

Technologie výroby výkovků pro automobilový průmysl

Bc. Marek Ježík

Diplomová práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Marek Ježík**
Osobní číslo: **T14534**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Technologie výroby výkovků pro automobilový průmysl**

Zásady pro vypracování:

- 1. Teoretická studie na dané téma**
- 2. Návrh výkovku podle výkresu součásti**
- 3. Návrh kovacího nářadí**
- 4. Analýza procesu tváření materiálu a optimalizace kovacího nářadí na základě analýzy**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

8. ledna 2016

Termín odevzdání diplomové práce:

20. května 2016

Ve Zlíně dne 13. dubna 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou 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);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské 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.

Ve Zlíně 2. 5. 2016

.....


¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výtěžku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výtěžku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá technologií výroby výkovku, který bude následně použit jako díl v automobilovém průmyslu. V teoretické části bude popsána technologie tváření kovů a její rozdělení, dále se práce zaměří na zápustkové kování, výrobě zápustek a jejich zpracování, zmíněny budou také kovací stroje a vady na výkovicích. Teoretická část se bude také zabývat FEM analýzami pro technologii kování. V praktické části bude popsán návrh výkovku dle zadané součásti, polotovaru a zvolí se kovací lis. Zkonstruuje se kovací nářadí a budou provedeny FEM analýzy kování pro tento výkovek. V poslední řadě proběhne zkouška kování, na jejíž výsledku se stanoví, jestli se výkovek bude moci vyrábět sériově.

Klíčová slova: Kování, zápustky, FEM analýzy, děrování, ostřih, vady na výkovku

ABSTRACT

This thesis deals with the production technology of forging, which will then be used as part of the automotive industry. The theoretical part will be described metal forming technology and its distribution, further work will focus on die supported forging, die manufacturing and processing, also will be discussed forging machines and defects in forgings. The theoretical part will also deal with FEM analyzes for technology of forging. In the practical part will be described the design of forging according to the specified components, billet and selects the forging press. Forging tools and constructs will be performed FEM analysis for forging the forging. Finally will be made the test of forging, whose result will determine whether the forging will be able to start mass production.

Keywords: Forging, die, FEM analysis, trimming, punching, defects in forging

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D, za podporu, věcné připomínky a odborné konzultace k danému tématu. Rád bych také poděkoval zaměstnancům a kolegům v Kovárně VIVA, za ochotu a rady během vypracovávání diplomové práce a také za vytvoření vynikajících podmínek pro realizaci mé diplomové práce. V poslední řadě bych rád poděkoval své rodině, přítelkyni a kamarádům za podporu během studijních let.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ KOVŮ	13
1.1 ROZDĚLENÍ TVÁŘENÍ KOVŮ.....	14
1.1.1 Rozdělení podle teploty.....	14
1.1.1.1 Tváření za studena	15
1.1.1.2 Tváření za tepla.....	17
1.1.1.3 Tváření za poloohřevu	17
1.1.2 Rozdělení podle tepelného efektu	18
1.1.3 Rozdělení podle stupně deformace	18
1.1.4 Rozdělení podle působení vnějších sil	18
1.2 OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ	19
1.2.1 Válcování	19
1.2.1.1 Speciální způsoby válcování.....	21
1.2.2 Tažení ocelových tyčí, drátu a trubek	22
1.2.3 Protlačování.....	25
1.2.4 Kování	28
1.2.4.1 Volné kování.....	29
1.2.4.2 Speciální způsoby kování	33
2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ	36
2.1 ZÁPUSTKY.....	37
2.1.1 Postup při výrobě zápustek	38
2.1.2 Tepelné zpracování zápustek	39
2.1.2.1 Normalizační žíhání.....	39
2.1.2.2 Žíhání na měkko	39
2.1.2.3 Žíhání k odstranění pnutí	39
2.1.2.4 Kalení.....	40
2.1.2.5 Popouštění.....	41
2.2 PŘEDEHŘEV ZÁPUSTEK.....	42
2.3 MAZÁNÍ ZÁPUSTEK PŘI KOVÁNÍ	42
2.4 OHŘEV MATERIÁLU.....	43
2.4.1 Opal materiálu.....	43
2.5 STROJE PRO ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ	44
2.5.1 Buchary pro zápustkové kování	45
2.5.2 Lisy pro zápustkové kování	46
2.5.2.1 Svislé kovací lisy	46
2.5.2.2 Vřetenové kovací lisy	46
2.5.2.3 Hydraulické kovací lisy	47
2.5.2.4 Vodorovné kovací lisy	47
2.6 VADY NA VÝKOVČÍCH.....	47
2.6.1 Nedotečený tvar	47
2.6.2 Deformace výkovku	48
2.6.3 Jehla po ostříhu	48

2.6.4	Zatlačení jehly do výkovku	49
2.6.5	Přeložky.....	49
2.6.6	Přesazení	50
2.6.7	Prasklá zápustka	50
2.6.8	Průhyb výkovku	51
2.6.9	Zakujení výkovku.....	51
3	FEM ANALÝZY PRO KOVÁNÍ	52
II	PRAKTICKÁ ČÁST	54
4	NÁVRH VÝKOVKU DLE ZADANÉ SOUČÁSTI.....	55
4.1	PŘÍDAVKY NA OBRÁBĚNÍ	55
4.2	ÚKOSY BOČNÍCH STĚN	56
4.3	ZAOBLENÍ HRAN.....	57
4.4	TLOUŠTKY DNA.....	57
4.5	MEZNÍ ÚCHYLKY VÝKOVKU	58
4.5.1	Hmotnost výkovku	59
4.5.2	Tvar dělicí roviny	59
4.5.3	Druh použité oceli	59
4.5.4	Ukazatel členitosti tvaru.....	60
4.6	NÁVRH PŘEDKOVKU	64
4.7	NÁVRH POLOTOVARU.....	64
4.8	NÁVRH KOVACÍHO STROJE	66
4.8.1	Výpočet přetvárného odporu.....	67
4.8.2	Určení tvářecí síly	67
5	NÁVRH KOVACÍHO NÁŘADÍ.....	69
5.1	NÁVRH ZÁPUSTEK.....	69
5.1.1	Návrh dokovacích zápustek	72
5.1.2	Návrh předkovacích zápustek	71
5.1.3	Pěchování	69
5.1.4	Návrh ostříhovacého nářadí	72
6	ANALÝZA PROCESU TVÁŘENÍ MATERIÁLU A OPTIMALIZACE KOVACÍHO NÁŘADÍ	75
6.1	ANALÝZA CHLADNUTÍ MATERIÁLU	75
6.2	ANALÝZA PĚCHOVÁNÍ.....	78
6.3	ANALÝZA PŘEDKOVÁNÍ	78
6.4	ANALÝZA DOKOVÁNÍ.....	81
6.5	SNÍŽENÍ VSÁZKY	84
6.6	ANALÝZY PO ÚPRAVÁCH.....	85
6.6.1	Pěchování	85
6.6.2	Analýza předkování	86
6.6.3	Analýza dokování.....	88
6.7	MARKING GRID ANALÝZY.....	91
6.7.1	Marking Grid analýza předkování	91
6.7.2	Marking Grid analýza dokování.....	91

6.8	ANALÝZY PRASKÁNÍ ZÁPUSTEK	92
6.8.1	DSA analýza předkovací zápustky spodní	93
6.8.2	DSA analýza předkovací zápustky vrchní	94
6.8.3	DSA analýza dokovací zápustky spodní	95
6.8.4	DSA analýza dokovací zápustky vrchní	96
7	ZKOUŠKA KOVÁNÍ.....	98
8	PŘÍNOS NAVRHOVANÉHO ŘEŠENÍ.....	100
	ZÁVĚR	101
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	103
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	105
	SEZNAM OBRÁZKŮ	106
	SEZNAM TABULEK.....	109
	SEZNAM PŘÍLOH.....	110

ÚVOD

V této diplomové práci je řešena výroba součástí pro automobilový průmysl.

Jako součást byla zadána součást palivového čerpadla pro kamiony. Pro výrobu této součásti bylo zvoleno zápusťkové kování. Tato metoda výroby součástí je vysoce produktivní, s tím že dokáže vyrobit za krátký čas velký počet přesných kusů, proto tato metoda byla vyhodnocena jako ideální.

Tato diplomová práce bude realizována v Kovárně VIVA a.s., která je jednou z předních kováren v České republice. Rozmezí hmotností výkovek se pohybuje od 0,1 do 25 kg.

Součást je zadána zákazníkem firmou ZF Sachs, je rotačně symetrická, váží okolo 3 kilogramů a zákazník si přeje dodávat 24 600 kusů za rok po dobu neurčitou, z čehož plyne, že zvolená technologie a podmínky kovárny budou naprosto ideální pro výrobu součástí.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ KOVŮ

Tváření kovů je technologický proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru výrobku nebo polotovaru vlivem působení vnějších sil bez odběru třísek.

Tuto technologii lidstvo zná již nejméně 5000 let. V dnešní době problém určit, který kov začalo lidstvo používat jako první. S jistotou lze však říct, že to byly kovy, které bylo možno nalézt v ryzí formě například v meteoritech, jako je zlato, stříbro, měď, železo.

Zhruba 3000 let před naším letopočtem začala v Malé Asii a v Egyptě doba bronzová, která se rozšířila do celého středomoří a do jižní Evropy do roku 2000 let př. n. l. Zhruba o 300 let později se rozšířila také ve střední Evropě, což znamenalo veliký pokrok ve výrobě a zpracování kovů z rud. [1]

Podstatou tváření je vznik plastických deformací, ke kterým dojde při dosažení napětí na mezi kluzu pro daný materiál. Tento děj je provázen fyzikálními změnami struktury materiálu, což zásadně ovlivňuje mechanické vlastnosti výrobků (Obr. 1). [2]



Obr. 1 Rozdíl vláken mezi obráběným a tvářeným výrobkem[3]

Tváření je velmi produktivní, efektivní, progresivní a proto i perspektivní technologie pro zpracování kovů a jejich slitin, nejen pro výrobu hutních, ale i strojírenských polotovarů a součástí, bez kterých se v dnešní době neobejde hromadná výroba dílů pro většinu průmyslových odvětví. [4]

Hlavními vlastnostmi pro tváření kovů jsou **plasticita** a **tvářitelnost**.

- **Plasticita** – Schopnost materiálu se plasticky (nevratně) deformovat účinkem vnějších sil bez makroskopického porušení.
U kovových materiálů jsou tyto změny provázeny změnami struktury.
- **Tvářitelnost** – Vlastnost materiálu se plasticky deformovat bez makroskopického porušení v konkrétním tvářecím procesu nebo zkoušce tvářitelnosti.

Tvářitelnost je ovlivněna materiálem (chemické složení, struktura), teplotou a rychlostí deformace, napěťovým stavem, historií napětí a deformace (předchozí zpracování tvářením), geometrickým faktorem, vnějším prostředím.

Všechny tyto faktory se však neuplatňují v tvářitelnosti stejnou měrou a jsou proměnlivé v závislosti na použitém technologickém postupu. [5]

1.1 Rozdělení tvářen ková

Tváření kovů lze dělit podle:

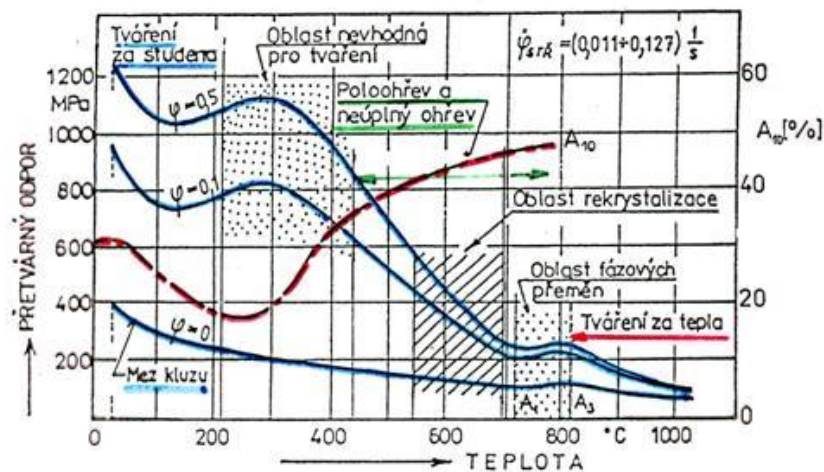
- teploty
- tepelného efektu
- stupně deformace
- působení vnějších sil

1.1.1 Rozdělení podle teploty

Při změně teploty se mění také deformační odpor materiálu, kdy se zvyšující se teplotou se zlepšují plastické vlastnosti kovů a tím se deformační odpor materiálu zmenšuje (Obr. 2).

Rozdělení tvářen podle teploty je vlastně rozdělení podle vztahu teploty tvářeného materiálu k teplotě rekystalizace, která je dána vztahem:

$$T_{rek} = 0,4 \cdot T_{tav} \quad (1)$$

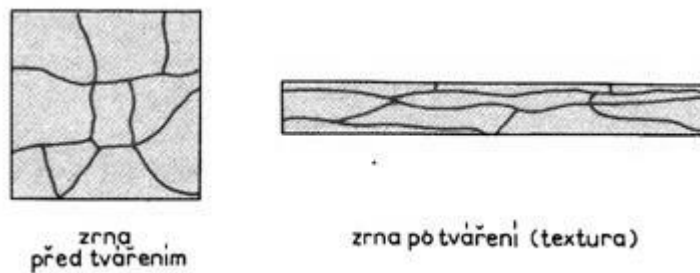


Obr. 2 Rozdělení tvářecích procesů dle teploty[4].

1.1.1.1 Tváření za studena

Je to tváření pod rekrystalizační teplotou, kdy tvářecí teplota je zhruba 30% teploty tání tvářeného materiálu.

Během tváření za studena dochází vlivem různého směru ploch skluzu k nerovnoměrné deformaci, která zanechává zbytková napětí neboli zpevnění, jehož vlivem se zvětší také odpor proti dalšímu tváření. Zrna se při tváření prodlužují ve směru nejvyššího přemístování kovu a vytváří takzvanou texturu (Obr. 3). [4], [6]



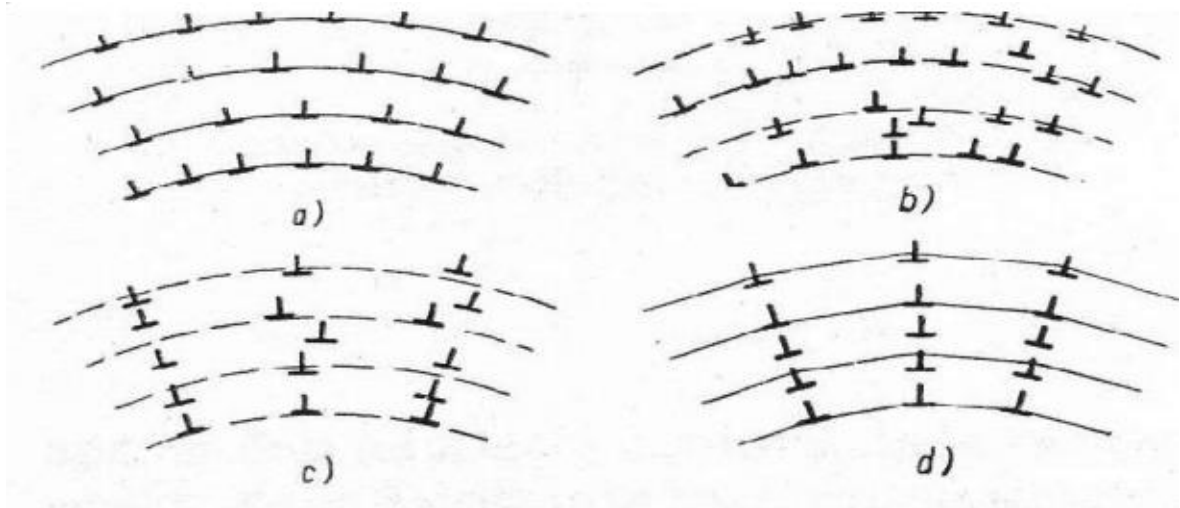
Obr. 3 Změna tvaru zrn při tváření [2]

Hlavními faktory tvářitelnosti při tváření za studena jsou:

- historie napětí a deformace
- napěťový stav
- geometrický faktor
- vliv vnějšího prostředí

Rozhodující vliv má velikost napětí, tvar deformační zóny a dále způsob jakým bylo dosaženo finální deformace. Jedná se o takzvanou napěťovou (SOS – state of stress) tvářitelnost.

Při ohřátí materiálu tvářeného za studena do určité teploty ($0,25-0,3 T_{lav}$) dochází k přecházení atomů do míst rovnováhy. Tím se odstraňují největší poruchy mřížky, což umožňuje snížení zbylých napětí, aniž by se změnila rozměry a tvar zrn. Tento jev se nazývá zotavení (Obr. 4). [4], [5], [6]

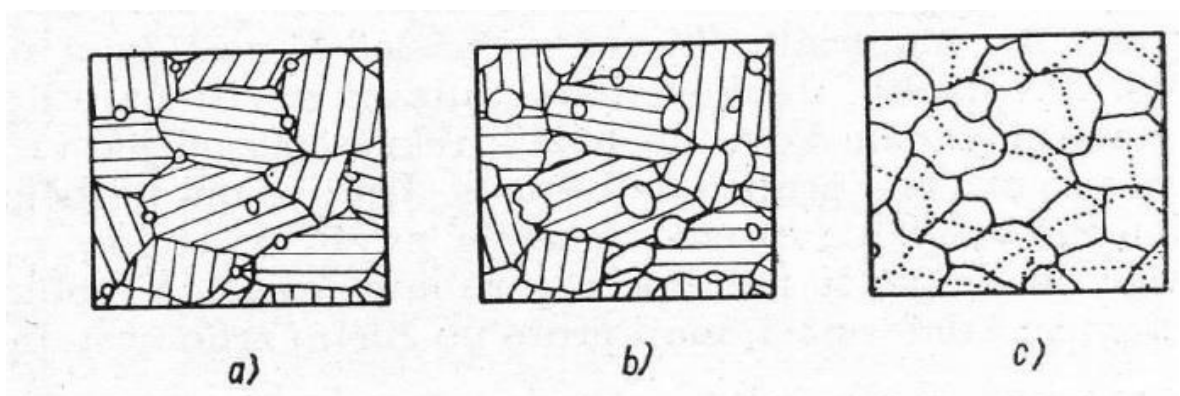


Obr. 4 Průběh zotavení [5]

U nízkouhlíkových ocelí může však při působení zotavovacích teplot dojít zejména vlivem dusíku ke stárnutí ocelí, které má na mechanické vlastnosti opačný vliv, než zotavování.

Při ohřátí materiálu nad teplotu zotavení vede k rekrystalizaci, která způsobuje vliv nových (nedeformovaných) zrn na úkor zrn deformovaných a to vede ke snížení pevnosti a zvýšení tažnosti.

Rekrystalizace je ukončena pohlcením všech krystalů deformovaných a vznikem nových rovnoměrných krystalů, jejichž velikost je závislá na stupni předchozího tváření a jeho rovnoměrnosti (Obr. 5). [5], [6]



a) vytvoření nových zrn b) růst nových zrn
c) nahrazení deformovaných zrn novými nedeformovanými zrny

Obr. 5 Průběh rekrystalizace.[6]

1.1.1.2 *Tváření za tepla*

Tváření za tepla probíhá nad rekrystalizační teplotou (až 70% T_{tav}) materiálu a je doprovázeno dvěma různými procesy:

- Deformací zrn (zpevněním)
- Rekrystalizací

Rekrystalizace probíhá určitou rychlostí, která je závislá na stupni deformace a teplotě tváření. Čím vyšší je teplota a stupeň deformace tím vyšší je rychlost rekrystalizace.

Je-li rychlost rekrystalizace vyšší než rychlost deformace, poté je výsledná struktura složena z nedeformovaných zrn bez zpevnění.

Při tváření za tepla stačí síly až 10x menší než při tváření za studena, což nám dovoluje zpracovávat součásti větších a složitějších rozměrů (obr. 2).

Mezi nevýhody však patří silná oxidace povrchu a vznik okují, vysoké náklady na ohřev, obtížnější manipulace s polotovary, vyšší nároky na mechanizaci a také potřeba speciálních nástrojových materiálů.

Při tváření za tepla také vzniká vláknitá struktura, která kopíruje tvar výkovku a není možné ji změnit tepelným zpracováním, ani tvářením a zásadně ovlivňuje mechanické vlastnosti výrobku viz Obr. 1.

Hlavními faktory tvářitelnosti při tváření za tepla jsou materiál, jeho chemické složení a struktura, vliv teploty a rychlosti deformace.

Je to tzv. „vnitřní“ (metalurgická nebo strukturní) tvářitelnost. [4], [5], [6]

1.1.1.3 *Tváření za poloohřevu*

Je to kompromis mezi tvářením za studena a za tepla.

Důvodem použití tváření za poloohřevu je zlepšení přetvárných vlastností, snížení tvárných odporů, zlepšení fyzikálních a mechanických vlastností než u tváření za studena a zlepšení jakosti povrchu a omezením oxidace, které doprovázejí technologii tváření za tepla. [4]

1.1.2 Rozdělení podle tepelného efektu

Část energie, která je vynaložena k tváření se přemění na teplo a množství tepla závisí na rychlosti deformace a odporu materiálu proti deformaci. [4]

Podle tepelného efektu se tváření dělí na:

- **Izotermické tváření** – Tváření, kdy se veškeré vyvinuté teplo odvede do okolí a teplota tvářeného materiálu se nemění. Deformace je dostatečně pomalá.
- **Adiabatické tváření** – Tváření, kdy veškeré teplo zůstane v materiálu a dojde ke zvýšení teploty kovu. Deformace je extrémně vysoká.
- **Polytropické tváření** – Tváření, kdy se část tepla odvede z materiálu a část v něm zůstane. Nejčastější případ tváření.

1.1.3 Rozdělení podle stupně deformace

Při dělení tváření podle stupně je hlavním kritériem stupeň deformace při určité teplotě a rychlosti deformace bez nebezpečí vzniku trhlin na povrchu materiálu. [4]

Podle stupně deformace se tváření dělí na:

- Procesy, kdy tlak mezi nástrojem a materiálem je malý, ke vzniku deformace jsou potřeba malé síly a povrch volného materiálu je výrazně větší, než povrch, který je ve styku s nástrojem. (volné kování)
- procesy, kdy tlak mezi nástrojem a materiálem je velký, ke vzniku deformace jsou potřeba velké síly a povrch volného materiálu je přibližně stejný jako povrch, který je ve styku s nástrojem (zápustkové kování)
- procesy, kdy tlak mezi nástrojem a materiálem je velmi vysoký, ke vzniku deformace jsou potřeba značně velké síly a povrch volného materiálu je menší, než povrch, který je ve styku s nástrojem (Protlačování).

1.1.4 Rozdělení podle působení vnějších sil

Materiál je během tváření, vlivem vnějších sil vyvolaných působením tvářecího nástroje, deformován. Tato síla vyvolává v materiálu hlavní napětí σ_1 . Materiál během tohoto procesu odporuje tvářecí síle, avšak jeho tok je nástrojem usměrňován.

Ve směru nejmenšího odporu vzniká napětí σ_3 a ve směru největšího odporu vzniká napětí k_d a to se rovná hlavnímu napětí σ_1 . Vzhledem k tomu, že toto napětí působí proti hlavnímu napětí, které způsobuje deformaci, nazývá se deformačním odporem, což zna-

mená, že deformační odpor, je součtem meze kluzu materiálu a třetího hlavního napětí (vzniklého ve směru nejmenšího odporu). [4], [6]

$$k_d = \sigma_k + \sigma_3 \quad (2)$$

Vlivem působení vnějších sil a následnými deformacemi tvářeného materiálu rozdělujeme tuto technologii na:

- **Plošné tváření** – plastická deformace materiálu zde nastává pouze ve dvou osách souřadného systému a patří zde stříhání, ohýbání, tažení, rovnání, atd...
- **Objemové tváření** – plastická deformace materiálu zde nastává ve směru všech tří os souřadného systému a patří zde kování, válcování, tažení drátů, atd...

1.2 Objemové tváření

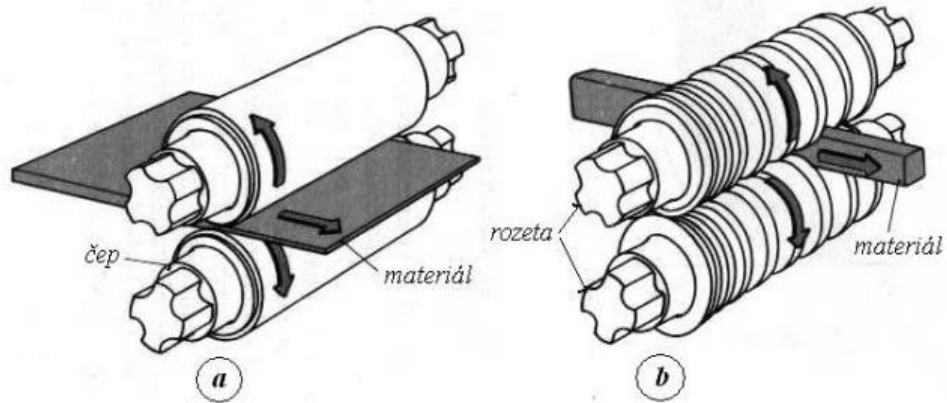
Při technologii objemového tváření nastává v materiálu trojosá napjatost, jejíž důsledkem se tvářený materiál deformuje ve všech třech osách a řídí se zákonem nejmenšího odporu.

Technologie objemového tváření mohou probíhat při libovolných teplotách (za studena, za tepla, za poloohřevu).

Pro objemové tváření se používá především tyčových polotovarů různých průřezů a délek. [4], [7]

1.2.1 Válcování

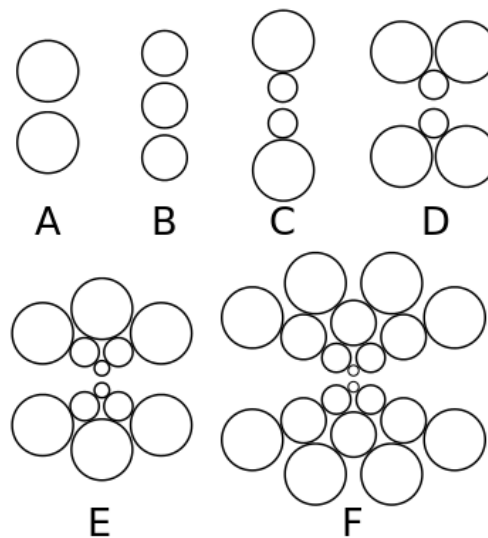
Je to tváření kovů mezi rotujícími válci, které tvoří válcovací stolicí. Materiál nejčastěji tyčovina je mezi ně vtahován a zároveň stlačován do požadovaného tvaru a zároveň prodlužován. Válce mohou být hladké (válcování plechů), rýhované (válcování předvalků), kalibrované (válcování profilů). (Obr. 6) [4], [7]



Obr. 6 Druhy válců a) hladké válce b) kalibrované válce [7]

Válce jsou ukončeny tzv. rozetou, ty zabezpečují přenos velkého kroučícího momentu z hnacího mechanismu na válce, které jsou uloženy svými čepy v ložiskách stojanů.

Válcovací stolice může být složená ze dvou (dvouválce), tří (Lautovo trio s malým prostředním válcem), čtyř (čtyřválce), šesti, dvanácti a dokonce až s dvaceti válci (válcovací stolice Sendzimir). (Obr. 7) [1], [4], [7]

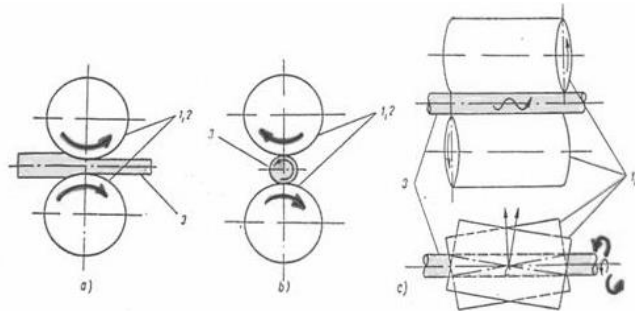


Obr. 7 Uspořádání válců u válcovacích stolic. [4]

Jelikož se válcování většinou nedokončí na jedné válcovací stolici, jsou válcovací stolice uspořádány buď za sebou, nebo vedle sebe a tvoří tzv. válcovací trať.

Podle uložení os válců vzhledem k válcovanému materiálu a podle průběhu deformace dělíme válcování na (Obr. 8): [4], [7]

- **Podélné** – materiál se tváří v podélném směru (plechy, pásy, tyče, apod.).
- **Příčné** – materiál kruhového průřezu se tváří v radiálním směru (osazené hřídele).
- **Kosé** – materiál je tvářen mezi dvěma válci s mimoběžnými osami (bezešvé trubky).



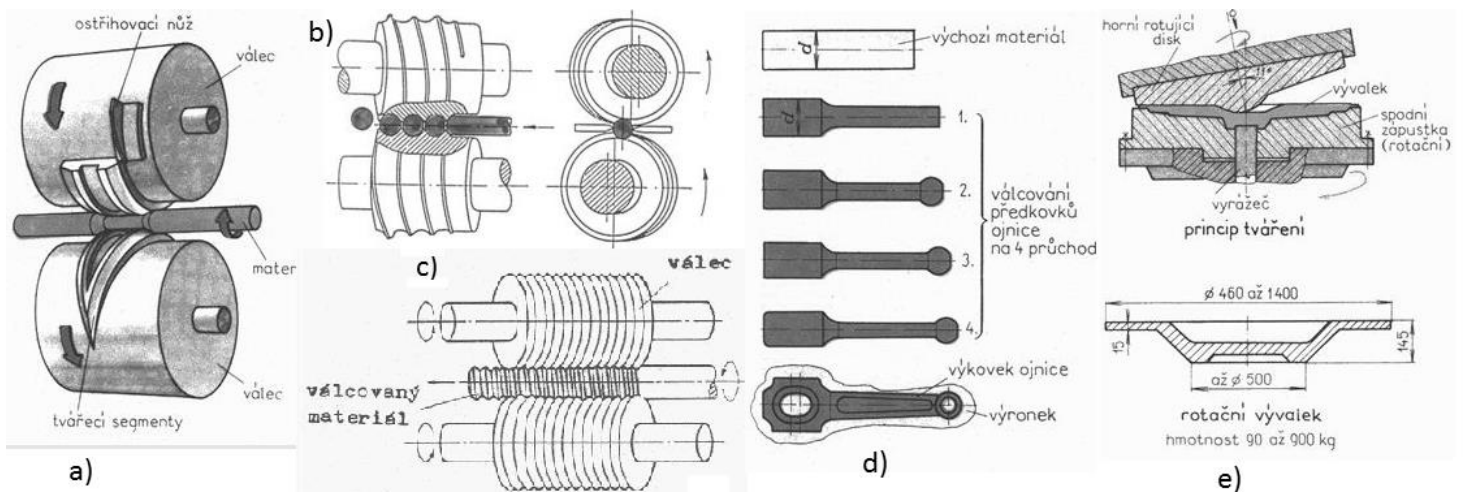
Obr. 8 Druhy válcování a) podélné b) příčné c) kosé [4]

1.2.1.1 Speciální způsoby válcování

Válcováním lze také vyrábět speciální strojní a hutní výrobky. [4]

Mezi speciální způsoby válcování se řadí (Obr. 9):

- **příčné klínové válcování** – používá se pro výrobu předkovků, vývalků, ale i polotovarů v konečné kvalitě.
- **válcování kuličkových polotovarů** – používá se pro výrobu kuliček do ložisek, kdy tvářením za studena se zvyšuje pevnost kuliček, v poslední části válců dochází k ustřižení kuliček.
- **válcování závitů** – tvářením probíhá mezi válci, které mají tvar negativu závitu, tyto závity mají vyšší únosnost a lepší mechanické vlastnosti a také jejich výrobě nedochází k porušení vláknité textury.
- **válcování na kovacích válcích**
- **válcování metodou slick-mill**



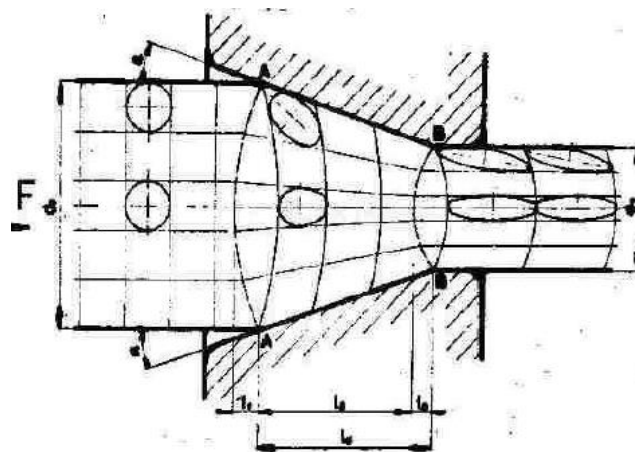
Obr. 9 Speciální způsoby válcování a) příčné klínové válcování b) válcování kuliček c) válcování závitů d) válcování na kovacích válcích e) Slick-Mill [4]

1.2.2 Tažení ocelových tyčí, drátu a trubek

Tažení je kontinuální technologie, při které je materiál protahován přes otvor v průvlaku, čímž se zmenšuje jeho průřez a zároveň se prodlužuje jeho délka (Obr. 10).

