

Vyroba dílu objemovým tvářením

Bc. Lukáš Obst

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš Obst**
Osobní číslo: **T11734**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Výroba dílu objemovým tvářením**

Zásady pro vypracování:

Vypracujte literární studii na dané téma
Navrhněte výrobek dle požadavku odběratele
Na výrobek navrhněte technologii výroby
Provedte zkoušku kování



Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

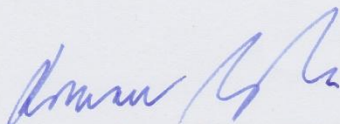
Dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce: **Ing. František Volek, CSc.**
Ústav výrobního inženýrství

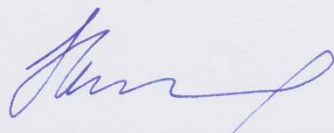
Datum zadání diplomové práce: **8. února 2013**

Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno:

Obor:

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

.....

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 výdělku 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 výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem a konstrukcí nástroje pro objemové tváření. V teoretické části je řešeno téma stavby kovů, poruch mřížek a plastická deformace, ke které při objemovém tváření dochází. Nástroj je posléze vyroben a jsou odkovány vzorky výkovků, které budou zaslány zákazníkovi.

Klíčová slova:

Tváření, dislokace, konstrukce, zápustka, ostříh, děrování.

ABSTRACT

The work deals with the design and construction of tools for cold forming. The theoretical part is solved topic composition of metals, defects and plastic deformation grids to which the bulk deformation occurs. The tool is then made and forgings odkovány samples which will be sent to the customer.

Keywords:

Forming, dislocation, desing, die, trimming, punching.

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Františku Volkovi CSc. za podporu, věcné připomínky a odborné konzultace k danému tématu. Rád bych poděkoval i kolegům v práci, za ochotu a rad. Dále své rodině za podporu a pomoc během dlouhých studijních let.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 STRUKTURA KOVŮ	12
1.1 ATOMOVÁ STRUKTURA LÁTEK	12
1.1.1 Struktura atomů	12
1.1.2 Vazebné síly v pevných látkách	14
1.2 ZÁKLADNÍ TERMODYNAMICKÉ POJMY	15
1.3 ZÁKLADNÍ KRYSTALOVÉ STAVBY	16
1.4 TYPY KRYSTALOVÝCH LÁTEK	19
1.4.1 Růst krystalů.....	20
1.4.2 Dělení vad krystalů	20
1.4.2.1 Bodové vady	21
1.4.2.2 Čárové vady	21
2 FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY PLASTICKÉ DEFORMACE	23
2.1 SKLUZ	23
2.1.1 Pohyb dislokací při plastické deformaci	24
2.1.2 Hlavní překážky pohybu dislokací při tváření ocelí	25
2.1.3 Deformační zpevnění	26
3 MECHANICKÉ ZÁKLADY PLASTICKÉ DEFORMACE	27
3.1 NAPĚTÍ.....	27
4 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ	28
4.1 KOVACÍ STROJE	29
4.1.1 Rychlost deformace.....	29
4.1.2 Buchary pro zápusťkové kování	29
4.1.3 Lisy pro zápusťkové kování	30
4.1.3.1 Svislé kovací lisy	30
4.1.3.2 Vřetenové kovací lisy	30
4.1.3.3 Hydraulické kovací lisy	31
4.1.3.4 Vodorovné kovací lisy	31
4.2 OHŘEV MATERIÁLU	31
4.2.1 Opal	32
4.3 KOVÁNÍ.....	34
4.3.1 Volné kování	35
4.3.2 Zápusťkové kování	37
4.3.3 Mazání ve tváření	38
4.4 VADY NA VÝKOVKU	39
4.4.1 Deformace výkovku	40
4.4.2 Zatlačená jehla do výkovku	40
4.4.3 Nedotečený tvar	41
4.4.4 Jehla po ostříhu	42
4.4.5 Přeložky.....	42
4.4.6 Průhyb výkovku	43
4.4.7 Přesazení	43

4.4.8	Prasklá zápustka	44
4.4.9	Zakujení.....	45
4.5	FEM ANALÝZY.....	45
II	PRAKTICKÁ ČÁST	47
5	NAVRH TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI.....	48
5.1	NÁVRH VÝKOVKU	48
5.1.1	Rozměry a tvar výkovku	49
5.1.2	Návrh vsázkové hmotnosti.....	52
5.1.3	Volba materiálu	53
5.1.4	Určení polotovaru.....	53
5.1.5	Volba kovací linky	54
5.2	KONSTRUKCE NÁŘADÍ.....	56
5.2.1	Zápustky.....	56
5.2.1.1	Dokovací zápustky.....	57
5.2.1.2	Předkovací zápustky	59
5.3	TECHNOLOGIE VÝROBY	60
5.3.1	Pěchování	61
5.3.2	Předkování.....	64
5.3.3	Dokování	69
5.3.4	Ostříhování a děrování	74
5.4	NAMÁHÁNÍ ZÁPUSTEK.....	75
5.4.1	Předkování.....	76
5.4.2	Dokování	79
5.5	TECHNOLOGICKÝ POSTUP.....	81
6	VÝROBA NÁŘADÍ, PŘÍPRAVA NA KOVÁNÍ, KOVÁNÍ.....	83
6.1	ZKOUŠKA KOVÁNÍ	83
	ZÁVĚR	84
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	85
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	87
	SEZNAM OBRÁZKŮ	88
	SEZNAM TABULEK.....	90
	SEZNAM PŘÍLOH.....	91

ÚVOD

Charakteristickým znakem moderní doby je rychlý rozvoj vědy, techniky a rozmach průmyslové výroby se stále těsnějším spojením výzkumu a vývoje s výrobou. Tedy spojením teorie s praxí. Největší důraz se klade na efektivnost výroby, jakost výrobků, na jejich cenovou úroveň, úsporu materiálu a energie. Vnitropodnikové ukazatele pak odrážejí požadavky zákazníků a dochází k neustálému zefektivňování výroby, zavádění moderních metod řízení lidských zdrojů i strojů.

Technologické procesy tváření patří k základním procesům strojírenské technologie. Jde o výrobní procesy, kterými se vlivem účinku mechanické a tepelné energie mění konstrukční materiály na polovýrobky, které se obvykle dalšími procesy, především třískovým obráběním, mění na hotové výrobky. Jednotlivé procesy tváření díky postupujícím vědeckým poznatkům se už tak rozpracovali, že umožňují strojové součástky vyrábět na hotovo s přesností, která se v některých případech vyrovná třískovému obrábění.

Technologie tváření představuje neobyčejně rozsáhlý vědní obor. Při rozvoji této technologie se vyžadují znalosti o vnitřní stavbě kovů a změnách jejich mechanických a technologických vlastností. Tyto technologické procesy jsou současně i nejhospodárnější procesy strojírenské technologie. Umožňují nejlepší využití kovových materiálů, protože při výrobě součástek nevznikají tak velké ztráty materiálu jako při jiných výrobních procesech. Další velký význam spočívá v podstatném zvýšení produktivity práce, která se projevuje zejména ve snižování pracnosti a zkracování výrobního cyklu. Snižování spotřeby materiálu a zvyšování produktivity práce zaváděním technologie tváření se příznivě projevuje ve snižování výrobních nákladů. [1]

V této práci se budu zabývat vybraným dílem, který požaduje zákazník v určitém objemu dodávat na svou výrobní a montážní linku. Díl je z konstrukční oceli C35 objemově vytvářen do požadovaného tvaru, poté je vyděrován, ostřižen. Ihned za objemovým tvářením následuje uzel tepelného zpracování, kde dosáhneme požadovaných struktur a tvrdostí již hotového dílu. V práci bude nutno dodržet podmínky a normy stanovené tabulkami a řídit se jimi. Budu se snažit maximálně využít univerzálních dílů pro efektivitu a opakovatelnost.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 STRUKTURA KOVŮ

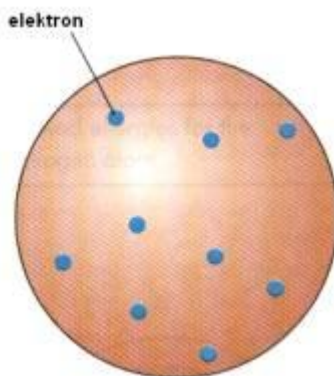
1.1 Atomová struktura látek

Znalost meziatomových vazeb umožňuje vysvětlit, resp. předvídat vlastnosti materiálů známých, resp. vyvíjených. Podstata těchto vazeb spočívá ve vlastnostech samotných atomů – základních stavebních kamenů všech látek. Proto uvedu nejdříve stručný přehled složení atomů. [8]

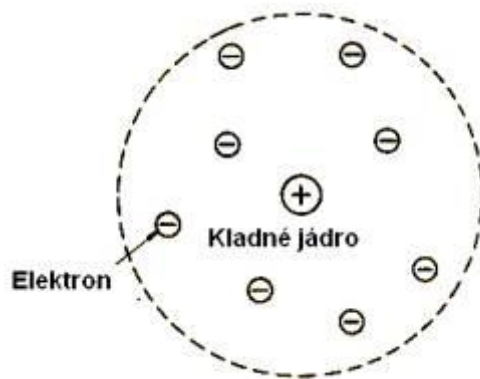
1.1.1 Struktura atomů.

Již v dávných dobách lidé tušili, že hmota má i při svém spojitěm vzhledu určitou strukturu, že je tedy složena z velmi malých, našimi smysly nepostižitelných částic. První, kdo jasně formuloval tento názor, byl řecký filosof Démokritos (460-371 př.n.l.), od něhož pochází i název těchto malých částic – atomy (atomos = nedělitelný).

V 19. století přijali vědci myšlenku, podle níž se chemické prvky skládají z atomů, o atomech samých však nevěděli téměř nic. Po objevu elektronu a zjištění, že všechny atomy obsahují elektrony, navrhl J. J. Thomson první model atomu, tzv. „pudinkový model“ atomu. Podle něho jsou atomy elektricky neutrální částice, které představují kuličky kladně nabitě hmoty, v níž jsou jako rozinky v pudinku umístěny záporně nabitě elektrony (Obr.1). Experimentální ověření tohoto modelu prokázalo, že není správný, přinejmenším v tom smyslu, že neobsahuje spojitě rozložený kladný náboj. Proto předložil E. Rutherford druhý model, podle něhož existuje uprostřed atomu kladné jádro a elektrony jsou rozptýleny rovnoměrně v celém objemu atomu (Obr. 2).

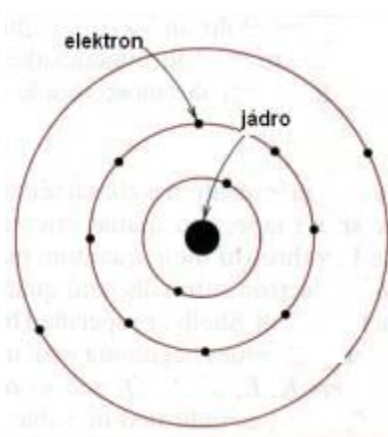


Obr. 1: Thomsonův model atomu



Obr. 2: Rutherfordův model atomu.

Ani Rutherfordův model neobstál jak po stránce experimentální, tak ani po stránce teoretické. Proto v roce 1913 předložil dánský fyzik Niels Bohr svůj model atomu, který s malými opravami „sloužil“ poměrně dlouhou dobu, i když některé jeho nedostatky bylo třeba odstranit postulováním. Podle Bohrova modelu, který výborně vysvětluje zejména optické vlastnosti (spektra) atomů, se elektrony pohybují po určitých kruhových drahách kolem kladného jádra, podobně jako se pohybují planety sluneční soustavy kolem slunce (podobnost je i v řádové velikosti poloměr Slunce (poloměr jádra) a vzdálenost planet od Slunce (vzdálenost elektronů od jádra)) – viz Obr. 3.



Obr. 3: Rutherfordův model atomu.

Bohrův model atomu je posledním modelem, který lze alespoň zčásti vyložit tzv. „selským rozumem“, tj. lze si ho představit na základě klasické fyziky. Brzy po jeho vzniku bylo proti němu vzneseno několik vážných námitek, jak experimentálního, tak zejména teoretického rázu. Proto vznikl zatím poslední model atomu, využívající představ kvantové mechaniky (bohužel názorná představa tohoto modelu je již téměř nemožná). Podle tohoto

modelu má elektron jak vlnový, tak i částicový charakter a jeho poloha v okolí jádra je dána pravděpodobnostní funkcí. Přes všechny nedostatky Bohrova modelu je používán stále, i když známe jeho principiální nedostatky. Musíme však mít na paměti, že jednotlivé „dráhy“ elektronů nejsou ve skutečnosti dráhy v geometrickém slova smyslu, ale místa nejčastějšího výskytu elektronů. Hovoříme potom o tzv. „orbitalech“. [7], [8]

1.1.2 Vazebné síly v pevných látkách

Vyjdeme – li z prosté experimentální zkušenosti, že pevné látky „drží pohromadě“, dojdeme k závěru, že mezi atomy v nich musí existovat i síly opačné, tj. *síly odpuzivé*. Atomy se vždy usadí v takové vzájemné vzdálenosti, aby byla výsledná potenciální energie jejich vzájemného působení minimální. Tato vzdálenost se nazývá *mřížková konstanta*.

Rozlišujeme následující síly:

- 1) Van der Waalsovy síly - jsou přitažlivé síly působí mezi všemi atomy a molekulami. Protože je energie jejich vzájemného působení velmi malá (řádově 10 kJ/mol = 0,1 eV/atom), bývá většinou překryta jinou, silnější vazbou. V čistém stavu se s ní setkáváme u inertních plynů v kapalném a tuhém stavu a u některých dalších látek, o nichž se dále zmíníme.
- 2) Iontová vazba - atomy alkalických kovů (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr) jsou charakterizovány tím, že mají v poslední orbitě jediný valenční elektron, slabě vázaný k celému atomu. Naopak halogenům (F, Cl, Br, I, At) chybí v poslední orbitě jeden elektron k tomu, aby byla zcela zaplněna. Opustí – li tedy valenční elektron atom alkalického kovu a přejde do elektronového obalu halogenu, stane se z něho kladný iont. Naopak z halogenu se stane iont záporný, přičemž oba ionty mají elektronovou konfiguraci vzácných plynů (mají všechny orbity plně zaplněné elektrony). Výsledná vazba mezi oběma ionty je čistě elektrostatická.
- 3) Kovalentní vazba - podstatou kovalentní vazby je tzv. sdílení elektronů mezi sousedními atomy. Dva kovalentně vázané atomy přispívají každý nejméně jedním elektronem k vazbě a tyto elektrony jsou tedy „majetkem“ obou atomů.
- 4) Kovová vazba - atomy kovových prvků mají jeden, dva, nebo maximálně tři valenční elektrony. Model kovové vazby je velmi názorný, je založen na skutečnosti, že tyto elektrony, slabě k atomu vázané, nejsou vázány s žádným určitým atomem,

ale jsou víceméně volné a pohybují se chaotickým pohybem v oblasti mezi kladnými ionty kovových atomů. [3] ,[8]

1.2 Základní termodynamické pojmy

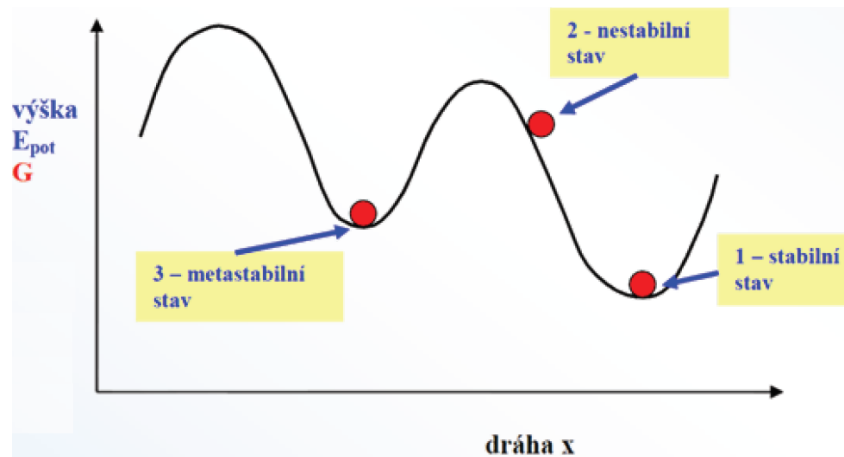
Termodynamická soustava je část hmoty, oddělená od svého okolí hranicemi, a to skutečnými nebo myšlenými. V soustavě mohou probíhat, v důsledku různých vlivů (např. změn teploty), fyzikální, chemické nebo fyzikálně-chemické změny (pochody). Soustava se skládá ze složek.

