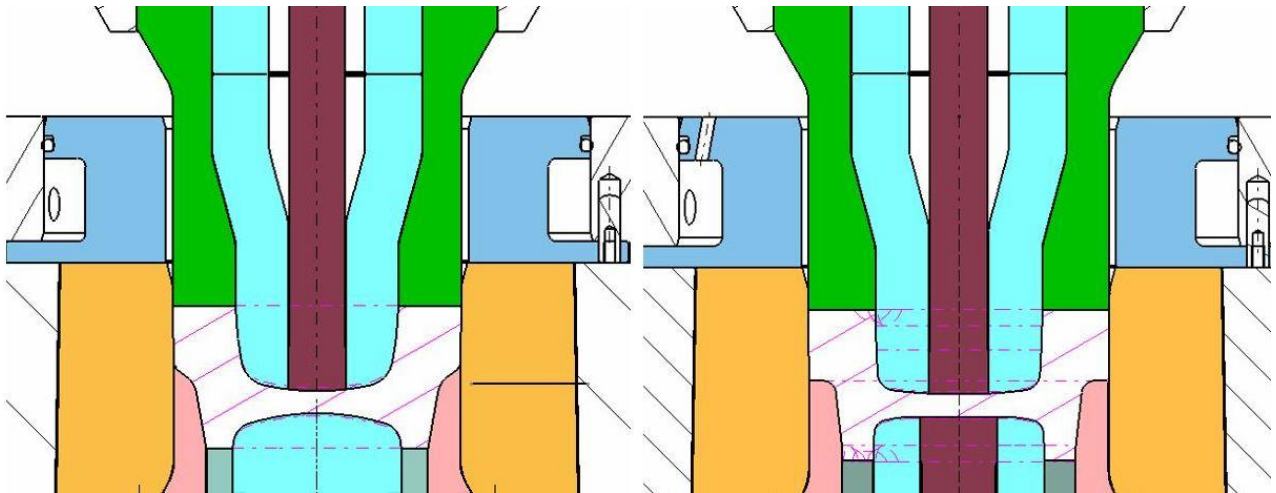
Po ověření správnosti navrženého tvaru, je konstruktér schopen stejným způsobem navrhnut zbývající tvarové operace s tím, že musí dodržet stejný objem materiálu v každé operaci a hodnotu na oteplení. Od toho se odvíjí tvarová odlišnost a to zejména co se týče úkosů a radiusů, které se postupně v každé operaci zmenšují a napomáhají k lepšímu toku materiálu při tváření. Pokud materiál nestihne vyplnit tvarovou dutinu zápustky, konstruktér pozmění např. geometrii tvářecího nástroje, zvětší zaoblení, změní úkosy, polohu blány nebo konstrukci předchozí operace.



Obr. 28: Tvar výkovku v dané tvářecí operaci

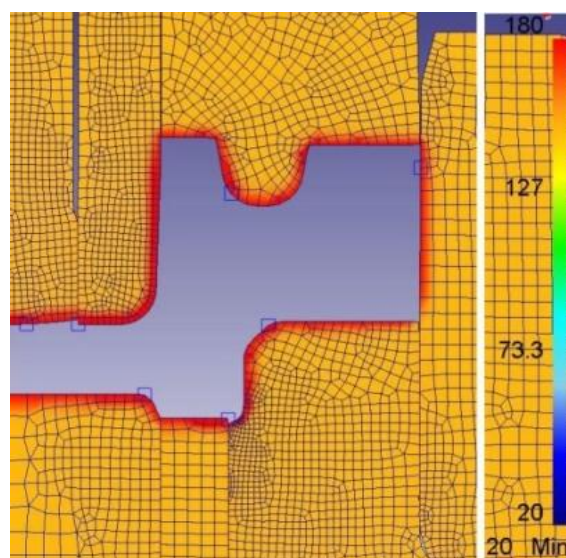
Geometrie tvářecího nástroje se následně navrhuje podle finálního tvaru jednotlivých tvářecích operací, kdy se konstruktér řídí směrnicemi plynoucími z ČSN, ON nebo podnikovými normami, po případě také zkušenostmi a tradicemi daného oddělení či závodu.

Postup návrhu a simulace je stejný jako u navrhování tvaru výkovku pro určitou tvářecí operaci. Nářadí pro výkovky kované na hydraulickém lise PK 1600 Schuler je rozděleno na spodní a vrchní. Tvar výkovku se dosáhne za pomoci několika dílů nářadí, které jsou složeny tvarově za sebou tak, aby se dosáhlo požadovaného tvaru v dané operaci.



Obr. 29: Ukázka tvaru nářadí: vlevo pěchovací operace, vpravo dokončovací operace

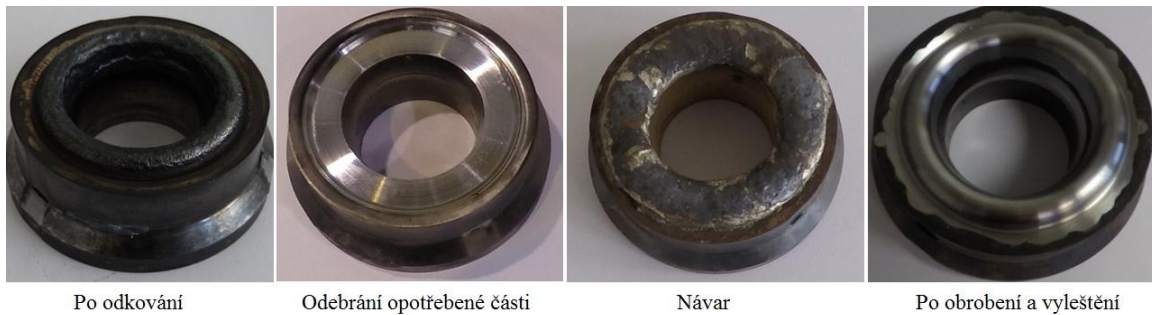
Za pomoci softwaru CATIA Deform je možné nasimulovat proces kování v dané operaci za předpokladu zadání všech parametrů ovlivňující proces kování, jako jsou vstupní teplota výkovku, parametry tvářecího stroje, vlastnosti materiálu aj. Poté za pomoci matematických výpočtů je software schopen nasimulovat vzniklé teploty a tlaky na plochách nástrojů, schopnost vyvolání dostatečného toku materiálu a tím docílení požadovaného navrženého tvaru.



Obr. 30: Simulace tvářecích nástrojů v softwaru CATIA Deform

## 2.5 Způsob renovace kovárenského nářadí pro transferové kování

Cílem navařování nářadí je zvýšení potenciálu životnosti. Pro návar je odebrána opotřebená část na nářadí s dostatečným prostorem pro kořen návaru (2,5÷3mm). Návar je proveden s předehřevem 300°C elektrodou CASTOLIN Xuper 6055 o průměru 3,2 mm ve třech vrstvách.

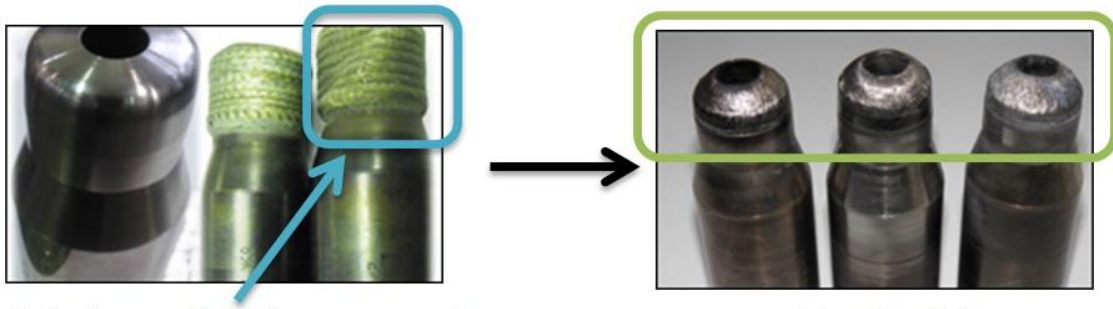


Obr. 31: Postup renovace návarem

První vrstvu vzhledem k základnímu materiálu předehříváme na zmíněných 300°C. Další dvě vrstvy navařujeme s co nejmenším tepelným příkonem. Ve vzdálenosti 50 mm od svaru udržujeme teplotu do 200°C. Po zchladnutí navařovaného kusu nářadí je tvar obrobený dle CAD dat na CNC soustruhu. Následně je tvar napojen a vyleštěn nástrojařem. Poté je tepelně zpracován a nitridován.