Jako vstupní materiál se nejčastěji používají tyče, válcované za tepla o průměrech až 60 mm, nebo drát, již vyrobený předcházejícím tažením. Musí být však zbaven okují.

Touto metodou se dosahuje velmi přesných tvarů a rozměrů s úchytkami h9, h11 a h12, zlepšuje se jakost jeho povrchu a mechanické vlastnosti. [4], [5]



Obr. 10 Princip tažení [4]

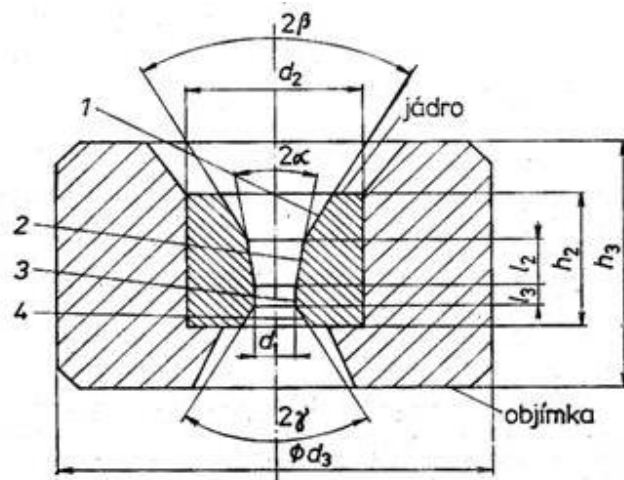
Průvlak se vyrábí ze slitin nástrojových ocelí, které mají životnost zhruba 2000kg drátu, slinutých karbidů až 200x větší životnost, než u ocelí, nebo z diamantu, které jsou

takřka nezníčitelné. Průvlaky jsou značně namáhány na otěr, a proto je potřeba neustálé mazání taženého drátu před vstupem do průvlatu, aby bylo zajištěno snížení součinitele tření.

Mazivo musí také oddělovat polotovar od průvlatu, a odvádět teplo, čímž zajistí velmi dobrou jakost drátu. [4], [5]

Tvar průvlatu je tvořen několika kužely o různých vrcholových úhlech (Obr. 11): [4]

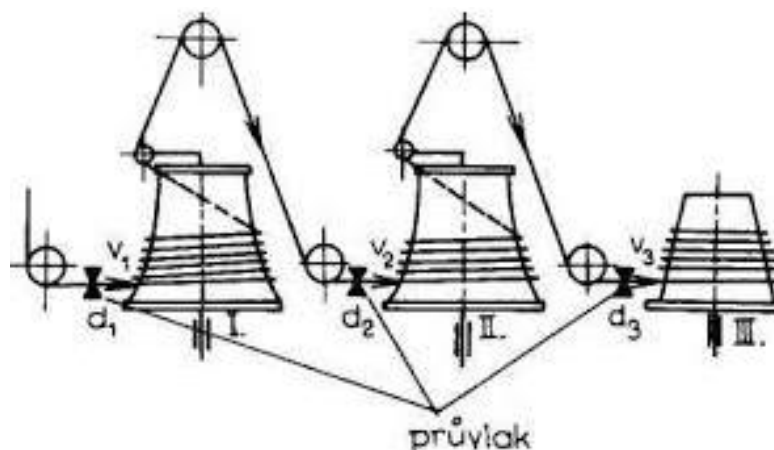
- Vstupní kužel – $45^\circ - 60^\circ$
- Mazací kužel – stejný vrcholový úhel jako u vstupního kuželu
- Tažný kužel – $10^\circ - 12^\circ$ zde probíhá hlavní deformace drátu
- Kalibrační kužel – zajišťuje přesnost rozměrů, snižuje vnitřní pnutí po tažení a zajišťuje dostatečnou životnost průvlatu
- Výstupní kužel



Obr. 11 Průvlak [4]

Při tažení drátů do 5 mm nesmí být tažná síla větší, než je mez pevnosti taženého drátu, což by vedlo k přetržení drátu, a proto se používá postupného tažení na drátotazích (Obr. 12).

Po několika protaženích (většinou 3) nelze drát dále zpracovávat tažením bez porušení drátu, protože se u něj vyčerpá plasticita a je velmi křehký. Pro obnovení jeho tvárnosti je potřeba před dalším tažením drát patentovat v olověné lázni při teplotě asi 550°C .



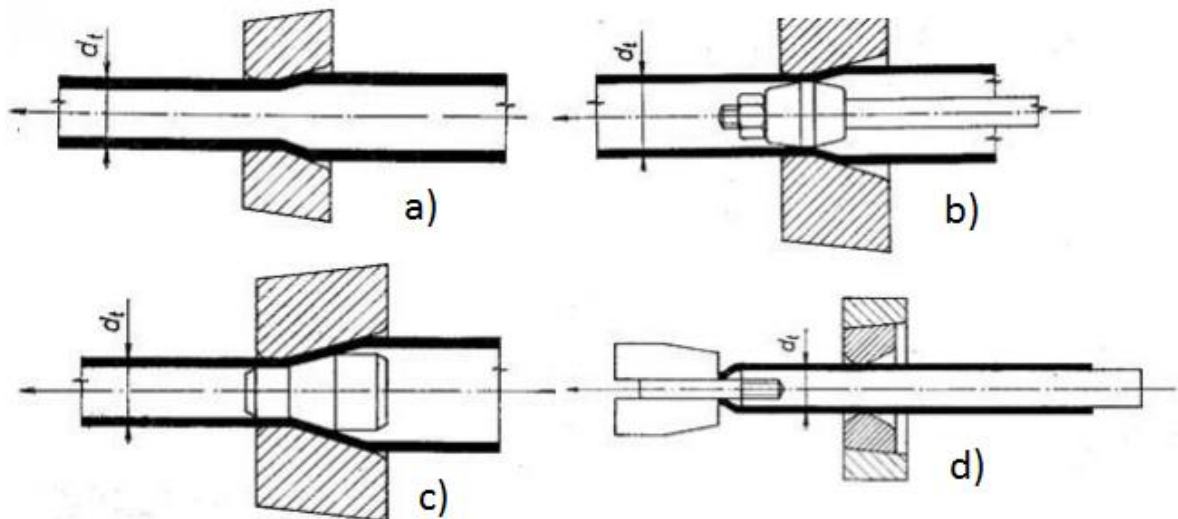
Obr. 12 Postupné tažení drátu na drátotahu. [4]

Tažením lze také vyrábět bezešvé trubky tenkostěnné i tlustostěnné. Tento proces však není kontinuální oproti tažení drátu, nejčastěji se provádí tažení za studena a lze touto technologií vyrábět pouze trubky malých a středních rozměrů (od 0,1 až do 250mm).

Polotovarem pro tažení trubek jsou trubky vyráběné válcováním do délky asi 4,5 m a musí mít upravený konec pro prostrčení průvlakem. [4], [5]

Pro tažení bezešvých trubek lze použít několik metod (Obr. 13) [4]:

- a) **Průvlečné tažení** – vnitřní průměr, ani tloušťka stěn není stanovena nástrojem.
- b) **Tažení na uchyceném trnu** – tažnou sílu přenáší trubka a trn je uchycen na trnové tyči.
- c) **Tažení na volném trnu** – trn musí mít takový kuželovitý tvar, aby nedošlo k vytlačení, nebo ke vtažení trnu dopředu.
- d) **Tažení na tyči** – tažnou sílu přenáší tyč, je nutné rozválcování konce trubky, aby šla tyč vytáhnout. Malá přesnost rozměrů, malé trubky se táhnou na struně.



Obr. 13 Metody tažení bezešvých trubek. [5]

1.2.3 Protlačování

Technologie protlačování je známá už asi 100 let, kdy se tímto způsobem začaly vyrábět nábojnice, dá se provádět za tepla, za studena i za poloohřevu.

Principem protlačování je deformace materiálu v důsledku působících sil do předem stanoveného směru s výhodnými konečnými mechanickými a rozměrovými vlastnostmi výrobku. Přesnost výtlačků je velmi vysoká až $\pm 0,05$ mm a vysokých hodnot také nabývá využitelnost materiálu (90% až 100%). [2], [8]

V materiálu vzniká trojosá všestranně tlaková napjatost, díky které se materiál přemísťuje a směr jeho přemísťování je určen konstrukcí nástroje – protlačovadlem. Vzniklý výrobek se nazývá protlaček. [2]

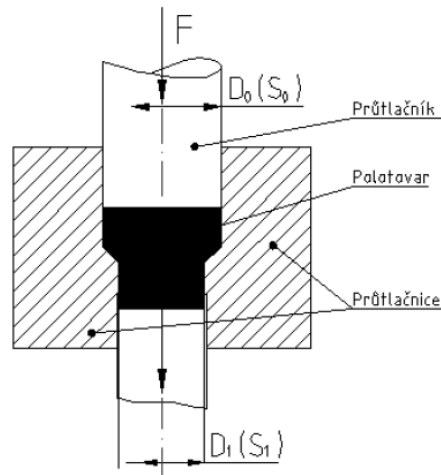
Jakost a výchozí stav materiálu má významný vliv na tuto technologii.

Vzhledem k velikosti přetvárných otvorů jsou pro protlačování vhodné materiály s tažností větší než 10% a kontrakcí větší než 50% (nejčastěji oceli s obsahem uhlíku do 0,2%).

Nevhodné materiály jsou takové, u kterých nelze například vlivem zpevnění získat deformaci alespoň 25%.

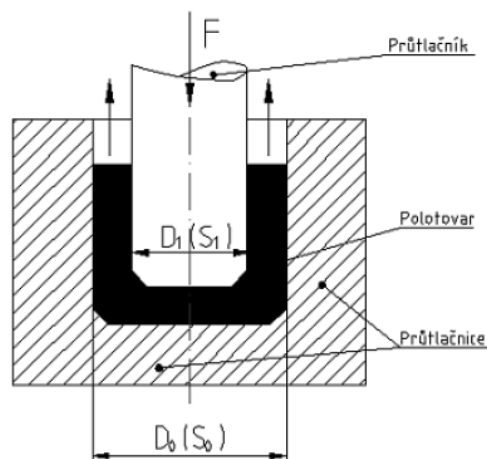
Podle směru a způsobu tečení materiálu v protlačovacím nástroji dělíme protlačování na:

- **Dopředné protlačování** – částice materiálu se pohybují ve směru pohybu průtlačníku (Obr. 14). Tato metoda se používá pro zhotovování výlisků dlouhých, plných tvarů, ale i s částečnými dutinami (čepy, šrouby, pouzdra, apod...). [2], [8]



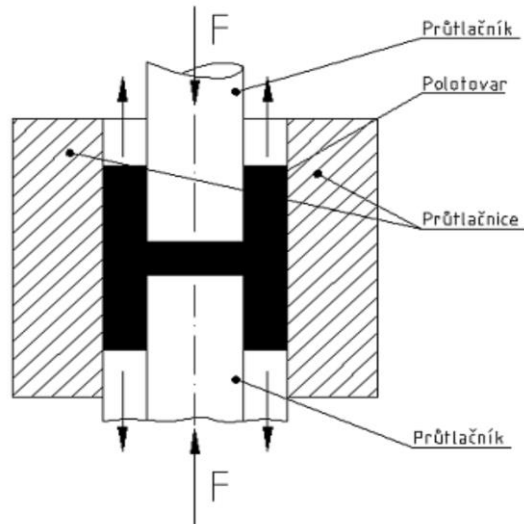
Obr. 14 Dopředné protlačování [2]

- **Zpětné protlačování** – částice materiálu se proti směru působící síly průtlačníku (Obr. 15). Tato metoda se používá pro výrobu dutých protlačků (i se žebry), tloušťka stěny je v porovnání s průměrem velmi malá, nebo naopak (válcové nádoby, pouzdra, atd.). [2], [8]



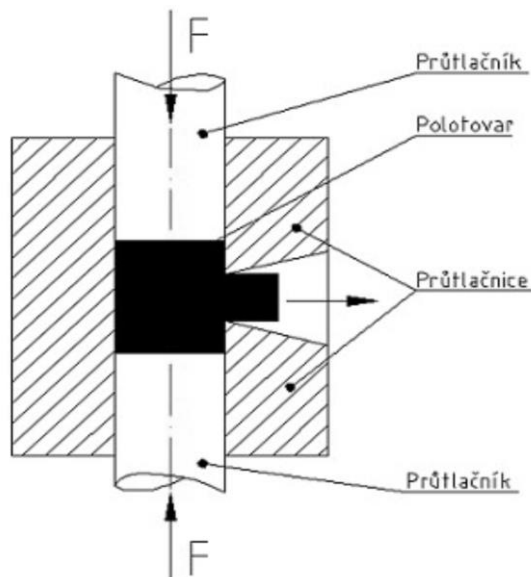
Obr. 15 Zpětné protlačování [2]

- **Sdružené protlačování** – částice materiálu se pohybují ve směru i proti směru působící síly průtlačníku (Obr. 16). Protlačky mají zpravidla z jedné strany dutinu a zdruhé strany osazení. [8]



Obr. 16 Sdružené protlačování [2]

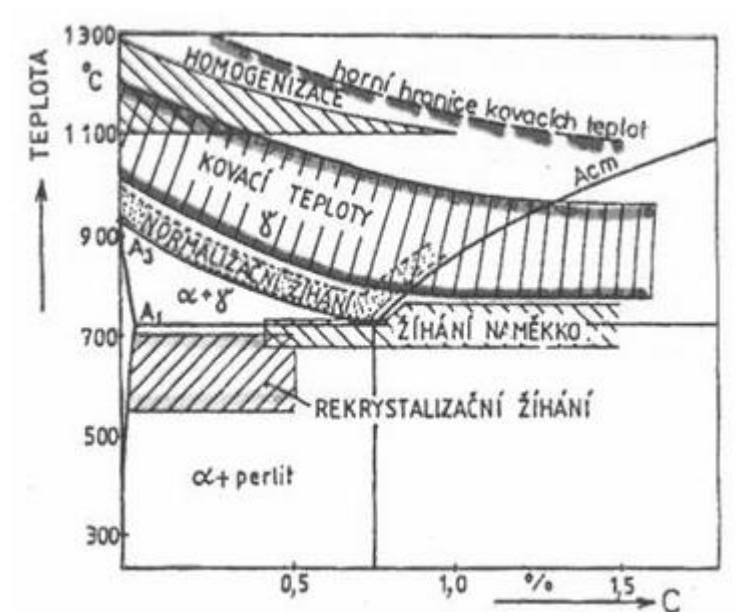
- **Stranové protlačování** – částice materiálu se pohybují ve směru působící síly průtlačníku i kolmo na ni (Obr. 17). Protlačky mají zpravidla boční osazení, výstupky apod. [8]



Obr. 17 stranové protlačování [2]

1.2.4 Kování

Kování je technologie objemového tváření za tepla (Obr. 18), kdy se na materiál působí buď rázem, nebo klidnou silou. Jedná se o přetržitý způsob tváření kovových materiálů a jejich slitin. Vzniklé výkovky mají příznivý tvar, výhodnou mikrostrukturu, a lepší mechanické vlastnosti. Díky strojnímu kování se zproduktivňuje výroba malých a středně velkých výkovků a také nám umožňuje zpracování těžkých odlitků (ingotů), u kterých odstraňuje nesterjnorodou strukturu a metalurgické vady po lití, které snižují tvárnost a zhoršují mechanické vlastnosti kovu. [4], [6]



Obr. 18 kovací teploty v diagramu Fe-Fe₃C [4]

Na rozměrovou přesnost výkovků má vliv především způsob kování (otevřená, nebo uzavřená zápustka) a objemová přesnost polotovaru (s přebytkem, nebo bez přebytku kovu).

Na tvarovou přesnost (úkoso, rádiusy, apod...) má vliv konstrukce zápustky a způsob vyhození výkovku ze zápustky (s vyhazovačem, nebo bez vyhazovače). Mezi další faktory ovlivňující tvarovou přesnost výkovku patří volba použitého kovacího stroje (buchary, nebo lisy), hmotnost výkovku a další aspekty.

Nejméně přesných výkovků se dosahuje na bucharech v otevřené zápustce bez zámků a vyhazovače. Nejpresnějších a nejehospodárnějších výsledků se dosahuje na klikových hydraulických lisách v uzavřené zápustce při přesném vystředění vstupního polotovaru. [4], [6], [9]

U kování se klade hlavní důraz na spotřebu materiálu, která by měla být co nejmenší, optimální přídavky na obrábění, přesnost výkovků, vysokou jakost tvářeného kovu, příznivý průběh vláken a ekonomie provozu.

Výhody kování jsou především časové a materiálové úspory oproti obrábění, příznivá orientace vláken a zpevnění materiálu. Dále je možnost práce s ohřevem materiálu, čímž se dají zpracovávat i těžko tvářitelné materiály. Ohnisko deformace je v malé oblasti tvářeného dílce, tudíž jsou zapotřebí malé tvářecí síly.

Kování lze rozdělit na ruční, nebo strojní, a to se potom dělí na volné, nebo zápusťkové do otevřených, nebo uzavřených zápusťek a další speciální metody kování.

Při volném kování se materiál tváří úderem, nebo se tlakem kove na kovanině, nebo na kovací podložkách. Při zápusťkovém kování se materiál úderem nebo tlakem vtlačuje do tvarových dutin zápusťek, které bývají převážně dvoudílné a jejich dutina má tvar budoucího výkovku. [4], [6], [10]

1.2.4.1 Volné kování

Volné kování, je tvářecí proces, při kterém jde zejména o získání jakostních výkovků s nesrovnatelně lepšími vlastnostmi, než je u odlitků.

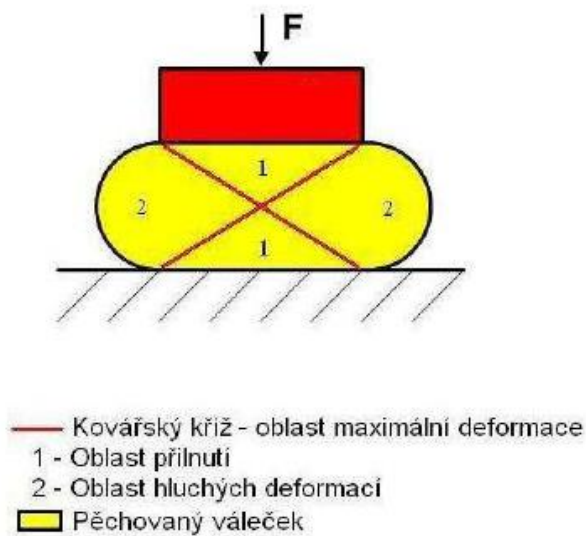
Touto technologií se dá vyrábět výkovky velkých hmotností (až 350 tun), což je jinými technologiemi neúčelné, nebo nemožné.

Volné kování se zejména používá pro úpravu polotovarů a výkovky nízkých tvarových složitostí.

Pro technologii volného kování se využívá jednoduchých kovářských strojů, nástrojů a přípravků, kdy požadovaného tvaru výkovku docílíme použitím víceúčelových nástrojů a nářadí, při speciálním polohování výkovku.

Z důvodu vzniku třecích sil mezi tvářecími částmi nástroje a materiálem vzniká soudečkovitost výkovku, nebo vyboulení, které vzniká u delších součástí.

Mezi hlavní vady volně kovaných výkovků patří odchylky rozměru příčného průřezu, vydutost a vypuklost příčného průřezu, klínovitost, odchylky délek a další. Dále je tento jev doprovázen rozdílným stupněm prokování v jednotlivých oblastech výkovku. K zamezení tohoto jevu je potřeba výkovek v průběhu kování otáčet, toto otáčení se nazývá kovářský kříž (Obr. 19). [1], [6], [10]



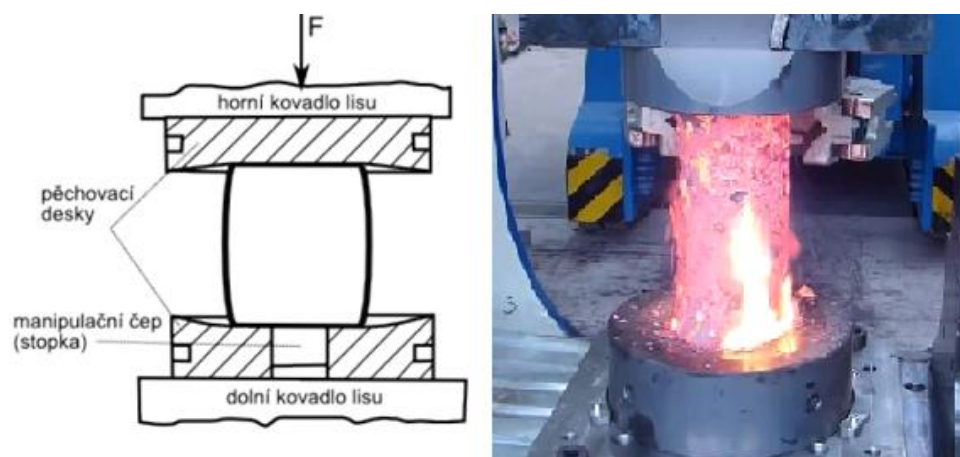
Obr. 19 Kovářský kříž [4]

Výkovky kované technologií volného kování jsou nepřesné, obsahují velké úchytky rozměrů a jejich povrch je hrubý a nerovný.

Vstupním polotovarem pro volné kování jsou předvalky, nebo ingoty.

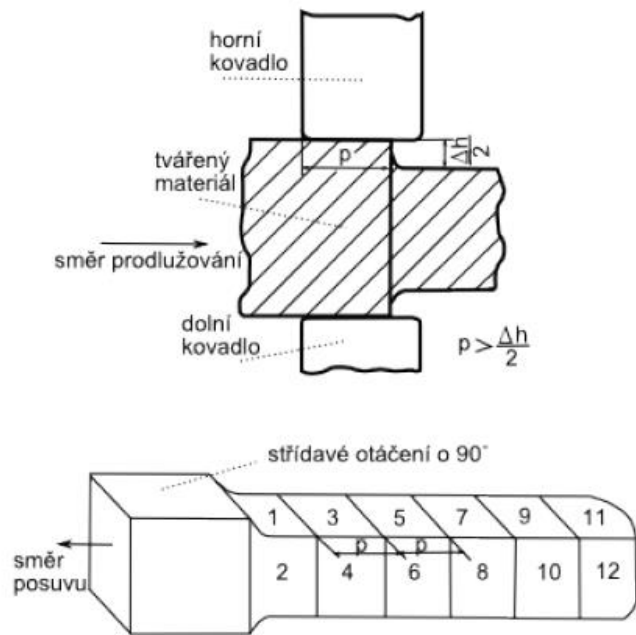
Základními technologiemi volného kování jsou: [4]

- **Pěchování** – Příčný průřez výkovku se zvětšuje na úkor jeho výšky. Tato technologie se používá také před zápuštkovým kovááním, aby se optimalizovalo vyplnění předkovacích, nebo kovacích zápušek a především, aby se vstupní materiál zbavil okujů (pěchování pro zbavení okujů je minimálně 8 mm, optimální je 15mm), které z polotovaru samy odpadnou, čímž se zlepší výsledná jakost povrchu výkovků (Obr. 20).



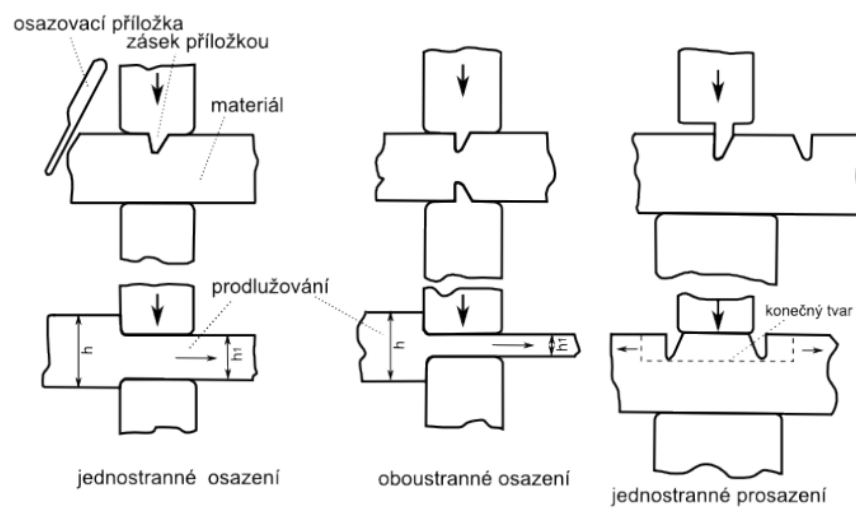
Obr. 20 Pěchování [11]

- **Prodlužování** – zvětšování délky materiálu za současného zmenšování jeho průřezu (Obr. 21).



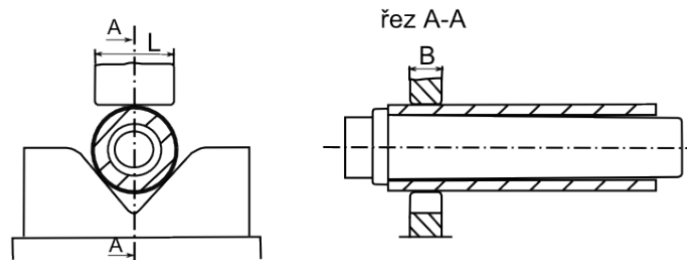
Obr. 21 Prodlužování [4]

- **Osazování** – prodlužování vymezených částí polotovaru při zachování souososti všech jeho částí (Obr. 22).



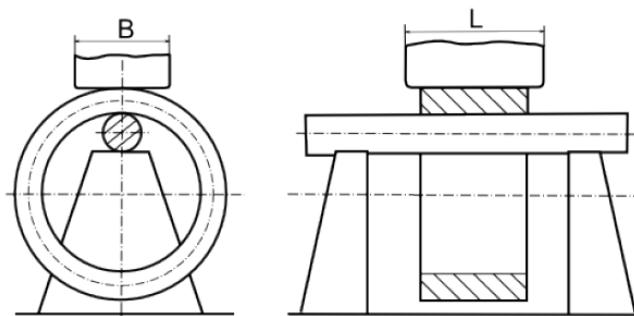
Obr. 22 Osazování [4]

- **Rozkování na trnu** – používá se při kování kroužků, při němž se zvětšuje vnější i vnitřní průměr a výška kroužku na úkor tloušťky stěny (Obr. 23).



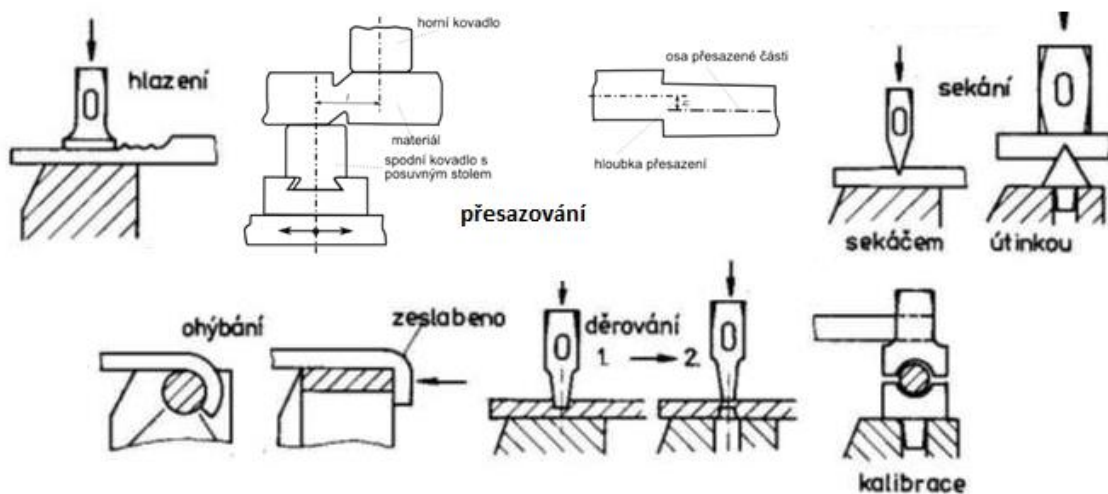
Obr. 23 Rozkování na trnu [4]

- **Kování na trnu** – prodlužování na trnu, kdy se dutý (vyděrovaný) předkovek prodlužuje ve směru podélné osy trnu za současného zmenšování vnějšího průměru a tloušťky stěny (Obr. 24).



Obr. 24 Kování na trnu [4]

Dalšími operacemi, které se provádí technologií volného kování, jsou přesazování a přesazování, sekání, hlazení, děrování, ohýbání, kalibrování apod... (Obr. 25).



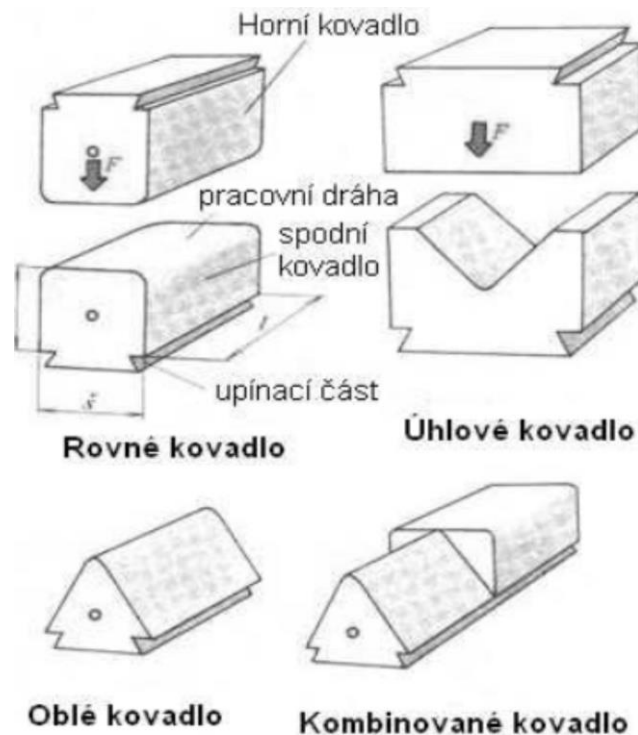
Obr. 25 Další operace volného kování [4]

Nejpoužívanějšími nástroji při volném kování jsou kovádla. Mají jednoduché geometrické tvary a bývají opatřeny rybinovou částí, která slouží k upevnění v bucharu, nebo v lisu.

Jejich pracovní plochy bývají kaleny a díry v čelních stěnách slouží k jejich manipulaci.