Složka soustavy tvoří látkovou náplň soustavy a představuje tedy základní chemickou součást soustavy. Složkami soustavy jsou buď chemické prvky nebo chemické sloučeniny. Složky soustavy během změn v soustavě ani nezanikají, ani nevznikají. Podle počtu složek se soustavy dělí na:

- jednosložkové - unární (např. čistá H_2O),
- dvousložkové - binární (např. soustava Fe–C, která je základem např. nelegovaných nebo nízkolegovaných ocelí a litin),
- třísložkové - ternární (např. soustava Fe-Ni-Cr, která je základem některých korozivzdorných ocelí),
- vícesložkové - polykomponentní.

Termodynamika popisuje stav soustavy, zejména její stabilitu. Z termodynamického hlediska se soustava může nacházet ve stavu stabilním (rovnovážném), dále ve stavu nestabilním (nerovnovážném) a konečně ve stavu metastabilním.

- Stabilní (rovnovážný) stav soustavy je takový stav, který soustava samovolně nemění. Tento stav je charakterizován nejnižší možnou hodnotou volné entalpie G .
- Nestabilní (nerovnovážný) stav soustavy je takový stav, který má soustava snahu samovolně změnit, (muže-li) a přechází do stavu stabilnějšího nebo i do stavu stabilního. Při tomto samovolném přechodu (ději) dochází k poklesu volné entalpie soustavy.
- Metastabilní stav soustavy je charakterizován lokálním minimem volné entalpie, její hodnota je ale vyšší, než odpovídá stabilnímu (rovnovážnému) stavu. [2] [3]



Obr. 4: Mechanická analogie stavů soustavy

1.3 Základní krystalové stavby

Pevné látky se vyskytují ve dvou základních stavech:

1. Krystalický stav:

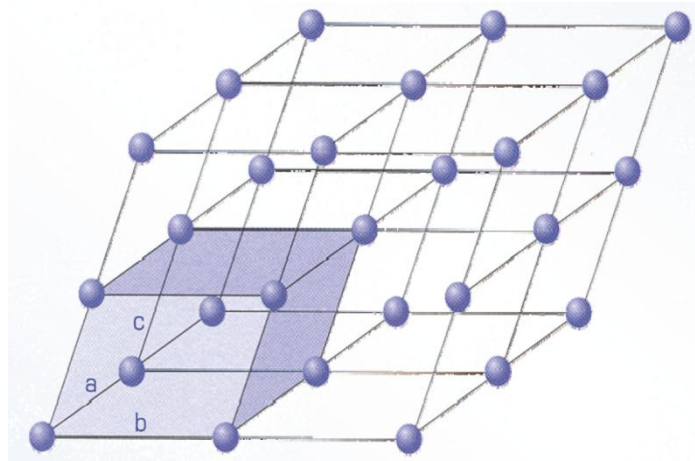
Reprezentují především tuhé látky a jejich stavební částice jsou uspořádané zákonitě a pravidelně do určitých tvarů. Vyznačují se i poměrně ostře ohraničeným bodem tavení. Při ohřevu těchto látek je možné pozorovat na křivce ohřevu charakteristické zdržení (interval tavení), které přesně ohraničuje tuhý stav od kapalného stavu.

2. Amorfním stav:

Vyznačují se v tuhém stavu méně pravidelným, nebo až náhodným uspořádáním. Krystalová mřížka je silně deformovaná a tato deformace v látkách silně amorfních je taková, že není možné najít při porovnání téměř žádnou stopu po podobném uspořádání.

Všechny kovy mají v tuhém stavu krystalografickou strukturu. Atomy kovů jsou prostorově pravidelně uspořádány do krystalových mřížek a tvoří krystaly. Atomy kmitají kolem rovnovážných poloh a kolem nich se pohybují volné elektrony. Většina kovů je polykrystalická, tj. je složená z mnoha krystalů, pouze ve zvláštních případech tvoří kovovou strukturu pouze jeden krystal (monokrystal).

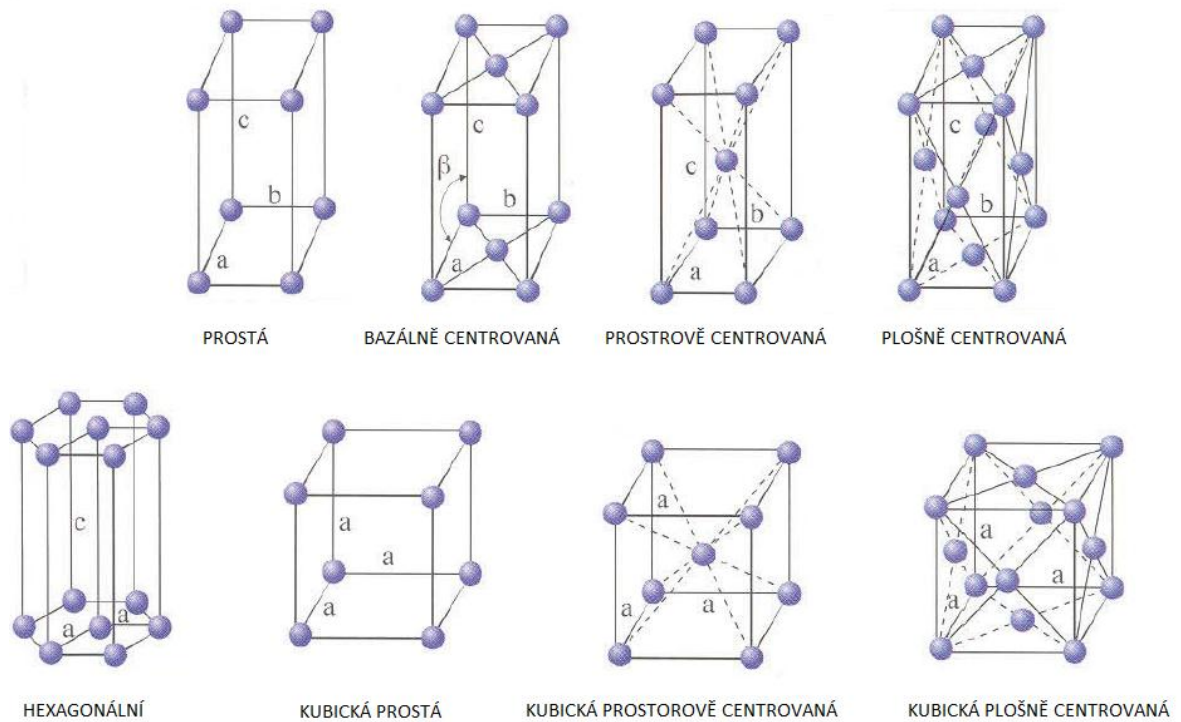
Pravidelné, periodické uspořádání atomů v krystalu znamená, že středy atomů (označujeme je jako uzlové body) lze proložit soustavu 3 navzájem různoběžných směru – přímkou a takovou soustavu nazýváme prostorovou nebo také krystalovou mřížkou.



Obr. 5: Příklad prostorové mřížky v obecném krystalu

V krystalové mřížce můžeme vymezit základní „stavební“ jednotku, jakousi cihličku, jejímž opakováním lze celý krystal vystavět. Tato základní stavební jednotka krystalu se nazývá elementární (základní) buňka. V krystalové mřížce se elementární buňka volí podle jistých pravidel. Tím základním pravidlem je, že souměrnost, tedy symetrie elementární buňky má odrážet co nejlépe souměrnost celého krystalu.

Ve všech 7 existujících krystalových soustavách (od triklinické po kubickou) lze vytvořit celkem 14 rozdílných prostorových mřížek. Příklady níže na obrázku. [3] [3]



Obr. 6: Příklad prostorových mřížek

Největší praktický význam má mřížka kubická prostorově centrovaná, kubická plošně centrovaná a mřížka hexagonálně těsně uspořádaná. Důvody jsou dva: za prvé se jedná o mřížky relativně jednoduché, za druhé v těchto mřížkách krystaluje většina kovů, takže mají velký praktický význam.

Míra zaplnění elementární buňky atomy je poměr objemu atomu v elementární buňce k objemu celé elementární buňky. Výsledek říká, že v mřížce kubické prostorově centrované připadá 68 % z objemu elementární buňky na atomy a zbytek, tedy 32% je „volný prostor“, tj. dutiny mezi atomy. V mřížce kubické plošně centrované je to 74 % atomů a 26 % volný prostor. Míra zaplnění je parametr mimořádného významu, protože na jeho hodnotě závisí schopnost pohybu atomů mřížkou, tj. schopnost **difúze** atomu. Čím je menší míra zaplnění, tím je obecně snadnější difúze. **Přitom difúze je děj, který je zodpovědný za většinu změn struktury v pevných látkách.**

1.4 Typy krystalových látek

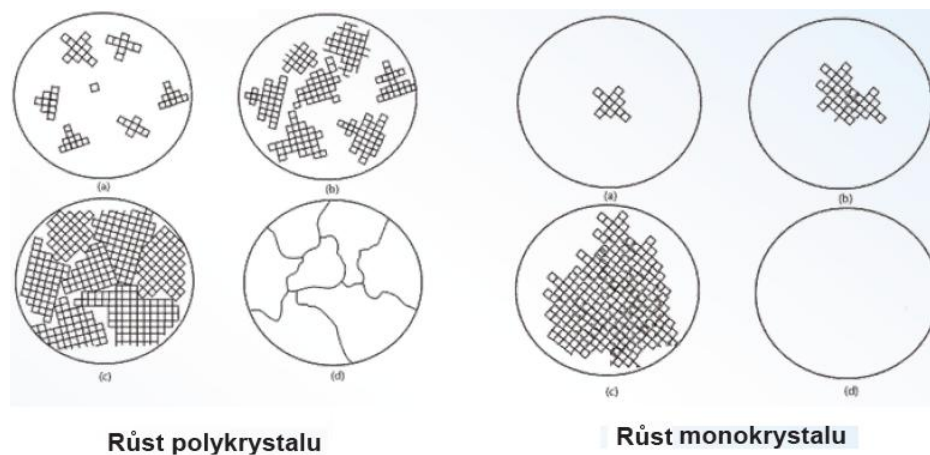
Krystalické látky je možné dělit podle různých hledisek. Nejjednodušší dělení je založeno na tom, z jakého počtu krystalů se látky skládají. Rozlišujeme tzv. monokrystalické a polykrystalické látky.

- V **monokrystalech** je kus materiálu tvořen právě jedním krystalem (např. diamant a další drahokamy, některé součásti v mikroelektrotechnice–monokrystaly Si apod.).



Obr. 7: Monokrystal diamantu

- V **polykrystalech** se materiál skládá z velkého počtu jednotlivých krystalů, kterým se říká zrna. Velikost jednotlivých zrn se pohybuje nejčastěji v desítkách mikrometru. Jednotlivá zrna jsou navzájem oddělena hranicemi. Krystalová orientace jednotlivých zrn bývá nejčastěji náhodná a pro každé zrna odlišná. Polykrystalické látky jsou mnohem častější než látky monokrystalické. [3]

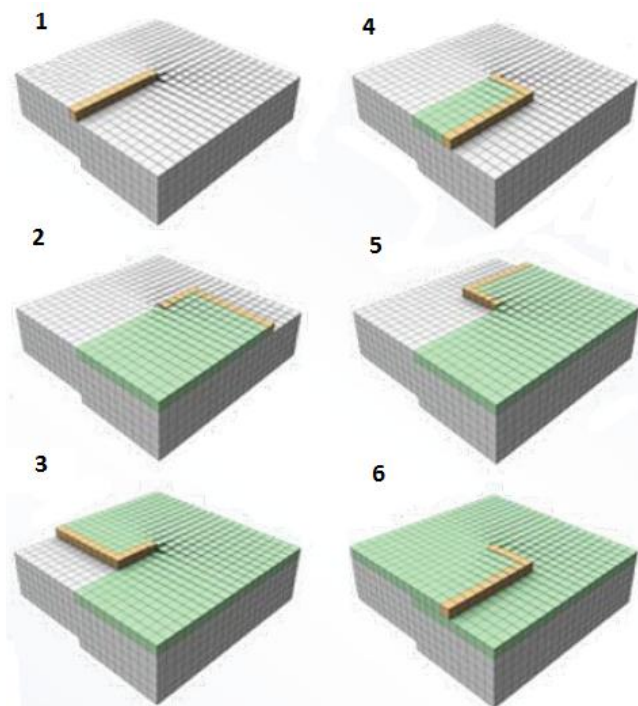


Obr. 8: Rozdíl v růstu krystalů

1.4.1 Růst krystalů

Proces růstu spočívá v připojování jednotlivých atomů z taveniny na povrch krystalu. Pro silové připoutání atomu je výhodné, když je povrch krystalu členitý.

Model růstu krystalu kolem šroubové dislokace. Při tomto způsobu vzniká celá řada vad krystalu, které dále hrají roli při plastické deformaci.



Obr. 9: Růst podle šroubovice

1.4.2 Dělení vad krystalů

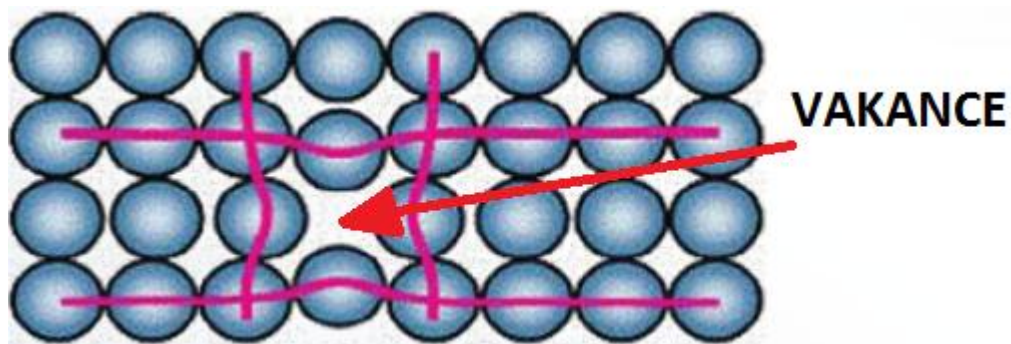
Mřížky technických kovů a jejich slitin mají vždy četné vady. Podle rozsahu nepravidelnosti v mřížce rozlišujeme:

- **bodové poruchy** (vakance, interstice, substituční prvky),
- **čárové poruchy** (hranové a šroubové dislokace),
- **plošné vady** (vrstevná chyba, hranice zrn),
- **prostorové vady** (dutiny, póry, cizorodé částice).