Mechanické vlastnosti		
Tvrдость	ihned po svařování	32 - 35 HRC
	po tepelném zpracování 480/4hod	50 - 52 HRC
	po tepelném zpracování a nitridaci	61 HRC

Renovace trnů pro kovací lis PK 1600 Schuler probíhá buď ručním navařováním elektrodami EB511, CASTOLIN Xuper 6055 nebo strojním navařováním např. plazmou. Od jejich renovace se však upustilo, protože trny nevykázali výrazné zlepšení životnosti a vzhledem k spotřebě tvarových trnů se navrhnul jiný konstrukční návrh, který podléhá utavení Škoda Auto a.s..



Způsob provedení návaru na trnech

Po odkování

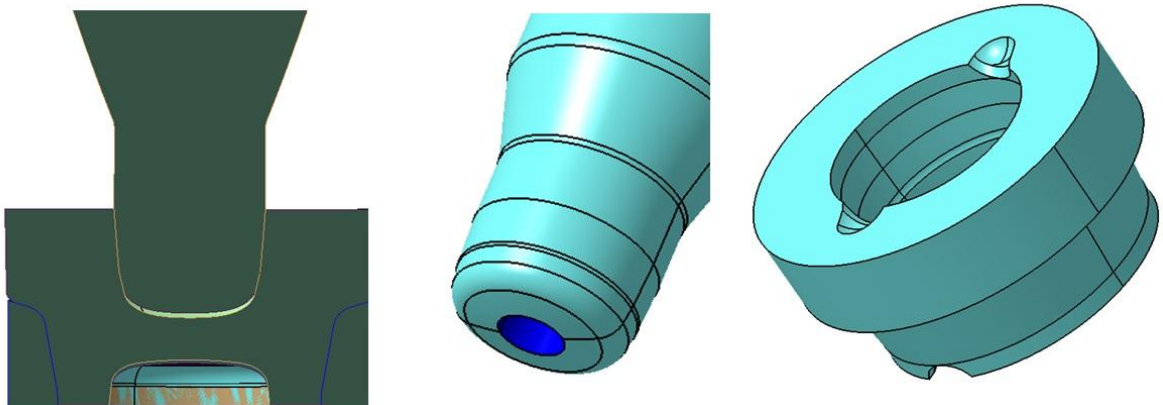
Obr. 32: Zhodnocení renovace trnů



### 3 PRAKTICKÁ ČÁST

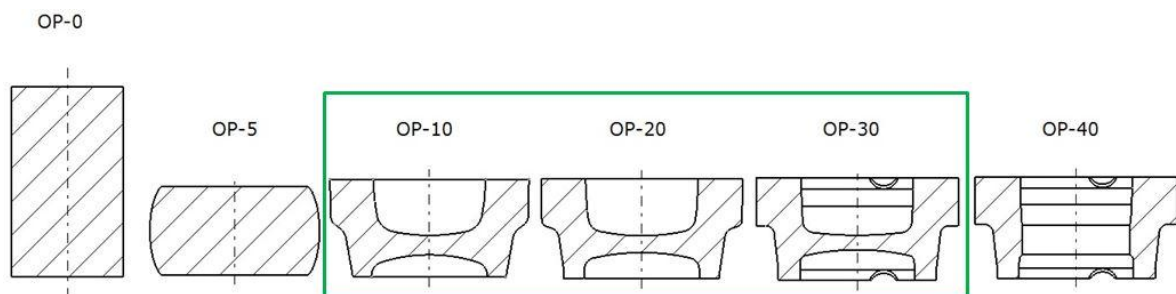
Praktická část se bude zabývat optimalizací životnosti kovacího nářadí na klikovém kovací lise PK 1600 Schuler. Cílem bude navržení optimalizačních kroků vedoucích ke zvýšení životnosti nářadí, které je v důsledku nerovnoměrného rozložení tváření v jednotlivých operacích a nedostatečným chlazením nadměrně opotřebováno.

Zaměřilo se na 3 hlavní kovací operace a to op. 10 ÷ op. 30 (viz. obr. 34), kde dochází k největšímu přetvárnému odporu (přesunu materiálu po tvarové části nástroje). V důsledku toho docházelo ke značnému opotřebování a to především vrchních trnů.(viz. obr. 33)



Obr. 33: Vlevo řez trnu vrchního s výkovkem, uprostřed trn vrchní, vpravo výkovek s interním označením 0AM 311 362AE

Pro zlepšení životnosti bylo vybráno nářadí s interním označením R 0AM 311 362 AE vzhledem k poměrně dlouhé tvarové části trnů, který je vlačován do poměrně velké hloubky, tak aby optimálně předkoval budoucí tvar kolečka.



Obr. 34: Průchodový plán nářadí s interním označením 0AM 311 362AE

### 3.1 Analýza problematiky a podmínky současného průběhu kování

Životnost klesá v důsledku silového působení nástroje do materiálu, po jehož pracovní ploše vysokou rychlostí kloužou částice tvářeného kovu, které jsou přemísťované a tím vyvolávají tření. Tření značně zpomaluje tváření a vzniká při něm další teplo, které se nežádoucím způsobem projevuje na životnosti kovacího nářadí. Následkem tření může být nástroj vystaven takové teplotě, která překročí limitní hodnoty jeho tepelné degradace a v důsledku toho je nářadí (trn) poměrně rychle opotřebeno.

#### Materiál trnů

Polotovary nakupované do zásobovacího skladu je tyčovina kruhového průřezu, která je na nářezu předřezaná v požadované délce a to v závislosti na typu vyráběných trnů. Trny pro převodové kolo 0AM 311 362AE se vyrábějí z materiálu výkresového označení DIN 1.2367. V tabulce č. 4 je zohledněno chemické složení tohoto materiálu.

Tab. 4: Chemické složení materiálu 1.2367

Chemické složení [hm. %] mat. 1.2367							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
0,35-0,40	0,30-0,50	0,30-0,60	max. 0,035	max. 0,035	4,70-5,20	2,70-3,30	0,40-0,70
Použití							
Vysoce výkonné zápustky a zápustkové vložky, dále vysoko namáhané nástroje pro výrobu šroubů, matic, nýtů							

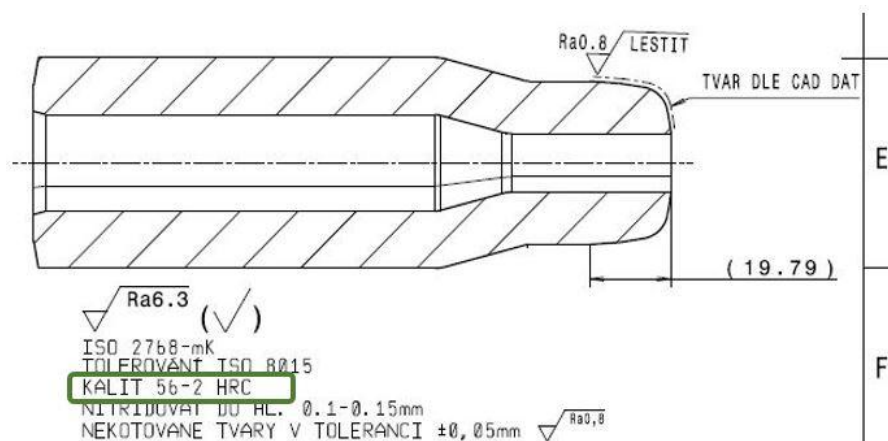
#### 3.1.1 První průběh kování

V prvním průběhu kování nářadí celkově za dobu svého nasazení na lis nakovalo okolo 4tisíc ks, což bylo neuspokojivé vzhledem k požadavkům, do kterých patří produktivita kovacího stoje, požadavek na životnost kovacího nářadí, požadavek na celkovou nakovanou dávku (množství výkovek) a cenu nářadí.

Tab. 5: Parametry ke kování

Parametry ke kování	
Lis	PK 1600 Schuler
Číslo dílu	R 0AM 311 362 AE
Pracovní takt	28 ks/min
Mazání a chlazení nástroje	Transparentní separátor
Teplota ohřevu	1240 °C
Životnost nástroje a požadavek na kvalitu	10000 ks
Hodnocené parametry	dle aktuálního výkresu výkovku

Zkouška probíhala za parametrů uvedených v (tab. 5). Kvalita dokování s povrchem kovacího nástroje se kontrolovala průběžně. Po naplnění všech 4 operací byl zastaven proces kování a naseknutím za pomoci kladiva a sekáče udělána na výkovku značka, která sloužila jako orientační bod pro seřízení správného založení kusu. Je to velice důležité k orientaci polohy výkovku v dutině zápustky při manipulaci s nastavením hodnot čelistí na transferu (viz. obr. 15, obr. 16), které slouží k správnému založení výkovku. Při nesprávném založení může výkovek dosednout na hranu zápustkové dutiny a tím dojde ke kolizi.