Kovádla mohou být rovinná, zaoblená, klínová, tvarová, kombinovaná, apod... (Obr. 26)

[1]



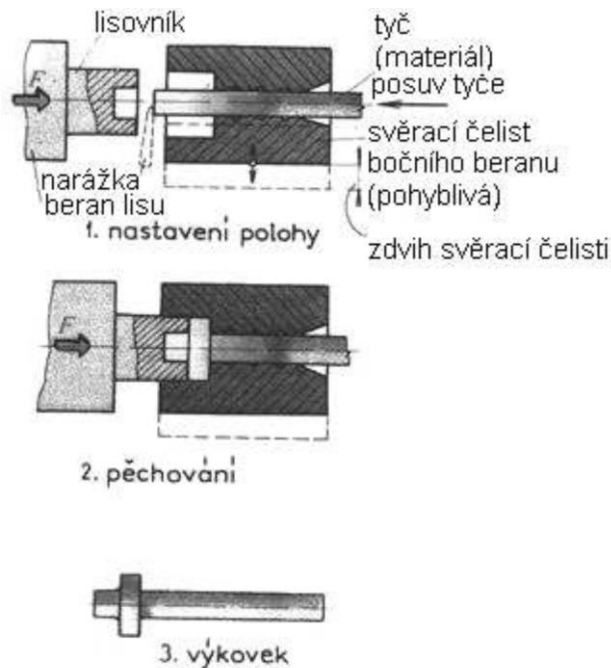
Obr. 26 tvary kovádel pro volné kování [4]

1.2.4.2 Speciální způsoby kování

Mezi speciální způsoby kování patří kování na vodorovných kovacíh strojích, kování protlačováním, rotační kování, vícecestné kování. [4]

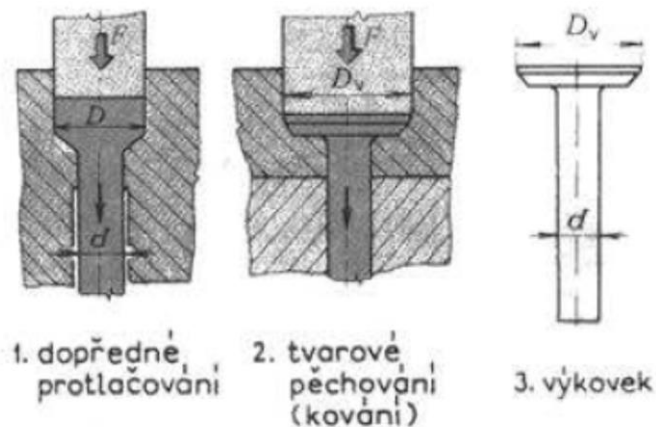
- **Kování na vodorovných kovacíh strojích** – jedná se o kování v třídlíné kovací zápustce, kde dva díly zápustky fungují jako sklíčidlo tyčového materiálu, které po stisknutí materiálu brání svým zdrsňeným povrchem jeho pohybu. Dělí se na lisy s vodorovným svíráním čelistí a se svislým svíráním čelistí. Třetí díl se do dutiny osově zasouvá a pěchuje materiál (Obr. 27). Tato metoda kování je vysoce produktivní, je vhodná pro výrobu jednoduchých rotačních součástí (hlavy šroubů, ventily, apod.) výhodou této technologie je úplná mechanizace a automatizace celého pro-

cesu, což vede k vysokému výkonu. Nevýhodou však je, že je nutno přesného držení rozměrové tolerance kvůli svírání materiálu v čelistech.



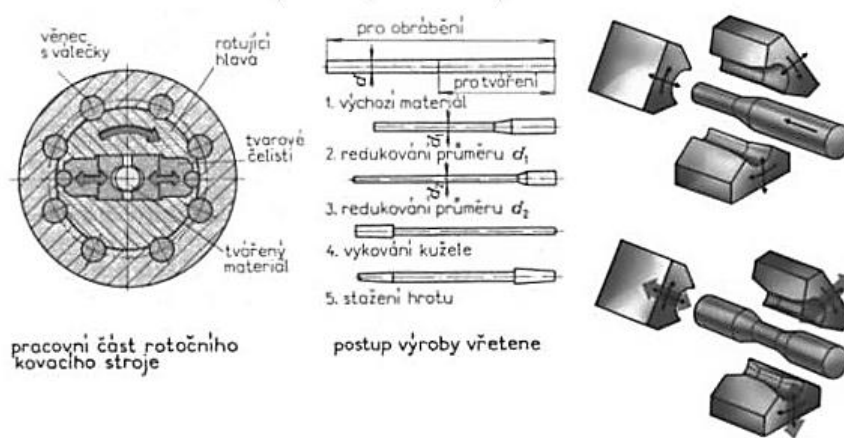
Obr. 27 kování na vodorovných kovacíh strojích [4]

- **Kování protlačováním** – je to kombinace protlačování a kování. Ohřátý materiál se vloží do uzavřené zápustky a následuje jeho stlačování průtláčnickem (staticky lisem, nebo dynamicky na bucharu). Během této technologie zde působí také velké tření, proto musí mít nástroje vysokou pevnost a odolnost vůči teplotám. Tímto způsobem se kovou zejména slitiny hliníku, mědi, ale i oceli. Kování protlačováním může být buď dopředné, nebo zpětné, nebo sdružené (Obr. 28).



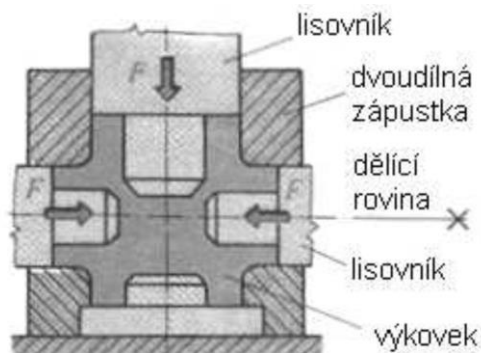
Obr. 28 Kování protlačováním [4]

- **Rotační kování** – jedná se o zvláštní typ kování za studena. Za tepla se kovou pouze součásti větších průměrů. Touto metodou kování dochází k redukci součásti na menší průměr, nebo k vykování válcového průřezu na hranatém profilu za pomoci opakovaných úderů. Princip kování je založen na roztočení dvou a více kovadel, které se pohybují v radiálním směru pomocí odstředivé síly ke vnitřnímu obvodu věnce s kalenými válečky, kde na ně narážejí a ty je opět vrací, čímž způsobují opakované rázy na kovanou součást (Obr. 29).



Obr. 29 Rotační kování [4]

- **Vícecestné kování** – Při této technologii kování se materiál uzavře do zápustky a je zatížen tlakem lisovníků z několika stran. Výkovky jsou přesné, s minimálními přírůdky na obrábění. Pro tuto metodu se používá vícecestných lisů, které mají lisovníky ve svislém i vodorovném směru (Obr. 30).



Obr. 30 Vícecestné kování [4]

2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ

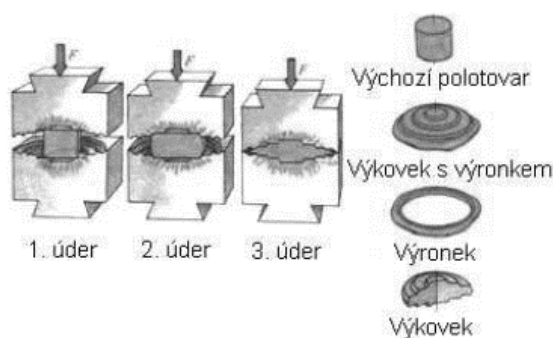
U zápusťkového kování je oproti kování volnému menší stupeň volnosti při toku materiálu a dosahuje se přesnějšího tvaru výkovku. Materiál, který je ohřátý na kovací teplotu se tváří v dutině zápusťky, která bývá jednoúčelová, nejméně dvoudílná a její dutina má tvar budoucího výkovku. Rozměry dutiny musí být zvětšeny o hodnotu smrštění výkovku.

Tuto metodu charakterizuje malý počet operací a velmi krátký pracovní čas. Mnohem delší bývají zpravidla časy manipulační (přesouvání výkovků z jedné dutiny zápusťky do druhé), které se zkracují nejen automatizací a robotizací, ale i mechanizací. Pracovní operace při zápusťkovém kování se skládá z ohřevu materiálu, kování (pěchování, předkování, kování), možného děrování a ostříhu výkovku, popřípadě ještě úpravy výkovku (kalibrace apod.).

Zápusťkovým kováním se dosahuje vysokého stupně prokování a průběh vláken kopíruje obrys výkovku. Po kování a ostřížení výronku následuje tepelné zpracování a úprava povrchu obráběním. Přesnost a jakost výkovku se dá také zlepšit kalibrováním a to do takové míry, že není nutno dále výkovky obrábět.

Tato technologie se řadí k velkosériové výrobě stejných součástí z oceli, nebo jiných slitin a to za velmi vysoké výkonnosti a jednoduché obsluhy. Většinou se jedná o specializovaná pracoviště, zaměřená na jednu skupinu výrobku. Výkovky vytvořené touto technologií se používají v kolejových vozidlech, letadlech, dopravních a zemědělských prostředcích, lékařských nástrojích, obráběcích a textilních strojích, jednodušeji řečeno, všude tam, kde je zapotřebí velkého množství tvarově stejných součástí s vysokou rozměrovou přesností jako jsou ozubená kola, ojnice, hřídele, řetězy, šrouby, apod.

Nevýhodou zápusťkového kování jsou však především omezené rozměry a hmotnosti výkovků. [1], [6]



Obr. 31 Zápusťkové kování [4]

2.1 Zápustky

Jsou to nástroje pro kování přesnějších výkovků, než při volném kování. Skládají se z horního a spodního dílu, oddělených od sebe dělicí rovinou a dělí se podle:

- Typu kovacího stroje (pro buchary, nebo lisy)
- Podle dutiny zápustky (s otevřenou, nebo uzavřenou dutinou)
- Podle operace (pro tvarový pěch, předkovací, kovací, kalibrovací)

Při kování jsou zápustky vystaveny mechanickému a tepelnému namáhání. Tato namáhání se cyklicky opakují při jednotlivých kovacích operacích. Zvyšování rychlosti kovacích operací, používání vysocelegovaných materiálů na výkovky apod. ještě více zvyšuje nejen celkové namáhání, ale i požadavky na kvalitu zápustek. [10], [11], [6]

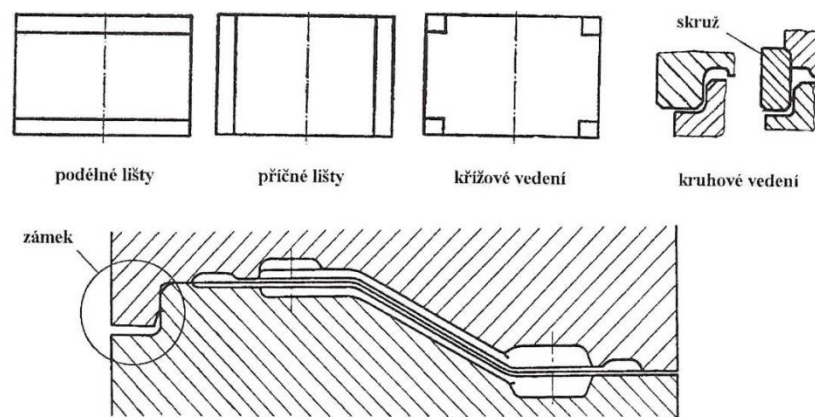
Při zápustkovém kování se často využívá vložek. Úplné, nebo částečné vložkování zápustek se využívá vzhledem k rozdílné životnosti zápustkových dutin, nerovnoměrnému namáhání jednotlivých částí dutiny a snížení materiálových nákladů na zhotovení zápustky. Vložka může nahrazovat celou dutinu, nebo jen její část. Celá dutina se vložkuje z důvodu úspory zápustkového materiálu, kdy se z nástrojové oceli vyrábí pouze vložka a zbytek tělesa zápustky je vyroben z konstrukční oceli. Při opotřebení se opravuje pouze vložka této zápustky. Pouze části zápustkové dutiny se vložkují v případě, že jsou v dutině více namáhaná místa nebo místa, která se rychleji opotřebávají (nejčastěji pupky). Vložky jsou buď s osazením, nebo bez osazení. [6], [10]

Na vnější rozměry zápustek mají vliv rozměry výkovku s výronkem, materiál výkovku, hloubka dutiny, maximální vzdálenost mezi jednotlivými dutinami, minimální vzdálenost dutiny od okraje zápustky, počet renovací dutin a způsob upnutí ke kovacímu stroji.

Pro dosažení dokonalého slícování horního a spodního dílu zápustek a tím nejmenšího přesazení výkovku a zachycení posuvných sil se zápustky opatřují různými druhy vedení, vodicími kolíky, nebo zámky (Obr. 32). Pro vedení zápustek se používají: [10], [11]

- **Lišty** – v jedné části zápustek jsou vedeny lišty, které zapadají do vybrání v druhé části. Tyto lišty jsou buď podélné, nebo příčné, s tím, že podélné lišty zabraňují přesazení výkovku v příčném směru a naopak.
- **Křížové vedení** – v rozích jedné části zápustek jsou vyrobeny výstupky, které zapadají do vybrání v rozích v druhé části. Tento způsob zabraňuje podélnému i příčnému přesazení zároveň.

- **Kruhové vedení** – v horní části zápustky je nákrůžek a ve spodní části je osazení. Nákrůžek může mít také podobu nalisované skruže, která se lisuje do horní části zápustky.
- **Kolíky** – bývají dva, nebo čtyři v rozích spodní zápustky a zapadají do otvorů v rozích horní zápustky.
- **Zámky** – využívají se především u zápustek se šikmou dělicí rovinou, kdy zachycují posouvací síly, vzniklé rozložením kovacích sil na šikmé ploše dělicí roviny.



Obr. 32 vedení zápustek. [11]

2.1.1 Postup při výrobě zápustek

Při výrobě zápustek se vychází z modelu součásti, neboli obrobku, který bývá zadán zákazníkem, a který je následně upravován tak, aby dosáhl optimálního vztahu mezi požadovanou funkcí dílce a jeho kovatelným a obrobitelným tvarem. Při navrhování výkovku je také nutno brát ohled na tečení materiálu, které má v průběhu tváření kováním rozhodující vliv na životnost zápustek a bezchybné vytvoření výkovku. Proto musí konstruktér při návrhu výkovku a zápustek dbát na kovářsko-technické požadavky, jako jsou přídatky na obrábění, úkosy stěn, zaoblení hran, tloušťky stěn a žeber v souladu s velikostí a hmotností výkovku.

Stejně nutná jako úprava výkovku je také úprava zápustek. Především správná volba můstku, a vtokového rádiusu, aby nedocházelo k velké ztrátě materiálu ve výronku, nebo naopak, aby materiál plynuleji odtékal z místa, kde je nežádoucí jeho shromažďování, které by zbytečně zvyšovalo zatížení pro tváření materiálu.

Pro snížení vytékání materiálu do výronku se používá také brzda, která má za úkol tvářet materiál ve výronku tak, aby zpomalovala jeho tečení ven z výkovku.

Pro snížení tvářecích sil, které mohou vznikat také například při nutnosti zvětšení předkovacích dutin natolik, že při dokování je dutina plně vyplněna příliš brzy, je nutno použít výronkový zásobník a také zásobník na bláně. Při této úpravě se musí brát zřetel na děrování a ostřih výkovku, aby nebylo zapotřebí vyrábět složité ostřihovací nářadí, pokud je to možné. [11]

2.1.2 Tepelné zpracování zápuštěk

Před kováním je nutné zápuštěky tepelně zpracovávat, aby bylo dosaženo nejoptimálnějších podmínek pro kování a zároveň co nejdélejší životnosti zápuštěk. Tepelné zpracování se dělí na žihání a kalení. [6]

2.1.2.1 Normalizační žihání

Normalizační žihání je nutné všude, kde u nástrojové oceli došlo k vytvoření nestejnoměrné struktury (např. po kování). Tímto žiháním dosáhneme jednak zjemnění struktury a také se získají stejnoměrné vlastnosti oceli u stejných průřezů. Normalizačně se žihají hlavně uhlíkové oceli, nežihá se však většina legovaných ocelí, které jsou kalitelné na vzduchu. [6]

2.1.2.2 Žihání na měkko

Aby bylo možno zápuštěky zápuštěkové bloky po kování dobře obrábět, je nutno je žihat na měkko. Tímto žiháním dochází k tvorbě globulární struktury. Oceli žihané tímto způsobem se nejen dobře obrábějí, ale také bezpečně kalí. [6]

2.1.2.3 Žihání k odstranění pnutí

Toto žihání nikterak nezpůsobuje zásadní změnu vlastností nástrojových ocelí, pouze uvolňuje pnutí, která vznikla při obrábění. Obráběním dochází jednak k plastické deformaci povrchových vrstev materiálu a také jsou obvykle nepříznivě porušena vlákna. Tyto činitelé vyvolávají pnutí, které vedou ke tvarové deformaci zápuštěky a to obvykle až po ohřevu na vyšší teploty. Proto je nutno po hrubování zápuštěk provádět žihání a vzniklá zborcení zápuštěky uvolněným pnutím lze odstranit dalším obráběním. Vynecháním tohoto žihání dojde při kalení ke značným deformacím, které se potom velmi obtížně odstraňují. [6]

2.1.2.4 Kalení

Kalení můžeme rozdělit na tři samostatné operace:

- Ohřev na kalící teplotu (austenitizace)
- Výdrž na kalící teplotě (homogenizace)
- Ochlazování

Způsob vedení ohřevu ovlivňují především rozměry zápusťky, tepelná vodivost i prostředí ohřevu. Tepelná vodivost oceli závisí na chemickém složení oceli, obsahu legujících prvků a také na teplotě. Uhlíkové a nízkolegované oceli se stoupající teplotou ohřevu snižují svou tepelnou vodivost, kdežto u více legovaných ocelí se s rostoucí teplotou tepelná vodivost zvyšuje a při teplotách nad 900°C již tepelná vodivost v podstatě není závislá na vzrůstající teplotě. Dalším důležitým faktorem při ohřevu je také tepelná roztažnost oceli, která úzce souvisí s tepelnou vodivostí. Tepelná roztažnost je do překrystalizační teploty přímo úměrná rostoucí teplotě a nad touto teplotou je tepelná roztažnost ovlivňována objemovými změnami oceli při přeměně perlitu na austenit.

Při rychlém ohřevu uhlíkové, nebo nízkolegované oceli dochází k růstu teploty na povrchu, čímž klesá tepelná vodivost, kdežto v jádru je tepelná vodivost vyšší, tím dochází k vyrovnání teploty mezi povrchem a jádrem. Tepelný gradient i tepelná pnutí jsou v průřezu součásti nižší, čímž je i menší nebezpečí vzniku trhlin. U více legovaných ocelí je vliv rychlosti ohřevu opačný, což při vložení zápusťky do příliš vyhřáté pece vede k rychlejšímu vzrůstu tepelné vodivosti na povrchu než v jádře zápusťky, což vede ke značnému teplotnímu gradientu mezi povrchem a jádrem zápusťky. Také teplotní roztažnost bude vyšší na povrchu, než v jádře. Výsledkem takového ohřevu je vznik pnutí, což může vést až k vytvoření trhlin na zápusťce.

Pro malé a složitější zápusťky se doporučuje volit kalící teplotu na spodní hranici rozmezí kalících teplot, aby se zabránilo přílišným deformacím. Pro střední a velké zápusťky jednodušších tvarů se používají vyšší rozmezí kalících teplot. Vyšší kalící teplota zaručuje větší pevnost oceli, co nejvyšší provozní teplotu a také lepší odolnost proti popuštění. Při nízké kalící teplotě je možnost získat vysoké pevnosti jen popuštěním při nižší teplotě. Takto zpracovaná ocel má však malou odolnost proti poklesu pevnosti za vyšší teploty, čímž je podstatně ovlivněna životnost zápusťky.

Doba výdrže na kalící teplotě je závislá na kalící teplotě, čím je větší kalící teplota, tím bývá obvykle kratší délka setrvání na této teplotě. Krátká výdrž na kalící teplotě způ-

sobuje nedostatečné rozpouštění karbidů, naopak příliš dlouhé setrvání na kalící teplotě způsobuje v některých případech růst zrna, popřípadě vylučování karbidů po hranicích zrn. V obou těchto případech se zkracuje životnost zápustek. Musíme také počítat s tím, že vlivem tepelné vodivosti dosáhne střed zápustky kalící teploty později, než její povrch. Proto se udává přibližná doba setrvání na kalící teplotě 5 minut na každých 10 mm tloušťky zápustky u uhlíkových a nízkolegovaných ocelí, a přibližně 10 minut na každých 10 mm tloušťky zápustky u vysocelegovaných ocelí.

Každý odlišný tvar a velikost zápustky také vyžaduje se zřetelem na chemické složení také odlišný způsob ochlazování. Zápustky z uhlíkových a nízkolegovaných ocelí s nízkou prokalitelností se ochlazují buďto ve vodě, nebo v oleji rovnou z kalící teploty. Je-li vyžadována vysoká pevnost v dutině zápustky, je nutné použít vodního zřídla. U celkového ochlazování zápustky je nutné zajištění účinné cirkulace vody, aby se zamezilo tvorbě parního polštáře, který způsobuje nerovnoměrné ochlazování, vznik pnutí, které mohou vézt k praskání zápustek, nebo jiným deformacím zápustek. U vysoce legovaných zápustek, je vhodné využít ochlazování na vzduchu, které je pozvolnější a je menší riziko vzniku deformace zápustek. Pokud není možné dosáhnout kalením na vzduchu požadované tvrdosti, je zapotřebí použít lomeného kalení na vzduchu, do teplot 800 - 750°C a poté dokončení ochlazování v oleji. [6]

2.1.2.5 Popouštění

Po zakalení je zápustka ve stavu vysokých vnitřních pnutí, ty se projevují velkou tvrdostí, ale také křehkostí. Tyto pnutí jsou dvojího charakteru:

- **Tepelná** – vznikají rozdílem teplot mezi povrchem a jádrem při ochlazování.
- **Strukturní** – vznikají v přeměně austenitu.

Vlivem těchto pnutí může dojít k trhlinkám v zápustkách, což může vézt až k jejich prasknutí. Proto je nutné, aby vždy po kalení následovalo popouštění zápustek, aby se vnitřní pnutí co nejrychleji odstranilo.

Ohřev na popouštěcí teplotu je nutno provádět velice opatrně. Zápustka se vloží do přehřáté pece na teplotu 300-400°C (podle velikosti zápustky), kde se nechá částečně prohřát a poté se pozvolna ochlazuje (rychlostí 20-100°C za hodinu) na popouštěcí teplotu.

Popouštěcí teplota závisí na pracovních podmínkách zápustky a musí být minimálně o 30 až 50 °C vyšší než je pracovní teplota zápustky. Nedodržení této zásady, může vézt k deformacím zápustek, nebo mohou vznikat trhlinky na funkčních částech zápustky.

Doba popouštění závisí na druhu oceli, velikosti zápustky a také na výši popouštěcí teploty. Přibližně se udává doba setrvání na teplotě 1 hodinu na každých 25mm tloušťky zápustky a u malých zápustek by se neměla zkracovat pod 2 hodiny, aby došlo k co největšímu odstranění pnutí a ke stabilizaci struktury.

Po dostatečné výdrži na popouštěcí teplotě následuje pomalé ochlazování na vzduchu. Pouze u zápustek z nízkolegovaných ocelí se doporučuje ochlazování v oleji, důsledkem náchylnosti k vývoji anizotermické složky popouštěcí křehkosti. [6]

2.2 Předehřev zápustek

Před kovááním za tepla je nutno zápustky předehřívát z důvodu menší houževnatosti za běžné teploty a velkých teplotních rozdílů mezi zápustkami a kovaným materiálem, které mají zásadní vliv na životnost zápustek. Zápustky se předehřívají na teplotu 200 - 300 °C, pracovní teplota zápustek poté bývá okolo 200 °C. Vlivem kovaného materiálu, který je ohřátý na teplotu okolo 1200 °C se povrch dutiny zápustek zahřívá až na teploty okolo 550 °C. [6]

2.3 Mazání zápustek při kováání

Použití mazání při technologii zápustkového kováání je velice důležité. Mazivo vytváří na povrchu zápustek izolační vrstvu, která nejen že snižuje tření, čímž zlepšuje zatékání materiálu do dutin zápustek a usnadňuje vyhazování výkovku ze zápustek, ale také chrání zápustku před opotřebením, zpomaluje přestup tepla mezi výkovkem a zápustkami, protože zcela odděluje kovaný materiál od povrchu zápustek a zamezuje ulpívání okují v zápustkách, které se následně jednoduše odstraní tlakovým vzduchem.

Aby mazivo mohlo splňovat tyto úlohy, je na něj kladeno nemalý počet požadavků.

- Musí vytvářet únosné mazací filmy s optimálním koeficientem tření.
- Musí být nekorozivní.
- Musí být fyziologicky nezávadné a ekologické
- Musí být tepelně stálé, aby se zvyšováním teplot vznikajících při tváření neztrácelo své potřebné vlastnosti.

- Musí mít schopnost odvádět teplo.
- Nesmí vytvářet barevné změny na povrchu kovaného materiálu, ani zápustek.
- Nesmí vytvářet lepidivé povrchy

Výčet těchto vlastností však platí pouze obecně, při použití v jednotlivých procesech má každá z vlastností větší, či menší význam. [6]

2.4 Ohřev materiálu

Ohřevu materiálu pro kování se využívá pro polotovary všech velikostí. Díky snížení přetvárného odporu (až 10x) a dosažení vyššího stupně deformace je ohřev materiálu výhodný pro rozměrově velké součásti, pro které neexistují dostatečně silné tvářecí stroje, které by tyto polotovary přetvořily za studena. Využívá se však také pro tvarově složité součásti, nebo pro těžko tvářitelné slitiny, jako jsou například slitiny titanu a niklu.

Ohřevu se dosahuje pomocí různých druhů pecí, nejčastěji se používají plynové, elektrické obloukové, nebo indukční. Nejčastěji se však používají pece indukční, a to z důvodu rychlého kontinuálního ohřevu a nejmenší tvorby okují (okolo 1%). Indukční ohřev se používá pro ocelové kruhové nebo profilové přířezy kratších délek a stejných rozměrů, nebo také pro ohřev konců, či středů tyčového materiálu.

Indukční pece bývají speciálně zkonstruované s různým kmitočtem pro různé průměry ohřívajícího polotovaru. Obecně platí, že čím menší je průměr tyče, tím větší musí být kmitočet. Různé kmitočty se volí především z rovnoměrnosti ohřevu, ale také z hospodářských důvodů. Tvářecí teploty u ocelí a jejích slitin bývají přibližně kolem 1200°C, u hliníku je to kolem 600°C a nejnižší kovací teploty mívají slitiny olova, cínu a zinku. [10], [12], [13]

2.4.1 Opal materiálu

Ohřívání materiálu vždy oxidace materiálu neboli opal. Dochází k němu v povrchu tělesa ohřívajícího v pecní atmosféře, které obsahuje směs kyslíku, oxidu uhličitýho a vodních par. Oxidaci materiálu urychluje neustálé opadávání okují z povrchu ohřívajícího tělesa. Toto opadávání je způsobeno rozdílem teplotní roztažnosti okují a základního kovu. Okuje obsahují 71 až 76% železa a mají hustotu okolo 4000 Kg.m³ [9]

Opal nepříznivě působí na ohřívající materiál a to zejména:

- Snížením hmotnosti o 1 až 3% na jeden ohřev

- Možnost zatlačení okují do povrchu kovaného materiálu (zhoršení povrchu)
- Nezbytnost zařazení operace pro odstranění okují před kovááním (pěchování)
- Nezbytnost čištění povrchu tvářených výrobků před jejich dalším zpracování za studena, nebo obráběním.
- Snížení životnosti pecní nístěje vlivem nalepování okují, nebo vznikem strusky.
- Snížení životnosti tvářících nástrojů.

Na vznik okují mají vliv tyto faktory: [9]

1. **Ohřívací teplota:** Ohřívací teplota má nejzásadnější vliv na vznik okují, které se začínají tvořit při teplotě 600°C, velmi intenzivní vznik okují nastává při teplotách nad 1000°C (například při teplotě 1300°C je vznik okují až 7x vyšší, než při teplotě 900°C). Při teplotách nad 1320°C se začnou okuje natavovat na ohřivané těleso.
2. **Doba ohřevu:** Doba ohřevu se projevuje parabolickou závislostí, z čehož plyne, že s přibývajícím časem se přírůstek okují zmenšuje.
3. **Pecní atmosféra:** nejčastější pecní atmosféry jsou oxidační, kde vznikají okuje o tlustší vrstvě, které se snadno odlupují od základního kovu, to jsou takové atmosféry, kde se vyskytují směsi Oxidů, (O₂, CO₂, H₂O, SO₂), dále existují také redukční atmosféry, kde se vyskytují plyny H₂, CH₄ a C₂H₂, nebo neutrální, které obsahují dusík N₂. V těchto atmosférách vznikají mnohem tenčí vrstvy, které zůstávají na základním kovu, a odokoujení této vrstvy je mnohem obtížnější.
4. **Chemické složení:** U nelegovaných ocelí s obsahem uhlíku do 0,3% zokoujení značně vzrůstá, naopak při zvyšujícím se obsahu uhlíku vrstva okují klesá. Tento jev vzniká důsledkem vznikajícího CO, který má omezující vliv na tvorbě okují.
5. **Povrchovost ohřivaného tělesa:** Znamená to poměr povrchu tělesa vzhledem k jeho objemu, větší povrchovost znamená menší zokoujení, vlivem zkrácení doby ohřevu.
6. **Způsob manipulace:** Manipulace s tělesy ať už v peci, nebo mimo ni způsobuje narušení oxidační vrstvy, a tím urychluje oxidaci a růst okují na obnaženém povrchu.

2.5 Stroje pro zápusťkové kování

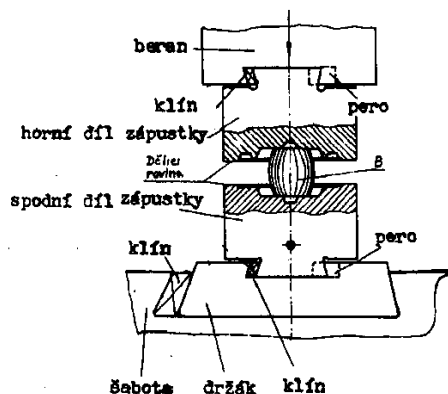
Stroje, které slouží pro zápusťkové kování, se dělí na buchary a lisy.

2.5.1 Buchary pro zápustkové kování

Tok kovu při kování na bucharech je ovlivněn vysokou rychlostí dopadu beranu (až 9 m/s) a postupným zaplňováním zápustkové dutiny několika po sobě následujícími údery. Rázový charakter kování podporuje uvolňování okují z povrchu tvářeného polotovaru a usměrňuje tok kovu do horního dílu zápustky, kde se přednostně umísťují vysoké výstupky a tenká žebra výkovku. Intenzivnější zaplňování horního dílu zápustky se přičítá velmi krátké době styku (řádově jde o setiny, někdy i tisíce sekundy) horního dílu zápustky s tvářeným kovem, který se tak vyznačuje nižším deformačním odporem.

Při konstrukci zápustkových bloků je důležitou částí řešení způsob upnutí zápustky na kovací stroj (buchar). Rázy při kování totiž velmi snadno upevnění zápustek povolují. Pro buchary se zápustka opatřuje rybinovou drážkou a upíná se pomocí pera a klínu (Obr. 32).

Kování na bucharech je méně rozšířenou metodou zápustkového kování, které se většinou uplatňuje při výrobě v malých, nebo středních sériích. [4], [9], [14]



Obr. 33 Způsob upnutí zápustek na bucharu [11]

Buchary pro zápustkové kování jsou: [9]

- **Parovzdušné** – Jsou dvojitinné o hmotnosti beranu od 500 do 25 000 kg, jsou poloautomatické, s nožním ovládním a s úderovostí 100/min, jsou výhodné pro postupové kování.
- **Padací** – jsou to jednočinné buchary, které vyvíjejí energii volným pádem s hmotností bucharu od 100 do 2500 kg a s úderovostí 70/min.
- **Protiběžné** – s rázovou prací 50 až 450 kJ (ve výjimečných případech až 1000 kJ) a s úderovostí 50/min. Používají se pro jednodutinové kování a pro kování nejtěžších zápustkových výkovků.

2.5.2 Lisy pro zápustkové kování

2.5.2.1 Svislé kovací lisy

Svislé kovací lisy jsou vyráběny se jmenovitou silou 6,3 až 100 MN a přes svou nízkou pracovní rychlost 0,5 až 0,8 m/s, což je 10krát menší než u bucharu, můžou dosáhnout až 90 zdvihů za minutu. Tok kovu do horního dílu zápustky je méně intenzivní než na bucharu. Příčinou je mnohem menší doba styku horní zápustky s tvářecím kovem. Na bucharu je doba styku 0,0007 až 0,001s, kdežto na svislém kovacím lisu 0,03 až 0,2 s. Proto se u těchto strojů kladou vyšší nároky na předkování výkovků s vysokými a štíhlými výstupky.

Snadné zaplňování zápustkových dutin ve směru rázu rozšiřuje technologické možnosti o operaci protlačování, která se vyznačuje velmi příznivým stavem napjatosti, díky které se zvyšuje tvářitelnost kovu. Vysoký deformační odpor však zvyšuje opotřebení nástrojů. [9]

2.5.2.2 Vřetenové kovací lisy

Tyto lisy se používají ke kování v otevřených a uzavřených zápustkách, při rovnání, děrování, ohýbání, protahování a kalibrování. Z výčtu možností k jejich použití vyplývá, že se vřetenové lisy mohou používat jako univerzální tvářecí stroje a jejich použití bude zejména v malosériové výrobě s rozmanitým výrobním programem, kde tyto lisy nahrazují spoustu jiných jednoúčelových tvářecích strojů.

Vyrábí se se jmenovitou silou až 25 MN v klasickém provedení nebo až 63 MN v hydraulickém provedení. Svou nízkou pracovní rychlostí od 0,5 až do 0,9 m/s se podobají svislým kovacím lisům, ale tím jak se zcela vyčerpá kinetická energie setrvačníku při každém úderu a kinematickou nezávislostí smýkadla na pohonném mechanismu se podobají také bucharům.