1.4.2.1 Bodové vady

Bodové poruchy patří mezi nejmenší poruchy krystalové mřížky a jejich velikost odpovídá zjednodušeně velikosti atomu v krystalové mřížce. Nejdůležitějšími bodovými poruchami jsou tzv. vakance, interstice, substituce.

Vakance představuje neobsazený uzlový bod v mřížce. V místě, kde očekáváme vzhledem k periodicitě uspořádání atom, ve skutečnosti žádný atom není. Vakance jsou poruchy velice důležité, protože usnadňují difúzi atomů, tedy pohyb atomu krystalovou mřížkou. Vakance patří mezi poruchy rovnovážné z termodynamického hlediska. To znamená, že materiál (krystal) je v nějakém množství chce obsahovat a při jejich určité koncentraci je z termodynamického hlediska ve stabilním stavu. [5]



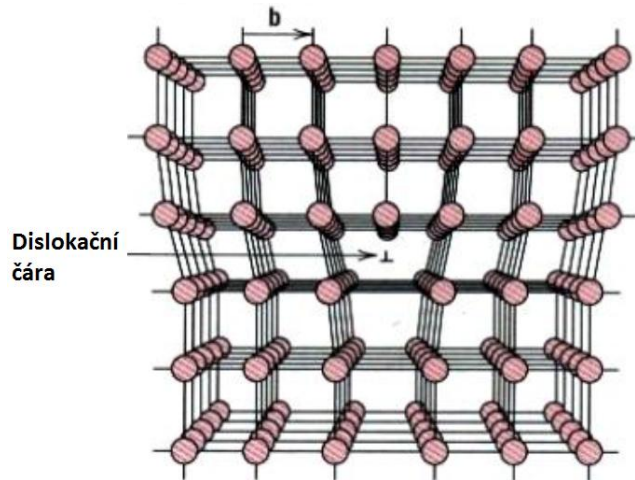
Obr. 10: Vakance

1.4.2.2 Čárové vady

Čárové poruchy představují druhou skupinu poruch krystalové mřížky. Nazývají se dislokacemi. Jedná se o poruchy polohy určité skupiny atomů. Je pro ně charakteristické to, že jejich přítomnost lze vztáhnout k určité myšlené čáře v krystalu a odtud mají označení čárové poruchy. Základními typy dislokací jsou hranová a šroubová dislokace, přičemž každá z nich je v zásadě odlišná.

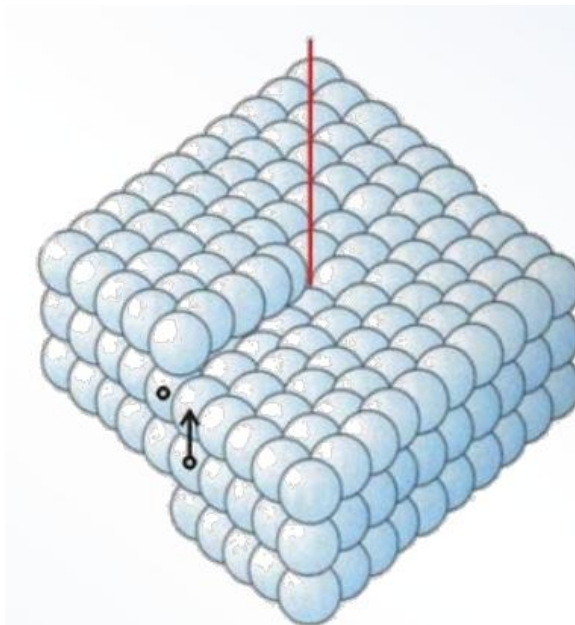
Dislokace jsou z termodynamického hlediska poruchami nerovnovážnými, to znamená, že jejich přítomnost vždycky snižuje stabilitu systému a zvyšuje úroveň jeho energie. Přesto jsou dislokace ve velkém množství v krystalických materiálech přítomny. Dislokacím vděčíme např. za dobrou plasticitu - tvárnost většiny kovových materiálů. Dislokace se mohou v krystalech pohybovat. To se děje hlavně pod vlivem napětí při plastické deformaci. Pod vlivem napětí mohou i nové dislokace vznikat.

Hranová dislokace je čárová porucha, která představuje atomovou polorovinu navíc v krystalu.



Obr. 11: Hranová dislokace

Šroubová dislokace je jiný typ čárové poruchy než hranová dislokace. Není spojena s přítomností atomové poloroviny navíc v krystalu. Znamená takovou poruchu polohy atomů, kdy atomy, které jsou v okolí určité přímky – dislokační čáry, jsou uspořádány ve šroubovici.



Obr. 12: Šroubová dislokace

2 FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY PLASTICKÉ DEFORMACE

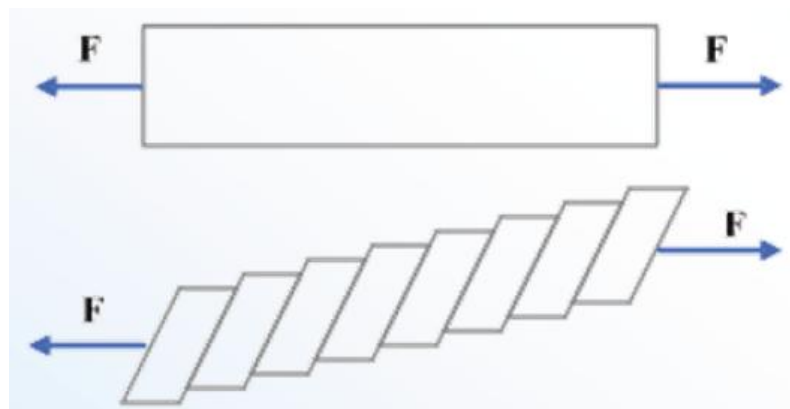
Působením vnější síly na kov dochází k jeho deformaci, a to v první fázi k vratné pružné deformaci a ve druhé fázi k nevratné plastické deformaci. K pružné deformaci může docházet jak účinkem normálových tak i smykových napětí. Plastickou deformaci nemůže způsobit normálové napětí. Při ní dochází k trvalému posunu atomů z jejich rovnovážných poloh. Trvalý posuv nastává po překročení tzv. kritického smykového napětí.

Podle současných představ existují tři základní druhy plastické deformace:

- skluzem,
- dvojčatěním,
- difúzí,
- přemístěním jednotlivých bloků zrn.

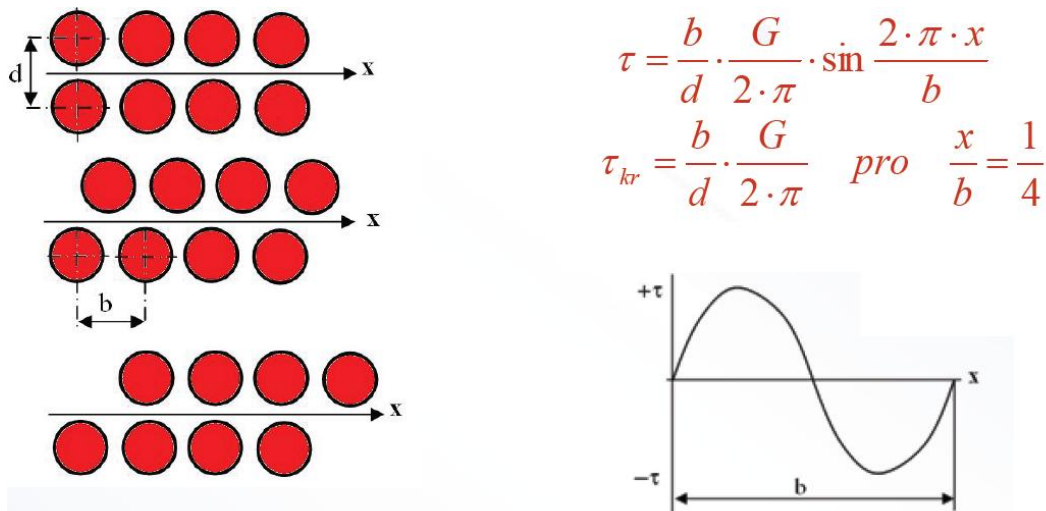
2.1 Skluz

Skluz je základním mechanismem plastické deformace. Lze si jej představit tak, jako by se vrstvy krystalů navzájem vůči sobě posouvaly jako tuhé celky. Tento posuv probíhá podél některých význačných krystalografických rovin a v určitých krystalografických směrech (skluzové pásy). Tloušťka nedeformovaných vrstev (lamel) je řádově 10^{-3} až 10^{-4} cm. Velikost posunu je celistvým násobkem nejmenší mřížkové vzdálenosti, pravidelná mřížka zůstává zachována.



Obr. 13: Princip skuzu

Deformace v krystalických látkách probíhá skluzem. V počátcích výzkumů se vycházelo z představy že skluz vzniká najednou v celém průřezu krystalu.



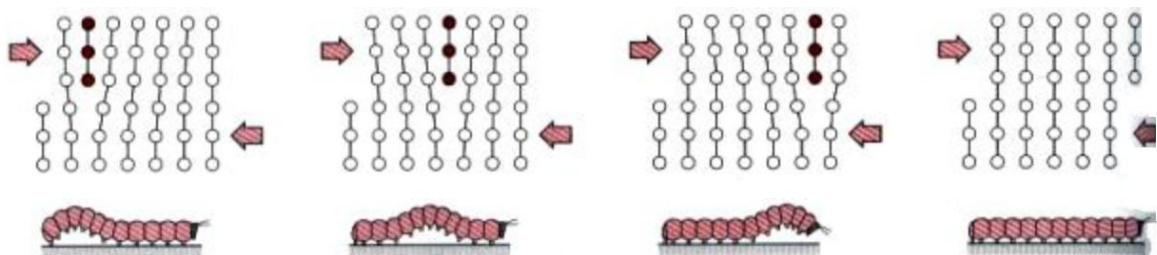
Kde G je modul pružnosti ve smyku.

Hodnota smykového napětí vypočtena podle uvedené rovnice je o několik řádů vyšší než hodnoty získané experimentálně. Například pro stříbro je teoretická hodnota 7 500x vyšší než skutečná hodnota. Tak velký rozdíl mezi hodnotami skutečnými a teoretickým přinutil zavrhnout klasickou metodu.

Příčiny, které oslabují proces kluzu byly tedy dány do souvislosti s poruchami mřížky - *dislokacemi*.

2.1.1 Pohyb dislokací při plastické deformaci

Plastická deformace se tedy odehrává pomocí pohybů dislokací, tak není nutno překonávat vazebné síly mezi atomy na celé skluzové rovině, ale vždy pouze v jedné řadě. Princip pohybu hranové dislokace lze ukázat na posunutí koberce po podlaze, můžeme jej uchopit a celý jej přetáhnout (vysoké třecí síly), nebo na něm vytvořit smyčku a posunout vždy jenom ji. Podobným příkladem je pohyb housenky v obrázku.



Obr. 14: Pohyb dislokací při plastické deformaci

Skluz se řídí těmito zákony:

- směr skluzu je totožný se směrem nejhustěji obsazenými atomy,
- rovina skluzu je zpravidla rovinou s nejhustěji obsazenými atomy,
- skluzový systém je určen rovinou skluzu a směrem skluzu, ležícím v dané krystalografické rovině.

2.1.2 Hlavní překážky pohybu dislokací při tváření ocelí

Hustota dislokací je definována jako celková délka dislokační čáry na jednotku objemu nebo jako počet dislokací, které protnou jednotku příčného průřezu. U obou případech je jednotkou ρ (počet dislokací na cm^2). Během plastické deformace se zvyšuje hustota dislokací.

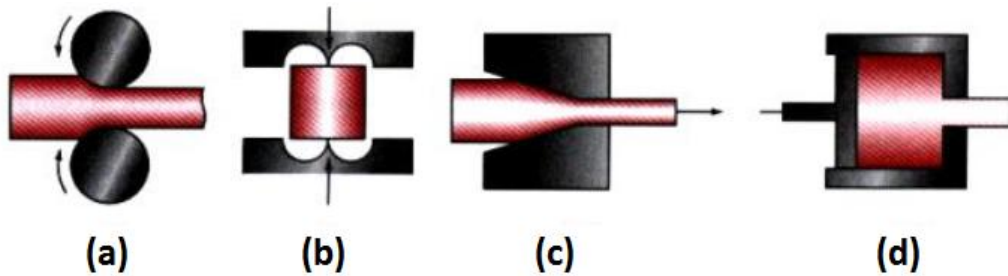
V počáteční fázi plastické deformace nejprve probíhá tzv. jednoduchý skluz, kdy jsou v činnosti pouze dislokace v primárních kluzných systémech a nedochází k jejich vzájemné interakci. Počet dislokací v materiálu není konstantní, při deformaci materiálu mohou dislokace a vakance vznikat (např. Frank–Readův zdroj dislokací) nebo zanikat (anihilací). Při pohybu materiálem se mohou dislokace zachytit na dalších poruchách (precipitáty, trhlinky, ...) - vzniknou tak nepohyblivé (zakotvené) dislokace.

S rostoucím počtem dislokací klesá volná dráha jejich pohybu - dislokace na sebe narážejí a reagují spolu, také dochází ke značnému nakupení dislokací na hranicích zrna. K jejich dalšímu pohybu je třeba vyšší smykové napětí. V činnost se uvádějí další skluzové systémy. Tato fáze se nazývá složitý skluz a dochází k ní ke značnému zpevnování vlivem zvýšení hustoty dislokací a jejich vzájemné interakci, vznikající dislokace si vzájemně začnou překážet.

Závěrem lze shrnout základní myšlenku. Protože plastická deformace vzniká v důsledku pohybu dislokací, je základní strategií všech technologických postupů, jejichž výsledkem má být materiál daných vlastností, ovlivňování pohybu dislokací. Chceme-li vyrobit materiál velmi tvrdý (ale bohužel křehký), musíme pohyb dislokací co nejvíce omezit. Naopak v kujném (tažném) materiálu se dislokace mohou pohybovat. Je však ještě další cesta – vyrobit a používat tzv. bezdislokační materiál, který má velkou, tzv. ideální pevnost. Výroba takových materiálů je sice možná, je však velmi drahá a takové materiály nemusí být dostatečně stabilní (trhlinky na povrchu krystalu mohou být zdrojem dislokací).