Obr. 35: Trn vrchní

Trny vrchní se tepelně zpracovávají na tvrdost 56-2 HRC. Tvrdosti 56 HRC se dosáhne při tepelném zpracování, které probíhá za teploty 480°C. Z tohoto důvodu se dalo předpokládat, že tvarová část trnů dosahovala podobných teplot a tudíž povrch byl žíhaný a



materiál tak ztratil svoje původní mechanické vlastnosti. Následná zkouška tvrdosti potvrdila domněnku teplotního zatížení, kdy byla zjištěna menší tvrdost na tvarové části.



Metalurgická laboratoř VKG/5  
Mladá Boleslav

**Protokol o zkoušce č.**

Laborbericht Nr.

<b>Předmět zkoušky</b> Vorgang	Materiálový rozbor nářadí (trn vrchní)	<b>Materiál</b> Material	W.Nr. 1.2367 (X38CrMoV5-3)
<b>Název dílu</b> Teilebezeichnung	-	<b>Dodavatel</b> Materiallieferant	VSN3 Výroba metalurgického nářadí
<b>Číslo dílu</b> Teilnummer	R 0AM 311 362 AE	<b>Počet vzorků</b> Probeteileanzahl	1
<b>Nářadí</b> Werkzeuge	pozice/pořízení - 2.1/9	<b>Poznámka</b> Notiz	Nízká životnost
<b>Zákazník/OJ</b> Auftraggeber/Abteilung		<b>Schválil</b> Genehmigte	
<b>Zpracoval</b> Erarbeitete		<b>Schváleno</b> Genehmigt	06.2014 9:33

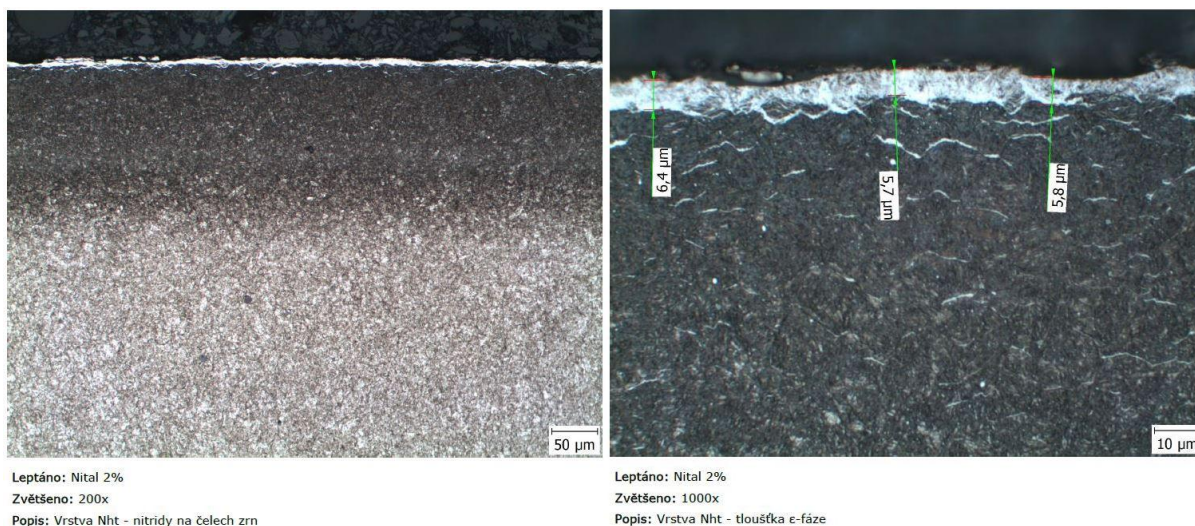
**Mechanické vlastnosti / Mechanische Eigenschaften**

Zpracoval:  
Zpracováno:

Vyhovuje: **NE**

<b>Zkouška: Tvrdost / Härte</b>					
Norma: ČSN EN ISO 6508-1					
Jednotky: HRC					
Předepsané hodnoty:					
Výkres					
min.			max.		
54,0			56,0		
<b>Naměřené hodnoty:</b>					
Vzorek	1				
Měřené místo	1	2	3	4	5
	54,5	55,5	55	55,5	55,5
Průměr	55,20				

Obr. 36: Protokol o zkoušce tvrdosti trnu vrchního



Leptáno: Nital 2%  
Zvětšeno: 200x  
Popis: Vrstva Nht - nitridy na čelech zrn

Leptáno: Nital 2%  
Zvětšeno: 1000x  
Popis: Vrstva Nht - tloušťka ε-fáze

Obr. 37: Vlevo vrstva Nht - nitridy na čelech zrn, vpravo vrstva Nht - tloušťka ε-fáze

Bylo tak potřeba zjistit teplotu trnů v průběhu kování a navrhnout další kroky vedoucí k optimalizaci životnosti. Nářadí nakovalo za výrobní dávku 4 180 ks .

Číslo dílu	KB	Počátek kování	Příprava nářadí	Nakováno	Konec kování
R 0AM 311 362 AE	B8 (Sch)	05.06.2014 07:05	05.06.2014 06:37	4 180	06.06.2014 03:36

Obr. 38: Počet nakovaných kusů z první zkoušky kování

### 3.1.2 Kroky vedoucí k optimalizaci životnosti

Návrh postupu při řešení a určení optimalizačních kroků.



Obr. 39: Postup optimalizace

Pro zlepšení životnosti nářadí byly navrženy po konzultaci s oddělením konstrukce kroky vedoucí k optimalizaci životnosti (viz. tab. 6).

Tab. 6: Kroky vedoucí k optimalizaci životnosti

1. Zjištění teploty nářadí pomocí termokamery
2. Úprava geometrie nástroje
3. Úprava geometrie děr mazacích kroužků
4. Korekce mazání pomocí vysokorychlostní kamery a termokamery

#### 1) Zjištění teploty nářadí pomocí termokamery

Za pomoci systému ThermoInspector TI3366 TPC Package(viz obr. 13), bylo možné ověřit dosaženou teplotu na tvarové části nástroje.

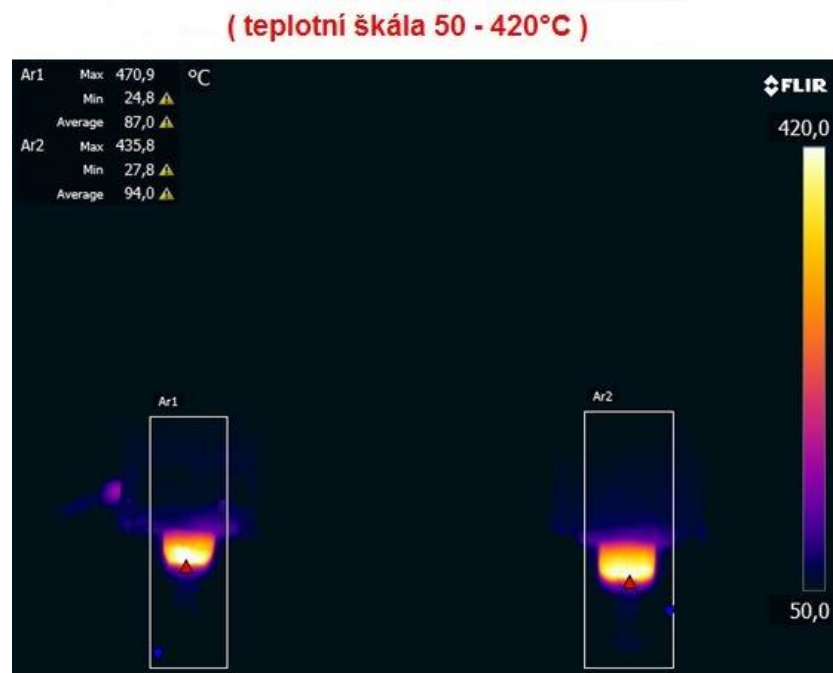
Tab. 7: Základní informace o systému ThermoInspector TI336 TPC Package

Základní informace o systému	
Měřicí rozsah:	- 40 °C až 600 °C
Velikost kontrolované plochy (z 50 cm):	11 x 9 cm
Přibližná velikost pixelu (z 50 cm):	0,34 mm
Teplotní citlivost:	50 mK při 30 °C
Rychlost měření a vyhodnocování:	Max.9x za sekundu



Obr. 40: ThermoInspector TI336 TPC Package

Teplotní škála měření byla nastavená v rozsahu  $50^{\circ}\text{C} \div 420^{\circ}\text{C}$  a její spektrum měření bylo soustředěné do oblasti pohybu vrchních trnů. Na (obr. 41) jsou znázorněny měřicí pole (spektra) Ar1, Ar2, která byla soustředěná na tvarovou část trnů. ThermoInspector sledoval teplotu trnů v průběhu kování a předával informace řídicímu systému. Po vyhodnocení měření byly získány teploty trnů, které se pohybovaly v oblasti Ar1 okolo  $470^{\circ}\text{C}$  a Ar2 okolo  $456^{\circ}\text{C}$ . Nastavení teplotní škály je orientační. Systém sleduje zadanou škálu teplot, ale při případném překročení zaznamenává veškeré teplotní hodnoty.