Díky poměrně dlouhému zdvihu jsou vhodné pro protlačování a koncové pýchování dlouhých výkovků, jakými jsou například šrouby. Dále se vyznačují málo tuhým vedením smýkadla a vyhazovačem především v dolním díle zápustky. Jsou však nevhodné pro postupové kování a také pro kování výkovků s vysokými a štíhlými výstupky ve směru rázu. Také uvolňování okují není tak intenzivní jak u kování na bucharách.

Na vřetenových kovacích lisech se doporučuje kovat v jedno-dutinové zápustce a jediným úderem. [9]

2.5.2.3 *Hydraulické kovací lisy*

Tyto lisy dosahují jmenovité síly do 200 MN, někdy až 750 MN. Zhotovují se na nich především výkovky z hliníkových a hořčíkových slitin, ale také z ocelí. Mají nízkou pracovní rychlost kolem 0,15 až 0,20 m.s⁻¹ a používají se nejčastěji tehdy, pokud pro daný výkovek nemůžeme použít jiný tvářecí stroj. [9]

2.5.2.4 *Vodorovné kovací lisy*

Způsob kování na vodorovném kovacím lisu je v podstatě stejný jako kování na klikovém kovacím lisu na ležato. Kromě hlavního smýkadla s lisovníkem má ještě dvě svěrací čelisti, jejichž primárním úkolem je zabezpečit sevření výchozího polotovaru, a poté se provádí kování jeho volné části. Svěrací čelisti mohou mít vodorovnou nebo svislou dělicí rovinu, přičemž přednost se dává vodorovné dělicí rovině, která se vyznačuje příznivějšími podmínkami pro mechanizaci mezioperační manipulace kovaného polotovaru. Vodorovné kovací stroje se vyrábějí se jmenovitou silou až 40 MN a přitom dosahují 15 až 30 zdvihů za minutu. [9]

2.6 **Vady na výkvcích**

Při kování může docházet k různým vadám na výkvcích, které vznikají špatně zvolenou technologií (špatná kovací teplota, nevhodné provedení zápustek, použití špatného maziva, apod.), nekázní nebo špatně zaškolenou obsluhou kovacího stroje, nebo opotřebením nástrojů. Po odhalení některé z těchto vad by mělo vézt k okamžité nápravě, tak aby se vada nadále nevyskytovala, popřípadě u složitějších vad k pozastavení výroby. [11]

2.6.1 **Nedotečený tvar**

Jak již z názvu vyplývá, tato vada znamená, nevyplnění dokovací dutiny. Rizikové skupiny této vady jsou výkovky s hlubokými žebry a tenkými tvary. Důvody vzniku těchto vad jsou použití nevhodné technologie kování, špatné ustavení polotovaru do předkovacích zápustek, kování nedostatečně ohřátého polotovaru, použití opotřebovaných zápustek, nevhodné mazivo (příliš husté), nedostatečně vyhřáté zápustky. [11]



Obr. 34 Nedotečený tvar. [11]

2.6.2 Deformace výkovku

Deformace výkovku vzniká nejčastěji při ostříhu. Příčinou těchto vad je špatné ustavení výkovku do děrovacího, popřípadě ostřihovacího nástroje, který poté výkovek zdeformuje (obr. 34). Dalšími případy je nevhodná manipulace s výkovkem v dalších dokončovacích procesech, jako je kalibrování, tepelné zpracování, otryskávání apod. Ve většině těchto případů je tato deformace tak velká, že se musí daný výkovek oddělit od ostatních a vzniká takzvaný zmetek, který je sešrotován. [11]



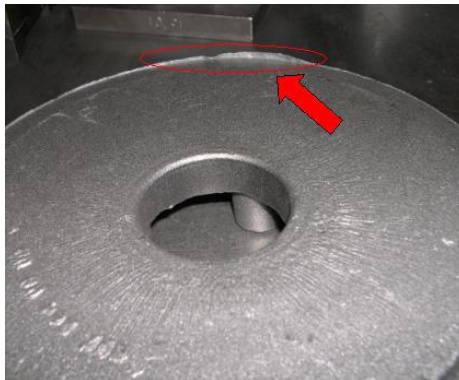
Obr. 35 deformace výkovku. [11]

2.6.3 Jehla po ostříhu

Jehla po ostříhu vzniká výhradně při ostříhu, nebo děrování. Důvodem vzniku těchto vad jsou, malé, nebo naopak velké vůle mezi střižníkem a střižnicí, popřípadě razníkem a raznicí, opotřebení ostřihovacích nástrojů a zápustek. [11]

Tato vada je velice nebezpečná pro obsluhu dalších pracovišť, kdy může dojít k poranění operátora. Jehla také překáží dalšímu zpracování, pokud je například na dose-

dací, nebo upínací ploše pro obrábění, a také snižuje životnost obráběcích nástrojů. Také může způsobovat další vadu výkovku a to zatlačení jehly do výkovku, která je popsána v kapitole 2.6.4.



Obr. 36 jehla po ostřihu. [11]

2.6.4 Zatlačení jehly do výkovku

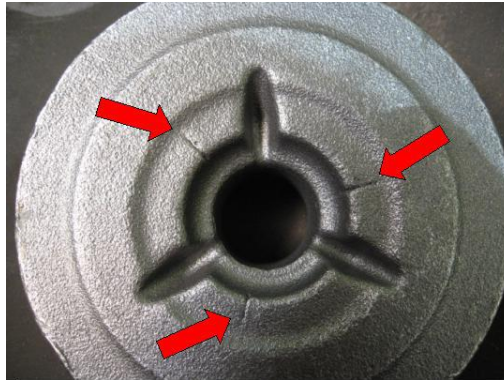
Tato vada vzniká při ostřihu, nebo děrování, kdy se z výkovku odlomí jehla, která není odstraněna a zůstane na náradí, na které je dán další výkovek. Tato jehla je poté se zdvihem lisu nalisována do tvaru výkovku. Tato vada vzniká jednoznačně nepozorností a nedodržením technologického postupu obsluhy lisu. [11]



Obr. 37 Zatlačená jehla do výkovku. [11]

2.6.5 Přeložky

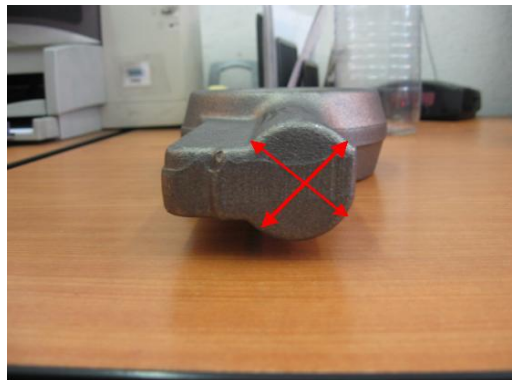
Tato vada je typická pro členité výkovky, kde dochází k velkému a rychlému tečení. Dále přeložky vznikají v místech přechodů rádiusů, špatnou konstrukcí náradí, špatným ustavením předkovku do dokovací dutiny, špatná výška pěchu, použitím opotřebených zápustek, apod. Moderní simulační systému však tyto vady dokáží odhalit a upozorní na ně, což vede k možnosti úpravy zápustek, již při jejich navrhování. [11]



Obr. 38 Přeložky. [11]

2.6.6 Přesazení

Přesazení vzniká nejčastěji při rozjezdu výroby, nebo po delším čase kování, kdy může dojít k uvolnění upnutí zápustek, nebo špatně zkonstruovaným vedením zápustek. Horní tvar je oproti spodnímu vyosen, nebo pootočen. [11]



Obr. 39 Přesazení. [11]

2.6.7 Prasklá zápustka

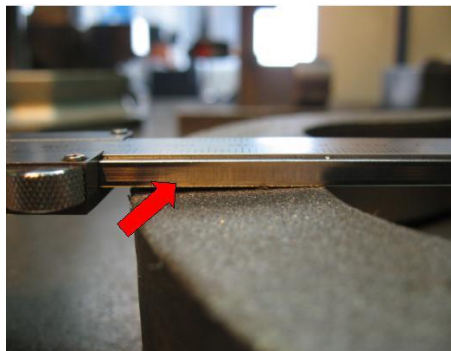
Během procesu kování mohou vznikat praskliny v dutinách zápustek. Tyto praskliny mohou být v tolerancích povrchových vad, pokud však zápustka zcela praskne, poté vzniká tato vada. Mezi příčiny prasknutí zápustek se řadí použití nevhodné technologie, příliš vysoké přídavky na dokování, kování málo ohřátých polotovarů, špatné ustavení pěn do předkovacích zápustek, kování více kusů, než je životnost zápustek, použití nevhodného mazání apod. Při prasknutí předkovacích zápustek je potřeba okamžitě zasáhnout, protože materiál, který se do praskliny vtlačí, se při kování zatlačí zpět do tvaru, čímž vznikají hluboké vady. [11]



Obr. 40 Vada po prasknutí zápustky [11]

2.6.8 Průhyb výkovku

Průhyb výkovku vzniká špatně zvolenou technologií, nevhodnou manipulací s výkovky, opotřebeným ostříhovacím nářadím a zápustek. Mezi rizikové výkovky patří tenké a dlouhé díly. [11]



Obr. 41 průhyb výkovku [11]

2.6.9 Zakujení výkovku

Tato vada vzniká nedostatečným odstraněním okují ze zápustek a pýchovadla. Okuje se zamáčknou do dalších dílů vložených do těchto zápustek a vzniká zakujení. [11]



Obr. 42 Zakujení výkovku. [11]

3 FEM ANALÝZY PRO KOVÁNÍ

V dnešní době se využívají softwary pro analýzu téměř u všech technologií, které daný proces nasimulují a pomáhají tak konstruktérovi při tvorbě nových dílů. Platí zde však jedno velmi důležité a pravdivé pravidlo, že žádný software nedokáže sám vyhodnotit a vyvodit závěr. Proto tato práce zůstává na konstruktérovi, který svými odbornými znalostmi tyto analýzy posuzuje a upravuje technologii do té míry, dokud není zcela dle jeho představ.

Ve firmě Viva a.s. se pro technologii kování využívá program FORGE® NxT od francouzské společnosti TRANSVALOR.

Tento software využívá termo-elastické zákony, pro kování za tepla. Model umožňuje predikci zbytkových napětí a geometrické dimenze na konci tváření.

Metody konečných prvků se používá k řešení tepelné a mechanické rovnice rovnováhy v každém časovém kroku procesu. Diskretizaci části se provádí za použití rozšířené (P1/P1) 4-uzlu čtyřstěn prvek v 3D a 3-uzel trojúhelníkového prvku ve 2D.

S novými předpisy musí automobilový průmysl neustále inovovat své produkty, aby dosáhl snížení hmotnosti, spotřeby paliva a zlepšení výkonu výrobku.

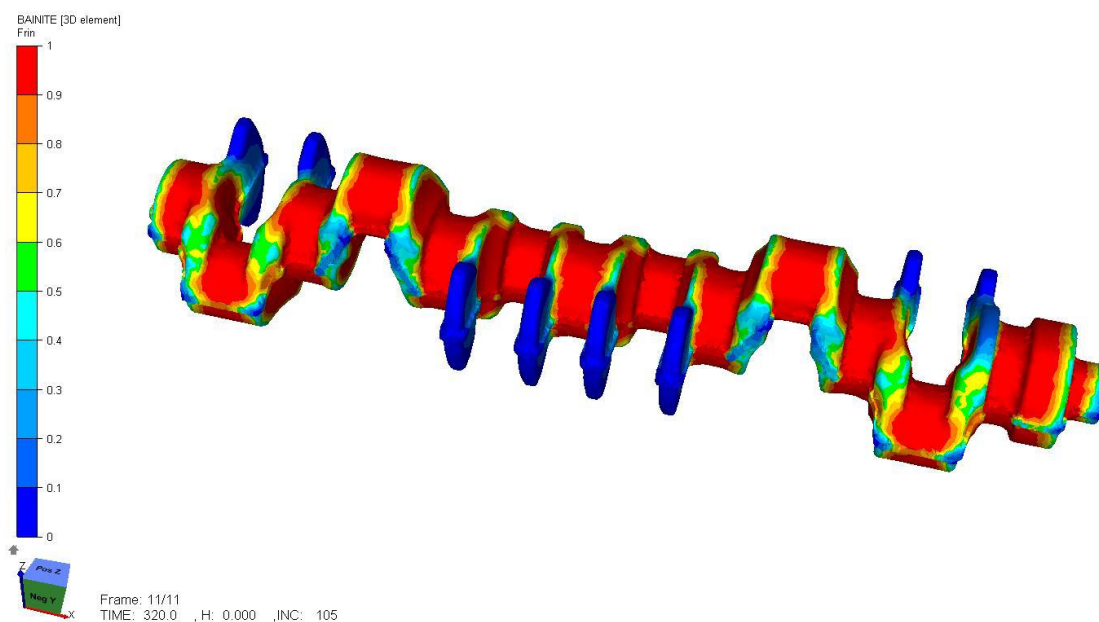


Obr. 43 Simulace v programu FORGE. [15]

V programu FORGE lze počítat i optimalizaci. Znamená to, že lze určit parametry, které se mohou měnit, a software sám spočítá nejvhodnější variantu. Lze jako proměnný parametr určit i tvar zápustky, ale zatím pouze v omezené formě. Například lze měnit rádiusy na předkovací zápustce a program sám navrhne nejvhodnější. Tento způsob výpočtu je ale velmi náročný a v praxi se používá pouze pro veliké série výrobků.

Byl použit pro výpočet klikové hřídele na obrázku, kdy jako proměnný parametr byl vstupní polotovár a jeho vyválnování. Systém navrhl nejvhodněji vyválnovaný polotovár pro založení do překovací návodky a dle tohoto návrhu byly vyrobeny válcovací seg-

menty. Díky tomu výpočtu, který mimochodem trval 290 hodin, se zkrátila doba vývoje a přesnost kování byla výrazně posílena. [15]



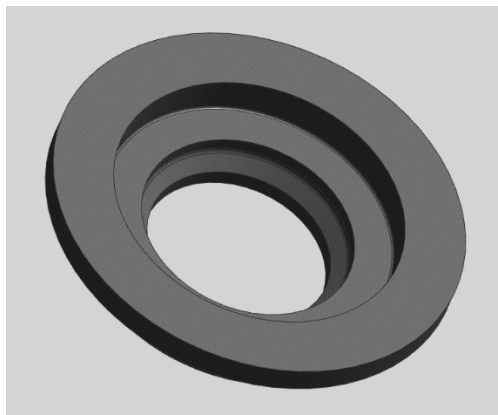
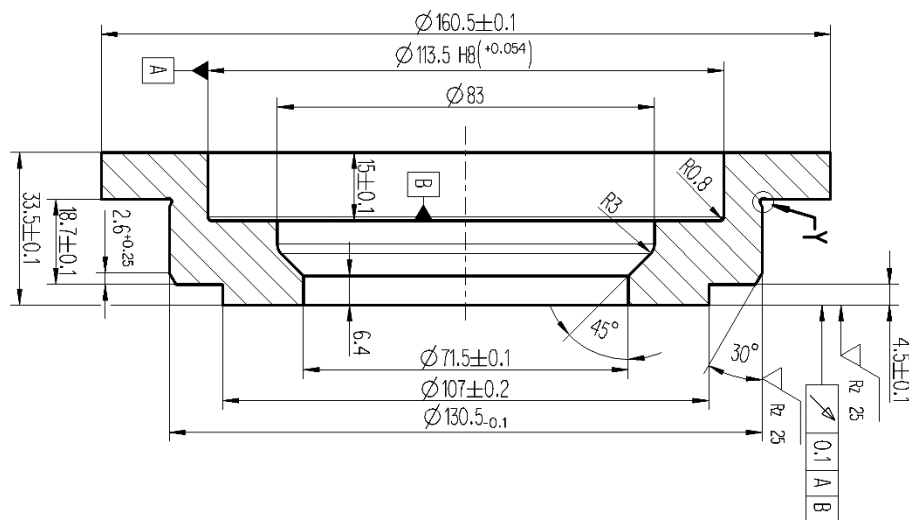
Obr. 44 Výpočet klikové hřídele. [15]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 NÁVRH VÝKOVKU DLE ZADANÉ SOUČÁSTI

Na základě součásti zadané zákazníkem ZF Sachs bude vypracován návrh výkovku se všemi kovářsko-technickými požadavky. Zákazník také udává, že chce dostávat výkovky v počtu 24600 kusů ročně.

Zadaná součást je takzvaná automotive součást, tj. součást, která je využívána v automobilovém průmyslu, zejména jako součást palivového čerpadla u nákladních automobilů. Součást je vyrobena z oceli Mangan-chromové oceli 16MnCr5 (Obr. 45).



Obr. 45 Součást palivového čerpadla.

4.1 Přídavky na obrábění

Plochy zápusťkových výkovků, které jsou dále zpracovány třískovým obráběním, jsou opatřeny přídavkem na obrábění. U rotačně symetrických součástí se tento přídavek stanovuje dle tabulky z největší tloušťky a největšího průměru. V tomto případě vychází dle tabulky 2,5 mm, avšak ze zkušeností s rotačními výkovky jsem zvolil přídavek na plo-

chu 1,5 mm, s tím, že vyšší technické náklady vlivem opotřebení a praskání zápustek bude za pomoci analýz upraveno do přijatelné míry. [17]

Tab. 1 Přídavky na obrábění [17]

Nejvyšší rozměr (šířka nebo tloušťka)		Podélné výkovky - největší délka									
Největší tloušťka		Rotačné 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)	6,5 (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 výdajů pokud možno vyhýbat.

4.2 Úkosity bočních stěn

Aby bylo možno výkovky snadno vyjmout z dutiny zápustky, musí být jejich plochy, ležící ve směru osy tváření skloněné. Hodnota úkosů je na vnitřních a vnějších plochách různě veliká a závisí především na způsobu tváření, velikosti výkovku a také na použití vyhazovače. Při technologii kování budou použity vyhazovače, proto byly zvoleny úkosity vnější i vnitřní 3°, aby nebyl vyvíjen zbytečně vysoký tlak na vyhazovač, nebo aby během kování vyhazovač neproděroval blánu. [17]

Tab. 2 Úkosity bočních stěn [17]

Vnitřní úkosity			Vnější úkosity		
Buchar nebo lis		Vodorovný pýchovací stroj	Buchar nebo lis		Vodorovný pýchovací stroj
Zápustka			Zápustka		
bez vyhazovače	s vyhazovačem		bez vyhazovače	s vyhazovačem	
6°	3°	3°	4°30'	2°	2°
1 : 10	1 : 20	1 : 20	1 : 12,5	1 : 30	1 : 30
9° (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)

Na základě těchto hodnot byl vytvořen model výkovku (Obr. 46). Výkres viz. Příloha.



Obr. 46 Rozdíl mezi výkovkem (šedý) a obrobkem (červený).

4.5 Mezní úchytky výkovku

Při technologii kování je potřeba myslet na to, že tato technologie není dokonale přesná, a je ovlivněna mnoha faktory, zejména opotřebením zápustek. Z toho důvodu je nutné udávat mezní úchytky výkovku. [16]

Rozlišují se 2 stupně přesnosti kování:

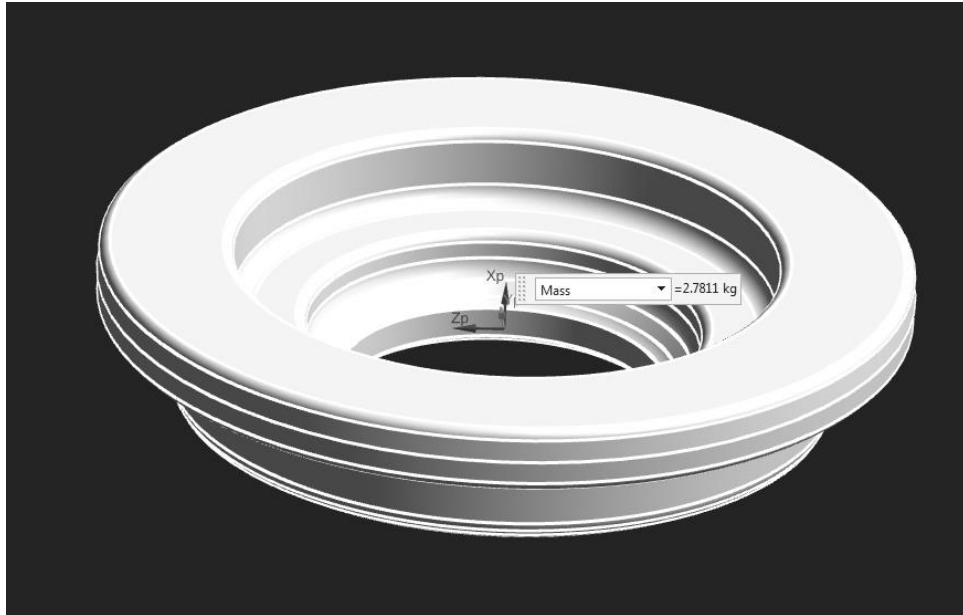
- **Stupeň přesnosti kování F** – mezní úchytky poskytují přiměřený stupeň přesnosti pro obvyklé použití, dosažitelné běžně používaným kovářským zařízením a způsobem kování.
- **Stupeň přesnosti kování E** – obsahuje zúžené mezní úchytky pro ty případy, kdy obvyklé mezní úchytky nejsou přiměřené.

Pro získání mezních úchylek je zapotřebí znát kromě rozměrů výkovku také:

- Hmotnost výkovku
- Tvar dělicí roviny
- Druh oceli
- Ukazatel členitosti tvaru

4.5.1 Hmotnost výkovku

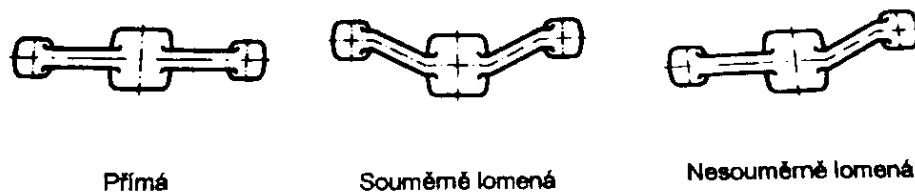
Hmotnost výkovku se dá zjistit jednak výpočtem, ale v dnešní době je nejjednodušší způsob k získání hmotnosti pomocí 3D modelovacího programu (Obr. 47).



Obr. 47 Zjištění hmotnosti výkovku v programu Nx9.

4.5.2 Tvar dělicí roviny

Tvar dělicí roviny je přímý, souměrně lomený, nesouměrně lomený (Obr. 48).



Obr. 48 Tvar dělicí roviny [16]

4.5.3 Druh použité oceli

Stupeň obtížnosti kování závisí na obsahu uhlíku a obsahem legujících prvků (Mn, Ni, Cr, Mo, V, W). Čím větší je podíl těchto prvků, tím hůře je ocel tvářitelná. Stupeň obtížnosti kování se dělí na 2 skupiny. [16]

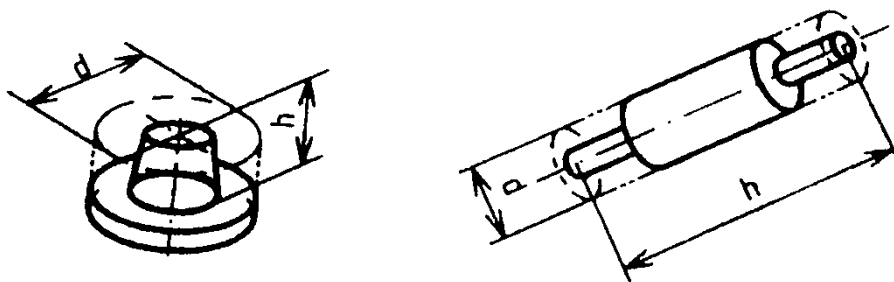
- **M1** – Ocel s obsahem C do 0,65% a celkovým obsahem legujících prvků do 5% hmotnosti.
- **M2** - Ocel s obsahem C nad 0,65% a celkovým obsahem legujících prvků nad 5% hmotnosti.

4.5.4 Ukazatel členitosti tvaru

Tento ukazatel přihlíží k tomu, že při kování tenkostěnných průřezů a členitých součástí vznikají větší rozměrové variace, na rozdíl součástí s jednoduchými a ucelenými tvary, což je způsobeno různou mírou smrštění, vyšším tvářecím silám a vyšší rychlosti opotřebení zápustek. [16]

Ukazatel členitosti tvaru je dán vztahem:

$$S = \frac{m_{\text{výkovku}}}{m_{\text{obalového tělesa}}} \quad (3)$$



Obr. 49 Obalové těleso [16]

Výsledný ukazatel členitosti poté patří do jedné z následujících skupin:

- **S4:** do 0,16
- **S3:** nad 0,16 do 0,32
- **S2:** nad 0,32 do 0,63
- **S1:** nad 0,63 do 1

Po zjištění všech těchto parametrů můžeme následně zjistit mezní úchylky délky, šířky, výšky, tloušťky otřepu, sestřížení a úchylek stop po vyhazovačích za pomoci tabulek. [16]

Tab. 6 ocelové zápuskové výkovky kované na bucharech a lisech – Stupeň přesnosti kování
F – mezní úchytky tloušťky a úchytky stop po vyhazovačích. [16]

1) Maximální dovolené úchytky	Hmotnost (kg)	Stupeň obtížnosti kování		Ukazatel složitosti tvaru				Jmenovité rozměry						
								Úchytky 2)						
				M1	M2	S1	S2	S3	S4	0 ≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 100	> 100 ≤ 160
1,0	0-0,4							1,0 ^{+0,7} _{-0,3}	1,1 ^{+0,7} _{-0,4}	1,2 ^{+0,8} _{-0,4}	1,4 ^{+0,9} _{-0,5}	1,6 ^{+1,1} _{-0,5}	1,8 ^{+1,2} _{-0,6}	2,0 ^{+1,3} _{-0,7}
1,2	0,4-1,2							1,1 ^{+0,7} _{-0,4}	1,2 ^{+0,8} _{-0,4}	1,4 ^{+0,9} _{-0,5}	1,6 ^{+1,1} _{-0,5}	1,8 ^{+1,2} _{-0,6}	2,0 ^{+1,3} _{-0,7}	2,2 ^{+1,5} _{-0,7}
1,6	1,2-2,5							1,2 ^{+0,8} _{-0,4}	1,4 ^{+0,9} _{-0,5}	1,6 ^{+1,1} _{-0,5}	1,8 ^{+1,2} _{-0,6}	2,0 ^{+1,3} _{-0,7}	2,2 ^{+1,5} _{-0,7}	2,5 ^{+1,7} _{-0,8}
2,0	2,5-5							1,4 ^{+0,9} _{-0,5}	1,6 ^{+1,1} _{-0,5}	1,8 ^{+1,2} _{-0,6}	2,0 ^{+1,3} _{-0,7}	2,2 ^{+1,5} _{-0,7}	2,5 ^{+1,7} _{-0,8}	2,8 ^{+1,9} _{-0,9}
2,4	5-8							1,6 ^{+1,1} _{-0,5}	1,8 ^{+1,2} _{-0,6}	2,0 ^{+1,3} _{-0,7}	2,2 ^{+1,5} _{-0,7}	2,5 ^{+1,7} _{-0,8}	2,8 ^{+1,9} _{-0,9}	3,2 ^{+2,1} _{-1,1}
3,2	8-12							1,8 ^{+1,2} _{-0,6}	2,0 ^{+1,3} _{-0,7}	2,2 ^{+1,5} _{-0,7}	2,5 ^{+1,7} _{-0,8}	2,8 ^{+1,9} _{-0,9}	3,2 ^{+2,1} _{-1,1}	3,6 ^{+2,4} _{-1,2}
4,0	12-20							2,0 ^{+1,3} _{-0,7}	2,2 ^{+1,5} _{-0,7}	2,5 ^{+1,7} _{-0,8}	2,8 ^{+1,9} _{-0,9}	3,2 ^{+2,1} _{-1,1}	3,6 ^{+2,4} _{-1,2}	4,0 ^{+2,7} _{-1,3}
5,0	20-36							2,2 ^{+1,5} _{-0,7}	2,5 ^{+1,7} _{-0,8}	2,8 ^{+1,9} _{-0,9}	3,2 ^{+2,1} _{-1,1}	3,6 ^{+2,4} _{-1,2}	4,0 ^{+2,7} _{-1,3}	4,5 ^{+3,0} _{-1,5}
6,4	36-63							2,5 ^{+1,7} _{-0,8}	2,8 ^{+1,9} _{-0,9}	3,2 ^{+2,1} _{-1,1}	3,6 ^{+2,4} _{-1,2}	4,0 ^{+2,7} _{-1,3}	4,5 ^{+3,0} _{-1,5}	5,0 ^{+3,3} _{-1,7}
8,0	63-110							2,8 ^{+1,9} _{-0,9}	3,2 ^{+2,1} _{-1,1}	3,6 ^{+2,4} _{-1,2}	4,0 ^{+2,7} _{-1,3}	4,5 ^{+3,0} _{-1,5}	5,0 ^{+3,3} _{-1,7}	5,6 ^{+3,7} _{-1,9}
10,0	110-200							3,2 ^{+2,1} _{-1,1}	3,6 ^{+2,4} _{-1,2}	4,0 ^{+2,7} _{-1,3}	4,5 ^{+3,0} _{-1,5}	5,0 ^{+3,3} _{-1,7}	5,6 ^{+3,7} _{-1,9}	6,3 ^{+4,2} _{-2,1}
12,6	200-250							3,6 ^{+2,4} _{-1,2}	4,0 ^{+2,7} _{-1,3}	4,5 ^{+3,0} _{-1,5}	5,0 ^{+3,3} _{-1,7}	5,6 ^{+3,7} _{-1,9}	6,3 ^{+4,2} _{-2,1}	7,0 ^{+4,7} _{-2,3}
								4,0 ^{+2,7} _{-1,3}	4,5 ^{+3,0} _{-1,5}	5,0 ^{+3,3} _{-1,7}	5,6 ^{+3,7} _{-1,9}	6,3 ^{+4,2} _{-2,1}	7,0 ^{+4,7} _{-2,3}	8,0 ^{+5,3} _{-2,7}
								4,5 ^{+3,0} _{-1,5}	5,0 ^{+3,3} _{-1,7}	5,6 ^{+3,7} _{-1,9}	6,3 ^{+4,2} _{-2,1}	7,0 ^{+4,7} _{-2,3}	8,0 ^{+5,3} _{-2,7}	9,0 ^{+6,0} _{-3,0}
								5,0 ^{+3,3} _{-1,7}	5,6 ^{+3,7} _{-1,9}	6,3 ^{+4,2} _{-2,1}	7,0 ^{+4,7} _{-2,3}	8,0 ^{+5,3} _{-2,7}	9,0 ^{+6,0} _{-3,0}	10,0 ^{+6,7} _{-3,3}
								5,6 ^{+3,7} _{-1,9}	6,3 ^{+4,2} _{-2,1}	7,0 ^{+4,7} _{-2,3}	8,0 ^{+5,3} _{-2,7}	9,0 ^{+6,0} _{-3,0}	10,0 ^{+6,7} _{-3,3}	11,0 ^{+7,3} _{-3,7}
								6,3 ^{+4,2} _{-2,1}	7,0 ^{+4,7} _{-2,3}	8,0 ^{+5,3} _{-2,7}	9,0 ^{+6,0} _{-3,0}	10,0 ^{+6,7} _{-3,3}	11,0 ^{+7,3} _{-3,7}	12,0 ^{+8,0} _{-4,0}

1) Viz 5.2.2.2.
 2) Mezní úchytky jsou 2/3 a 1/3 (zaokrouhlené hodnoty).

Kromě těchto mezních úchylek se také volí mezní úchytky přímosti a rovinnosti, úchytky roztečí, úchytky zaoblení přechodů a hran, úchytky jehel a úchytky stříhaných konců.