2.1.3 Deformační zpevnění

Významnou překážkou v pohybu dislokací jsou dislokace v jiných skluzových rovinách, tzv. „dislokace lesa“. Deformační zpevnění je v praxi užíváno již odedávna. Například kování ostří kopy dosáhneme nejen jeho ztenčení (což bychom mohli provést snadněji broušením), ale zejména zpevnění ostří (které bude ale křehčí). Přitom zbytek kopy nebude křehký (což by bylo nevhodné, neboť by se lámala). Deformačního zpevnění používali kováři a platněři dávno věku i novověku a je využíván i v současnosti s tím rozdílem, že kovové součástky nejsou kovány ručně, ale pomocí bucharů a lisů. [5]



a.) válcování, b.) kování, c.) tažení, d.) protlačování

Obr. 15: Různé způsoby tváření kovů

3 MECHANICKÉ ZÁKLADY PLASTICKÉ DEFORMACE

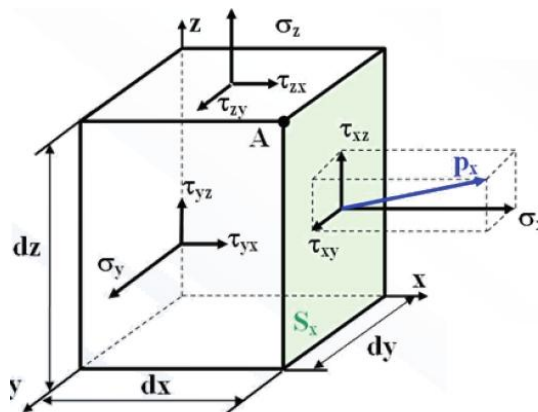
Účinkem vnějších sil vznikají ve tvářeném tělese napětí, která po dosažení mezní velikosti (v nejprostším případě meze kluzu) vyvolávají plastickou deformaci. Velikost takto vybuzených napětí není neomezená: nemá-li dojít k porušení soudržnosti tělesa, nesmí napětí překročit kohezní pevnost. Z toho vyplývá nezbytnost důkladného rozboru každého tvářecího pochodu, každé operace jak z hlediska výskytu hlavních napětí, která působí na každé těleso, tak z hlediska hlavních deformací, jež vyjadřují hlavní rozměrové změny tvářeného tělesa.

Ve svém souhrnu představují hlavních napětí a hlavní deformace tzv. mechanické schéma deformace. Každá plastická deformace probíhá nejen v prostoru, ale i v určitém čase, což nejvýstižněji vyjadřuje veličina deformační rychlost.

3.1 Napětí

Napětí označujeme v pravoúhlém souřadnicovém systému. Napětí působící ve sledovaném bodě kolmo na sledovanou plochu nazýváme *normálovým napětím* a označujeme σ . Napětí působící ve sledovaném bodě ve směru sledované plochy nazýváme smykovým (tangenciálním) napětím a označujeme τ (tau). V pravoúhlém souřadnicovém systému s osami x, y, z je obecný stav napjatosti na elementární krychli popsán třemi normálovými složkami a šesti smykovými složkami. Z momentové rovnováhy sil plyne že:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}; \quad \tau_{xz} = \tau_{zx}; \quad \tau_{zy} = \tau_{yz}$$



Obr. 16: Napětí v pravoúhlém systému

Z obrázku je patrné, že normáloví napětí je kladné a označujeme jej + jestliže je tahové a záporné -, je-li tlakové.

4 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ

Jedním ze základních způsobů zpracování kovu je jejich tváření. Podstata tváření byla objevena již dávno před nástupem technického věku, a to v době bronzové. [1]

Tvářením kovových materiálů a jejich slitin rozumíme technologický (výrobní) proces, při kterém získávají kovové předměty (výrobky, polotovary) nejen svůj tvar, ale i očekávané vlastnosti. Těchto změn se dosahuje v důsledku působení vnějších sil, a to bez porušení soudržnosti materiálu (bez odběru třísek). Podstatou tváření je vznik trvalých plastických deformací, ke kterým dojde v okamžiku dosažení napětí na mezi kluzu pro daný materiál. Tento děj je provázen fyzikálními změnami a změnami struktury materiálu, což

ovlivňuje mechanické vlastnosti materiálu. [1], [4], [7]

Technický rozvoj, volba a využívání jednotlivých technologií jsou závislé na ekonomické stránce výroby. S postupným technickým rozvojem se uplatňují stále novější technologie, jejichž vývoj se přizpůsobuje ekonomickým požadavkům výroby, které vyžadují co nejracionalnější dosažení požadovaného tvaru a vlastností tvářeného výrobku. Tvářecí technologie dosahují vysokou produktivitu při relativně nízkých kusových nákladech, velké úspory materiálu a malé spotřeby energie při vysoké jakosti výrobku. [1], [4]

Výhodami tváření jsou tedy vysoká produktivita práce, vysoké využití materiálu a velmi dobrá rozměrová přesnost tvářených výrobků. Produktivita tvářecích technologií několikanásobně předčí běžné strojírenské technologie obrábění v moderní automatizované výrobě za současného splnění nejnáročnějších technických kritérií na geometrii tvaru, na přesnost a na požadavky na mechanické vlastnosti. Nevýhodou je vysoká cena strojů a nástrojů a omezení tvaru konečného výrobku. [1], [7]

Technologie tváření splňuje požadavky na velmi přesné součásti strojů, přístrojů v letecké, automobilní a ostatní dopravní technice, ve vojenské technice, v energetice a také ve sportovní technice. [1]

Jedním ze základních způsobů dělení tvářecích technologií je dělení na tváření objemové a plošné. Zatímco u plošného tváření se tváří převážně plechy za studena (například ohýbání, stříhání, tažení), u objemového tváření se tváří objemová tělesa buď za studena, nebo za tepla. Do této kategorie patří například pýchování, protlačování, válcování nebo zápusťkové kování viz obrázek č. 12. [7]

Kování je jednou z technologií objemového tváření za tepla a má bohatou historii. Ruční kování pomocí kladiva a kovádky zná lidstvo již několik tisíc let. [7]

4.1 Kovací stroje

4.1.1 Rychlost deformace

Při tváření se pohybuje nástroj určitou rychlostí, která je závislá na druhu použitého stroje. Rychlost deformace je rychlost, kterou se k sobě blíží dva průřezy tvářeného kovu vzdálené od sebe o určitou délku. Je tedy závislá nejen na rychlosti nástroje, ale také na stlačované výšce [3].

4.1.2 Buchary pro zápustkové kování

Kování na bucharech patří mezi méně rozšířený způsob zápustkového kování. Je uplatňováno většinou při výrobě v malých a středních sériích, a to při tvarově značně různorodých, výškově velmi členitých, jakož i nesouměrných a vidlicových výkovků se štíhlými žebry a vysokými výstupky, převážně v otevřených dutinách. Kove se na bucharech odlišného konstrukčního provedení.

Parovzdušné buchary dvojčinné o hmotnosti beranu 500 až 25 000kg, s nožním ovládním, poloautomatickým či programovým řízením, s úderovou četností 100 min⁻¹ jsou zvláště výhodné pro postupové kování [1].

Padací buchary (parovzdušné jednočinné, prknové, řemenové), vyvíjejí rázovou energii pouze volným pádem ($m_b = 100$ až 2 500kg, $n_u \leq 70$ min⁻¹), což vesměs omezuje jejich uplatnění na tvarově jednoduchých výkovků v jediné dokončovací dutině. Dokonalejším typem jsou buchary řetězové ($n_u \leq 100$ min⁻¹), které svým programovým řízením jsou vhodné i pro postupové kování.

Protiběžné buchary s rázovou prací 50 až 450 kJ (výjimečně až 1 000 kJ) jsou určeny pro jednodutinové kování nejtěžších zápustkových výkovků. S přihlédnutím k nízké úderové četnosti ($n_u < 50$ min⁻¹) se vyznačují nižší výrobností [1].

Tok kovu při kování je ovlivněn vysokou rychlostí dopadu beranu (až 9 m • s⁻¹) 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 [1].

4.1.3 Lisy pro zápustkové kování

4.1.3.1 Svislé kovací lisy

Svislé kovací lisy se stavějí se jmenovitou silou 6,3 až 100 MN a přes svou nízkou pracovní rychlost 0,5 až 0,8 m.s⁻¹, což je 10krát menší než u bucharu, můžou dosáhnout až 90 zdvihů za minutu.

Okuje opadávají z kovaného polotovaru hůře než při kování na bucharu, což může vést k jejich zakování do povrchu a tím zhoršení struktury povrchu výkovku. Jako nejspolehlivější zábrana je bezokujový, především indukční ohřev, kterým se vytvářejí příznivé podmínky pro mechanizaci a automatizaci kovacího pochodu.

Tok kovu do horního dílu zápustky je méně intenzivní než na bucharu. Příčinou je mnohem menší doba styku horního dílu zápustky s tvářecím kovem. Na bucharu je doba styku 0,0007 až 0,001s a 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 [1].

S přihlédnutím k stálému zdvihu smýkadla nelze uplatnit některé přípravné operace, prodlužování a rozdělování, což se řeší zhotovením předkovku na jiném tvářecím stroji jako například buchar nebo kovací válce, nebo použitím periodicky válcovaného polotovaru.

Snadné zaplňování zápustkových dutin ve směru rázu rozšiřuje technologické možnosti o operaci protlačování, která se vyznačuje velmi příznivým stavem napjatosti, pomocí které se zvyšuje tvářitelnost kovu. Vysoký deformační odpor však zvyšuje opotřebení nástrojů [1].

4.1.3.2 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 plyne, že jsou vřetenové lisy představitelem univerzálního tvářecího stroje a jeho použití bude zejména v malosériové výrobě s rozmanitým výrobním programem. V takové výrobě tyto lisy nahrazují spoustu jiných jednoúčelových tvářecích strojů.

Vyrábí se se jmenovitou silou až 25 MN v klasickém provedení nebo až 63 MN v provedení hydraulickém. Svou nízkou pracovní rychlostí od 0,5 až do 0,9 m.s⁻¹ se podobají svislým kovacím lisům, ale tím jak se kinetická energie setrvačníku úplně vyčerpá při každém úderu a také kinematickou nezávislostí smýkadla na pohonném mechanismu se podobají bucharům [1].

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

Je doporučeno kovat v jednodutinové zápustce jediným úderem. Zcela výjimečně se zápustka opatřuje nejvýše jednou přípravnou dutinou, ve které dochází k nenáročnému přemísťování kovu. Sem patří dutina pýchovací, ohýbací, tvarovací nebo zužovací. V žádném případě ovšem nelze na vřetenových lisech zařadit operace prodlužování nebo rozdělování. Tyto operace se mohou dělat na jiném tvářecím stroji [1].

4.1.3.3 *Hydraulické kovací lisy*

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

4.1.3.4 *Vodorovné kovací lisy*

Způsob kování na vodorovném kovacím stroji je v podstatě stejný jako ležatý klikový kovací lis, který má kromě hlavního smýkadla s lisovníkem ještě dvě svěrací čelisti. Tyto čelisti mohou sloužit částečně ke tváření, ale jejich primární úkol je zabezpečit sevření výchozího polotovaru, a poté se kove jeho volná část. Svěrací čelisti mohou mít vodorovnou nebo svislou dělicí rovinu, přičemž se dává přednost vodorovnému dělení, které 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 [1].

4.2 Ohřev materiálu

Ohřevu materiálu se využívá pro součásti všech velikostí. Je výhodné například pro součásti rozměrově velké, pro které neexistují tvářecí stroje o dostatečné síle. Využívá se ale také pro tvarově složité součásti nebo pro těžko tvářitelné slitiny, jako například slitiny titanu a niklu. Výhodou ohřevu je snížení přetvárného odporu (až na desetinu) a dosažení většího stupně deformace. Mezi nevýhody patří vznik okují, vysoké náklady na ohřev, ob-

tíznější manipulace s polotovary a výkovky, vyšší nároky na mechanizaci, ale také potřeba speciálních nástrojových materiálů a další. [4], [6]

Ohřevu se dosahuje pomocí různých druhů pecí, kdy mezi nejčastěji používanými patří plynové, elektrické obloukové nebo indukční. Indukční pece bývají nejpreferovanější z důvodu rychlého ohřevu a nejmenší tvorby okují (kolem 1%). Indukčního ohřevu se využívá pro ocelové kruhové nebo profilové přířezy kratších délek, nebo pro ohřev konců nebo středu tyčového materiálu. Ohřívají se jím především stejné kusy při hromadné výrobě. Indukční pece bývají speciálně zkonstruované ohřívací stroje s různým kmitočtem pro různé průměry ohřívaného polotovaru. Obecně platí zásada, že čím vyšší kmitočet, tím menší průměr. Různé kmitočty se volí z důvodu rovnoměrnosti ohřevu a z hospodářských důvodů. [4], [5], [6]

Tvářecí teploty bývají u ocelí, niklu, mědi a jejich slitin obvykle vyšší než 900°C, nejčastěji kolem 1200°C. U mosazi jsou tvářecí teploty nižší. Hliník a jeho slitiny jsou tvářeny za teplot nižších než 600°C a nejnižší kovací teploty mají slitiny olova, cínu a zinku.

4.2.1 Opal

Opal doprovází ohřívání materiálu. Dochází k němu v povrchových vrstvách ohřívaného tělesa v pecní atmosféře, která obsahuje volný kyslík, CO₂ a vodní páru. Oxidaci urychluje neustálé opadávání okují z povrchu ohřívaného tělesa. Toto opadávání je následkem rozdílné teplotní roztažnosti okují a základního kovu. Okuje obsahují 71 až 76 % železa a mají hustotu 3900 až 4000 kg.m⁻³ [1].

Nepříznivé důsledky opalu:

1. ztráta kovu 1 až 3 % na jeden ohřev
2. snížení životnosti pecní nístěje následkem nalepování okují nebo vznikem strusky,
3. nezbytnost zařazení zokujení před tvářením,
4. snížení životnosti tvářecích nástrojů,
5. možnost zatlačení okují do povrchu tvářeného polotovaru,
6. nezbytnost čištění povrchu tvářených výrobků před dalším tvářením zastudena nebo obráběním [1].

Vznik okují závisí na těchto činitelích:

1. Ohřívací teplota

Tento vliv je nejvýraznější. Okuje se začínají tvořit při teplotě 600 až 700°C. Ze začátku se tvoří téměř neznatelně, ale když teplota dosáhne 1000°C, začnou se okuje tvořit velmi intenzivně. Například při teplotě 1300°C je rychlost oxidace až sedmkrát vyšší než při teplotě 900°C. Nad teplotou 1320°C dochází k natavování okují na ohřívané těleso.

2. Doba ohřevu

Projevuje se parabolickou závislostí, takže s časem se přírůstek okují zmenšuje.

3. Pecní atmosféra

Nejčastější pecní atmosféra bývá oxidační, kde se vyskytují plyny jako jsou O₂, CO₂, H₂O, SO₂. Dále může být redukční atmosféra s plyny H₂, CH₄ a C₂H₂, nebo neutrální s plynem N₂. Z oxidační atmosféry vznikají okuje o tlustší vrstvě, které se snadno odlupují od základního kovu. Oproti tomu v redukční a neutrální atmosféře se tvoří mnohem tenčí vrstva okují, která ulpívá na základním kovu a odokoujení je mnohem obtížnější.

4. Chemické složení

U nelegovaných ocelí se stoupajícím obsahem uhlíku do 0,3% zokoujení vzrůstá, naproti tomu při vyšším obsahu uhlíku se snižuje. Je to důsledkem vznikajícího CO, který má omezující vliv na tvorbu okují.

5. Povrchovost ohřívání tělesa

Povrchovost znamená poměr povrchu tělesa k jeho objemu. Větší povrchovost tedy znamená menší zokoujení následkem zkrácení doby ohřevu.

6. Způsob manipulace

Manipulace s tělesy v peci narušuje vrstvu okují, a tím urychluje oxidaci na obnaženém povrchu a zvyšuje tvorbu okují [1].