Obr. 41: Termo kamera – teplotní škála nástroje

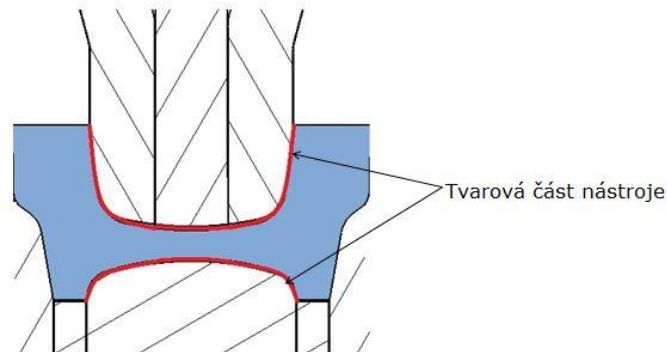
Při druhém průběhu kování byly zachovány parametry nastavení na kovacím lise (viz. tab. 5). Samotná zkouška vedla pouze k zjištění teploty trnů (obr. 41) v průběhu kování, což se dosáhlo již zmíněnou termokamerou thermoinspektor (viz. obr. 40). V průběhu byl zjištěn i fakt důležitosti dodržení stejného nastavení hodnot mazacích okruhů a nastavení transferu. Kvůli odchýlkám v nastavení byla míra deformace trnů jiná ale i přesto vykazovali stejně nízkou životnost jako při první zkoušce. Na (obr. 42) je možné porovnat míru deformace trnu z prvních dvou zkoušek kování.



Obr. 42: Míra deformace tvarové části trnů po odkování z prvních dvou zkoušek

## 2) Úprava geometrie nástroje

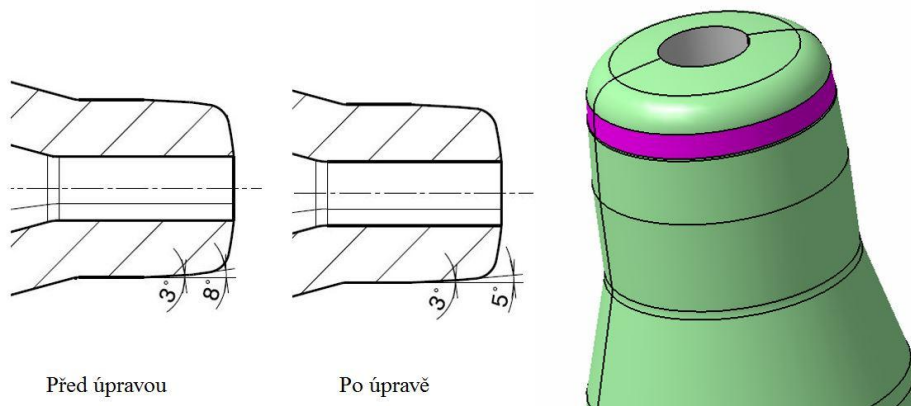
Bylo důležité se zamyslet nad tím, jak zmenšit opotřebení tvarových částí nástroje a optimálně upravit tvar tak, aby všechny operace byly přibližně stejně zatížené a opotřebované.



Obr. 43: Ukázka tvarové části nástroje

Prvním krokem bylo přerozdělení toku materiálu tak aby operace pýchovací, předkovací, dokončovací pracovaly a byly zatížené postupně, a také se dosáhlo rovnoměrného zatížení všech trnů, a to jak spodních tak vrchních. Tím se snížilo nerovnoměrné tváření, ale předkovací operace stále nejvíce podléhala teplotním deformacím, což vedlo k rozhodnutí zvětšení tloušťky blány a tím pádem zmenšení vrchního trnu.

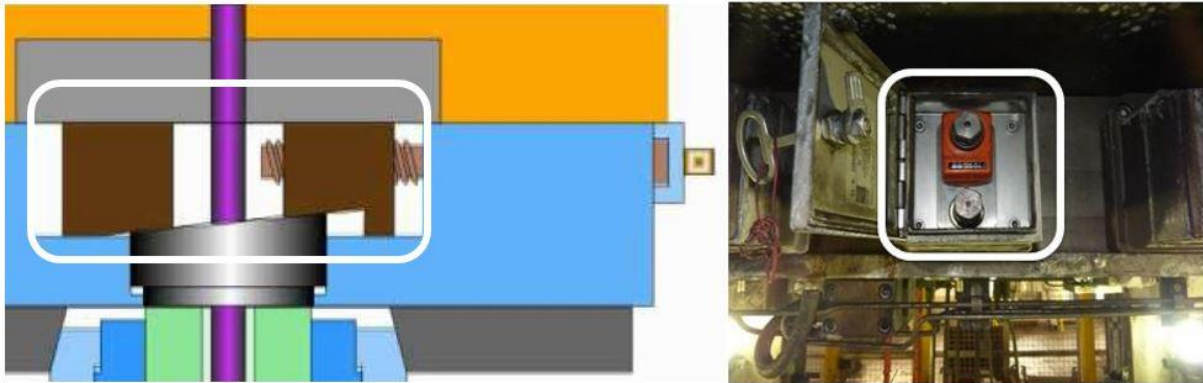
Navazující změnou byla úprava úhlu tvarové části trnu, jelikož je velmi důležité pod jakým úhlem vniká trn do materiálu. Čím větší sklon úhlu na tvarové části, tím větší tlak na této ploše vzniká a to ovlivňuje životnost. Na základě toho bylo rozhodnuto o zmenšení úhlu, která vedla ke snížení tlaku a menšímu opotřebení tvarové části.



Obr. 44: Změna úhlů na trnů (změněná plocha vyznačená růžovou barvou)

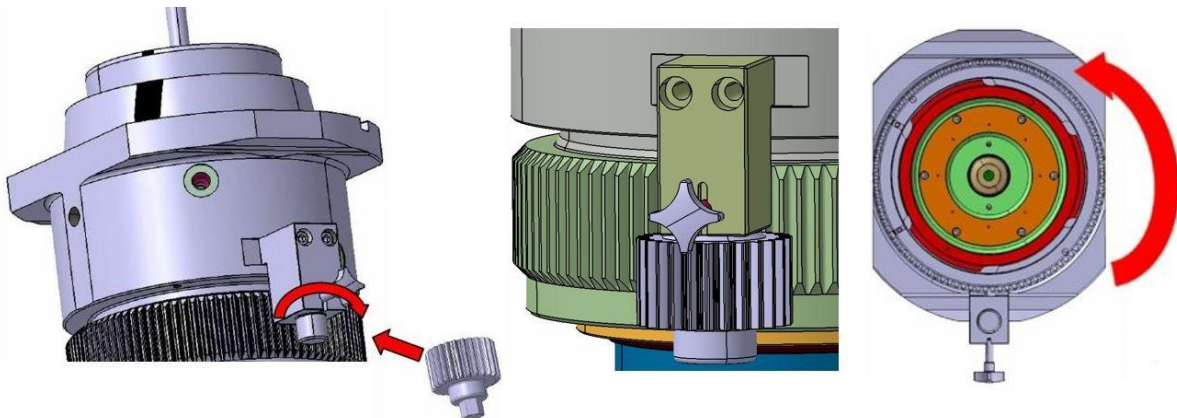


Tlak vznikající v dutině zápustky je důležitým faktorem ovlivňující životnost, avšak se nedá se říct, že se jeho eliminace (zmenšení) vyřeší pouze tvarovou změnou na nářadí. Nářadí je také přetěžováno z důvodu nesprávného seřízení klínů na lise (viz. obr. 45), které slouží k nastavení polohy jednotlivých tvářecích operací a tak je možné předkovat jednotlivé operace podle průchodového plánu výkovku (viz. obr. 33).



Obr. 45: Vlevo přestavovací klíny, vpravo číselník

K tomu je zapotřebí povolit hlavní límec (obr. 46) a nastavit na číselníku (obr. 45 vpravo) potřebné hodnoty. Hodnota na číselníku je udávána v [mm] na 2 desetinná místa. Kovací lis umožňuje nastavení operací zvlášť, což je výhoda pro obsluhu, která v průběhu kování může s beranem sjet dolu a vyřešit tak případné problémy s nedokováním.