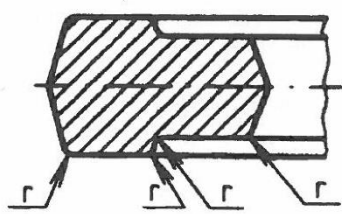
Tab. 7 Ocelové zápuskové výkovky kované na bucharech a lisech – Úchyly přímosti, rovinnosti a roztečí [16]

Úchyly přímosti a rovinnosti															
Nad - do	Jmenovité rozměry														
	0	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500
Stupeň	Úchyly														
	F	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	2,8
E	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0

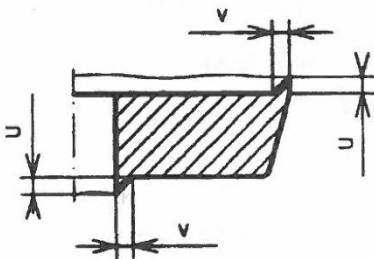
Rozsah úchylek roztečí															
Nad - do	Jmenovité rozměry														
	0	100	160	200	250	315	400	500	630	800	1 000				
	100	160	200	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250				
Stupeň	Úchyly														
	F	0,6 ± 0,3	0,8 ± 0,4	1,0 ± 0,5	1,2 ± 0,6	1,6 ± 0,8	2,0 ± 1,0	2,4 ± 1,2	3,2 ± 1,6	4,0 ± 2,0	5,0 ± 2,5	6,4 ± 3,2			
E	0,5 ± 0,25	0,6 ± 0,3	0,8 ± 0,4	1,0 ± 0,5	1,2 ± 0,6	1,6 ± 0,8	2,0 ± 1,0	2,4 ± 1,2	3,2 ± 1,6	4,0 ± 2,0	5,0 ± 2,5				

Tab. 8 Ocelové zápuskové výkovky kované na bucharech a lisech – Úchyly zaoblení přechodů hran, úchyly jehel a stříhaných konců. [16]

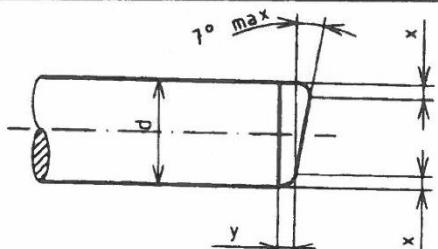
Úchyly zaoblení přechodů a hran		
r (mm)	+	-
r ≤ 10	50 %	25 %
10 < r ≤ 32	40 %	20 %
32 < r ≤ 100	32 %	15 %
r > 100	25 %	10 %



Úchyly jehel		
Hmotnost (kg) nad - do	u mm	v mm
m ≤ 1	1	0,5
1 < m ≤ 6	1,6	0,8
6 < m ≤ 40	2,5	1,2
40 < m ≤ 250	4	2

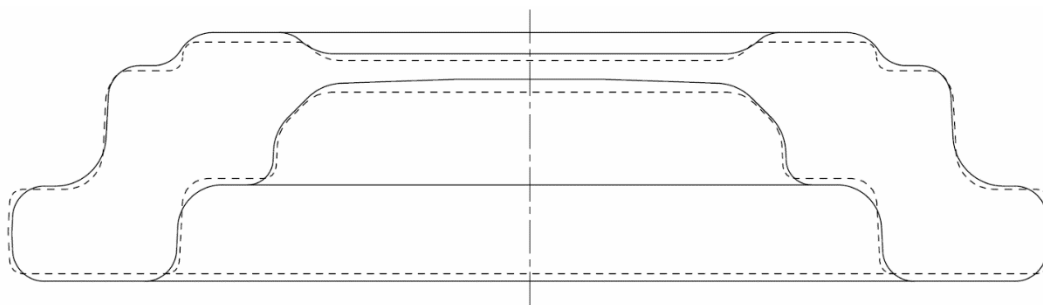


Úchyly stříhaných konců		
Jmenovitý průměr netvářené části výkovku	Úchyly	
	x	y
≤ 36	0,07 d	d
> 36	0,05 d	0,7



4.6 Návrh předkovku

Model předkovku vychází z modelu výkovku a je vytvořen tak, aby byl jeho tvar vyšší a užší, než je tvar výkovku, všechny rádiusy musí být zvětšeny, musí být také zvětšen zhruba o 5% a celkový tvar je zjednodušen tak, aby při tváření v dokovacích zápustkách dokonale vyplnil celou dutinu zápustek. (Obr. 50)



Obr. 50 Rozdíl mezi výkovkem (čárkovaná čára) a předkovkem (plná čára)

4.7 Návrh polotovaru

Zákazník si určil, že chce výrobek z oceli 16MnCr5, Mangan – chromová ocel k cementování. Ocel je běžně používaná pro ozubená kola, kardanovy klouby, talířová kola, hřídele, svorníky, čepy, atd... [11]

Číslo materiálu: WNr. 1.7131

Dle normy: ČSN 41 4220

Tab. 9 Chemické složení oceli [11]

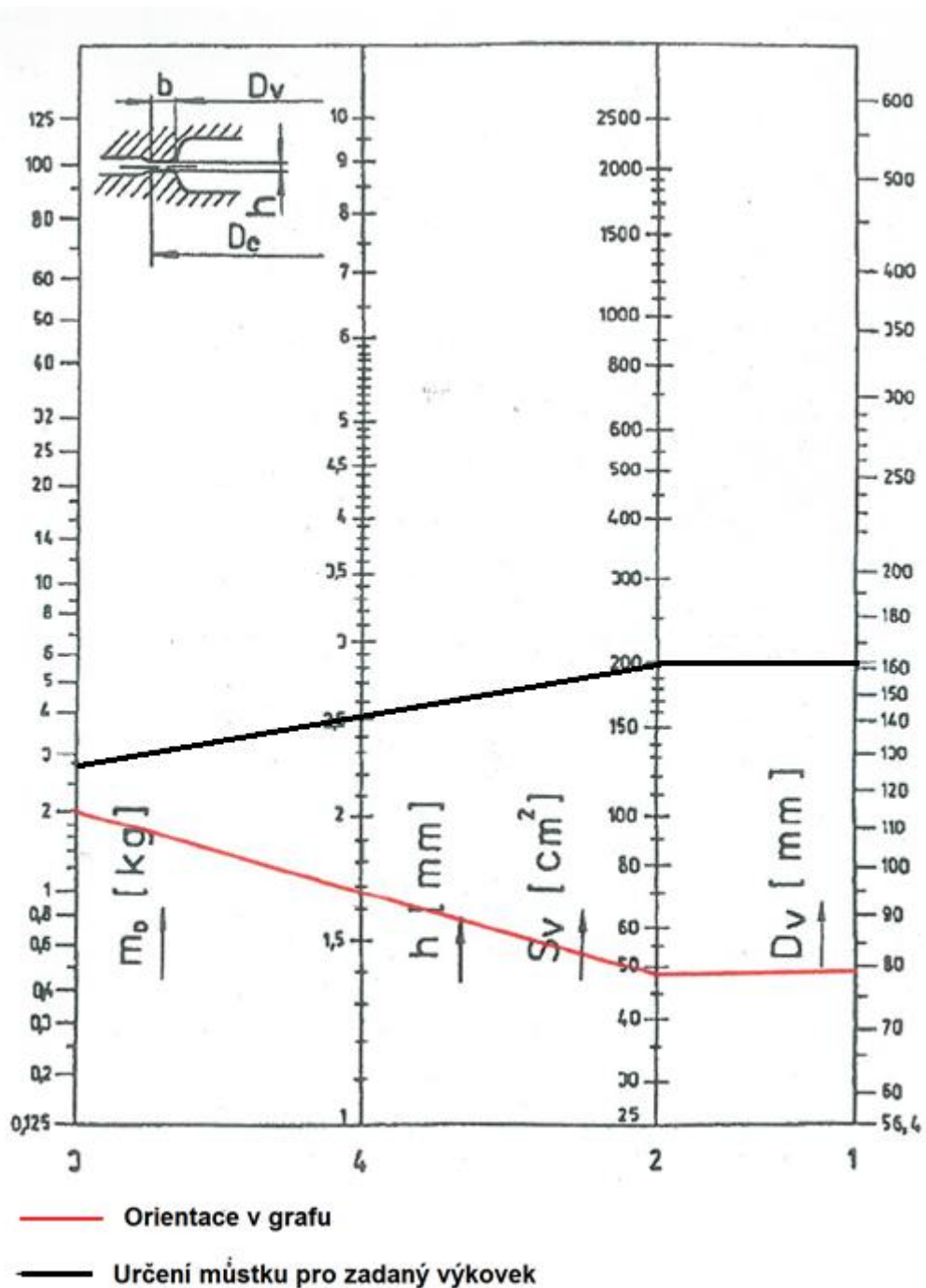
C	Si	Mn	P	S	Cr
0,14–0,19	max 0,40	1,00–1,30	max 0,035	max 0,035	0,80–1,10

Tab. 10 Mechanické vlastnosti [11]

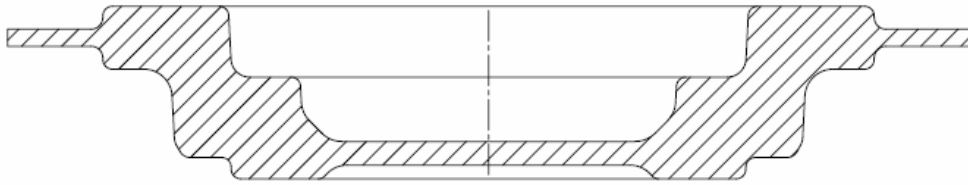
Rozměr t, d [mm]	–	–	–	11	30	63
Stav	G ¹⁾	BF ²⁾	BG ³⁾	po cementaci (jádro)		
Mez kluzu R _s [MPa] min	–	–	–	635	590	440
Mez pevnosti R _m [MPa]	–	–	–	880–1 180	780–1 080	640–930
Tažnost A ₅ [%] min	–	–	–	9	10	11
Kontrakce Z [%] min	–	–	–	35	40	40
Nárazová práce KV [J] min	–	–	–	34	34	–
Tvrдость HB	max 207	156–207	140–187	–	–	–

Při návrhu polotovaru se vychází z vsázkové hmotnosti, to je z hmotnosti, výkovku, včetně blány a výronku (Obr. 52). Podle grafu vychází můstek 2,5mm (Obr. 51). Vzhledem k tomu, že tato hodnota je pouze informativní, tak je zvoleno navýšení můstku o 1.1mm tedy na hodnotu 3,6mm.

Tato hodnota zajistí snížení tlaku v dutinách zápustek, což sníží riziko prasknutí zápustek. Také byly zvoleny vtokové rádiusy R2,5.



Obr. 51 Graf na určení můstku [11]



Obr. 52 Výkovek s blánou a výronkem.

Vsázkovou hmotnost lze také přibližně určit vztahem:

$$m_{\text{polotovaru}} = m_{\text{vykovku}} \cdot 1,25 \quad (4)$$

$$m_{\text{polotovaru}} = 2,7811 \cdot 1,25$$

$$m_{\text{polotovaru}} = 3,48 \text{ kg}$$

V programu Nx.9 je vsázková hmotnost 3,25 kg. Což je způsobeno malou tloušťkou blány a malou délkou výronku a nízkou hodnotou můstku. Pro simulace volím hmotnost 3,25 kg $\Rightarrow V = 415444 \text{ mm}^3$, protože výronek i blána jsou podle zkušenosti dostatečné a případně to lze pozměnit, podle výsledků simulací.

Průměr polotovaru volím podle induktoru, a dle zásob ve skladu, z čehož mi vyplývá, že použiji materiál o průměru 70mm.

Délka polotovaru se získá ze vzorce:

$$l = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 415444}{\pi \cdot 70^2} = 107,95 \Rightarrow \text{volím } 108 \text{ mm} \quad (5)$$

4.8 Návrh kovacího stroje

Při návrhu stroje se v hlavním případě vychází z možností kovárny. V kovárně Viva a.s. je na výběr z mnoha typů kovacích lisů, od LZK 1000 až po nově vybudovanou, plně automatickou linku LVH 4000. Dále je důležitým faktorem velikost výkovku a také velikost tvářecí síly, která se určí za pomoci nomogramu z přetvárného odporu výkovku.

4.8.1 Výpočet přetvárného odporu

Dle materiálu je zvolena kovací teplota 1215°C

Výpočet přetvárného odporu je dán vztahem:

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

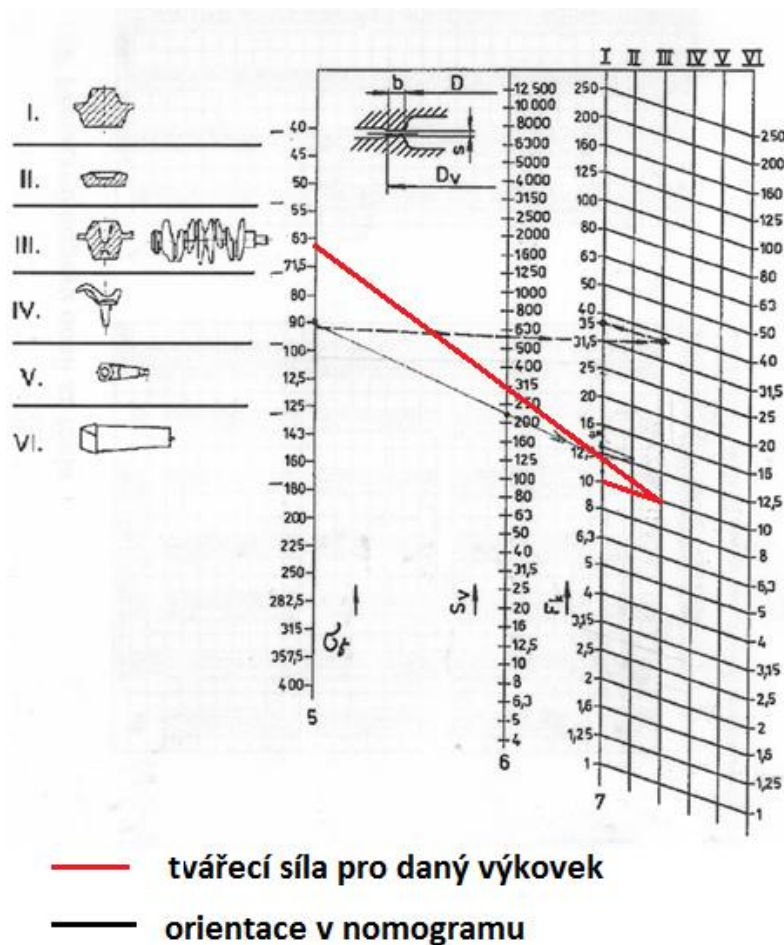
$$Re = 9,81 \cdot (14 - 0,01 \cdot 1215) \cdot (1,4 + 0,19 + 1,3 + 0,3 \cdot 1,1) \quad (6)$$

$$Re = 58,4 \text{ MPa}$$

4.8.2 Určení tvářecí síly

Jak už bylo zmíněno v kapitole 4.8, tvářecí síla se určí z nomogramu (Obr. 53), pro určení tvářecí síly je ještě zapotřebí spočítat průmět plochy výkovku včetně výronku s výronkovým můstkem.

$$\text{Ø}D_v = 204\text{mm} \quad S_v = 326,85 \text{ cm}^2$$



Obr. 53 Nomogram pro určení tvářecí síly [11]

Z nomogramu vyplývá $F_k = 10 \text{ MN} = 1\,000 \text{ tun}$

Z tvářecí síly vyplývá, že je nutno použít lis LMZ 1600A s kovací silou 16MN od firmy Šmeral Brno a.s. (Obr. 54)



Pracovní rozsah

Jmenovitá tvářecí síla	MN	16
Sevření	mm	800
Průchod	mm	1 290
Stůl		
Upínací plocha	mm	1 240 x 1 150
Zdvih spodního vyhazovače	mm	60
Vyhazovací síla	kN	50
Beran		
Přestavitelnost	mm	10
Zdvih	mm	280
Počet zdvihů	min ⁻¹	95
Zdvih horního vyhazovače	mm	40
Vyhazovací síla	kN	50
Výkon hlavního motoru	kW	75
Stroj		
<i>Rozměry</i>		
délka	mm	3 700
šířka	mm	2 700
výška	mm	5 700
Hmotnost	kg	93 000

Obr. 54 Klikový kovací lis LMZ 1600A [11]

5 NÁVRH KOVACÍHO NÁŘADÍ

Při návrhu zápustek se vychází z modelů výkovku a předkovku, které jsou zvětšeny o hodnotu smrštění oceli, což je v tomto případě 1,2% a také je nutno navrhnout můstek a vtokové rádiusy. Dále se musí navrhnout vyhazovače, a zásobníky na blánu a na výronek, aby se snížila tvářecí síla.

Kromě návrhu zápustek je nutno navrhnout také ostříhovací nářadí, pro ostříhnutí výronku a proděrování blány.

5.1 Návrh zápustek

Zápustky jsou vyráběny z oceli dle standardu firmy, což je nástrojová legovaná ocel pro práci za tepla.

Číslo materiálu WNr. 1.2343.

Dle normy ČSN 41 9552.

Tab. 11 Chemické složení oceli [11]

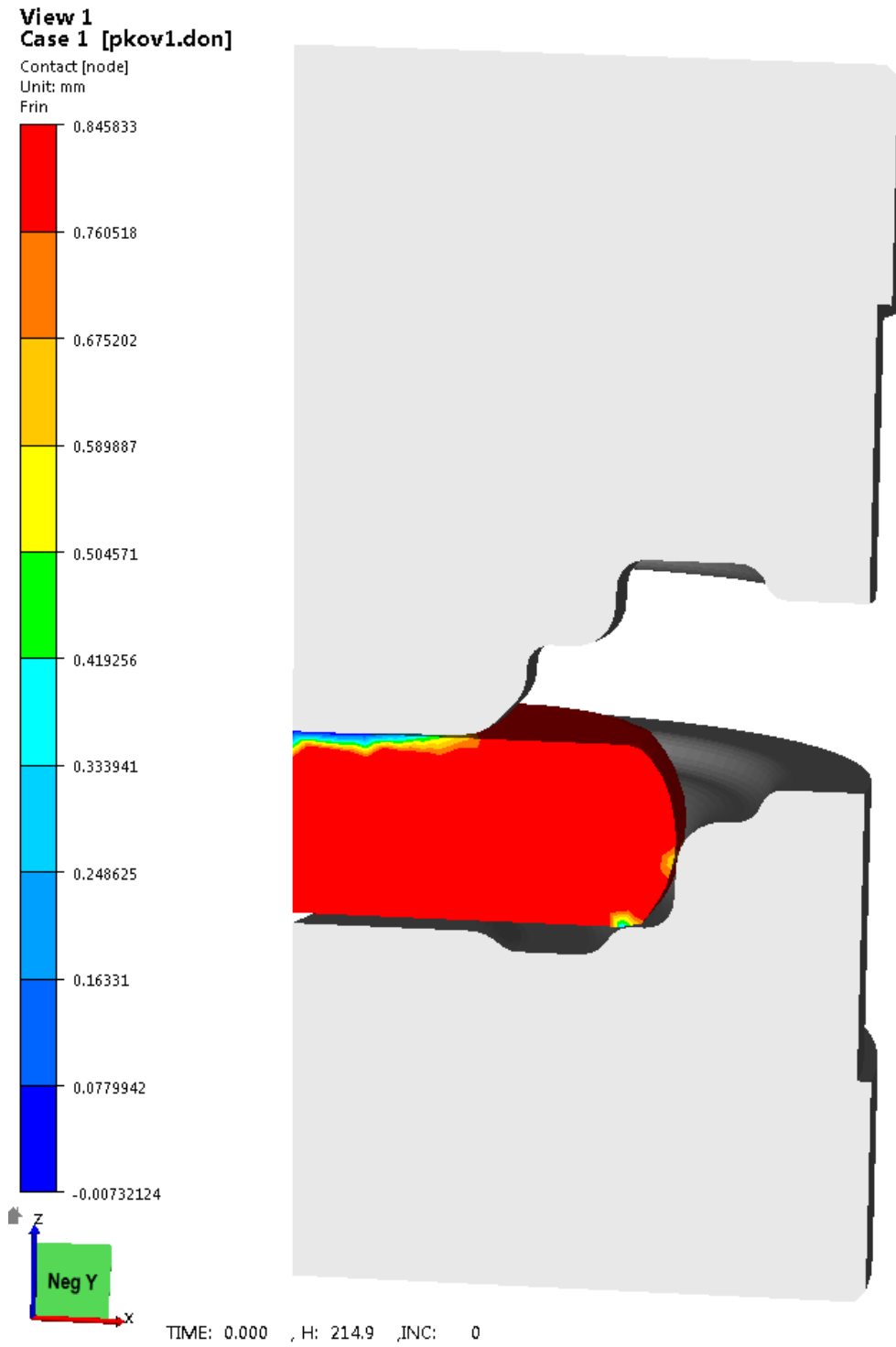
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
0,36–0,42	0,90–1,20	0,30–0,50	max 0,030	max 0,030	4,80–5,50	1,10–1,40	0,25–0,50

Mechanické vlastnosti oceli: (pro vzorek Ø25, kalený a popouštěný)

- Mez pevnosti v tahu: $R_m = 1180 - 1770$ MPa
- Tvrdost HRC = 37,3 - 51,7

5.1.1 Pěchování

Při návrhu pěchování se vychází z tvaru předkovacích zápustek, tak, aby se do nich napěchovaný polotovar lépe ustavil, vystředil a aby lépe zatekl do všech míst v předkovací dutině (Obr. 57). Ze simulací v programu Forge vyplývá, že je nutno materiál napěchovat z výšky 109,397mm ($108 \cdot 1,012$) na výšku 32mm. Tedy o 77,397 mm.

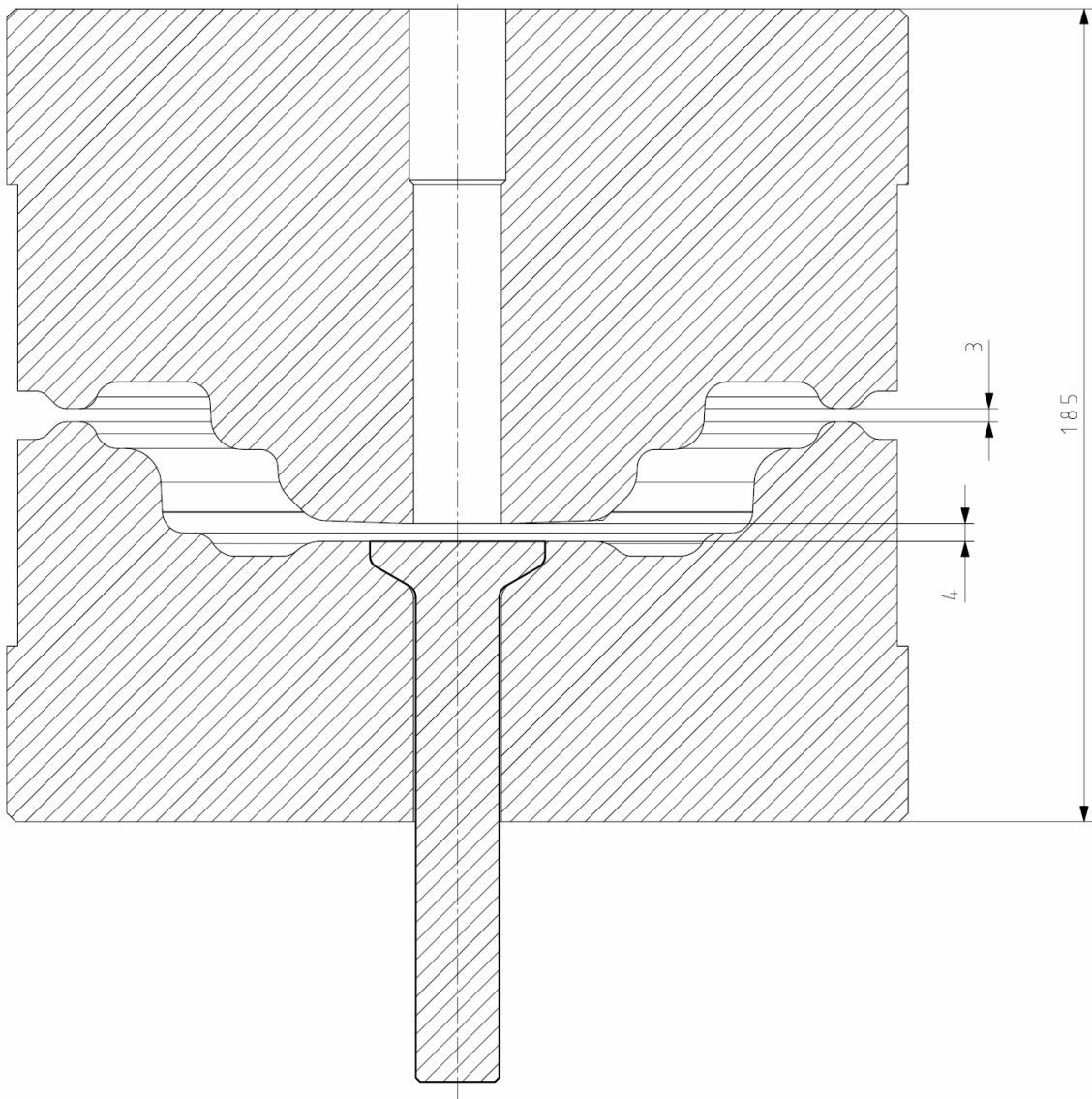


Obr. 55 Ustavení pēchu

5.1.2 Návrh předkovacích zápustek

U předkovacích zápustek se volí můstek menší než u dokovacích zápustek, z důvodu lepšího vyplnění dutiny, avšak vtokový rádius se volí zase o něco větší, aby se vykompenzovalo navýšení tvářecího tlaku. Z toho důvodu byl zvolen můstek 3mm a vtokové rádiusy R4.

Vzhledem k možnému riziku proděrování blány vyhazovačem, během vyhazování výkovku z dutiny zápustky, je nutno vytvořit tvarový vyhazovač, který bude tlačit na blánu výkovku větší plochou. U dokovacích zápustek není nutno provádět tvarový vyhazovač, protože tam vyhazovač působí na blánu v zásobníku, tudíž blána bude mít větší tloušťku (Obr. 56).



Obr. 56 Předkovací zápustky

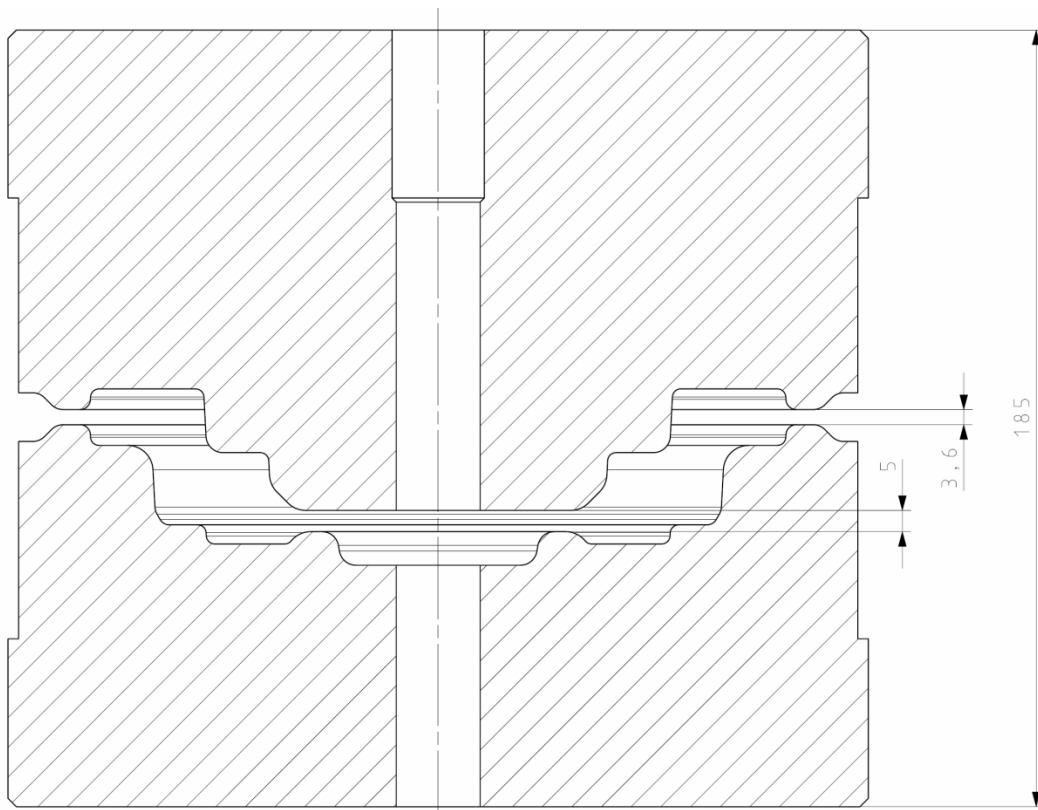
5.1.3 Návrh dokovacích zápustek

Dokovací zápustky se navrhují podle tvaru výkovku, opatřeného blánou, ale bez výronku.

Dutiny zápustek jsou vyrobeny jako negativ požadovaného tvaru, avšak jsou vysunuty o hodnotu můstku.

Hodnota můstku může být změněna vzhledem k výsledkům analýz.

Výšky zápustek se volí podle sevření držáku, do kterého jsou zápustky namontovány. Z toho důvodu bylo zvoleno sevření zápustek 185mm (Obr. 55).



Obr. 57 Dokovací zápustky

5.1.4 Návrh ostříhovacího nářadí.

Po vykování je nutné výkovek zbravit výronku a blány ostřížením a děrováním. Tento proces se provádí hned vedle kovacího lisu na ostříhovacím lisu LDO 350A od firmy Šmeral Brno a.s. (Obr. 58)

**Pracovní rozsah**

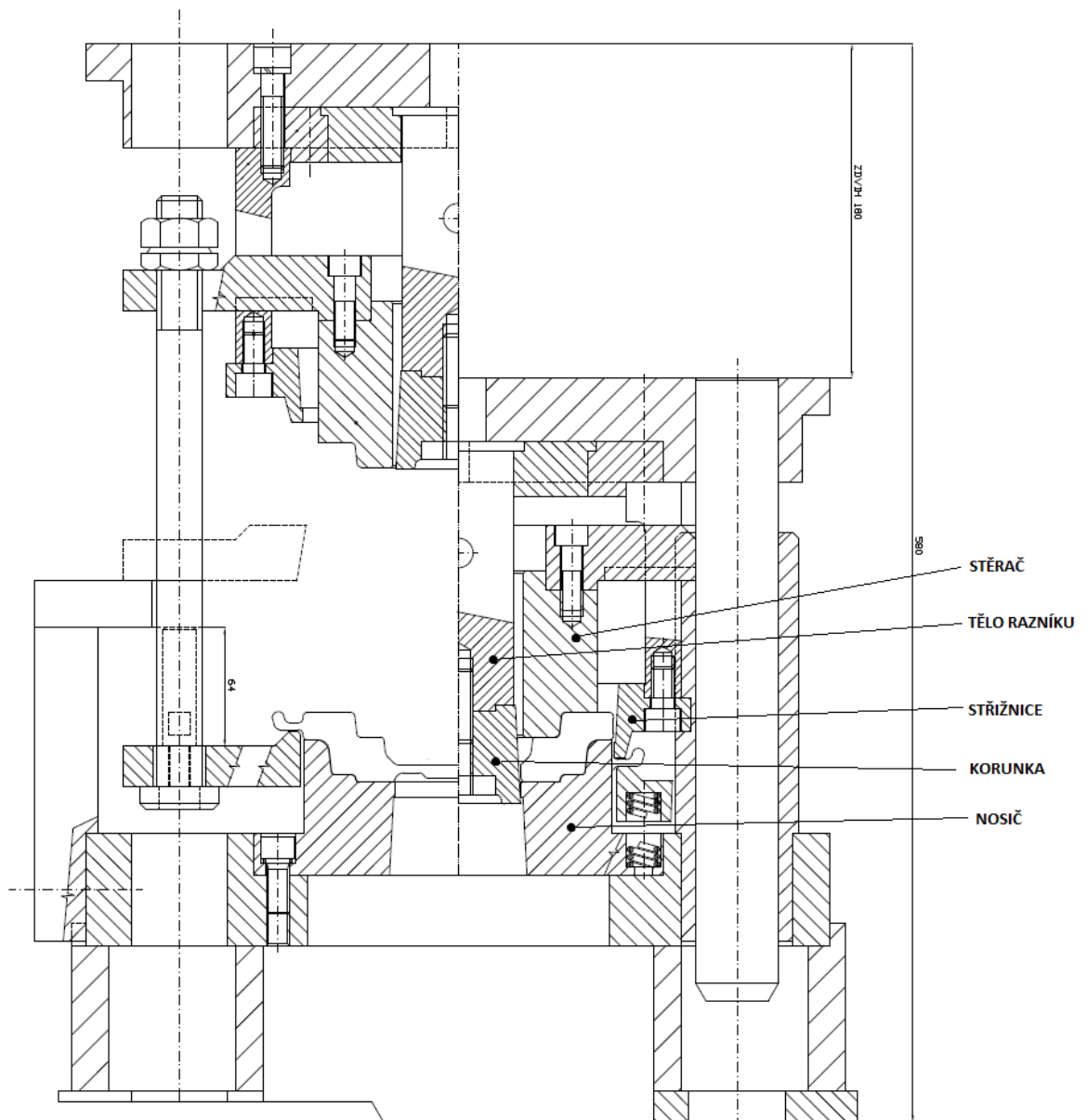
Jmenovitá tvářecí síla	kN	3 150
Sevření	mm	600
Průchod	mm	1 400
Stůl		
Upínací plocha	mm	1 380 x 950
Beran		
Přestavitelnost	mm	140
Zdvih	mm	200
Počet zdvihů	min ⁻¹	40

Obr. 58 Ostříhovací lis LDO 350A [11]

Pro tento výkovek bylo zvoleno sdužené ostříhavadlo, které ostříhne a vyděruje výkovek na jeden zdvih. Při této technologii je nutné, aby byl výkovek na nosiči dokonale vystředěn, aby se tak zamezilo riziku špatného ostřížení, což by mohlo vézt nejen k výrobě zmetku, ale i k poškození ostříhovacího nářadí, popřípadě celého stroje (Obr. 59).