4.3 Kování

Kování je jednou z technologií objemového tváření zatepla (případně za studena nebo polo-ohřevu), které se provádí buď úderem nebo klidně působící silou. Jedná se o přetržitý způsob tváření kovových materiálu a jejich slitin. Kováním dosahujeme jak tvaru výrobku a jeho požadovaného rozměru, tak i zlepšení jeho mechanických vlastností. Výrobek má příznivý tvar, výhodnou mikrostrukturu a lepší mechanické vlastnosti. Strojní kování zproduktivňuje výrobu malých a středně velkých výkovku a umožňuje zpracování těžkých odlitku (ingotu), u kterých odstraňuje nestejnou lící strukturu a metalurgické vady, které snižují tvárnost, a zhoršují mechanické vlastnosti kovu. [7]

Rozměrovou, tvarovou a hmotnostní přesnost výkovku ovlivňuje několik činitelů. Na rozměrovou přesnost má vliv způsob kování (otevřená, uzavřená zápustka) a objemová přesnost polotovaru (s a bez přebytku kovu). Na tvarovou přesnost (úkosy, rádiusy, atd.) má vliv konstrukce zápustky a způsob vyhození ze zápustky (s a bez vyhazovače). Mezi další činitele, ovlivňující přesnost výkovku patří vliv kovacího stroje (bucharu, klikového lisu), přesnosti tvaru, hmotnosti výkovku, přesnosti výšky a další. Nejméně přesné kování se dosahuje na bucharech v otevřené zápustce bez zámku a bez vyhazovače. Naopak nejpresnějšího a nejehospodárnějšího kování se dosahuje na klikových a hydraulických lisech v uzavřené zápustce při přesném vystředění výchozího polotovaru. Hlavní důraz při kování se klade na nejmenší spotřebu materiálu, optimální přídavky pro následné obrobení, přesnost výkovku, vysokou jakost tvářeného kovu, příznivý průběh vláken a na ekonomii provozu. Nejnižších nákladu na výrobu výkovku se dosahuje při bezvýronkovém kování z důvodu nejnižší spotřeby a také proto, že není potřeba dalších velkých úprav. [7]

Kováním lze zpracovat téměř všechny kovy (jak oceli, tak i nezelezné kovy). Mezi výkovky z oceli se řadí volné výkovky pro všeobecné použití, zápustkové výkovky, kované za tepla, nebo za studena, válcované kruhy, kované tyče, kované zápustkové bloky, a další. Do výkovku z nezelezných kovu se zase řadí volné výkovky ze slitin hliníku, mědi a zápustkové výkovky z hliníku, mědi, z mosazi, z titanu, z niklu a z jejich slitin. [7]

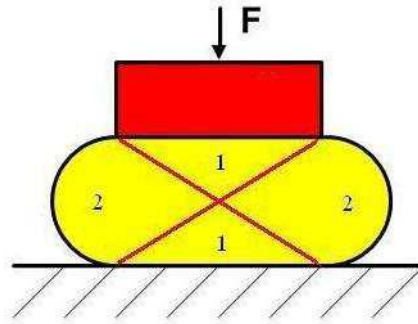
Výhodami kování jsou časové a materiálové úspory oproti obrábění, příznivá orientace vláken a zpevnění materiálu. Dále je při kování možnost práce s ohřevem (dají se tak zpracovat i těžko tvářitelné materiály). Ohnisko deformace je v malé oblasti tvářeného dílce, a tudíž je třeba malé tvářecí síly. [7]

Kování lze rozdělit na kování volné, kování zápustkové do otevřených a uzavřených zápustek, rozválcování, smykové tlačení, protlačování za tepla a další speciální meto-

dy kování. Základní dělení strojního kování je dělení na kování volné a zápustkové. Při volném kování se materiál tváří údery, nebo se tlakem kove na kovadlině nebo na univerzálních kovacích podložkách. Při zápustkovém kování se materiál údery nebo tlakem vtlačuje do tvarových kovových dutin zápustek, které bývají převážně dvoudílné a jejich dutina má tvar budoucího výkovku. [3], [4]

4.3.1 Volné kování

Volné kování je tvářecí proces, při kterém jde zejména o získání jakostních výkovku s nesrovnatelně lepšími vlastnostmi než u odlitku. Touto technologií se dají vyrobit výkovky velkých hmotností (350 tun), což je jinými technologiemi nemožné nebo neúčelné. Používá se zejména pro úpravu výchozího polotovaru a výkovky omezených tvarových složitostí. K výrobnímu procesu pomocí volného kování se používá jednoduchých kovářských strojů, nástrojů a přípravků. Požadovaného tvaru výkovku se docílí použitím univerzálních kovadel při speciálním polohování výkovku. Z důvodu vzniku tření mezi tvářecími částmi nástroje a materiálem vzniká soudečkovitost výkovku nebo vyboulení u delších součástí. Mezi hlavní vady volně kovaných výkovku patří odchylky rozměru příčného průřezu, vydutost příčného průřezu, vypuklost příčného průřezu, klínovitost, odchylky délky a další. Tento jev je doprovázen rozdílným stupněm prokování v jednotlivých oblastech výkovku. K zamezení tohoto jevu se musí výkovek v průběhu kování otáčet. Tomuto otáčení se říká kovářský kříž. Výkovky jsou nepřesné, obsahují velké úchylny rozměrů a jejich povrch je nerovný a hrubý. Výchozím materiálem jsou předvalky (válcovaný materiál) nebo ingoty. Výkovky vyráběné volným kováním se vždy navrhnou jednoduššího tvaru, než je tvar konečného výkovku. Kromě přídatku na obrábění v náležitých tolerancích je nutné přidat také vhodné technologické přídatky (tvarová zjednodušení). Mezi základní technologie (principy) volného kování patří pýchování, prodlužování, osazování, ohýbání, sekání, děrování a další. [2], [3], [4]



- Kovářský kříž - oblast maximální deformace
- 1 - Oblast přilnutí
- 2 - Oblast hluchých deformací
- Pěchovaný váleček

Obr. 17: Kovářský kříž

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. [3]



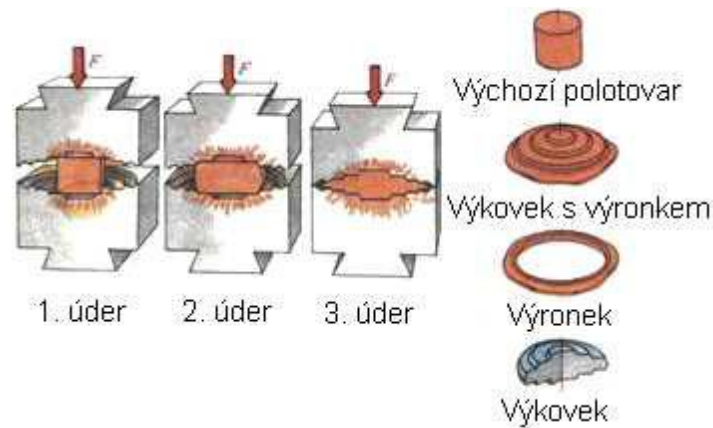
Obr. 18: Tvary kovádel pro volné kování

4.3.2 Zápustkové kování

Oproti volnému kování je u zápustkového kování menší stupeň volnosti při toku materiálu a dosahuje se přesnějšího tvaru výkovku. Materiál, který bývá ve většině případů ohřátý na kovací teplotu se tváří v dutině zápustky, která bývá jednoúčelová, nejméně dvoudílná a má tvar budoucího výkovku. Rozměry dutiny musí být zvětšeny o hodnotu smrštění vychladlého výkovku.[2], [3]

Zápustkové kování má malý počet operací a velmi krátký pracovní čas. Mnohem delší jsou však nepracovní časy (manipulační), které se zkracují mechanizací, automatizací nebo robotizací. Do pracovních operací se řadí ohřev, kování a úprava výkovku. Výchozí polotovar (válcová tyč kruhového, nebo čtvercového průřezu) se nejdříve dělí, ohřeje se na potřebnou kovací teplotu, vloží se do dutiny zápustky a poté se na něj působí tlakem nebo údery tvářecího stroje. Zápustkovým kováním se dosahuje vysokého stupně prokování a průběh vláken sleduje obrys výkovku. Po kování následuje ostřížení výronku s možností děrování, případné ohýbání, tepelné zpracování a úprava (obrábění). Přesnost a jakost povrchu se dá výrazně zlepšit následným kalibrováním tak, že se nemusí již dále používat obrábění. Nedostatkem zápustkového kování jsou omezené rozměry a hmotnosti výkovku. [2], [3]

Zápustkové kování slouží k výrobě velkého počtu tvarově stejných součástí z ocelí nebo jiných tvárných slitin, a to za vysoké výkonnosti a snadné obsluhy. Jedná se zejména o specializovaná pracoviště, zaměřená na jednu skupinu výrobku. Použití zápustkového kování je v dopravních prostředcích, kolejových vozidlech, letadlech, zemědělských strojích, obráběcích a textilních strojích, lékařských nástrojích, prostě všude tam, kde je potřeba velkého množství tvarově stejných součástí s vysokou rozměrovou přesností. Příkladem zápustkového kování mohou být například zalomené hřídele, ojnice, šrouby, ložiskové kroužky, ozubená kola, řetězy, atd. [2], [3]



Obr. 19: Postup kování na bucharu

4.3.3 Mazání ve tváření

Mazivo je velmi důležitým doplňkem v technologii tváření. Některé tvářecí procesy by bez vhodného maziva nebyly uskutečnitelné. Mazivo, díky svému složení a správnému použití, také prodlužuje životnost tvářecích nástrojů, zlepšuje povrchové vlastnosti tvářených materiálů a ovlivňuje velikost tvářecí práce [2].

Aby mazivo splňovalo tyto úlohy, jsou na něho kladeny následující požadavky vlastností. Následující výčet vlastností platí obecně, ale při samotném použití v jednotlivých procesech má každá z vlastností větší či menší význam. A některé z nich musí být pro daný tvářecí proces optimální [2].

Vhodné mazivo má mít tyto vlastnosti:

- schopnost vytvářet únosné mazací filmy s optimálním koeficientem tření,
- být nekorozivní,
- nevyvolávat barevné změny na povrchu kovů,
- nevytvářet lepkavé povrchy,
- být po použití snadno odstranitelné z povrchu kovu,
- fyziologicky nezávadné,
- ekologické,
- tepelně stálé, aby v rozsahu teplot vznikajících při tváření neztrácelo
- potřebné vlastnosti,
- kapalná maziva musí mít dobrou smáčivost kovových povrchů a
- schopnost odvádět teplo. [2]

V technologii tváření používáme různé druhy maziv z důvodu rozdílných požadavků na jejich vlastnosti pro různé tvářecí operace. Z toho důvodu se používají maziva kapalná, plastická a tuhá.

Kapalná maziva mohou být ropné, syntetické, živočišné a rostlinné oleje, buď s přísadami, nebo bez přísad. Maziva máme s přídavkem tuhých maziv, ale i emulze, hlavně typu “olej ve vodě“ a vodné roztoky draselných a sodných mýdel. Jako plastická maziva přicházejí v úvahu měkká, tažná maziva v případech, kdy se požaduje velká mazací schopnost. Tuhá maziva se používají v případě, kdy je žádoucí velmi únosný mazací film, a nejsou kladeny zvláštní nároky na odvod tepla.

Volba správného maziva pro určitý tvářecí proces je závislá hlavně na jeho složení a svými vlastnosti musí být přizpůsobeno úkolům, které má mazivo splnit. Dále musí odolávat vlivům, kterým je v pracovních podmínkách vystaveno. Z toho důvodu se maziva rozdělují podle toho, v jakých jednotlivých tvářecích procesech se používají [2].

4.4 Vady na výkovku

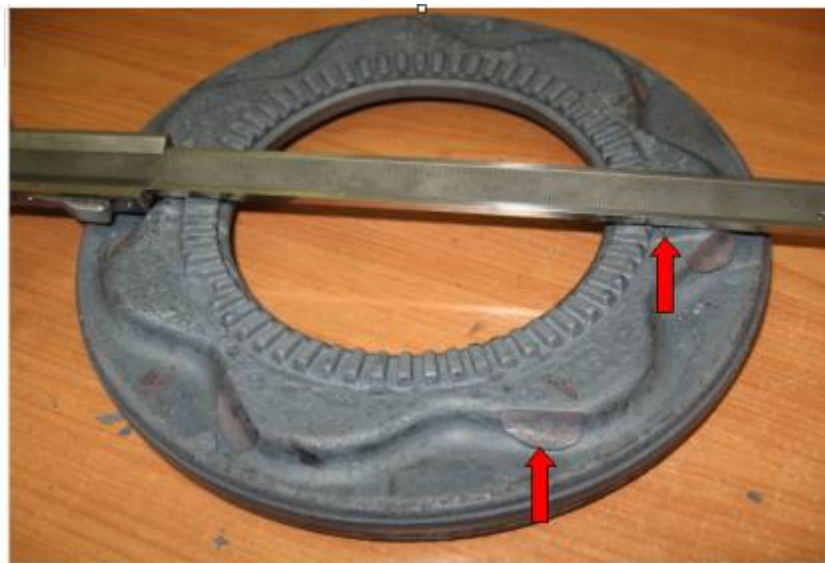
S kovááním vzniká spousta vad, které jsou popsány v následujících podkapitolách. Vznik vad na výkovku bývá nejčastěji spojen s nekázní obsluhy lisu a opotřebením nástrojů. Proto je každý nástroj kalkulován na určitou životnost, kterou by měl splnit. Po uplynutí a odkování kalkulované životnosti je nářadí renovováno, nebo šrotováno. Používání opotřebených nástrojů může mít za následek vznik vad, jejichž odstranění je ekonomicky velmi nákladné v lepší variantě. V horší pak vznik zmetků, které jsou neprodejně.

Odhalení vady na výkovku by mělo mít ve výrobě za následek okamžitou nápravu, nebo zastavení práce. Přivolání kompetentních osob a sjednání okamžitých kroků směřujících k nápravě. Například výměna opotřebeného nástroje, zaškolení obsluhy, případné zastavení práce a vypsání změnového listu.

Při vypsání změnového listu se vadě začíná zabývat celá firma, je nutné získat vyjádření všech oddělení ve společnosti a při kladném stanovisku se problémem zabývá TPV.

4.4.1 Deformace výkovku

Deformace výkovku vniká nejčastěji při ostřihování. Příčinou bývá špatné ustavení do ostřihovacího nebo děrovacího nástroje a ten pak výkovek zdeformuje. Ve většině případů se jedná o zmetek a měl by být ihned v procesu kování zmetkován. Rizikovou skupinou pro deformaci jsou tenké a dlouhé díly. Není příliš velká plocha pro zastředění a riziko chyby se tím zvyšuje. Další příčinou může být nevhodná manipulace v dalších procesech jako tepelné zpracování, tryskání apod. Mezi příčiny můžeme zařadit i opotřebené kovací nářadí. Tuto příčinu by si měla obsluha lisu sledovat a řídit.



Obr. 20: Deformace výkovku

4.4.2 Zatlačená jehla do výkovku

Zatlačená jehla do výkovku vzniká výhradně při ostřihování a děrování. Při vyděrování nebo ostřihování dílu se odlomí jehla, která není obsluhou lisu z prostoru lisu odstraněna a je založen další kus do nářadí. Se zdvihem lisu je jehla nalisována do tvaru výkovku. Tato vada je způsobena jednoznačně nekázní obsluhy lisu.