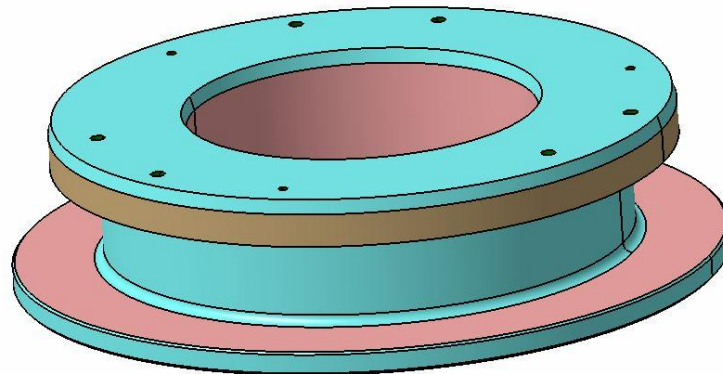
Obr. 46: Zařízení sloužící pro nastavení klínů

### 3) Úprava geometrie děr mazacích kroužků

Velkým problémem mazání byla jeho enormní spotřeba a únik mimo dutiny zápustek což mělo za následek nedostatečné chlazení nářadí. Důvodem byl malý tlak ostříku a to vedlo k optimalizaci mazacího cyklu, do kterého bylo zahrnuto:

Tab. 8: Kroky k optimalizace mazání

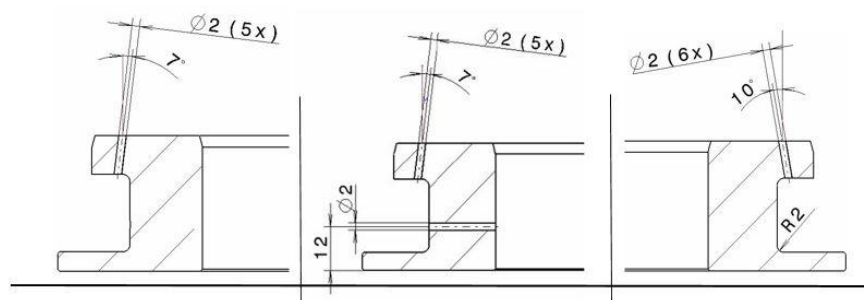
Provedená změna	Viz. obr.
nastavení programu mazání	obr. 50
změna konstrukce chladicích obvodů přímo v nářadí	-
změna konstrukce mazacích kroužků	obr. 48



Obr. 47: Ostřikovací kroužek

Ostřikovací kroužky jsou hlavní činnou částí směřující proud mazadla do příslušné oblasti, kterou chceme uchládit (viz. obr. 20). Změna konstrukce spočívala v úpravě umístění ostřikovacích děr, jejich úhlu sklonu, počtu a přidání obvodové drážky pro těsnicí kroužek (viz. obr. 50).

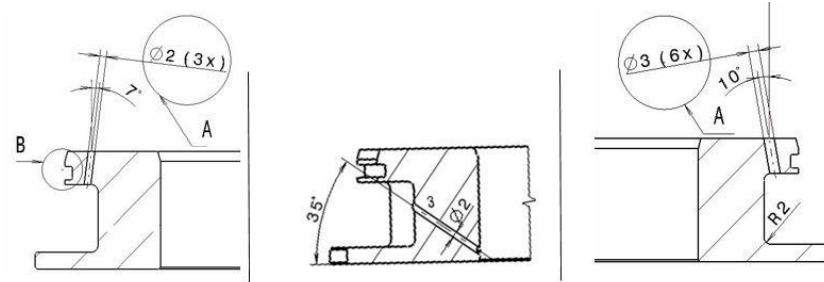
Před změnou konstrukce



Obr. 48: Řez ostřikovacím kroužkem před optimalizační změnou

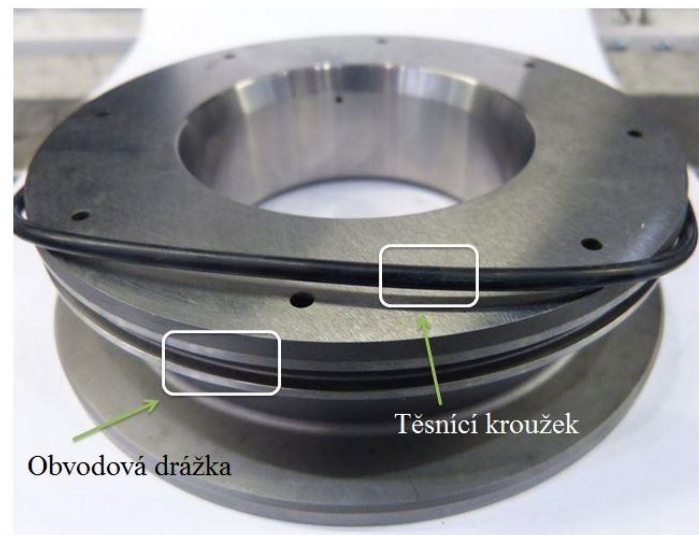


Po změně konstrukce



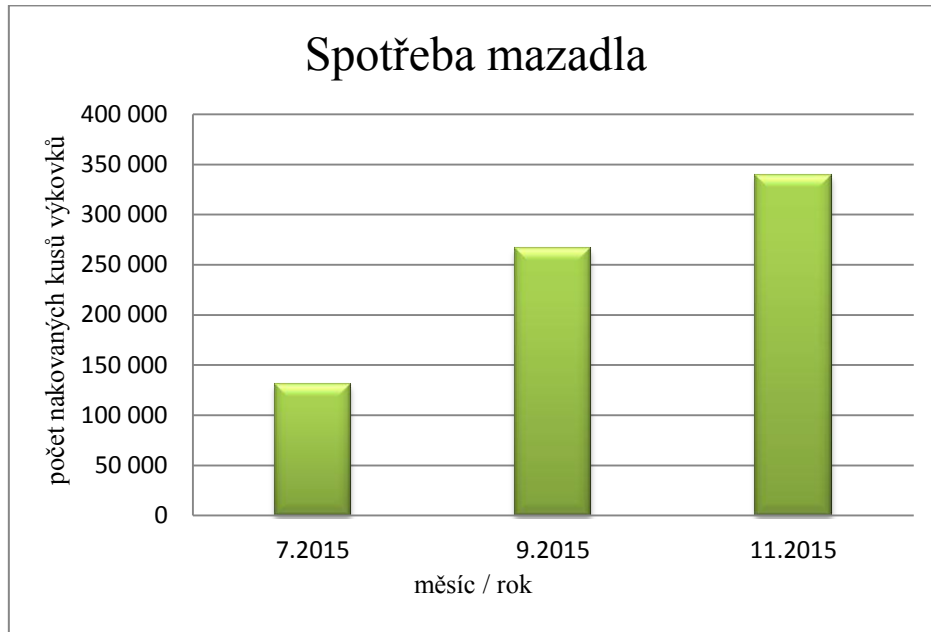
Obr. 49: Řez ostříkovacím kroužkem po provedení optimalizačních změn

Za pomoci těsnícího kroužku, mazadlo přestalo unikat mimo dutinu zápustky, ztrácet tlak a jeho spotřeba klesla.



Obr. 50: Ostříkovač kroužek po optimalizaci-znázornění polohy těsnícího kroužku

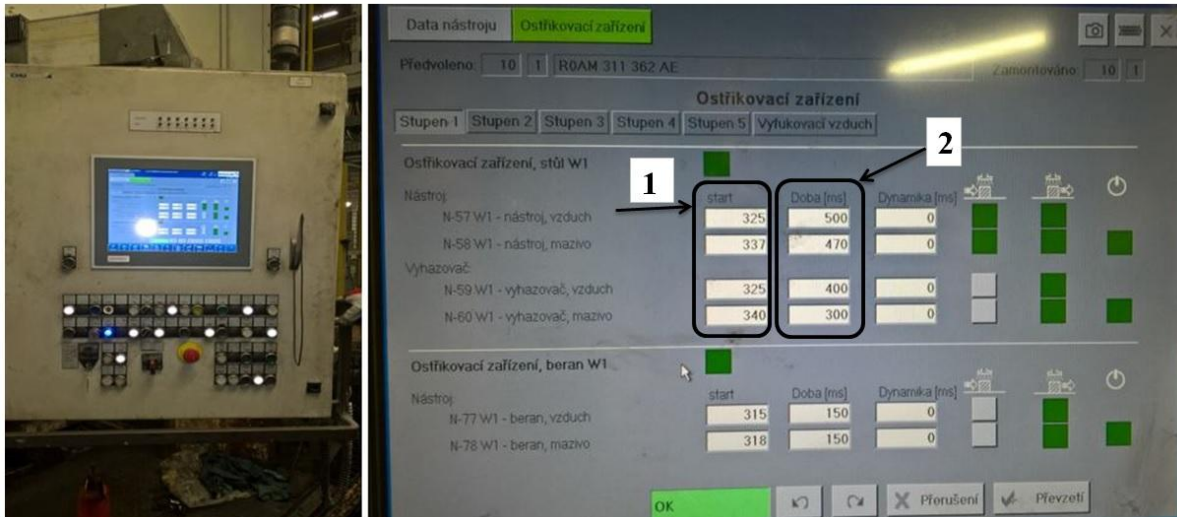
Spotřeba mazadla je sledována v poměru počet nakovaných kusů výkovek za měsíc / množství spotřebovaného mazadla. Podle tohoto kritéria byla dosledována jeho spotřeba za určité období a výsledky převedeny do grafické podoby. Detailnější informace o množství mazadla podléhají firemnímu utajení.