Po ostřížení a vyděrování vzniká již finální výrobek (výkovek), který je dále odhazován na dopravník, po kterém je dopravován do bedny.

Dále také vzniká odpad, a to brok a ostřížek, který je vkládán do bedny s odpadem, který je vrácen do hutních pecí na opětovné zpracování.



Obr. 59 Sdružené ostříhavadlo

6 ANALÝZA PROCESU TVÁŘENÍ MATERIÁLU A OPTIMALIZACE KOVACÍHO NÁŘADÍ

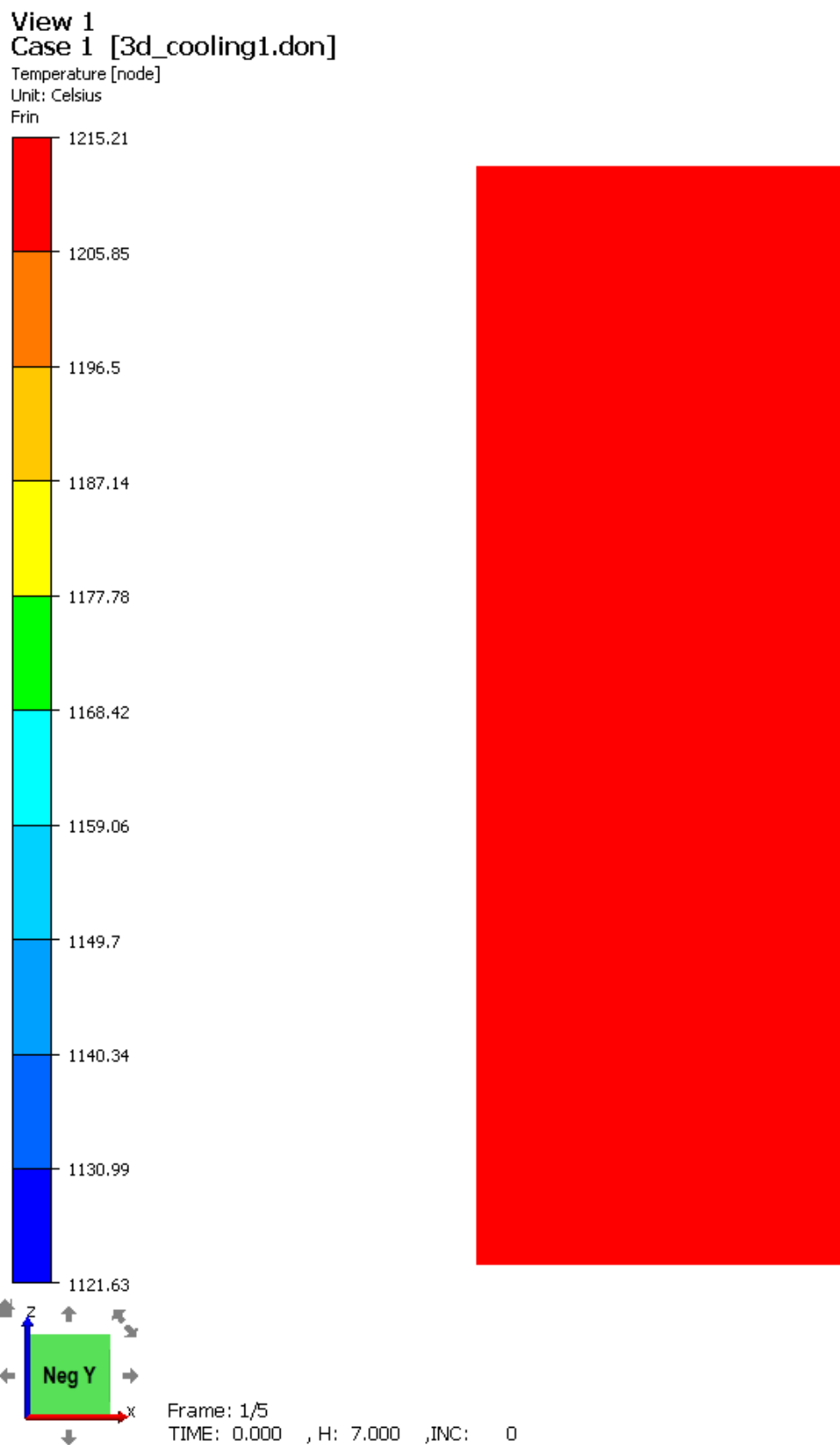
V následující kapitole budou popsány FEM analýzy procesu kování, které budou zahrnovat chladnutí materiálu, než se dopraví z induktoru ke kovacímu lisu, kde bude napěchován, poté se napěchovaný materiál vloží do předkovacích zápustek, kde se vytvoří předkovek a poté do dokovacích zápustek, kde se vytvoří výkovek. Na základě těchto analýz bude provedena úprava kovacího nářadí, popřípadě úprava vsázky.

Jelikož je součást rotačně symetrická, bude pro analýzy použita pouze jeho čtvrtina, což pro naše účely bude plně dostačující a prudce se s tím zrychlí výpočet analýz. Následně nesmíme zapomenout zvětšit polotovar o hodnotu smrštění materiálu.

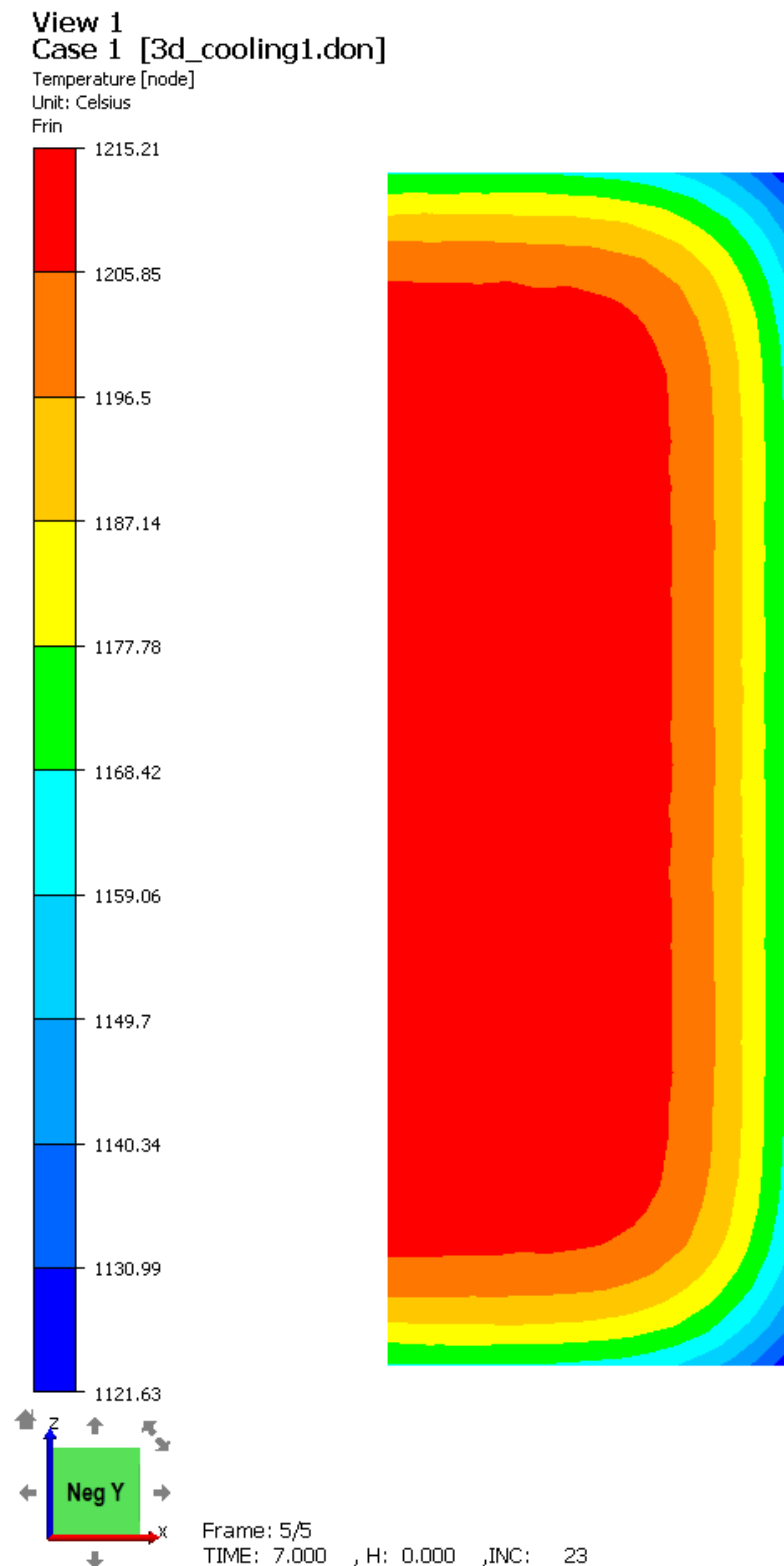
Během analýz pēchování, předkování a dokování se již také započítán vliv maziva.

6.1 Analýza chladnutí materiálu

Jak již bylo napsáno v kapitole 6, tak analýza chladnutí ukazuje, jak a v jakých místech a jakou rychlostí bude polotovar nejvíce chladnout. Pomocí induktoru se materiál ohřeje na kovací teplotu materiálu, která je 1215°C (Obr. 60). Celková doba chladnutí bude podle zkušeností z výroby stanovena na 7 sekund, což je doba, než se ohřátý polotovar dopraví z induktoru ke kovacímu lisu a bude napěchován.



Obr. 60 Ohřátý polotovar z induktoru



Obr. 61 Teplota polotovaru po 7 sec.

Z analýzy je patrné, že polotovaru se nejvíce ochlazuje na okrajích a nejnižší teplotu má v rozích a to teplotu okolo 1121°C (Obr. 61), což je způsobeno přestupem tepla sáláním z povrchu polotovaru do okolí.

6.2 Analýza pēchování

Po ochladnutí materiálu následuje operace pēchování. Pro tento výkovek je zvoleno svislé pēchování na hodnotu 32mm. Pēchován se provádí mezi dvěma rovnými deskami, aby bylo zaručené středění. Tato technologie je pro nás nejvíce zásadní pro odstranění okují, a aby se napēchovaný polotovár dobře ustředil do předkovacích zápustek. (Obr. 57)

Někaké podrobnější analýzy pēchování nejsou potřeba, protože zde nevznikají žádné kritické místa, kde by vznikaly různé vady.

Teplota pēchovacích zápustek je stanovena na 100°C, což je hodnota, která odpovídá teplotě zápustek v reálném provozu.

6.3 Analýza předkování

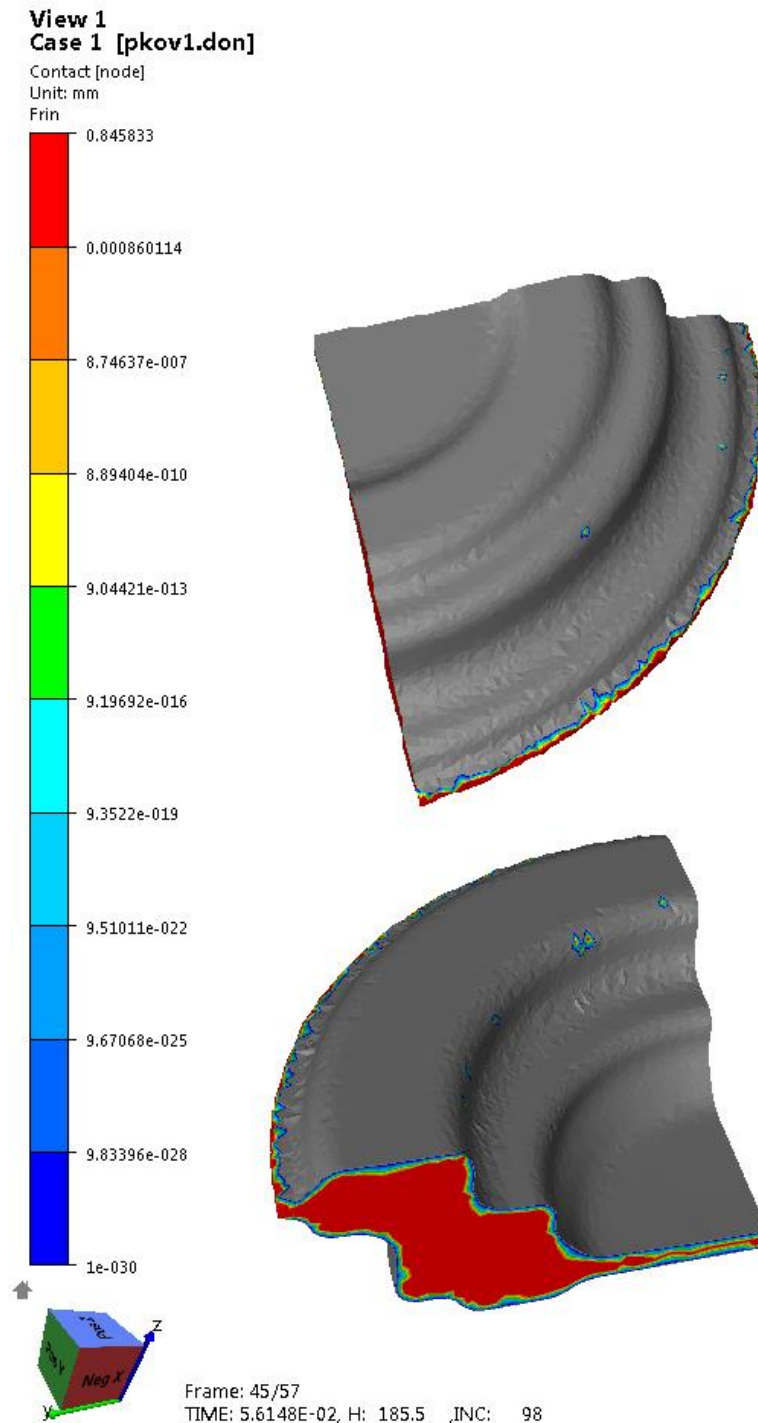
Při analýzách předkování si musíme dávat nejvyšší pozor na tok materiálu v dutinách zápustky a to především v okolí rádiusů a vystouplého středu vrchní zápustky. Při předkování bychom ani nemuseli věnovat plnou pozornost, jestli materiál plně doteče, protože plné vyplnění dutiny zápustek pro nás hraje klíčovou roli až při dokování.

Důležité je také ustředění polotovaru ve spodní zápustce, kdy při velkém, nebo naopak při malém napēchování by byl problém s tím, že by se kování stalo rotačně nesymetrické, kdy na jedné straně by materiál nemusel vůbec dotéct a na druhé straně by byl příliš velký výronek.

Analýza předkování začíná ve výšce 214,9mm, což je výška prvního kontaktu horní zápustky s polotovarem a končí na hodnotě 185mm, což je sevření zápustek ve spodní úvrati.

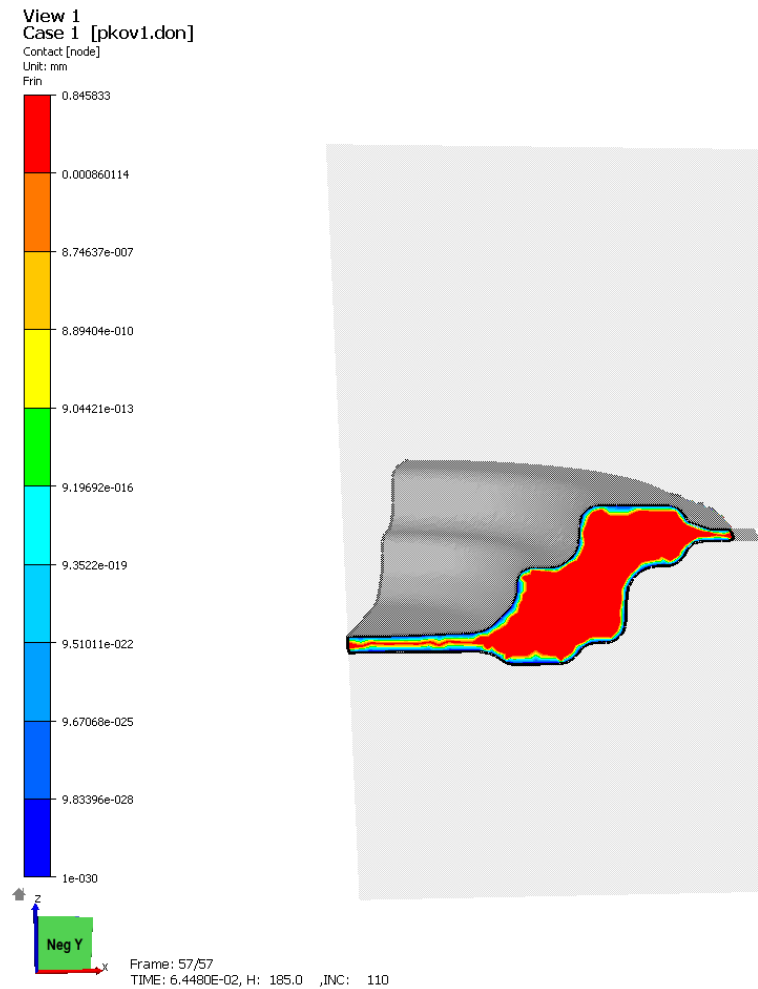
Materiál se bude tedy tvářen o 29,9mm.

Během analýzy je možno vidět, že materiál pěkně teče zápustkou a během předkování nevznikají žádné viditelné přeložky, nebo jiné vady.

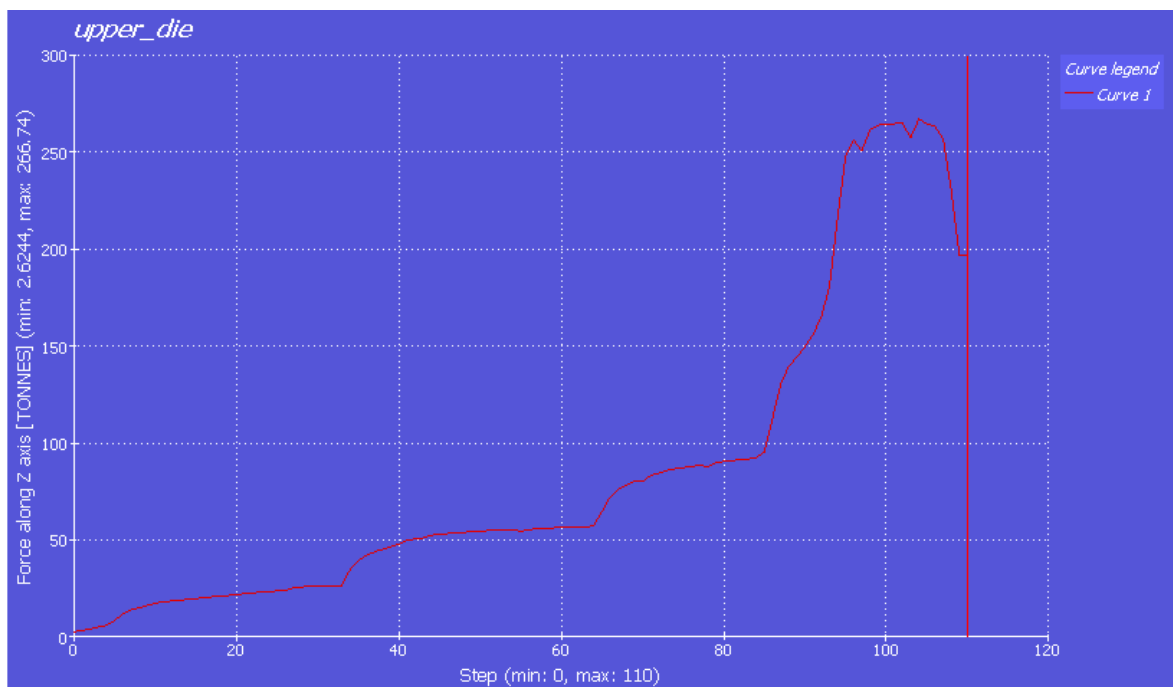


Obr. 62 Dotečení předkovku

Jak je již z obrázku 62 patrné, tak plné dotečení materiálu nastává již 0,5mm před spodní úvratí, což je optimální hodnota dotečení. Při dojetí na spodní hodnotu sevření 185mm je vidět, že délka výronku je dostatečná, aby mohla obsluha linky jednoduše předělat předkovku do dokovací dutiny (obr. 63). Zatížení stoje je zde okolo 267 tun na $\frac{1}{4}$ zápusťky, což ve výsledku je 1068 tun (obr. 64). Stroj tak má ještě 532 tun rezervu. Tuny lze však ještě snížit použitím výronkového zásobníku.



Obr. 63 Analýza ve spodní úvrati při předkování

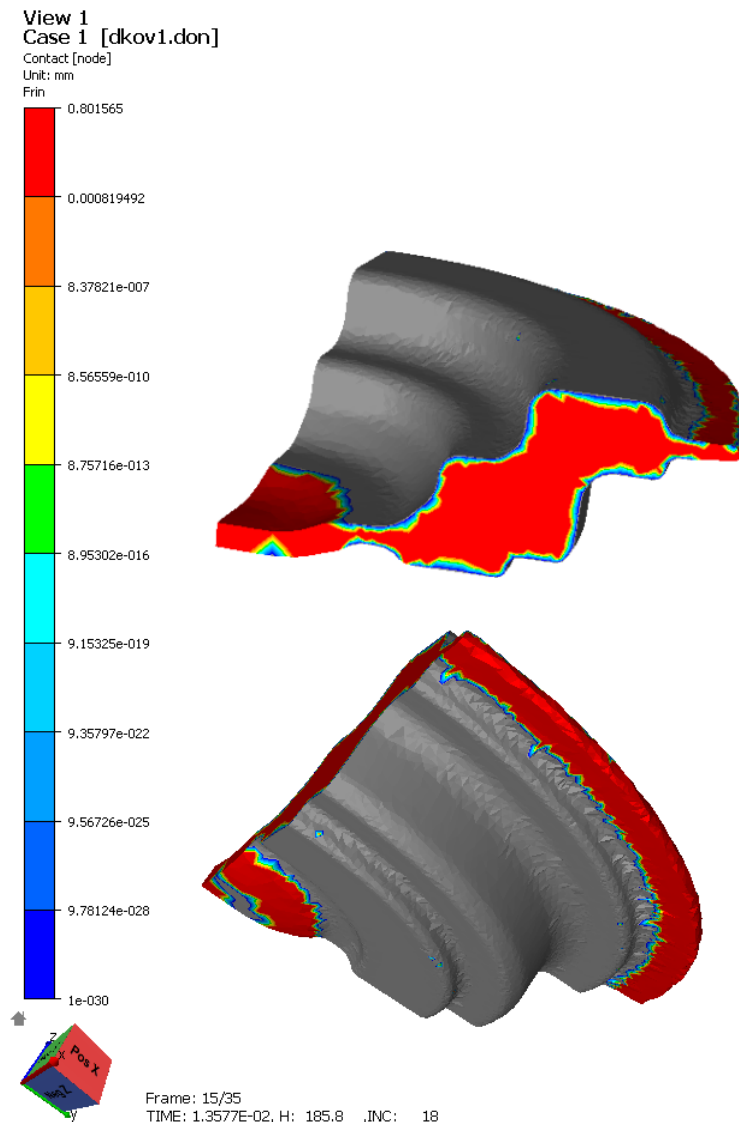


Obr. 64 Zatížení stroje během předkování

6.4 Analýza dokování

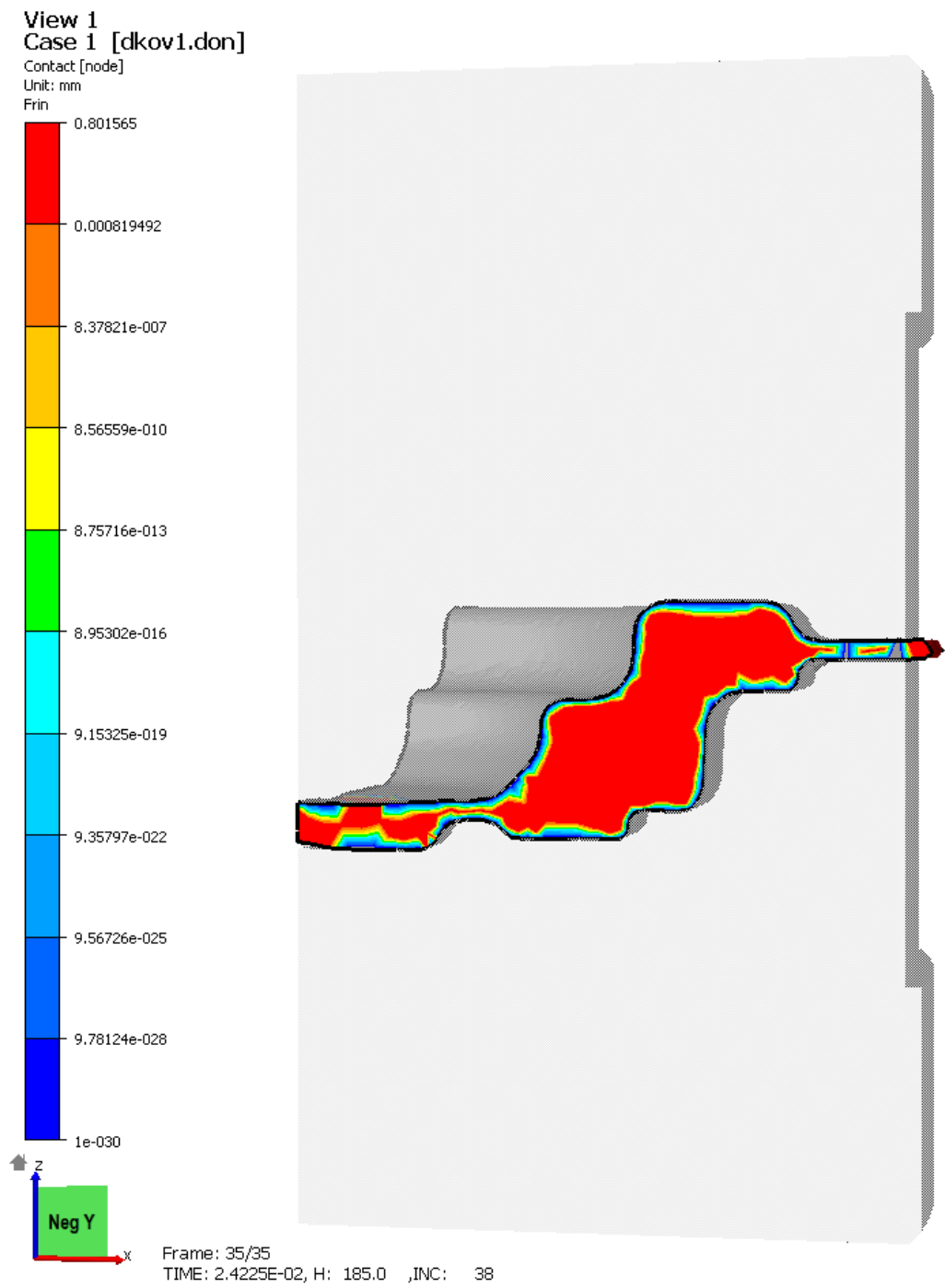
U dokování je potřebné dávat pozor na tok materiálu ze středu výkovku k výronku a vzniku přeložek. Hlavní pozornost bychom zde však měli věnovat plnému dotečení dutiny a zatížení stroje, které s tvářením plně dotečené dutiny, a zaplňováním zásobníku na blánu a zvětšováním výronku může razantně narůst. Proto je tedy potřeba dobře nakonstruovat zásobníky na blánu a výronek. Vhodné plné vyplnění dutiny materiálem u daného stroje by mělo být kolem 0,4 - 0,8mm před spodní úvratí. Tato hodnota také závisí na velikosti a složitosti dílce.

Předkovek se ustaví do spodní dokovací zápustky a analýza se začne počítat od prvního kontaktu horní zápustky s tvarem předkovku. Výchozí poloha je tedy 189,3mm což je 4,3mm nad spodní úvratí.

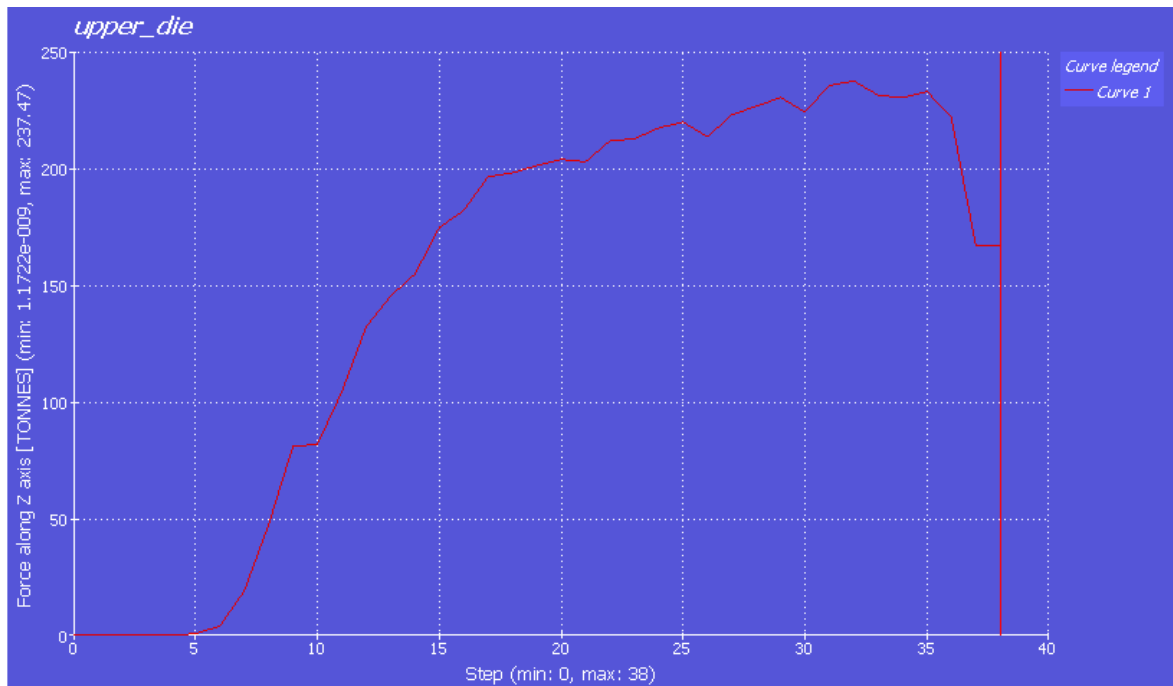


Obr. 65 Dotečení výkovku

Během analýzy bylo zjištěno, že materiál dotéká 0,8 mm před spodní úvratí, což je horní tolerance (Obr. 65). Ve spodní úvratí je také vidět přílišné vyplnění zásobníku na blánu, a příliš veliký výronek (Obr. 66). Zatížení stroje zde je kolem 238 tun na $\frac{1}{4}$ zápustky, což je 952 tun (Obr. 67). Toto zatížení je ještě možné snížit zvětšením zásobníku na blánu a použitím výronkového zásobníku. Dále je také zapotřebí ubrat vsázku, což zpozdí dotečení a zároveň sníží tlak v zápustkách.