Obr. 21: Zatlačená jehla do výkovku

4.4.3 Nedotečený tvar

Nedotečený tvar již z názvu vady znamená nevyplnění dokovací dutiny. Nezi rizikové skupiny této vady patří výkovky s hlubokými žebry, tenkými tvary. Jako důvod vzniku vady lze označit nevhodnou technologii kování, špatné ustavení polotovaru do předkovací zápustky, kování studeného polotovaru, opotřeбенé zápustky, husté mazivo, studené zápustky apod. Vada vzniká výhradně v kovacíh operacích na kovacíh lise.

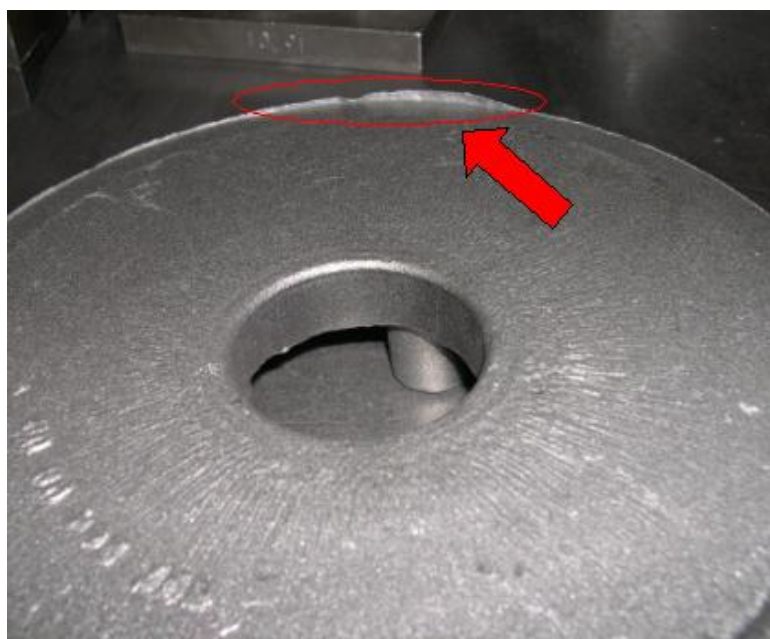


Obr. 22: Nedotečený tvar

4.4.4 Jehla po ostříhu

Vznik této vady může být z několika důvodů, vzniká však výhradně na ostřihovací nebo děrovací operaci. Jedním z důvodů může být špatná konstrukce náradí, tedy malé nebo naopak velké vůle mezi jednotlivými částmi ostřihovacího náradí. Dále pak opotřebení střižnic, děrováků, opotřebení kovacích zápustek.

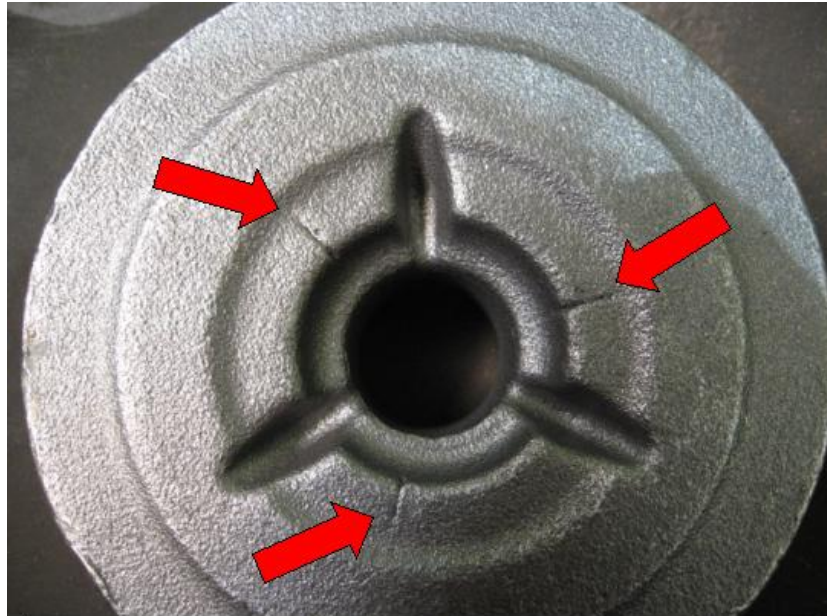
Tato vada je nebezpečná pro obsluhy dalších pracovišť, kdy může dojít ke zranění operátorů. V neposlední řadě jehla překáží dalšímu zpracování, zejména při obrábění kdy se o jehlu tupí obráběcí nástroje, pokud je na dané ploše doraz pro obrábění může jehla také překážet.



Obr. 23: Jehla po ostříhu

4.4.5 Přeložky

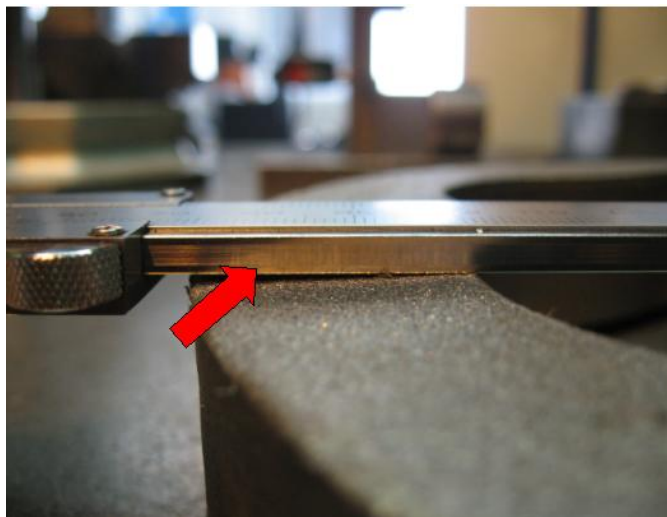
Přeložka na výkovku je typickou vadou pro členité výkovky, kde dochází k velkému a rychlému tečení. Dále pak v místech přechodů rádiusů apod. Přeložky vznikají špatnou konstrukcí náradí, špatným ustavením předkovku do kovací dutiny, špatná výška pěchu, opotřebené zápustky apod. Přeložky vznikají výhradně v operaci kování. Této vadě se lze vyhnout již při návrhu zápustek a technologie tváření, kdy moderní simulační systémy tyto vady odhalí a upozorní na ně.



Obr. 24: Přeložky

4.4.6 Průhyb výkovku

Průhyb výkovku je zřejmý z obrázku. Vniká nevhodnou manipulací, opotřebeným ostříhovacím náradím, opotřebením zápustek. Mezi rizikové díly lze jednoznačně zařadit tenké nebo dlouhé díly.



Obr. 25: Průhyb výkovku

4.4.7 Přesazení

Přesazení je vada, ke které dochází při rozjezdu výroby, nebo po delším časem kování, kdy může dojít k povolání upnutí zápustek. Horní tvar je proti spodnímu pootočen, nebo není v ose kování. Mezi rizikové výkovky lze označit takové, které jsou kovány v

zápustkách bez vedení, nebo kované na kovacíh bucharech. Hlavní příčinou však bývá stav kovacího stroje a vedení beranu.



Obr. 26: Přesazení

4.4.8 Prasklá zápustka

V procesu kování mohou vznikat praskliny zápustek. Tyto praskliny mohou být v tolerancích povrchových vad, ale pokud zápustka zcela praskne, pak vzniká vada popisovaná v této podkapitole. Mezi příčiny lze zařadit nevhodnou technologii, příliš velké přídatky pro dokování. Z pohledu obsluhy lisu lze vyjmenovat příčin také několik. Patří mezi ně kování studených polotovarů, špatné ustavení pěchu do předkovací zápustky, přetahování životnosti zápustek, používání nevhodného mazání apod. Při vzniku praskliny v předkovací zápustce je potřeba zasáhnout, protože materiál vytlačený do praskliny je v kovací operaci zatlačen zpět do tvaru a vznikají tak hluboké vady.



Obr. 27: Prasklá zápustka

4.4.9 Zakujení

Důvody vzniku vady jsou prosté. Nedodržování technologického postupu, tedy neodstraňování okují ze zápustek a pýchovadla. Okuje se zamačkávají do dalších dílů kovaných na lise a vzniká zakujení. Tato vada vzniká výhradně v operaci kování.



Obr. 28: Zakujení

4.5 FEM analýzy

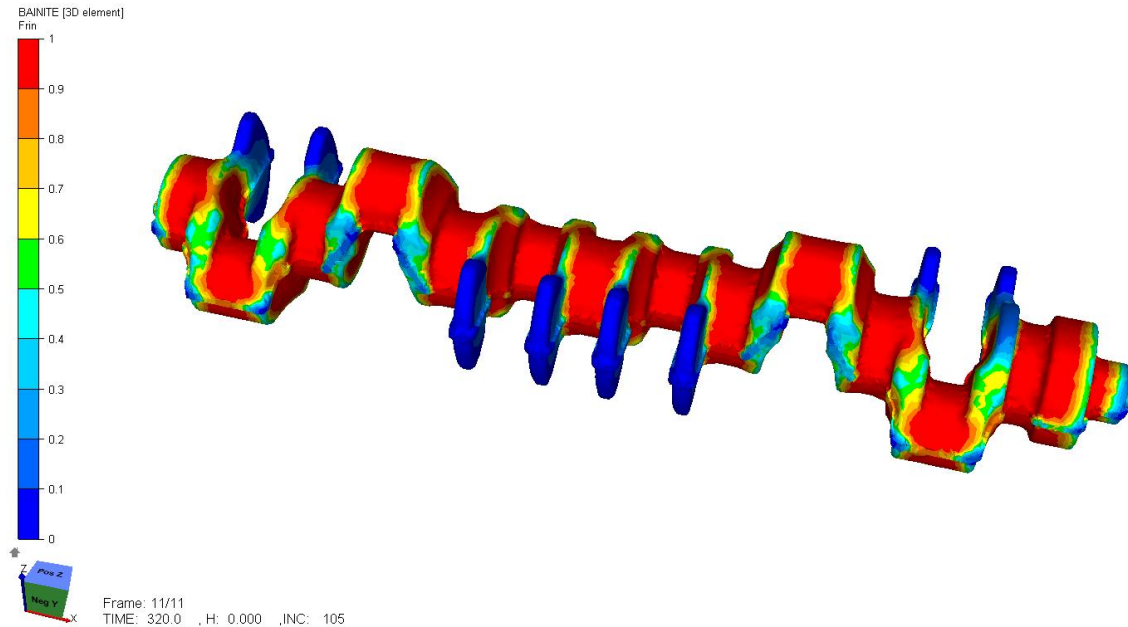
V dnešní moderní době se pro každou technologii výroby najde na trhu software, kde lze daný proces nasimulovat a následně analyzovat. Platí však jedno důležité a bez pochyby pravdivé pravidlo. Totiž že žádný software v dnešní době nedokáže sám vyhodnotit výsledky a udělat závěry. Tato práce vždy zůstává na odborníkovi, který se danou problematikou zabývá. Moderní programy dokáží spočítat ledasco, ale bývá to pouze kontrola myšlenek odborníka, zda se materiál chová jak předpokládal.

Pro tváření kovů je v dnešní době zřejmě na špičce francouzská firma Transvalor. Jako produkt pro kování a práci s ocelí vyvinula tato firma software pod značkou FORGE.

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.

V programu FORGE lze najít veškeré standardní zákony chování používané při kování. FORGE v současné době používá na celém světě více než 200 zákazníků, včetně 80% průmyslových areálů.



Obr. 29: Forge - příklad výpočtu klikové hřídele

Na základě vypočítaných hodnot lze určit místa kritická pro daný proces. Lze tvar zápustky upravovat až je dosaženo konečného stavu, kdy můžeme být spokojeni.

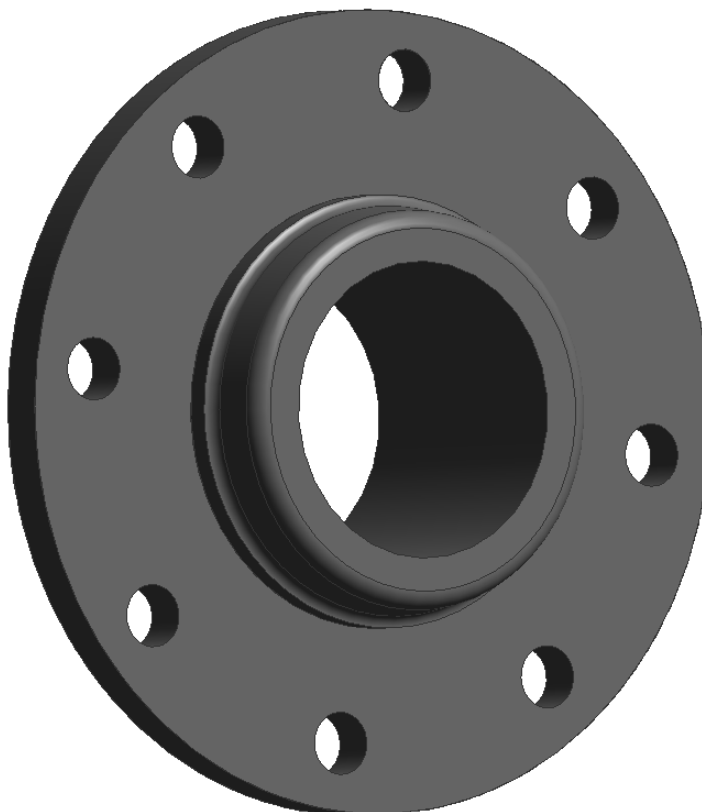
V programu Forge lze počítat i optimalizaci. Znamená to, že lze určit parametry, které se mohou měnit a software sám spočítá nejvhodnější variantu. Lze jako proměnný parametr určit i tvar zápustky, ale zatím pouze v omezené formě. Například lze měnit rádiusy na předkovací zápustce a program sám navrhne 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 segmenty. Díky tomu výpočtu, který mimochodem trval 290 hodin, se zkrátila doba vývoje a přesnost kování byla výrazně posílena.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 NAVRH TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI

Pro výrobu pastorku byla zvolena technologie zápustkového kování. V následujících podkapitolách je popsán návrh výkovku s kovářskými tolerancemi a technologický postup.



Obr. 30: 3D model obrobeneho dílu

5.1 Návrh výkovku

Cílem práce je návrh výkovku, zpracování technologie výroby na kovacím lise včetně FEM analýz. Dále pak budou řešeny jednotlivé zápustky na mechanické namáhání s pohled na kritická místa. Závěrem bude zkouška kování, kde budou všechny teoretické úvahy uvedeny do praxe. Výstupem práce budou výkovky dle výkresové dokumentace.