Graf 1: Spotřeba mazadla

#### 4) Korekce mazání pomocí vysokorychlostní kamery a term kamery

Korekce mazání se provedla stejným systémem jako zjištění teplot nářadí a to pomocí ThermoInspector TI3366 TPC Package (viz. obr. 40), za pomoci kterého byla ověřena rychlost a dopad mazadla na tvarové části nástroje, čímž bylo možné upravit nastavení mazacích hodnot na kovacím lise. Korekce spočívala v úpravě ostřikovacích časů nastavených v systému kovacího lisu. Bylo nutné zjistit v jakých intervalech je otevřená zápusťka a nářadí ve volném prostoru aby paprsek mazadla dopadnul na činné plochy a rovnoměrně je ochladil.



Obr. 51: Nastavení ostřikovacích časů

První sloupec (obr. 51 číslo 1) určuje dobu, přepočtenou na stupně polohy vačky lisu, která je svázána s pohybem transferu, kdy začne do rozvodu chlazení proudit směs vzduchu a mazadla. Zároveň určuje nejefektivnější dobu chlazení nástrojů – tzn. odkrytí zápustek při vyjímání výkovek transferem.

Druhý sloupec (obr. 51 číslo 2) určuje dobu, po kterou trysky dodávají směs mazadla a vody, kterým jsou nástroje chlazeny. Doba je udávaná v ms. Potřebná doba ostřiku je určována pomocí termokamery, kdy teplota zápustek nesmí klesnout pod 150°C a nesmí výrazně přesahovat 350°C.

### 3.1.3 Zkouška kování po provedení všech optimalizačních kroků

Po realizaci všech opatření (viz. tab. 6) byla uskutečněná další zkouška kování. Tvarová část trnů dosahovala optimálních teplot pro kování, chlazení bylo zahájeno ve chvíli odkrytí zápustek při vyjímání výkovek transferem a tak bylo možné uchládit všechny plochy tvářecích nástrojů. Spotřeba byla snížena.

Trny dosáhly požadované životnosti a nakovali přes 10 000 výkovek bez realizace jejich výměny v průběhu kování.



**Obr. 52: Vlevo pēchovací trn vrchní, uprostřed pŕedkovací trn vrchní, vpravo dokonēovací trn vrchní po odkování 10 000ks vŕkovkŕ za vŕrobní dāvku**

## 4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Pro optimalizaci životnosti byly hodnoceny 4 vlivy ovlivňující životnost kovárenského nářadí. Prvním a nejdůležitějším aspektem bylo zjištění dosahované teploty trnů v průběhu kování. Toho se docílilo pomocí termokamery ThermoInspector TI336 TPC Package (ob. 40), která naměřila teplotu trnů a pořídila digitalizované snímky. Pomocí digitalizovaných snímků (termogramu) bylo zjištěno povrchové rozložení teploty a to v rozmezí 435°C ÷ 470°C. Životnost nářadí činila okolo 4000 vykovaných výkovek, a to bylo nedostačující vzhledem k požadavkům kovacího stroje PK 1600 Schuler.

Trny vrchní se tepelně zpracovávají na tvrdost 56-2 HRC. Tvrdosti 56 HRC se dosáhne při tepelném zpracování, které probíhá za teploty 480°C. Z tohoto důvodu se dalo předpokládat, že tvarová část trnů dosahovala podobných teplot a tudíž na jejím povrchu proběhlo žíhání a materiál tak ztratil svoje původní mechanické vlastnosti. Domněnka byla následně prověřena zkouškou tvrdostí.

		Metalurgická laboratoř VKG/5 Mladá Boleslav	<b>Protokol o zkoušce č.</b> Laborbericht Nr.
<b>Předmět zkoušky</b> Vorgang <b>Název dílu</b> Teilebezeichnung <b>Číslo dílu</b> Teilnummer <b>Nářadí</b> Werkzeuge	Materiálový rozbor nářadí (trn vrchní) - R 0AM 311 362 AE pozice/pořízení - 2.1/9	<b>Materiál</b> Material <b>Dodavatel</b> Materiallieferant <b>Počet vzorků</b> Probeteileanzahl <b>Poznámka</b> Notiz	W.Nr. 1.2367 (X38CrMoV5-3) VSN3 Výroba metalurgického nářadí 1 Nízká životnost
<b>Zákazník/OJ</b> Auftraggeber/Abteilung <b>Zpracoval</b> Erarbeitete	<b>Schválil</b> Genehmigte <b>Schváleno</b> Genehmigt		06.2014 9:33

### Mechanické vlastnosti / Mechanische Eigenschaften

Zpracoval:  
Zpracováno:

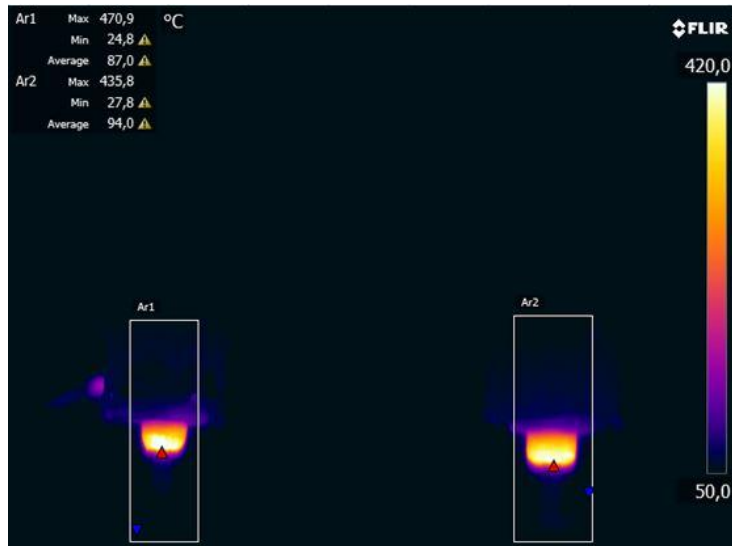
Vyhovuje: **NE**

Zkouška: Tvrdost / Härte					
Norma: ČSN EN ISO 6508-1					
Jednotky: HRC					
Předepsané hodnoty:					
min.			max.		
54,0			56,0		
Naměřené hodnoty:					
Vzorek	1				
Měřené místo	1	2	3	4	5
	54,5	55,5	55	55,5	55,5
Průměr	55,20				

Obr. 53: Protokol o zkoušce tvrdosti trnu vrchního

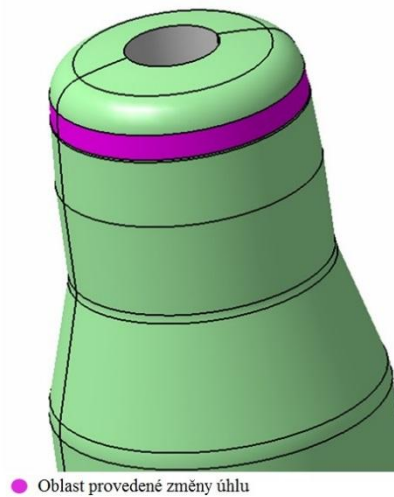
Po zjištění teploty trnů byl navržen další optimalizační krok, který se týkal přerozdělení tvarových operací a změny úhlu tvarové části trnů vrchního. Hlavním aspektem zde bylo

zesílení blány výkovku a tím možnost zkrácení trnů. Díky tomu se ulevilo nejvíce předkovací operaci, která byla nejvíce zatěžovaná.