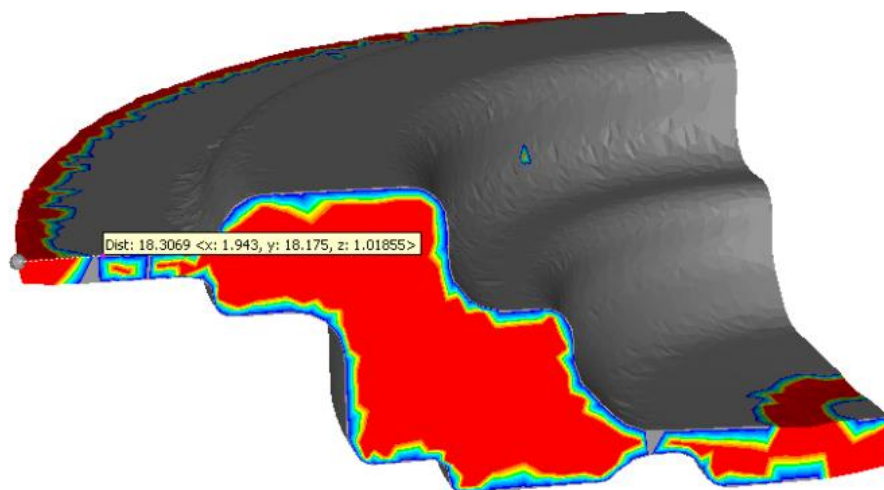
Obr. 66 Analýza ve spodní úvrati při dokování



Obr. 67 Zatížení stroje během dokování

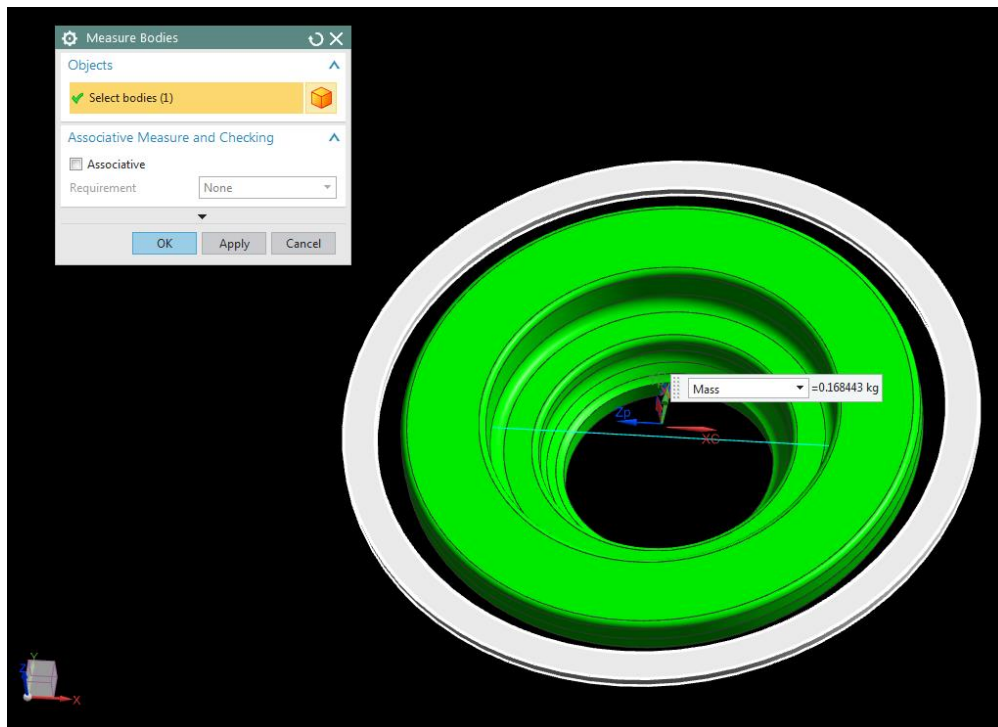
6.5 Snížení vsázky

Při snížení vsázky se nejprve vychází z výronku v simulaci, kde se změří jeho délka (Obr. 68)



Obr. 68 Délka výronku

Délka výronku je 18,175mm. V programu NX9 se výronek namodeluje, (ponechaný výronek bude 8mm, odebraný výronek tedy bude 10mm). (Obr. 69)



Obr. 69 Hmotnost odebraného výrobku

Hmotnost odebraného výrobku je 0,168 kg, vzhledem i k příliš zaplněnému zásobníku na bláně, jsem zvolil odebrání vsázky o 0,17 kg.

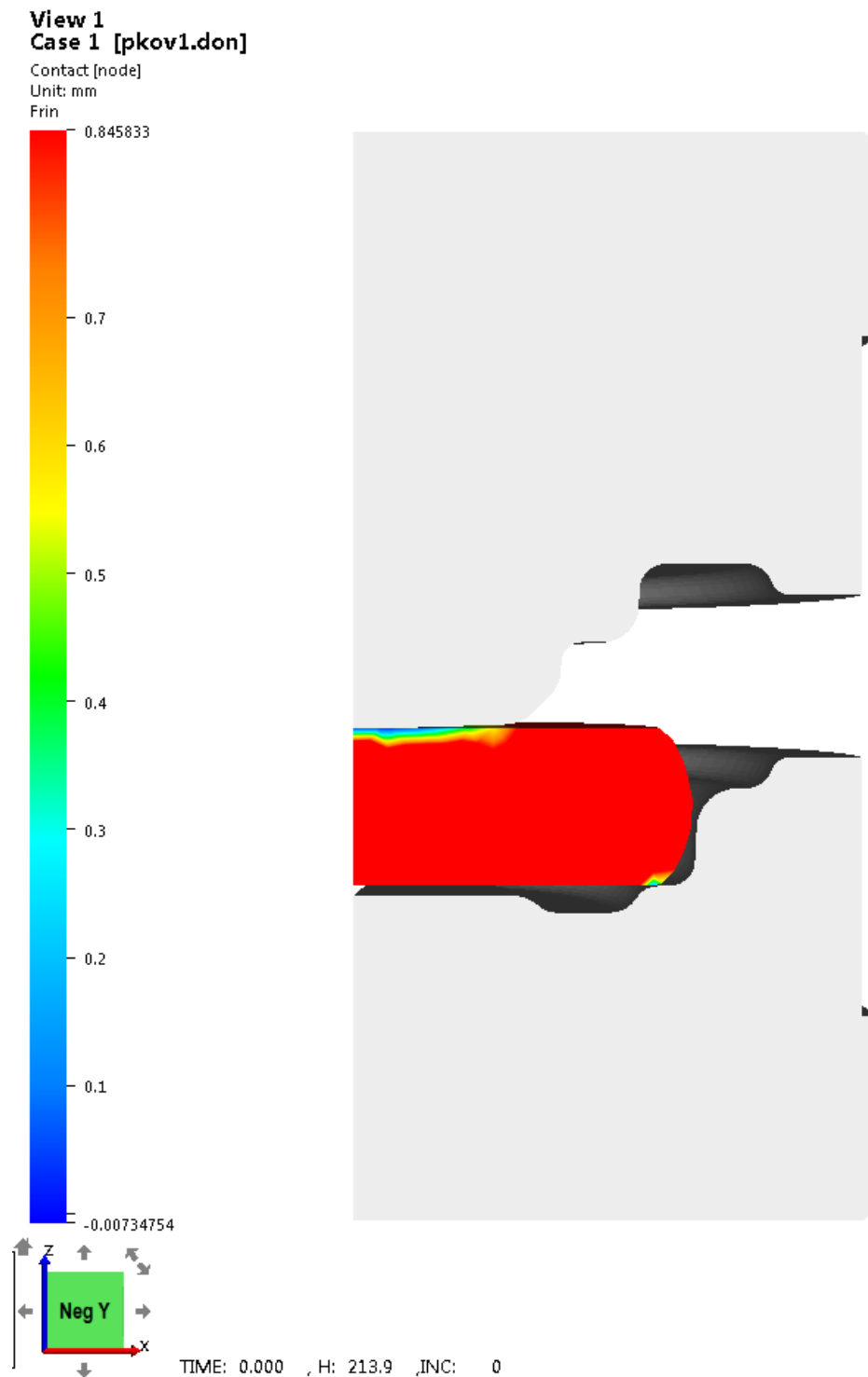
Podle vzorce 5 vyšlo, že nový polotovár bude $\text{Ø}70 \times 103,1 \text{ mm}$

6.6 Analýzy po úpravách

Po úpravách se provádí analýzy opět od znova ve stejném pořadí, tedy chladnutí, pěstování, předkování a dokování. Opět je nutno si dávat pozor na stejné věci jako při první verzi analýz. I když v tomto případě se snižovala pouze vsázka a zvětšovaly se zásobníky na přebytečný materiál, takže by se chování materiálu při tváření neměl výrazně změnit. Při analýze chladnutí jsou vždy výsledky totožné, pokud se nejedná o změnu tvaru popřípadě materiálu, protože v tom případě by se měnila i kovací teplota.

6.6.1 Pěstování

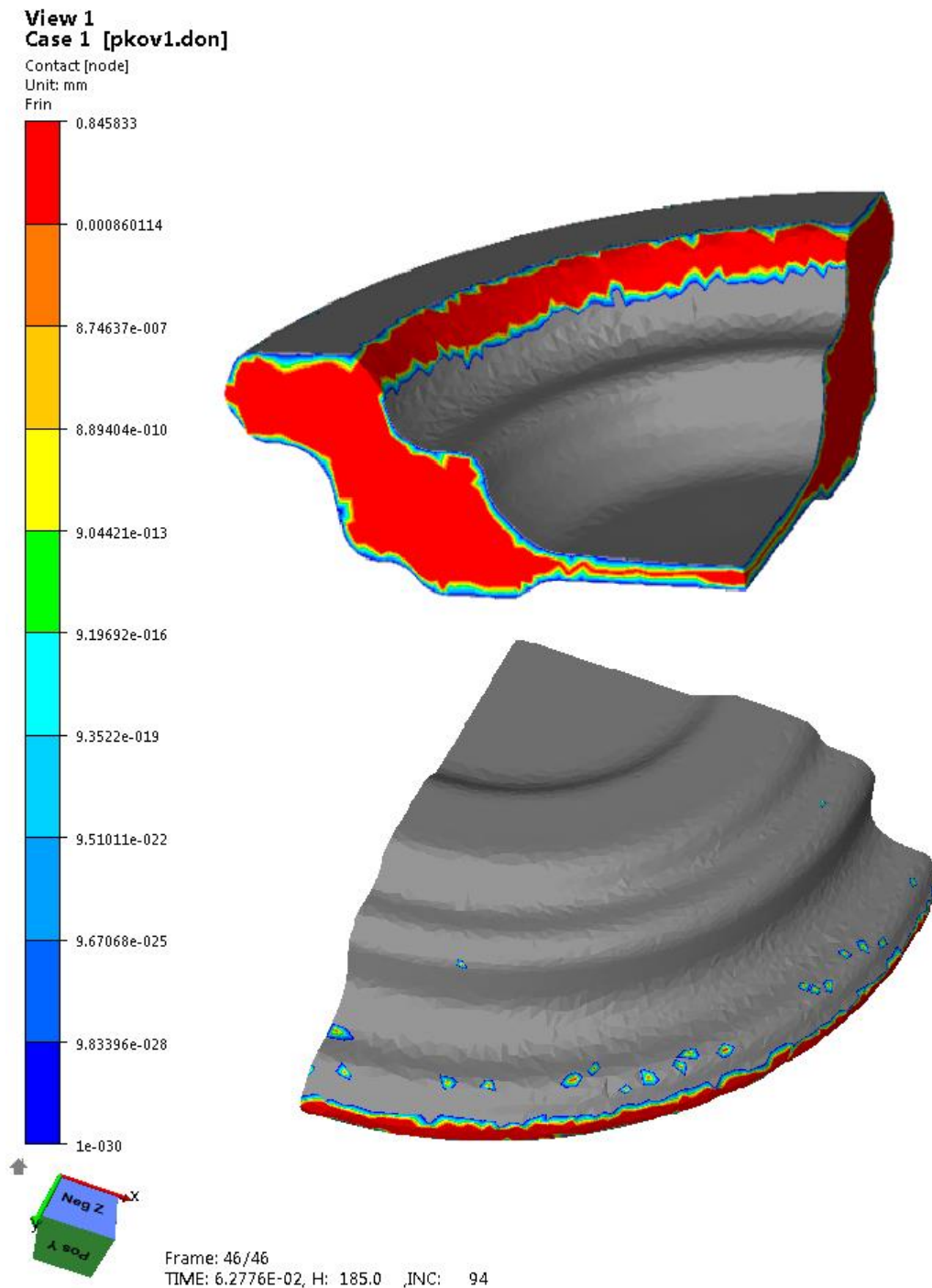
U analýzy pěstování je nutno počítat s tím, že menší délka polotovaru bude mít po napěstování menší průměr, proto je nutno znova navrhnout pěst tak, aby byl možný dobře vystředít. V tomto případě se materiál bude pěstovat na tloušťku 31 mm tedy o 1 mm níže než v první verzi, celkově se polotovár pěstuje o 73,3372 mm $((103,1 \cdot 1,012) - 31)$. (Obr. 70)



Obr. 70 Analýza přechování verze 2

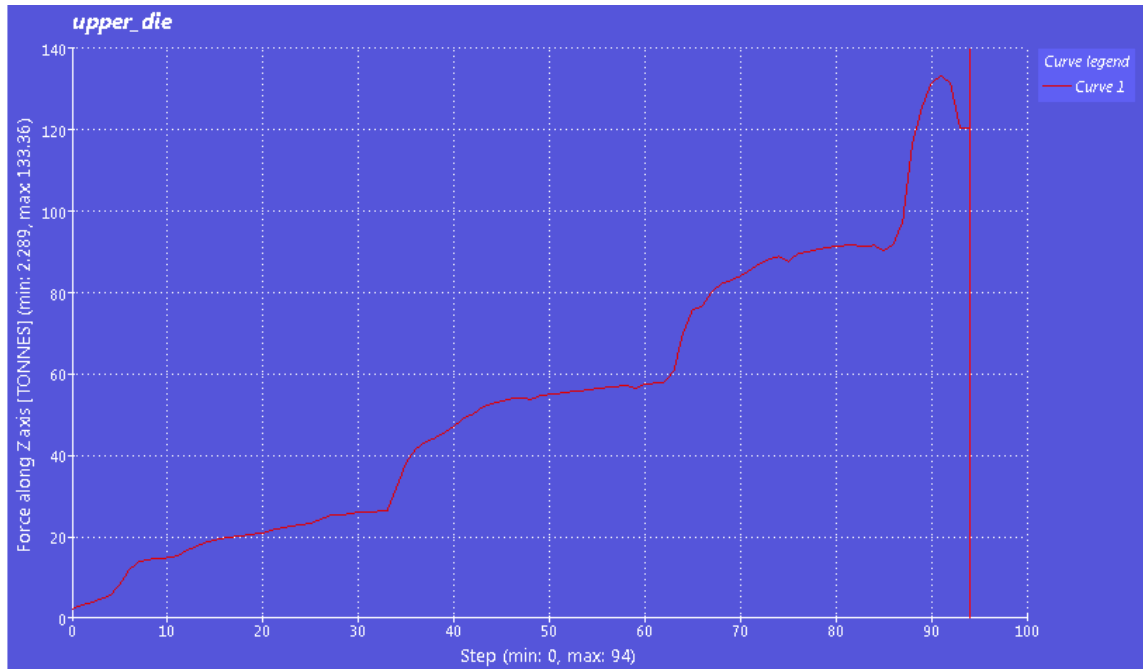
6.6.2 Analýza předkování

Analýza předkování má nyní ve výchozí poloze sevření 213,9 materiál se tedy bude tvářet o 1mm méně než v první verzi. Opět je nutné věnovat zvýšenou pozornost toku materiálu jako při první verzi.



Obr. 71 Nedotečení výkovku druhé analýze pěchování

Jak již jde vidět na obrázku 71, tak materiál při předkování zcela nevyplnil předkovací dutinu, tudíž je předkovek nedotečený. Z průběhu toku materiálu nebyla vypořádována žádná jiná vada na výkovku, proto nevyplnění dutiny není takový problém, protože je předkovací dutina zvětšena přibližně o 5%. Zatížení stroje během tváření je okolo 134 tun na ¼ zápusťky, což je 536 tun cekem (Obr. 72). Toto malé zatížení je způsobeno především nevyplněním předkovací dutiny.

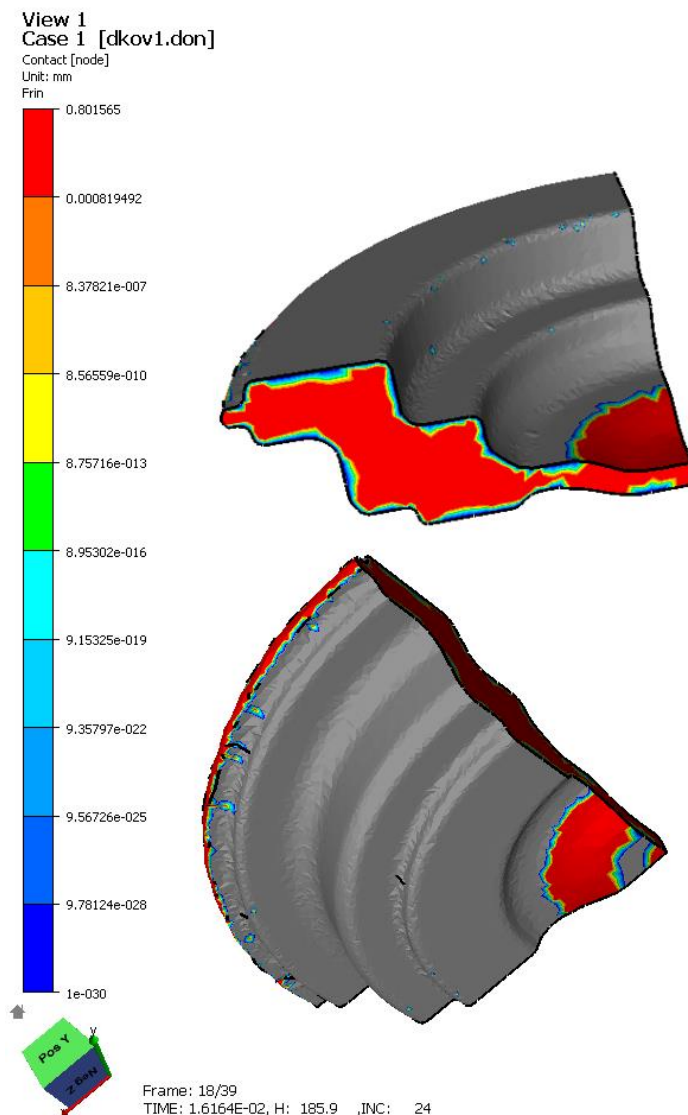


Obr. 72 Zatížení lisu při předkování verze 2.

6.6.3 Analýza dokování

Při analýze dokování musíme brát zřetel na to, že při předkování plně nedotekla předkovací dutina. Tudiž je nutno dávat pozor na chování a tok materiálu kolem vtokových rádiusů. Také oproti předkování si musíme dát pozor na riziko nevyplnění dutiny, což by u dokování znamenalo problém, pokud by nedotečená místa přesahovaly povolenou toleranci výkovku.

Předkovek je opět ustaven ve spodní dokovací zápustce a analýza se spustí v prvním kontaktu horní zápustky s tvarem předkovku. V tomto případě je výchozí poloha 189,9mm což je 4,9mm před spodní úvratí.

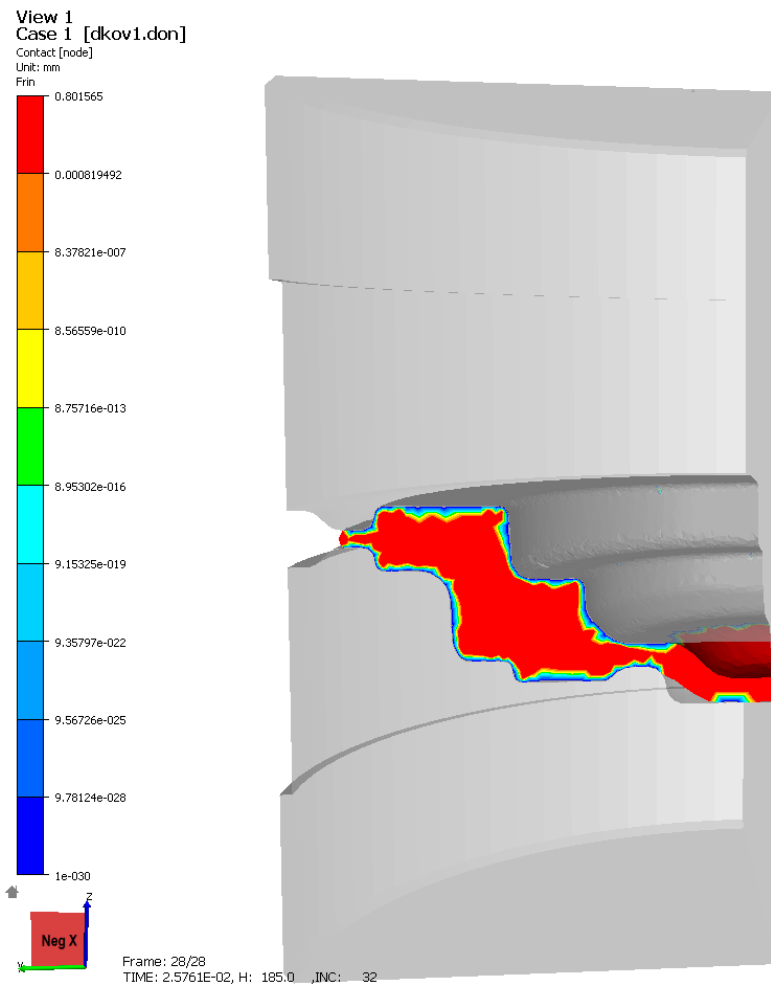


Obr. 73 Analýza dotečení výkovku verze 2

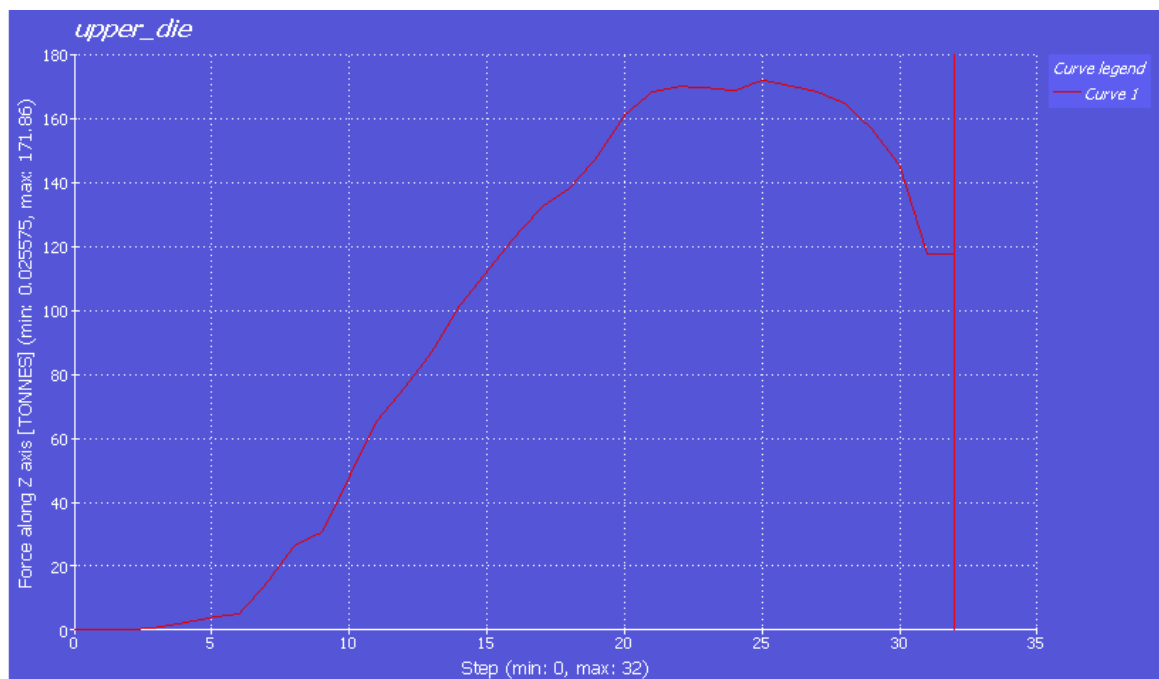
Materiál neměl v průběhu analýzy v daném místě žádný problém, tudíž na výkovku nevzniká žádná vada. Z analýzy lze také vidět, že tvar výkovku je plně dotečený již 0,9mm před spodní úvratí a zbytek materiálu vyplňuje zásobník na bláně a také zvětšuje výronek. (Obr. 73)

Příčina že materiál dotekl již tak brzy je v tom, že materiál byl o 0,6mm dříve ve styku s horní zápustkou než v první verzi, tudíž byl dříve dotečen a poté snížení vsázky hrálo roli ve vytvoření menšího výronku a menším vyplnění zásobníku na bláně.

Na první pohled se může zdát, že je zde opět mnoho materiálu. Ovšem ve spodní úvratí není výronek moc velký a také zásobník na bláně není nijak moc zaplněný (Obr. 74). Z toho vyplývá, že už není potřeba dále snižovat vsázku. Zatížení stroje během tváření je 171,86 tun, což je 687,44 tun celkem. (Obr. 75)



Obr. 74 Analýza dokování verze 2 ve spodní úvrati.



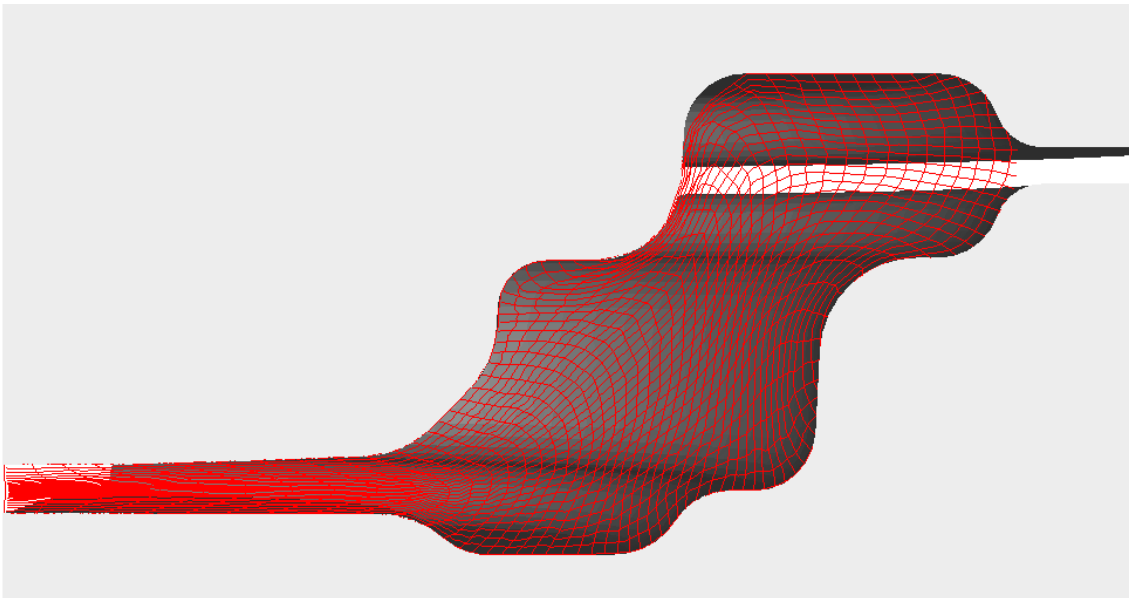
Obr. 75 Zatížení lisu během dokování.

6.7 Marking Grid analýzy

Během analýz toku materiálu a vyplňování dutin zápustek, nebyly zjištěny žádné vady. Není ještě od věci použít analýzy marking grid, které pomáhají konstruktérovi odhalovat skryté vnitřní přeložky vmáčkнутé dovnitř materiálu během tváření. Které během předchozích simulací nemusí být zpozorovány, čímž se konstruktér vyvaruje vzniku vnitřních prasklin a následně celkovému prasknutí výkovku během zatěžování. Během této analýzy lze také vidět, jak materiál teče během tváření.

6.7.1 Marking Grid analýza předkování

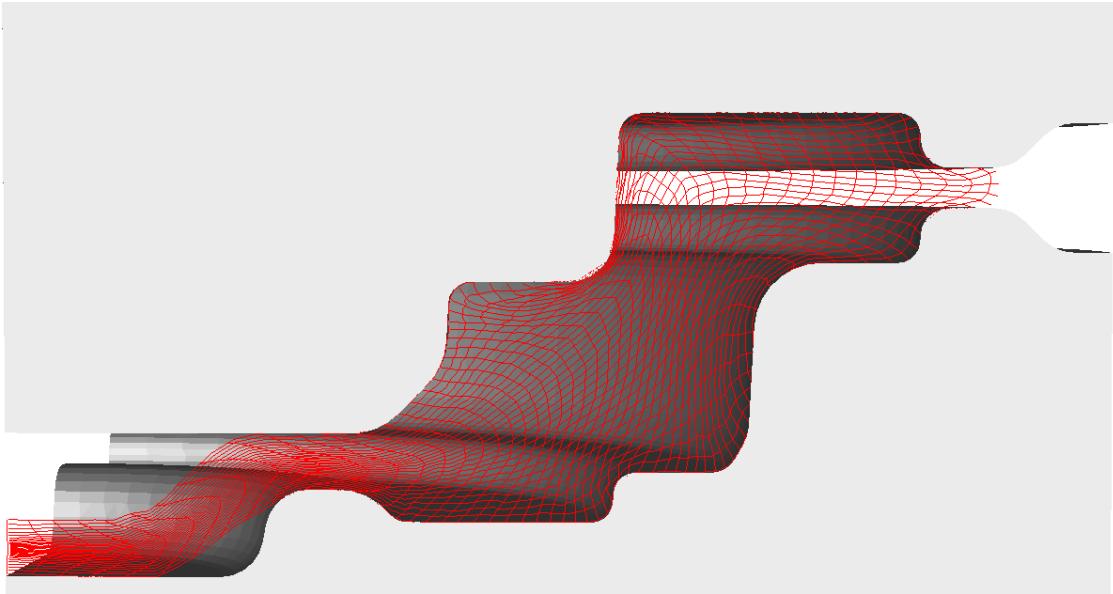
Při analýze předkování nejsou vypořazovány žádné místa, kde by byl odhalen výskyt vnitřních přeložek. (Obr. 76)



Obr. 76 Marking grid analýza předkování

6.7.2 Marking Grid analýza dokování

Během dokování rovněž nebyly vypořazovány žádné přeložky, protože se materiál přetvářel jen krátkou dobu a což nevedlo k výrazným deformacím během dokování. (Obr. 77)

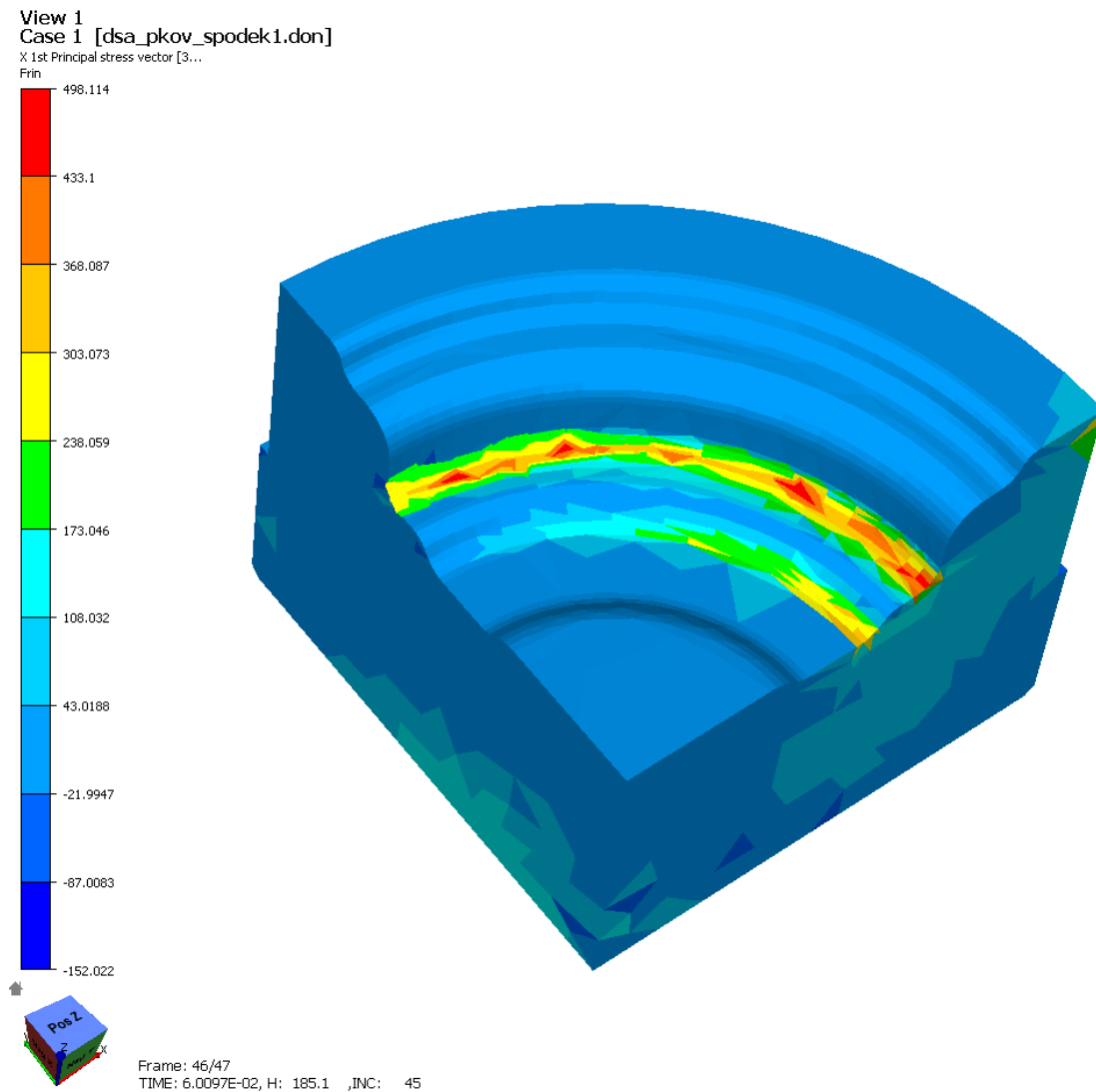


Obr. 77 Marking grid analýza dokování

6.8 Analýzy praskání zápustek

Po odladění dotékání materiálu a prozkoumání, jestli na výkovku nevznikají nějaké vady, jako jsou vnější a vnitřní přeložky a nedotečení materiálu, je také zapotřebí zkontrolovat opotřebení zápustek a to převážně jejich praskání. To se provádí pomocí Die Stress Analýzy (DSA), která nám ukáže, ve kterých místech jsou zápustky nejvíce namáhány a jak veliké napětí na ně působí. Aby bylo zajištěno, že zápustky neprasknou, bude nutno, aby napětí během analýzy nepřekračovalo maximální mez pevnosti zápustky, což pro použitou ocel je $R_m = 1180 - 1770$ MPa.