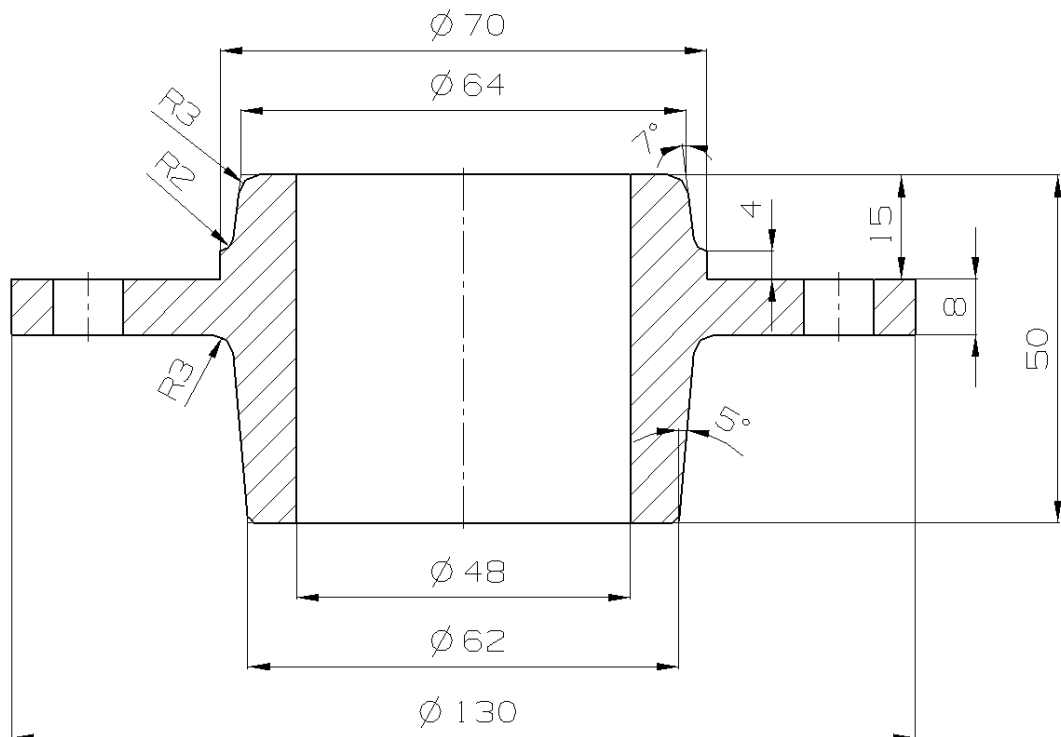
Při navrhování výkovků se musí z důvodu rentability vždy usilovat o dosažení optimálního vztahu mezi požadovanou funkcí dílce a jeho kovatelným a obrobitelným tvarem. Protože tečení materiálu v průběhu tváření kování má rozhodující vliv na opotřebení zápustek a bezchybné vytvoření výkovku, musí se konstruktivně dbát na kovářsko-technické požadavky. K tomu přibývá na obzvláštním významu účelná volba rozměrů

určitých kritických tvarových prvků, jako úkosů stěn, zaoblení hran, vnitřních zaoblení, tloušťek stěn a žeber v souladu s velikostí a hmotností výkovku.

Na základě výkresové dokumentace finálního výrobku je vytvořen výkres výkovku, který je navržen dle normy DIN 7523 díl 2. "Navrhování zápusťkových výkovků".

5.1.1 Rozměry a tvar výkovku

Dle normy DIN 7523 díl 2. je obrobek zvětšen o přídavky na obrábění. Dále jsou určeny kovářské tolerance přesazení, přetokového přesahu apod. dle normy.



Obr. 31: Výkres obrobku

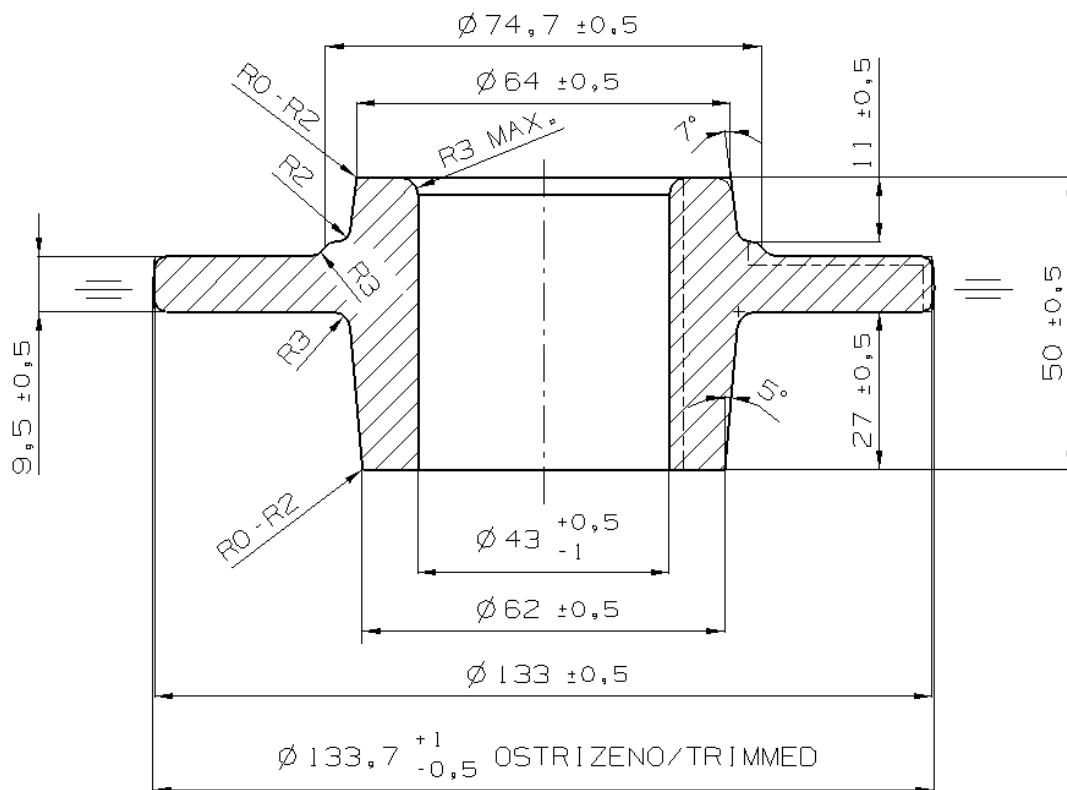
Ze zadaného výkresu obrobku vyplývá, že bude obráběna pouze středová díra, díry pro uchycení pomocí šroubů a začištění příruby od $\varnothing 70\text{mm}$ po $\varnothing 130\text{mm}$ na tloušťku 8mm.

Tabulka I. Přídavky pro obrobení v mm.

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

Dle normy je přidán přídavek pro obrobení a zhotoven finální tvar výkovku. Tento výkres je přiložen jako příloha na konci práce.



Obr. 32: Výkres výkovku

Z návrhu vyplývá, že na obráběné plochy bylo přidáno 1,5mm na plochu, což je dle normy přídavek, kterému bychom se měli z vyšších nároků na kovací náradí vyhýbat. Pro tento výkovek, který není obráběn v celém objemu je tento přídavek dostačující. Dále bylo na obrobenou díru přidáno 2,5mm na plochu. Tento přídavek je z technologických nároku povýšen na hodnotu o 0,5mm vyšší proti normě z důvodů zkušeností s děrovanými otvory. Děrovaný otvor se v průběhu kovací dávky zvětšuje vlivem nalepování děrováku.

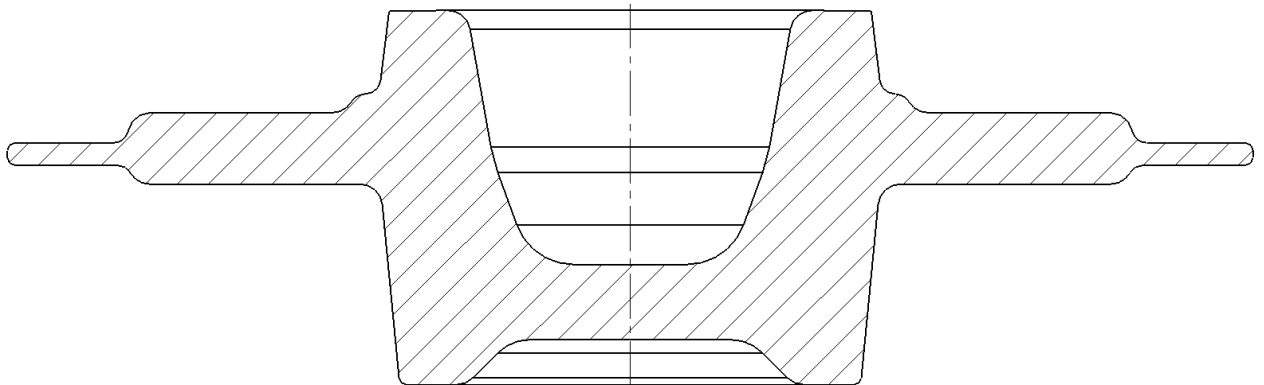
Dle navržených rozměrů výkovku byla zjištěna hmotnost výkovku v programu NX, která je potřebná pro zjištění kovářských tolerancí dle ČSN EN 10243-1.

Tabulka II. Tabulka kovářských tolerancí

TOLERANCE A MEZNI UCHYLKY TOLERANCES AND LIMIT DEVIATION		CSN EN 10243-1		
HMOTNOST VYKOVKU (kg) MASS OF FORGING (kg)	HM.OBAL.TELESA(kg) MASS OF ENVELOPE BODY(kg)	TVAROVA NAROCNOST SHAPE DIFFICULTY	MATERIAL.OBTIZNOST MATERIAL DIFFICULTY	PRESNOST QUALITE
1.53	5.2	S3	M1	F
ROZMERY SIREK, Ø /WIDTHS	+1,5 -0,7	PRESAZENI	/MISMATCH	0,6
ROZMERY VYSEK /HEIGHTS	+1,2 -0,6	PRETOKOVY PRESAH	/OVERFLOW	0,7
ROZMERY TLOUSTEK/THICKNESS	+1,2 -0,6	PRUHYB	/DISTORTION	0,8
ROZMERY DELEK /LENGTHS	- -	NEKOTOVANE RADIUSY/ROUNDED EDGES WITHOUT INDICATION		R2
ZVLASTNI TOLERANCE/SPECIAL TOLERANCES	*	NEKOT.UKOSY VNITRNI/ INNER TAPERS WITHOUT INDICATIONS		-
PRO VNITRNI ROZMERY VZAJEMNE VYMENIT +/- FOR INNER DIMENSTIONS EXCHANGE +/-		NEKOT.UKOSY VNEJSI/OUTHER TAPERS WITHOUT INDICATIONS		5°
HLOUBKA POVRCHOVYCH VAD PODLE 5.2.4.3 DEPTH OF SURFACE DEFECTS ACCORDING TO 5.2.4.3		POVOLENY OTREP ALLOWED RESIDUAL FLASH	VYSKA/HEIGHT	1,6
			SIRKA/WIDTH	0,8

5.1.2 Návrh vsázkové hmotnosti

Pro určení technologie výroby je třeba navrhnout a určit vsázkovou hmotnost dílu. Je tedy potřeba finální výkovek opatřit blánou, která bude v poslední operaci vyděrována a výronkem, který je třeba pro úplné zaplnění dutiny zápustky a vytlačení přebytečného materiálu z ní.



Obr. 33: Návrh vykovaného neostříženého dílu

Na obrázku č. 24 návrh vykovaného dílu, který bude dále vyděrován a ostřížen. Materiál, který vznikne tímto oddělením od finálního výkovku bude vyhozen jako odpad pro následné znovu zpracování v hutích. Jako pomůcku si můžeme určit, že vsázková hmotnost je o 25% vyšší, než je hmotnost výkovku.

Takto vypočítaná hmotnost je

$$m_{vsazka} = m_{vykovku} \cdot 1,25 = 1,53 \cdot 1,25 = 1,9125 \text{ kg}$$

Hmotnost odečtená ze 3D modelu v programu NX je 1,92kg. Tento návrh je tedy dostatečný.

Dle vypočítané hmotnosti a tvaru výkovku bude určen stroj, kde dojde k výrobě dílu. Omezující může být induktor, který je před kovacím strojem, ostřihovací lis ,který je za kovacím lisem. Stroj musí být určen dříve, než dojde k prvním FEM analýzám, protože na chování stroje při tváření záleží. Jinak se chová hydraulický a klikový lis.

5.1.3 Volba materiálu

Byla zadána jakost materiálu, ze které bude díl vyroben. Materiálový list je přiložen jako příloha na konci práce.

Jakost oceli: C35

Označení: ČSN 412040.

Mechanické vlastnosti: Mez pevnosti v tahu: $R_m = \text{min. } 480 \text{ MPa}$

Mez pevnosti v kluzu: $R_e = \text{min. } 285 \text{ MPa}$

Tvrdość: max. 237 HB

Chemické složení v %:

C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
0,32-0,40	0,50-0,80	0,15-0,40	max 0,25	max 0,30	max 0,30	max 0,040	max 0,040

Jedná se o uhlíkovou ocel určenou k tepelnému zušlechťování. Tato ocel je vhodná pro velké hřídele stabilních spalovacích motorů, parních strojů a čerpadel, hřídele těžních strojů, transmisi hřídele, excentry, sloupy a válce lisů, tvarová tělesa, čepy, kolíky, šoupátka, čelisti, šrouby, pístnice, ojnice, součásti řízení, táhla, jeřábové háky apod.

5.1.4 Určení polotovaru

Pro následný postup je nutné určení polotovaru. Tedy určení průměru a délky přířezu, ze kterého bude následně probíhat výroba výkovku.

Dle materiálového listu jsou pro kované díly v hutích vyráběny tyče o $\phi 25-100 \text{ mm}$. Jelikož je spodní průměr výkovku, kde budeme polotovar zakládat, roven $\phi 62 \text{ mm}$, bude nejvhodnější polotovar s průměrem $\phi 50-60 \text{ mm}$. Dle stavu skladu ve firmě volím polotovar $\phi 55 \text{ mm}$.

Z objemu výkovku odečteného v NX, který je 244710 mm^3 , pak jednoduchým převodem dopočítáme délku nadělené kulatiny:

Dáno: $V = 244710 \text{ mm}^3$

$\phi D = 55 \text{ mm}$

Výpočet:
$$l = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 244710}{\pi \cdot 55^2} = 103 \text{ mm}$$

Polotovar bude mít rozměr $\phi 55 \times 103$ mm.

5.1.5 Volba kovací linky

Pro kování oceli se běžně používají kovací klikové nebo vřetenové lisy. Vzhledem k rozměrům výkovku, hmotnosti a možnostem firmy volím klikový kovací lis. Volím tedy klikový kovací lis firmy Šmeral Brno a.s. s typovým označením LMZ1600A se jmenovitou kovací silou 16MN.



Obr. 34: Klikový lis LMZ1600A

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

Rozměry

délka	mm	3700
šířka	mm	2 700
výška	mm	5 700
Hmotnost	kg	93 000

Za tímto lisem je v kovací lince připojen ostříhovací lis LDO350A.



Obr. 35: Ostříhovací lis LDO350A

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

5.2 Konstrukce nářadí

V následujících kapitolách bude probíhat konstrukce zápustek, ostříhovacího a děrovacího nářadí. Pro konstrukci zápustek je potřeba dbát na limity obrábění, upínání vnějších rozměrů do prostoru lisu a v neposlední řadě samotné možnosti lisu, jako je sevření zápustek apod.

5.2.1 Zápustky

Pro vykování daného dílu bude potřeba horní a spodní zápustky. Jelikož budeme kovat v předkovací a kovací zápustce, bude třeba dva páry zápustek.

Do prostoru lisu lze upnout pouze určité standardizované tvary zápustek, které se ve firmě nacházejí. Pro daný díl jsme limitováni největším průměrem, nejsme pak příliš limitováni výškou ani tvarem. Díl je rotačně symetrický, proto není třeba zvýšených nároků na vedení zápustek abychom eliminovali pootočení tvarů. Rotační zápustky budou dostatečné.

Ve firmě se používají rotační zápustky o $\phi 140$ mm, $\phi 170$ mm a $\phi 200$ mm. S ohledem na průměr výkovku budeme konstruovat zápustky s největším $\phi 200$ mm. Tyto zápustky se vloží do držáků, které jsou vedeny proti sobě kameny. Výška sevření v dolní úvrati stroje se pak zmenšuje na 185 mm. S tímto ohledem je nutno konstruovat výšky zápustek.