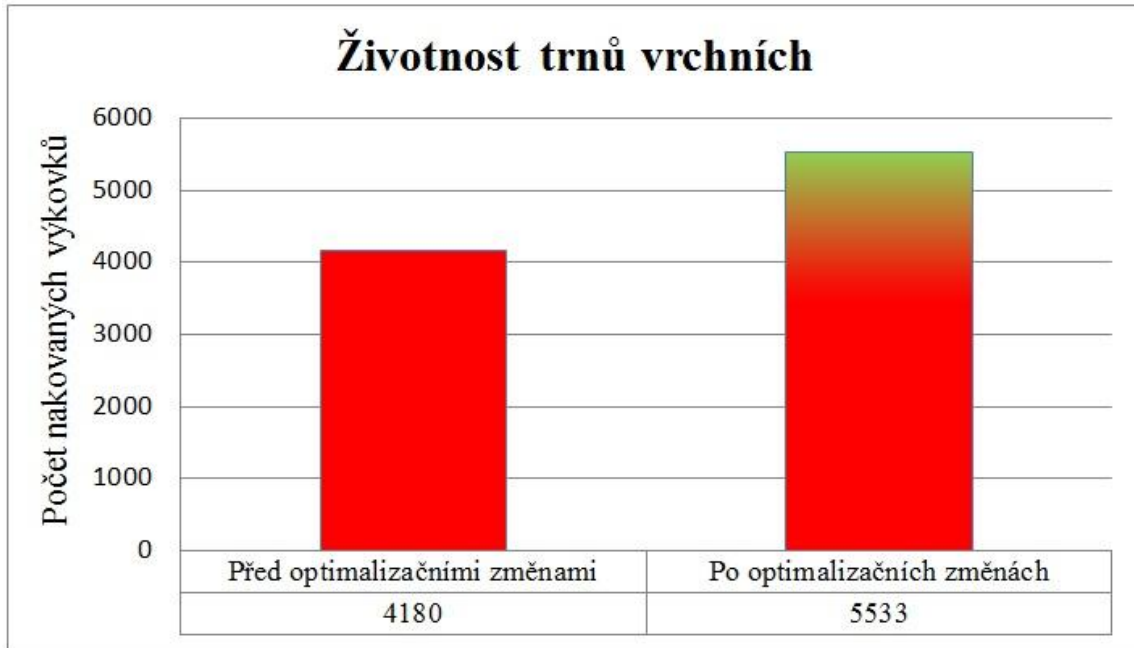
Obr. 54: Zjištění teploty trnů vrchních pomocí termokamery ThermoInspector TI336 TPC Package

Dalším krokem byla změna úhlu na tvarové části trnů a to o 3°, která výrazně přispěla ke snížení tlaku vzniklého při kování. Životnost náradí o něco vzrostla jak je vidět na grafu (2).



Obr. 55: Úprava úhlu na tvarové části trnu

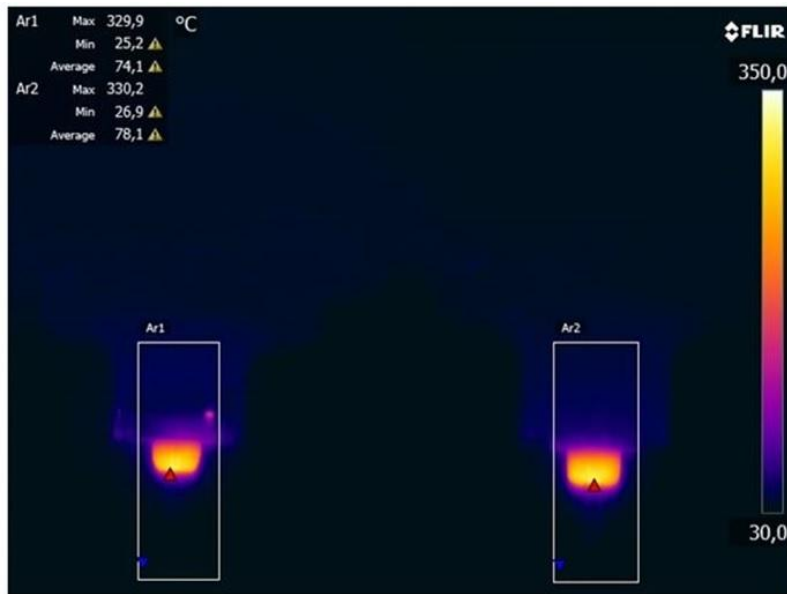




Graf 2: Životnost vrchních trnů po provedení tvarové optimalizace

Poslední kroky optimalizace byly zaměřeny na mazání kovacího nářadí. Kvůli enormní spotřebě mazadla a nízkého tlaku ostříku tvarových částí nářadí, byla po konzultaci s konstrukčním oddělením projednána změna geometrie děr na mazacím kroužku. První změna spočívala v přidání obvodové drážky, do které se umístil těsnící kroužek, a díky tomu se zamezilo úniku mazadla. Druhá změna spočívala v úpravě počtu, průměru a stupně sklonu ostřikovacích děr mířících paprsek mazadla na tvarové části nástroje. Tyto dvě změny vedly k výraznému snížení teploty trnů, které poté dosahovaly teplot v rozmezí 220°C ÷ 250°C.

Před ochlazením tvarové části trnů



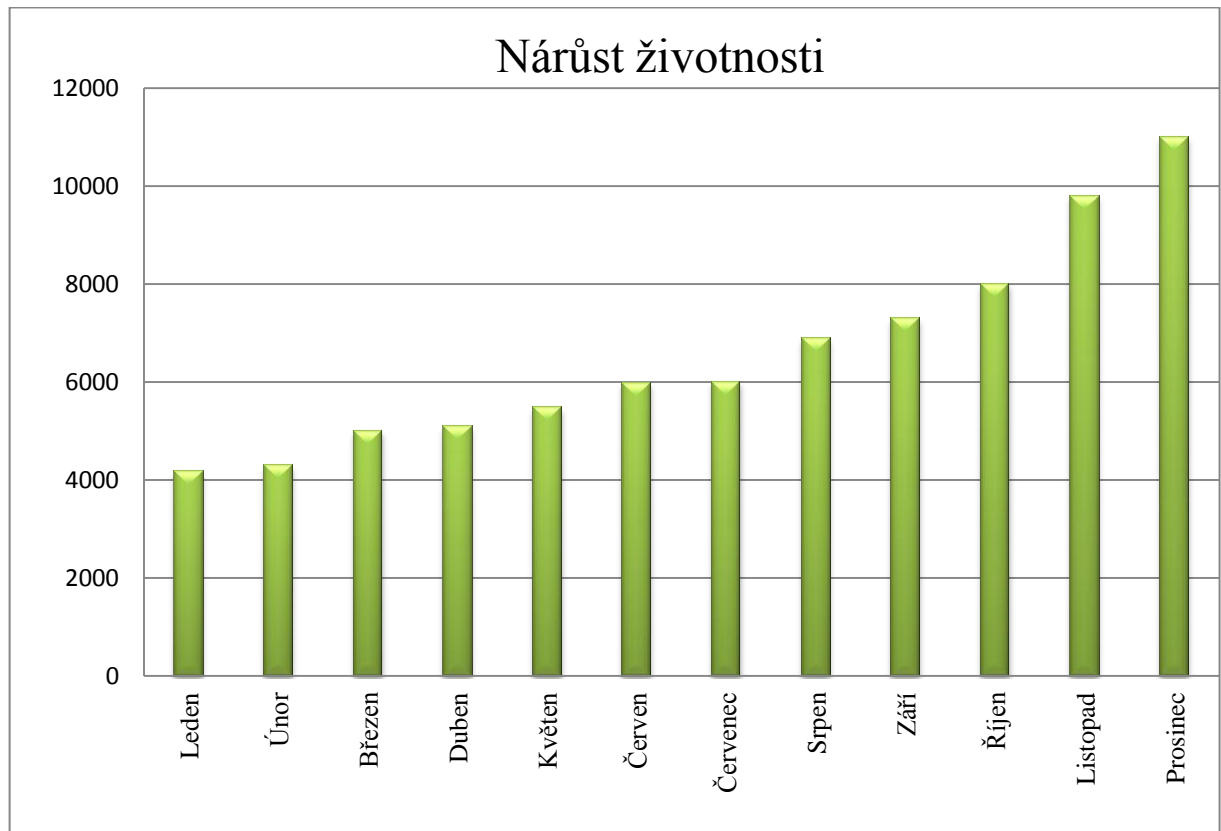
Obr. 56: Teplota trnů vrchních před ochlazením proudem mazadla

Po ochlazení tvarové části trnů



Obr. 57: Teplota trnů vrchních po ochlazením proudem mazadla

Životnost náradí vzrostla na požadovaných 10 000ks vykováných výkovků po provedení všech optimalizačních kroků uvedených v (tab. 6).



Graf 3: Nárůst životnosti po provedení všech optimalizačních kroků

## 5 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zvýšení životnosti kovárenského nářadí pro klikový kovací lis PK 1600 Schuler ve firmě ŠKODA AUTO a.s.. Změny optimalizace byly od sledovány a od zkoušeny na kovacím nářadí s interním označením 0AM 311 362AE.



Obr. 58: Kovací klikový lis PK 1600 Schuler

Při procesu optimalizace byla zjištěna teplota nářadí a to trnů vrchních a provedeny změny tloušťky blány, na kterou navazovala změna délky tvarové části trnů, geometrie tvarové části trnů a mazání nářadí při výrobním procesu.