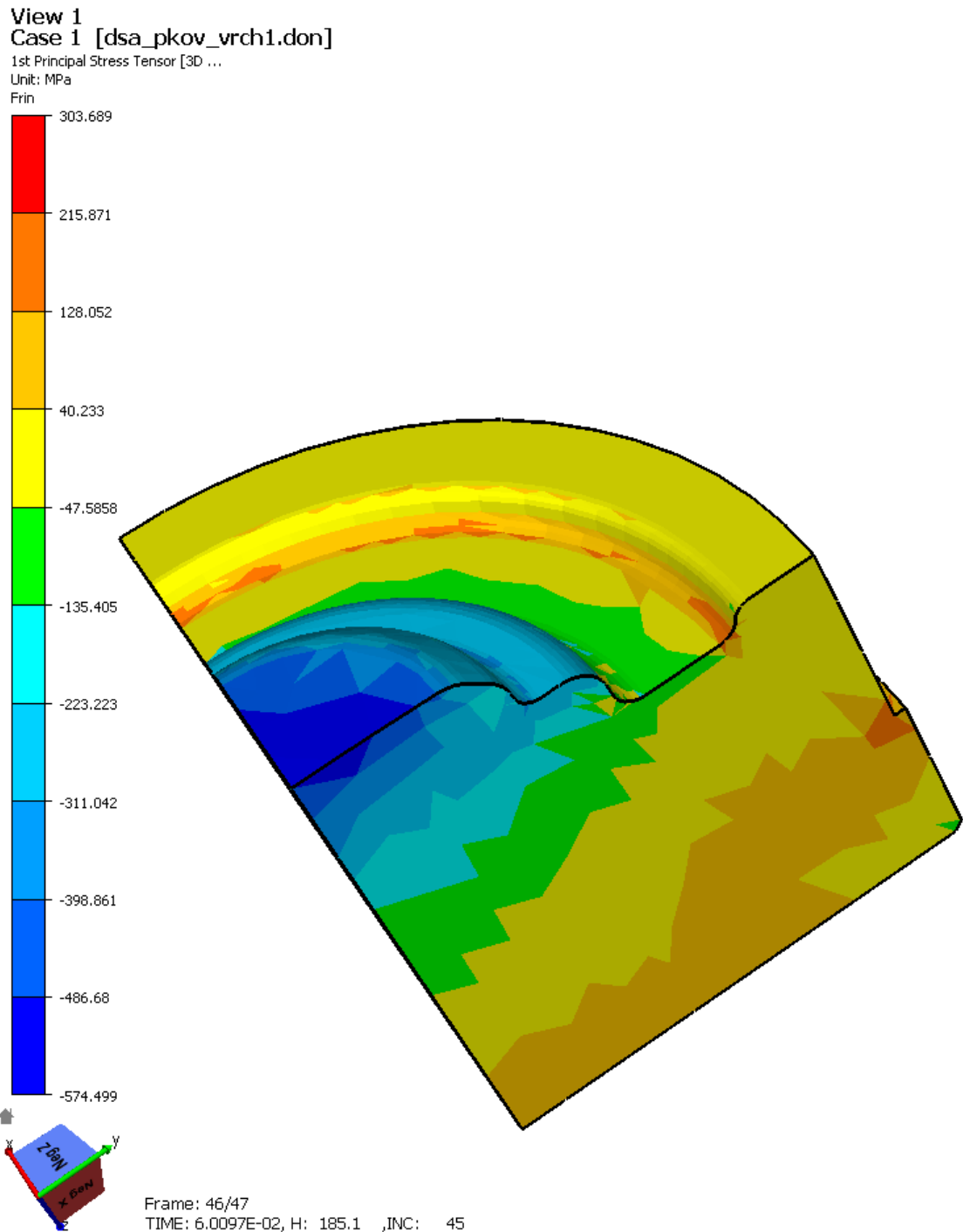
6.8.1 DSA analýza předkovací zápustky spodní



Obr. 78 Analýza praskání předkovací spodní zápustky

Při analýze spodní předkovací zápustky je hodnota napětí 498,114 MPa. (Obr. 78) Tato hodnota už se nenásobí čtyřma, protože je stejná jak pro $\frac{1}{4}$ zápustky tak pro celek. Je to z důvodu nastavení symetrie během počítání. Vypočtená hodnota není ani polovina nejmenší tolerance meze pevnosti, z čehož vyplývá, že daná zápustka nebude prskat, tudíž není potřeba vložkovat.

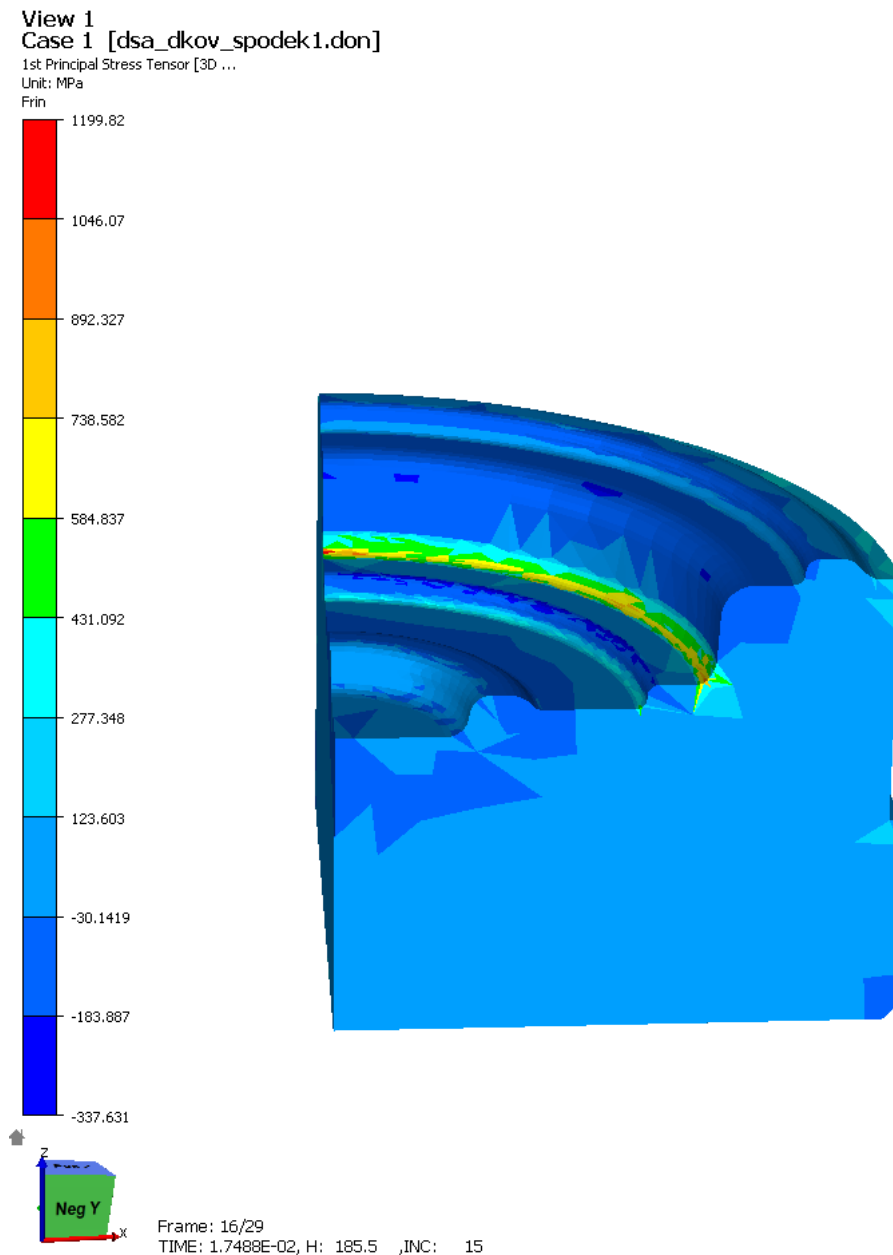
6.8.2 DSA analýza předkovací zápustky vrchní



Obr. 79 Analýza praskání předkovací vrchní zápustky

U vrchní předkovací zápustky je hodnota napětí 303,689 MPa (Obr. 79). Tato hodnota je ještě menší, než na spodní zápustce. Z toho vyplývá, že lze téměř s jistotou říci, že vrchní zápustka rovněž nebude praskat, tudíž není potřeba vložkovat.

6.8.3 DSA analýza dokovací zápustky spodní

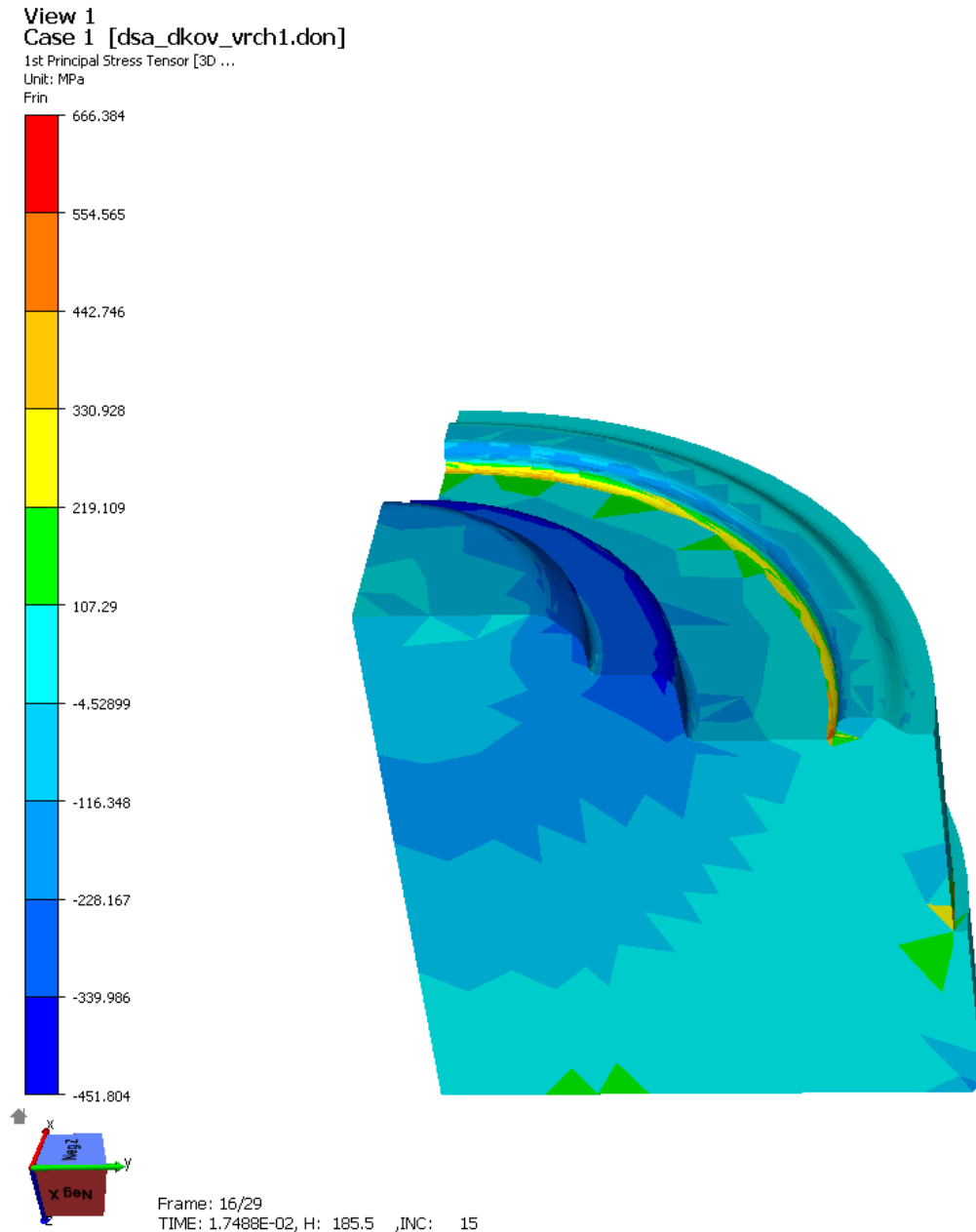


Obr. 80 Analýza praskání dokovací spodní zápustky

Při analýze spodní dokovací zápustky je již hodnota napětí mnohonásobně větší, než při předkování a to 1199,82 MPa (Obr. 80), je to způsobeno plným dotečením zápustek a tlačím materiálu do výronku a do zásobníku na blánu. Tato hodnota by se dala snížit zvětšením rádiusu v daném místě, je potřeba si dát pozor, aby byl v daném místě dostatečný přídavek materiálu. Nedostatek materiálu by mohl vézt k výrobě zmetku během obrábění. V tomto případě však není nutné rádius nějak měnit, protože hodnota je jen lehce nad spodní tolerancí meze pevnosti. Ve výrobě se spodní hodnota meze pevnosti obvykle po-

hybuje kolem 1500 MPa. Z toho plyne, že zápustka rovněž nebude prskat, tudíž není potřeba vložkovat.

6.8.4 DSA analýza dokovací zápustky vrchní



Obr. 81 Analýza praskání dokovací vrchní zápustky

U vrchní dokovací zápustky je hodnota napětí 666,384 MPa (Obr 81). Tato hodnota je opět asi dvojnásobně větší, což je zase způsobeno plně dotečeným tvarem a přebytek materiálu pouze zvětšuje výronek a zaplňuje zásobník na bláně.

Opět by se dala hodnota zmenšit zvětšením rádiusu, opět je potřeba dbát zvýšené pozornosti na přídavek v daném místě.

Tato hodnota je ovšem asi polovina nejmenší tolerance meze napětí, z čehož plyne, že zápusťka nebude praskat a není potřeba vložkovat.

7 ZKOUŠKA KOVÁNÍ

Po vytvoření 3D modelů a výkresové dokumentace se práce převede z konstruktéra na CAM specialistu. Ten vypracuje CNC program pro výrobu nářadí na CNC obráběcích centrech, dále zhotoví technologické postupy pro výrobu kovacího nářadí.

Vzhledem k tomu, že se jedná o rotačně symetrický výkovek, budou zápustky vyrobeny na soustruhu.

Po vyrobení všeho kovacího nářadí se vše převezde k mechanikům, kteří jednotlivé komponenty sestaví dohromady a upnou na stroj.

Po upnutí na stroji se provádí zkouška kování.

Během zkoušky kování je nejprve zapotřebí předeřhát zápustky na teplotu 200 až 250 °C, současně s tím se zahřívá již nadělený polotovár na správnou délku v induktoru na kovací teplotu 1215 °C. Poté co jsou zápustky i materiál ohřáté na kovací teplotu přijde na řadu samotné kování.

Nejprve se musí lis přestavit na správnou výšku, protože lis zatížený během kování pruží, tudíž je nutné odladit výšku kování, do té míry, než jsou kovány výkovky se správnou výškou. Poté co je výška kování odladěna přijde na řadu vykování deseti kusů, které jdou následně na otryskání a poté jdou na kontrolu, jestli výkovky neobsahují povrchové vady, trhliny, přeložky a jestli je správně dotečen. Poté je jeden kus přeměřen kontrolou podle výkresu, jestli se shodují všechny kóty.

Zkouška kování pro tento výkovek proběhla bez chyb, je tedy možno odkovat celou dávku, která je zmenšena na hodnotu 1500 kusů, aby se zjistilo opotřebovávání a případné praskání zápustek. (Obr. 82), (Obr. 83)

Po odkování 1500 kusů výkovků se opět nezjistila žádná vada, je tedy vhodné díl převést do série a odkovat plný roční počet výkovků, který činí 24600 kusů.



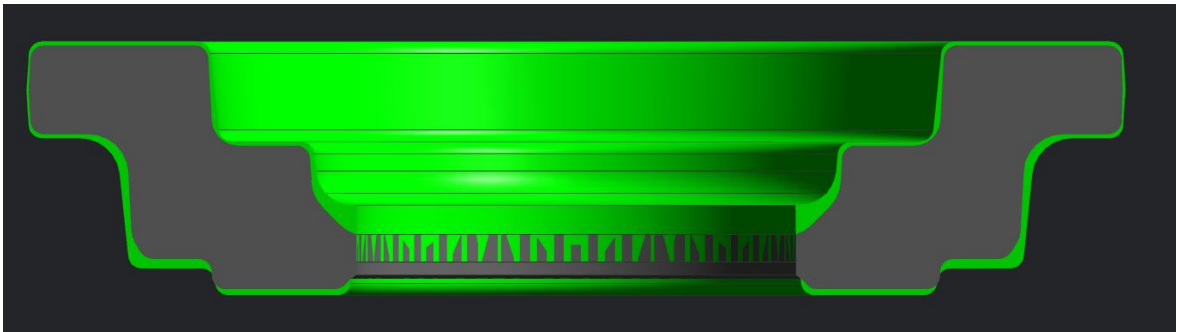
Obr. 82 Dokovací zápusťky spodní a horní po odkování 1500 kusů



Obr. 83 Předkovací zápusťky spodní a horní po odkování 1500 kusů

8 PŘÍNOS NAVRHOVANÉHO ŘEŠENÍ

Díky zkušenostem z výroby rotačně symetrických výkovků byl zmenšený přídavek na obrábění o 1mm na plochu (Obr. 84). Díky této úpravě bylo dosaženo menší hmotnosti výkovku. Podle přídavků na obrábění měl výkovek hmotnost 3,03 kg. Po úpravě má výkovek hmotnost 2,7811 kg.



Obr. 84 Rozdíl mezi výkovky

Vsázková hmotnost výkovku navrhovaného dle norem činí 3,53 kg, po snížení obráběcích přídavků je vsázková hmotnost 3,25kg.

Díky analýzám se vsázka snížila ještě o 0,17kg výsledná vsázková hmotnost je tedy 3,08kg.

Oproti hmotnosti navrhované dle norem se tak vsázková hmotnost snížila o 0,45kg

Celková úspora na vsázce činí $0,45 \cdot 24\,600 = 11\,070$ kg.

Při ceně za materiál 13,8 Kč/kg to činí úsporu 152 766 Kč ročně.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navržení technologie výroby výkovků pro automobilový průmysl.

V první části byla teoreticky popsána technologie tváření kovů a její rozdělení, dále bylo popsáno objemové tváření. Největší část teoretické části bylo zaměřeno na zápustkové kování. V poslední řadě se teoretická část zabývala FEM analýzami pro technologii kování.

Ve druhé části byl již navrhnout výkovek dle kovářsko-technických požadavků. Dle zkušeností s konstrukcí rotačně symetrických výkovků byly sníženy přídavky na obrábění z 2,5 mm na 1,5 mm. Byl také navrhnout model předkovku, a velikost polotovaru.

Následně byla zjištěna potřebná kovací síla (10 MN), a na základě této síly a dispozic Kovárny VIVA a.s. byl vybrán klikový lis LMZ 1600 a ostříhovací lis LDO 350A.

Poté co byl vybrán kovací a ostříhovací stroj byly zkonstruovány zápustky předkovací a dokovací a také bylo zhotoveno sdružené ostříhovadlo.

Po vytvoření kovacího nářadí byly provedeny FEM analýzy pro zjištění vad během procesu kování, během těchto analýz bylo zjištěno příliš mnoho materiálu a tak díky těmto analýzám bylo ubráno na vsázce. Poté se provedly analýzy na praskání zápustek, kde bylo zjištěno, místo největšího rizika prasknutí, ale napětí nebylo natolik vysoké, aby překonalo mez pevnosti oceli, ze které jsou zápustky vyrobeny, proto bylo vyhodnoceno, že zápustky neprasknou a nebude potřeba nějak měnit jejich tvar.

Z analýz vyplynulo také, že maximální zatížení lisu bylo 687,44 tun. Z toho vyplývá, že by se výkovek mohl kovat také na lise s menší silou LZK 1000. Z důvodu vytížení všech lisů LZK 1000 však byly kusy odkovány na předem zvoleném lise LMZ 1600.

Po vyhodnocení FEM analýz bylo kovací nářadí vyrobeno a byla provedena zkouška kování, během které se potvrdily výsledky z analýz, a díl byl odsouhlasen pro vykování celé roční zakázky 24600 kusů.

V poslední řadě byla provedena analýza přínosu navrženého řešení, kde byly porovnány vsázkové hmotnosti výkovků navrženého podle norem a zkušeností z výroby, díky čemuž byla výsledná vsázková hmotnost menší o 0,45kg oproti výkovku navrženého dle tolerancí.

Tato úspora na vsázce znamená přínos pro firmu v hodnotě 152 766 Kč pouze na vsázce. Do této sumy nebyly započteny náklady na obrábění výkovků, které budou také menší vzhledem k nižším časům na obrábění, díky čemuž se ještě úspora zvýší.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] FABÍK, Richard. *Tváření kovů. e-learningová skripta*, VŠB-TU, 2012
- [2] LENFELD, Petr., *Technologie II, 1. část, (Tváření kovů)*:Technická univerzita Liberec, 2009, 110s.
- [3] GAJDOŠ, František. *Technologie výroby I. - tváření* [online]. [cit. 2013-01-11]. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_vyroby_I_tvareni_gajdos.pdf>.
- [4] Katedra tváření kovu a plastu [online]. 2005 [cit. 2010-04-10]. [Http://www.ksp.tul.cz](http://www.ksp.tul.cz). Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm>.
- [5] ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI SUDIJNÍ MATERIÁLY. [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z WWW: <<http://home.zcu.cz/~sbenesov/Skriptatvareni.pdf>>.
- [6] HAŠEK, Vladimír, et al. *Kování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1965. 732 s.
- [7] VÝROBA HUTNÍCH POLOTOVARŮ. Databáze online [cit. 2012-10-13]. Dostupné z WWW: <<http://techstroj.g6.cz/T/T06.pdf>>.
- [8] DVOŘÁK, Milan, et al. *Technologie II*. 3.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
- [9] FOREJT, Milan. *Teorie tváření a nástroje*. Vydavatelství VUT v Brně, Akademické nakl. CERM, s.r.o. brno, listopad 2004, 167 s, ISBN 80-214-2764-7.
- [10] ELFMARK, Jiří, et al. *Tváření kovů: Technický průvodce*, sv 62. 1.vyd. Praha: SNTL. 1992. 524 s. ISBN 80-03-00651-1.
- [11] INTERNÍ MATERIÁLY KOVÁRNY VIVA a.s.
- [12] ŠVERCL, Josef, ŘASA, Jaroslav. *Strojnické tabulky I*. 1. vyd. Praha: Scientia, 2004. 753 s.
- [13] FRANK Antonín a kol: *Strojírenská technologie4*. SNTL, 1978. 352s.
- [14] DVORÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K.: *Technologie tváření – Plošné a objemové tváření*. VUT Brno, 2007
- [15] TRANSVALOR [online]. Dostupný z WWW. <<http://www.transvalor.com>>.

[16] ČSN EN 10243-1: *Ocelové zápusťkové výkovky - Mezní úchytky rozměrů - Část 1: Výkovky kované na bucharech a svislých kovacíh lisech*. Praha: Český normalizační institut, 2003.

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

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

T_{rek}	Teplota rekrytalizační
T_{tav}	Teplota taveniny
SOS	State of stress
σ_1	Hlavní napětí
σ_3	Napětí ve směru nejmenšího odporu
k_d	Napětí ve směru největšího odporu
m	Hmotnost
kg	Kilogram
s	Sekunda
MN	Mega Nevton
kJ	Kilo Joule
Mn	Mangan
Ni	Nikl
Cr	Chrom
Mo	Molybden
V	Vanad
W	Wolfram
Re	Přetvárný odpor
Fk	Kovací síla
DSA	Die Stress Analysis
MPa	Mega Pascal
CNC	Computer numerical control
CAM	Computer aided manufacturing

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Rozdíl vláken mezi obráběným a tvářeným výrobkem[3]</i>	13
<i>Obr. 2 Rozdělení tvářecích procesů dle teploty[4]</i>	14
<i>Obr. 3 Změna tvaru zrn při tváření [2]</i>	15
<i>Obr. 4 Průběh zotavení [5]</i>	16
<i>Obr. 5 Průběh rekrytalizace.[6]</i>	16
<i>Obr. 6 Druhy válců a) hladké válce b) kalibrované válce [7]</i>	20
<i>Obr. 7 Uspořádání válců u válcovacích stolic. [4]</i>	20
<i>Obr. 8 Druhy válcování a) podélné b) příčné c) kosé [4]</i>	21
<i>Obr. 9 Speciální způsoby válcování a) příčné klínové válcování b) válcování kuliček c) válcování závitů d) válcování na kovacích válcích e) Slick-Mill [4]</i>	22
<i>Obr. 10 Princip tažení [4]</i>	22
<i>Obr. 11 Průvlak [4]</i>	23
<i>Obr. 12 Postupné tažení drátu na drátotahu.[4]</i>	24
<i>Obr. 13 Metody tažení bezešvých trubek. [5]</i>	25
<i>Obr. 14 Dopředné protlačování [2]</i>	26
<i>Obr. 15 Zpětné protlačování [2]</i>	26
<i>Obr. 16 Sdružené protlačování [2]</i>	27
<i>Obr. 17 stranové protlačování [2]</i>	27
<i>Obr. 18 kovací teploty v diagramu Fe-Fe₃C [4]</i>	28
<i>Obr. 19 Kovářský kříž [4]</i>	30
<i>Obr. 20 Pěchování [11]</i>	30
<i>Obr. 21 Prodlužování [4]</i>	31
<i>Obr. 22 Osazování [4]</i>	31
<i>Obr. 23 Rozkování na trnu [4]</i>	32
<i>Obr. 24 Kování na trnu [4]</i>	32
<i>Obr. 25 Další operace volného kování [4]</i>	32
<i>Obr. 26 tvary kovadel pro volné kování [4]</i>	33
<i>Obr. 27 kování na vodorovných kovacích strojích [4]</i>	34
<i>Obr. 28 Kování protlačováním [4]</i>	34
<i>Obr. 29 Rotační kování [4]</i>	35
<i>Obr. 30 Vícecestné kování [4]</i>	35
<i>Obr. 31 Zápustkové kování [4]</i>	36

<i>Obr. 32 vedení zápustek. [11]</i>	38
<i>Obr. 33 Způsob upnutí zápustek na bucharu [11]</i>	45
<i>Obr. 34 Nedotečený tvar. [11]</i>	48
<i>Obr. 35 deformace výkovku. [11]</i>	48
<i>Obr. 36 jehla po ostříhu. [11]</i>	49
<i>Obr. 37 Zatlačená jehla do výkovku. [11]</i>	49
<i>Obr. 38 Přeložky. [11]</i>	50
<i>Obr. 39 Přesazení. [11]</i>	50
<i>Obr. 40 Vada po prasknutí zápustky [11]</i>	51
<i>Obr. 41 průhyb výkovku [11]</i>	51
<i>Obr. 42 Zakujení výkovku. [11]</i>	51
<i>Obr. 43 Simulace v programu FORGE. [15]</i>	52
<i>Obr. 44 Výpočet klikové hřídele. [15]</i>	53
<i>Obr. 45 Součást palivového čerpadla.</i>	55
<i>Obr. 46 Rozdíl mezi výkovkem (šedý) a obrobkem (červený).</i>	58
<i>Obr. 47 Zjištění hmotnosti výkovku v programu Nx9.</i>	59
<i>Obr. 48 Tvar dělicí roviny [16]</i>	59
<i>Obr. 49 Obalové těleso [16]</i>	60
<i>Obr. 50 Rozdíl mezi výkovkem (čárkovaná čára) a předkovkem (plná čára)</i>	64
<i>Obr. 51 Graf na určení můstku [11]</i>	65
<i>Obr. 52 Výkovek s blánou a výronkem.</i>	66
<i>Obr. 53 Nomogram pro určení tvářecí síly [11]</i>	67
<i>Obr. 54 Klikový kovací lis LMZ 1600A [11]</i>	68
<i>Obr. 55 Ustavení pěchu</i>	70
<i>Obr. 56 Předkovací zápustky</i>	71
<i>Obr. 57 Dokovací zápustky</i>	72
<i>Obr. 58 Ostřihovací lis LDO 350A [11]</i>	73
<i>Obr. 59 Sdružené ostřihovadlo</i>	74
<i>Obr. 60 Ohřátý polotovár z induktoru</i>	76
<i>Obr. 61 Teplota polotovaru po 7 sec.</i>	77
<i>Obr. 62 Dotečení předkovku</i>	79
<i>Obr. 63 Analýza ve spodní úvrati při předkování</i>	80
<i>Obr. 64 Zatížení stroje během předkování</i>	80

<i>Obr. 65 Dotečení výkovku</i>	82
<i>Obr. 66 Analýza ve spodní úvrati při dokování</i>	83
<i>Obr. 67 Zatížení stroje během dokování</i>	84
<i>Obr. 68 Délka výronku</i>	84
<i>Obr. 69 Hmotnost odebraného výronku</i>	85
<i>Obr. 70 Analýza přechování verze 2</i>	86
<i>Obr. 71 Nedotečení výkovku druhé analýze přechování</i>	87
<i>Obr. 72 Zatížení lisu při předkování verze 2.</i>	88
<i>Obr. 73 Analýza dotečení výkovku verze 2</i>	89
<i>Obr. 74 Analýza dokování verze 2 ve spodní úvrati.</i>	90
<i>Obr. 75 Zatížení lisu během dokování.</i>	90
<i>Obr. 76 Marking grid analýza předkování</i>	91
<i>Obr. 77 Marking grid analýza dokování</i>	92
<i>Obr. 78 Analýza praskání předkovací spodní zápusťky</i>	93
<i>Obr. 79 Analýza praskání předkovací vrchní zápusťky</i>	94
<i>Obr. 80 Analýza praskání dokovací spodní zápusťky</i>	95
<i>Obr. 81 Analýza praskání dokovací vrchní zápusťky</i>	96
<i>Obr. 82 Dokovací zápusťky spodní a horní po odkování 1500 kusů</i>	99
<i>Obr. 83 Předkovací zápusťky spodní a horní po odkování 1500 kusů</i>	99
<i>Obr. 84 Rozdíl mezi výkovky</i>	100

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Přídavky na obrábění [17]</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 2 Úkosy bočních stěn [17]</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 3 Zaoblení hran [17]</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 4 Tloušťky dna [17]</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 5 Ocelové zápustkové výkovky kované na bucharech a lisech – Stupeň přesnosti kování F – mezní úchylky délky, šířky, výšky, úchylky přesazení, otřepu a sestřížení. [16].....</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 6 ocelové zápustkové výkovky kované na bucharech a lisech – Stupeň přesnosti kování F – mezní úchylky tloušťky a úchylky stop po vyhazovačích. [16]</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 7 Ocelové zápustkové výkovky kované na bucharech a lisech – Úchylky přímosti, rovinnosti a roztečí [16]</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 8 Ocelové zápustkové výkovky kované na bucharech a lisech – Úchylky zaoblení přechodů hran, úchylky jehel a stříhaných konců. [16].....</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 9 Chemické složení oceli [11]</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 10 Mechanické vlastnosti [11]</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 11 Chemické složení oceli [11]</i>	<i>69</i>

SEZNAM PŘÍLOH

PI Výkres Výkovku