V první polovině praktické části bakalářské práce byl představen problém s dosahovanou nízkou životností a požadavky kladené na množství výkovek vykovaných za jednu dávku na kovacím lise PK 1600 Schuler. Ve zbývajících částech jsou představeny kroky optimalizace životnosti, které byly odzkoušeny a realizované. Ze všech provedených kroků optimalizace životnosti bylo zjištěno, že nejdůležitějším faktorem ovlivňující životnost kovárenského nářadí je správné uchazení aktivních dílů nářadí. Avšak nedá se říci, že pouze správné uchazení by vedlo ke zvýšení životnosti. Díky provedeným konstrukčním změnám a výsledkům zkoušek aplikovala konstrukce kovárenského nářadí tyto poznatky do nových sad nářadí odlišných dílů. Tam kde se optimalizace konstrukce neprojevila, byly opět provedeny změny a následně odzkoušeny zkušební technikem.

V současné době na kovací lise PK 1600 Schuler při nasazení kovacího nářadí převodových kol 0AM 311 362AE životnost dosahuje zhruba 11 000 vykovaných výkovků bez realizované výměny na jednu kovací dávku. Díky provedeným optimalizačním krokům životnost vzrostla o téměř 50%, čímž se docílilo požadavků na počet vykovaných kusů za výrobní dávku při nasazení nářadí.

Dalším krokem pro zvýšení životnosti doporučuji zaměřit se na oblast mazacího cyklu, volbu druhu mazadla a poměr koncentrace mazadlo/voda. Dle mého úsudku a zkušenosti je proces mazání důležitým faktorem ovlivňujícím životnost kovárenského nářadí na transferovém lise PK 1600 Schuler.

## SEZNAM LITERATURY

- [1] Doc. INŽ CSc. Vladimír Hašek a kolektiv Státní nakladatelství technické literatury, n.p.,1965: Kování
- [2] Jiří Kotouč, Jan Šanovec, Jan Čermák, Luděk Mádle, 1993: Tvářecí nástroje ISBN 80-01-01003-1
- [3] [www.ksp.tul.cz](http://www.ksp.tul.cz)
- [4] Doc. Čermák: Podklady pro předmět - projekt 2: [http://members.marticonet.sk/jkuba/Prierezoblas%C5%A5ou/zaklady\\_konstrukce\\_zapustek.pdf](http://members.marticonet.sk/jkuba/Prierezoblas%C5%A5ou/zaklady_konstrukce_zapustek.pdf)
- [5] Doc.Ing.Milan Dvořák,CSc. A kolektiv: Technologie II, Akademické nakladatelství CERM,s.r.o.Brno
- [6] Ing.S.I. Ključnikov Přesné kování v zápustkách, Státní nakladatelství technické literatury,Praha 1953
- [7] Ivo Frolec Kovářství, Vydala Grada Publishing. A.s., Praha 2003
- [8] Domácí kovárna: [www.chatar-chalupar.cz](http://www.chatar-chalupar.cz)



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Ve vrchní části znázorněn průchodový plán, ve spodní části 3D modely jednotlivých operací (op.0÷op.40) .....	8
Obr. 2: Trn vrchní.....	8
Obr. 3: vlevo rozdělení dislokací, vpravo vliv hustoty dislokací [3] .....	12
Obr. 4: Rozdělení objemového a plošného tváření .....	13
Obr. 5: Stupeň deformace a prokování.....	13
Obr. 6: Základní rozdělení kování.....	14
Obr. 7: Výheň s odvodem spalin, umístěném ve zděném podstavci [9] .....	15
Obr. 8: Pružinový buchar [1].....	16
Obr. 9: Postup kování v jednodutinové zápustce na bucharu [3].....	18
Obr. 10: Vlevo kovací teploty v diagramu Fe-Fe <sub>3</sub> C, vpravo kovací teploty ocelí [3].....	19
Obr. 11: Odhad teploty ohřáté oceli podle barvy [5] .....	20
Obr. 12: Transferový kovací lis PK 1600 Schuler .....	21
Obr. 13: Rozpoložení kovacího lisu PK 1600 Schuler.....	21
Obr. 14: Indukční ohřev .....	23
Obr. 15: Transfer .....	24
Obr. 16: Detailní pohled úchopových čelistí.....	24
Obr. 17: Tvářecí operace .....	25
Obr. 18: vlevo přívod maziva do nářadí, vpravo ventil .....	26
Obr. 19: Vpravo detailní pohled na chladicí otvory, vlevo zapojení mazacího okruhu.....	27
Obr. 20: Způsob ostříku aktivního nářadí .....	27
Obr. 21: Schéma procesu vývoje-výroby kovárenského nářadí.....	28
Obr. 22: Vlevo technický díl, vpravo finální tvar výkovku .....	28
Obr. 23: Přídavky na obrábění při tvorbě výrovku .....	29
Obr. 24: Ukázka úkosů a zaoblení .....	29
Obr. 25: Vpravo otevřená výronková drážka, vlevo uzavřená výronková drážka [3] .....	30
Obr. 26: Návrh tvaru dokončovací operace a finální tvar za pomoci programu CATIA V5..	31
Obr. 27: Příklad numerické simulace v softwaru Catia Deform .....	32
Obr. 28: Tvar výkovku v dané tvářecí operaci.....	32
Obr. 29: Ukázka tvaru nářadí: vlevo pýchovací operace, vpravo dokončovací operace.....	33
Obr. 30: Simulace tvářecích nástrojů v softwaru CATIA Deform .....	33
Obr. 31: Postup renovace návarem .....	34
Obr. 32: Zhodnocení renovace trnů.....	35
Obr. 33: Vlevo řez trnu vrchního s výkovkem, uprostřed trn vrchní, vpravo výkovek s interním označením 0AM 311 362AE .....	36
Obr. 34: Průchodový plán nářadí s interním označením 0AM 311 362AE .....	36
Obr. 35: Trn vrchní.....	38
Obr. 36: Protokol o zkoušce tvrdosti trnu vrchního .....	39
Obr. 37: Vlevo vrstva Nht - nitridy na čelech zrn, vpravo vrstva Nht - tloušťka ε- fáze.....	39
Obr. 38: Počet nakovaných kusů z první zkoušky kování .....	40

Obr. 39: Postup optimalizace .....	40
Obr. 40: ThermoInspector TI336 TPC Package .....	41
Obr. 41: Termo kamera – teplotní škála nástroje .....	42
Obr. 42: Míra deformace tvarové části trnů po odkování z prvních dvou zkoušek .....	42
Obr. 43: Ukázka tvarové části nástroje .....	43
Obr. 44: Změna úhlů na trnů (změněná plocha vyznačená růžovou barvou).....	43
Obr. 45: Vlevo přestavovací klíny, vpravo číselník .....	44
Obr. 46: Zařízení sloužící pro nastavení klínů .....	44
Obr. 47: Ostřikovací kroužek .....	45
Obr. 48: Řez ostřikovacím kroužkem před optimalizační změnou .....	45
Obr. 49: Řez ostřikovacím kroužkem po provedení optimalizačních změn .....	46
Obr. 50: Ostřikovací kroužek po optimalizaci-znázornění polohy těsnícího kroužku.....	46
Obr. 51: Nastavení ostřikovacích časů .....	48
Obr. 52: Vlevo pýchovací trn vrchní, uprostřed předkovací trn vrchní, vpravo dokončovací trn vrchní po odkování 10 000ks výkovek za výrobní dávku .....	49
Obr. 53: Protokol o zkoušce tvrdosti trnu vrchního .....	50
Obr. 54: Zjištění teploty trnů vrchních pomocí termokamery ThermoInspector TI336 TPC Package.....	51
Obr. 55: Úprava úhlu na tvarové části trnu .....	51
Obr. 56: Teplota trnů vrchních před ochlazením proudem mazadla.....	53
Obr. 57: Teplota trnů vrchních po ochlazením proudem mazadla .....	53
Obr. 58: Kovací klikový lis PK 1600 Schuler.....	55

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Spotřeba mazadla .....	47
Graf 2: Životnost vrchních trnů po provedení tvarové optimalizace .....	52
Graf 3: Nárůst životnosti po provedení všech optimalizačních kroků .....	54

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Příklady krystalové mřížky .....	11
Tab. 2: Typy mřížkových poruch .....	11
Tab. 3: popis jednotlivých symbolů k rovnici .....	12
Tab. 4: Chemické složení materiálu 1.2367 .....	37
Tab. 5: Parametry ke kování .....	38
Tab. 6: Kroky vedoucí k optimalizaci životnosti .....	40
Tab. 7: Základní informace o systému ThermoInspector TI336 TPC Package .....	41
Tab. 8: Kroky k optimalizace mazání .....	45

## SEZNAM ROVNIC

Rov. 1: Hustota dislokací

Rov. 2: Výpočet síly

Rov. 3: Výpočet přetvárné pevnosti