Materiál, ze kterého budou zápustky vyrobeny, volím dle standardů firmy a dlouhodobých zkušeností. Materiál bude 1.2343. Je to nástrojová legovaná ocel pro práci za tepla. Používá se pro tlakové lití lehkých kovů, válce a písty pro lisy se studenou komorou, nástroje pro protlačování, pro práci za tepla apod.

Jakost oceli: 1.2343

Označení: ČSN 419552

Mechanické vlastnosti: Mez pevnosti v tahu: $R_m = \text{max. } 1770 \text{ MPa}$

- mez pevnosti je pro vzorek $\phi 25$ kalený, popuštěný

Tvrдость: 37,3-51,7 HRc

- tvrdost je pro vzorek $\phi 25$ kalený, popuštěný

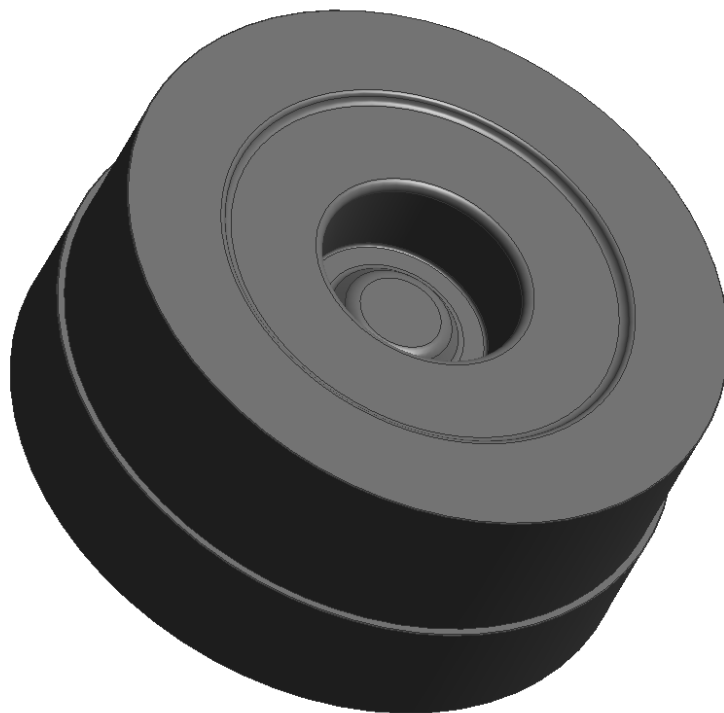
Chemické složení v %:

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

5.2.1.1 Dokovací zápustky

Konstrukci začínáme dokovací zápustkou. tento tvar nelze měnit, je dán tvarem výkovku. Výkovek je třeba před odečtením dutiny zvětšit o smrštění oceli. Smrštění oceli při teplotách 1200°C pohybuje okolo 1,2%. Výkovek je proto nutno objemově zvětšit 1,012 krát, aby po vychládnutí na okolní teplotu byly rozměry v tolerancích.

Výška výronkové drážky byla určena s ohledem na plochu výkovku a stroj na 3mm.



Obr. 36: Dokovací zápustka spodní před vyvločkováním



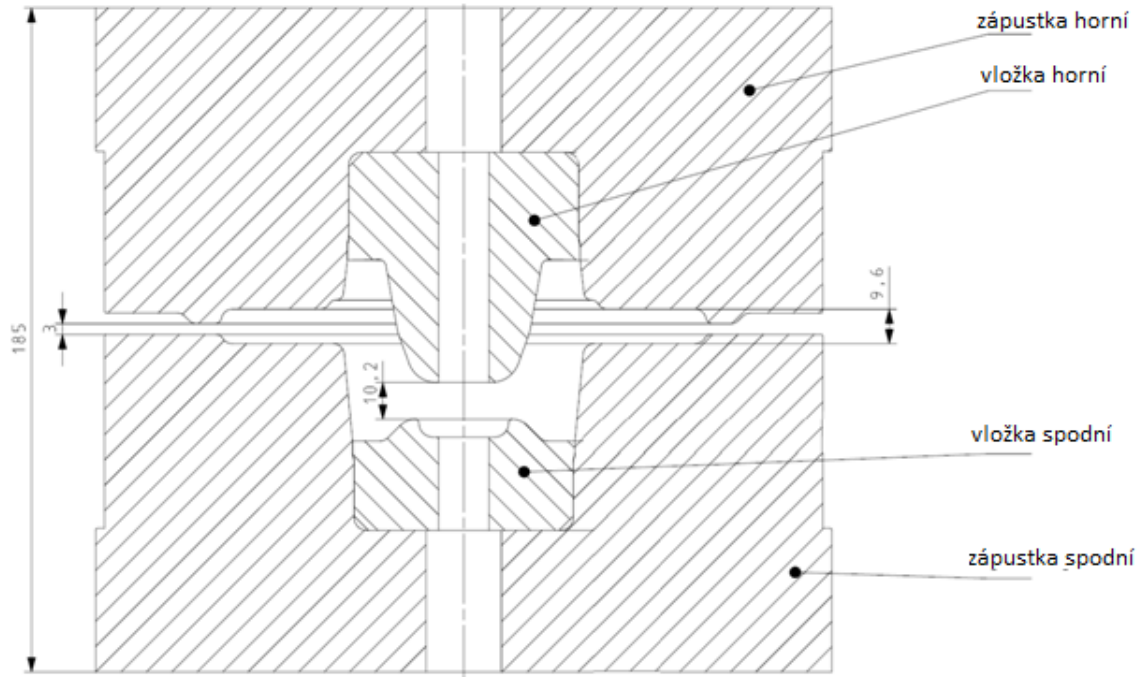
Obr. 37: Dokovací zápustka horní před vyvločkováním

S ohledem a ostré rádiusy na vrcholech výkovku je potřeba zápustky vyvločkovat. V ostrých hranách by se generovalo vysoké napětí a zřejmě by došlo k prasknutí zápustky. Dále pak je nutno vyvločkovat z technologických důvodů, protože ostré hraně je dobré z ekonomických důvodů vyhnout. Zápustka by se musela obrábět na obráběcím centru.

Zápustky budou mít proto přesné díry a vložky s tvarem budou před montáží na kovací stroj nalisovány do zápustek.

Již při prvním návrhu kovacích zápustek lze usuzovat, že díky poměrně velkému děrovanému otvoru bude vhodné umístit na pupky zásobníky. Díky těmto zásobníkům v dokování lze snížit tunová zátěž stroje a stabilizovat tím proces. Funkce a tvar zásobníku bude ověřena v analýzách tečení materiálu.

V zápustkách jsou zhotoveny dále vyhazovače a zámek pro upnutí v držáku. Výkresy zápustek jsou přiloženy na konci práce. Jak již bylo řečeno, sevření zápustek v držáku je 185 mm. V následujícím schématu je zobrazeno sevření zápustek s nejdůležitějšími rozměry. Jak je vidět, výška můstku je uvažována na 3 mm, sevření 185 mm. Zásobník s ohledem na vyhazovače vznikl pouze ve spodním pupku. Zakótována je i výška kování, tedy 9,6 mm.

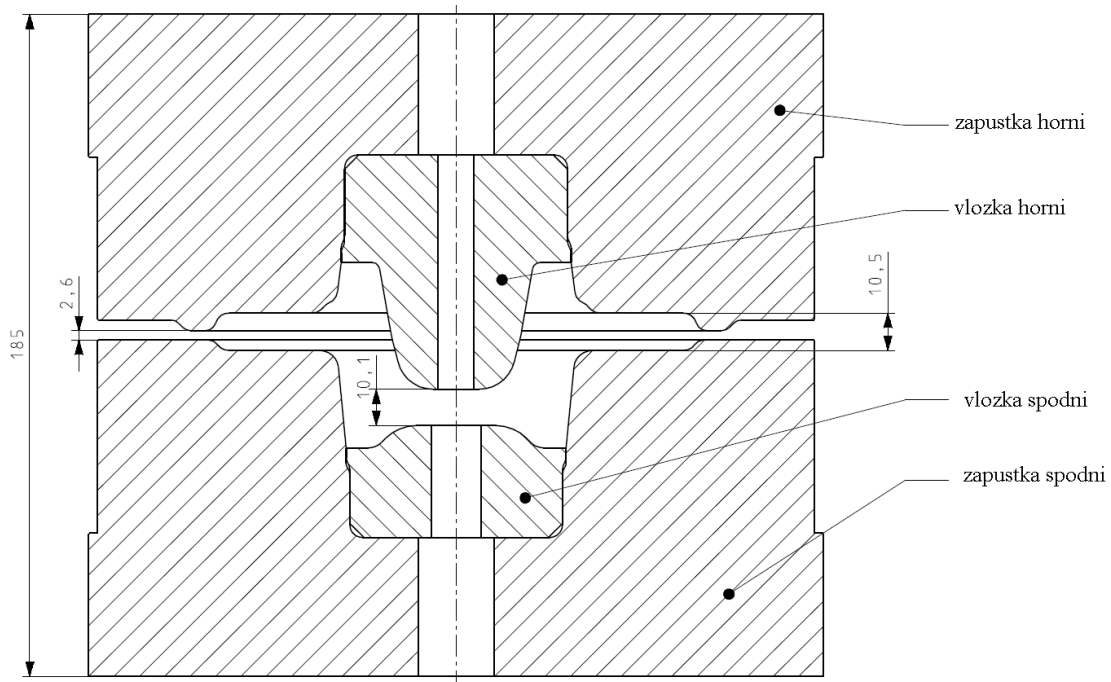


Obr. 38: Sestava zápustek dokování

5.2.1.2 Předkovací zápustky

Předkovací zápustky vycházejí ze zápustek dokovacích. Předkovek je namodelován s přídavky pro dokování. Tyto přídavky se mění dle chování materiálu, možnostem kovačského stroje. Rádiusy a tloušťky jsou zvětšovány, průměry naopak zmenšovány, aby se předkovek vešel do dokovací zápustky. Tento návrh je následně zhodnocen pomocí FEM analýz a případně se předkovací zápustka upravuje. Výška můstku je u předkování menší, než u dokování z důvodu namáhání stroje. Sevření zápustek je shodné s dokováním.

Při tvorbě dokovacích zápustek jsme vložkovali pupky kvůli malým rádiům. Předkovací zápustky vyvložkujeme stejně tak. Přídavky proti dokování volím 0,3 mm na plochu pro průměry, tloušťky bude třeba měnit dle výsledků FEM analýz.



Obr. 39: Sestava zápusť předkování

Ze schémat sestav vyplývá, že jsem zvolil výšku dokování 0,9mm na přírubě. Celková výška předkovku je však o 1,4 mm vyšší, než výkovek. Tyto rozdíly jsou z prostého důvodu, je potřeba při dokování tlačit materiál jedním směrem, tedy směrem od pupku do výronku.

5.3 Technologie výroby

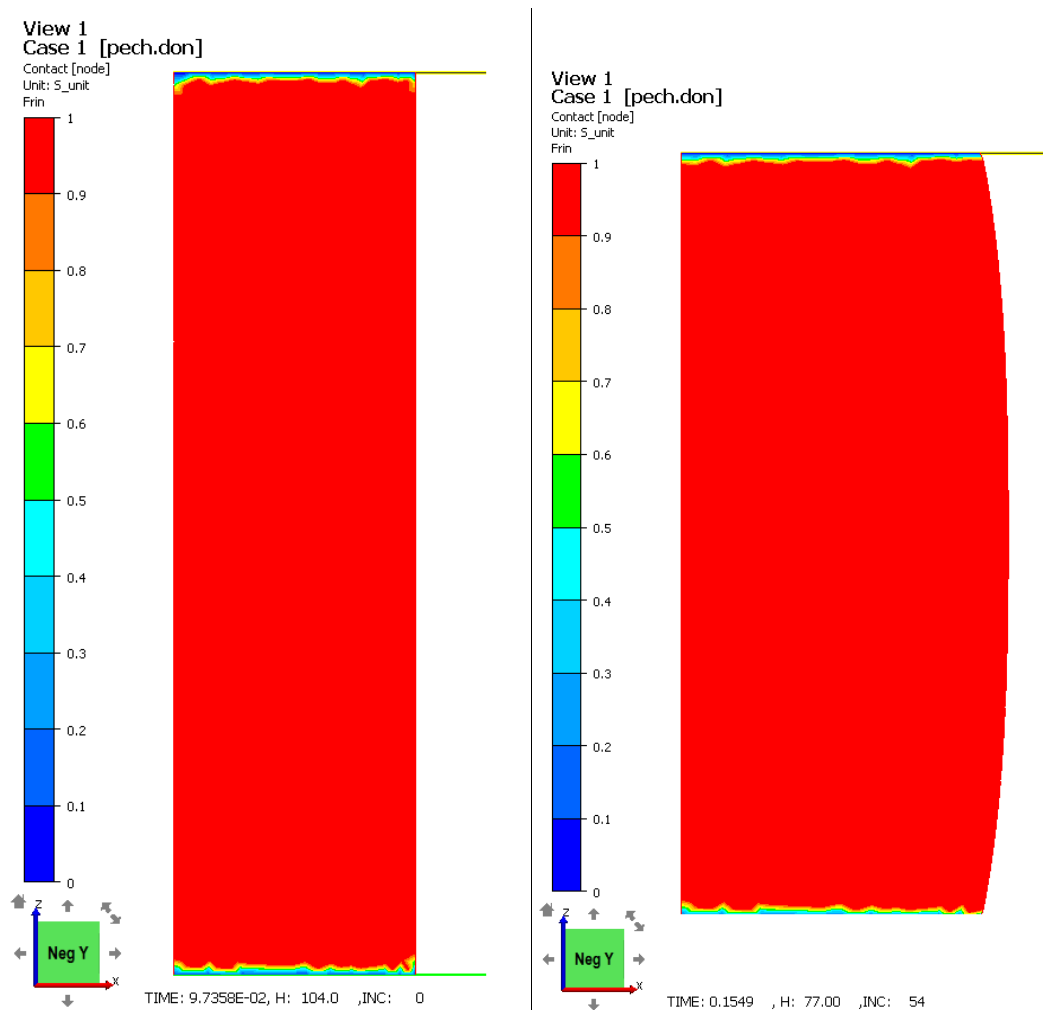
Výkovek bude ohřátý v induktoru na kovací teplotu dle norem firmy. Pro jakost C35 je kovací teplota v pásmu pro běžnou kovatelnost a je rovna 1200-1250°C. Polotovár bude dopraven do prostoru lisu kde ho operátor napěchuje mezi rovnými deskami aby odstranil okuje a získal tvar soudečku pro následné ustavení do předkovací zápusťky. Zde bude materiál vytvarován do předkovku a třetím zdvihem kovacího stroje dojde k dokování. Výkovek bude následně odhozen na dopravník a dopraven k ostřihovacímu lisu, kde bude vyděrován a zbaven výronku.

Následující kapitoly budou věnovány FEM analýzám kování, kde budou namodelované tvary zápusťky podrobovány tečení materiálu a ověřování napěťových stavů. Úloha bude počítána ve 2D. Velikost sítě bude volena ve velikost 3 mm. Pro výpočet zanedbáme vyvložkování a budeme počítat jako celistvou zápusťku s ostrou hranou v místě vyvložkování.

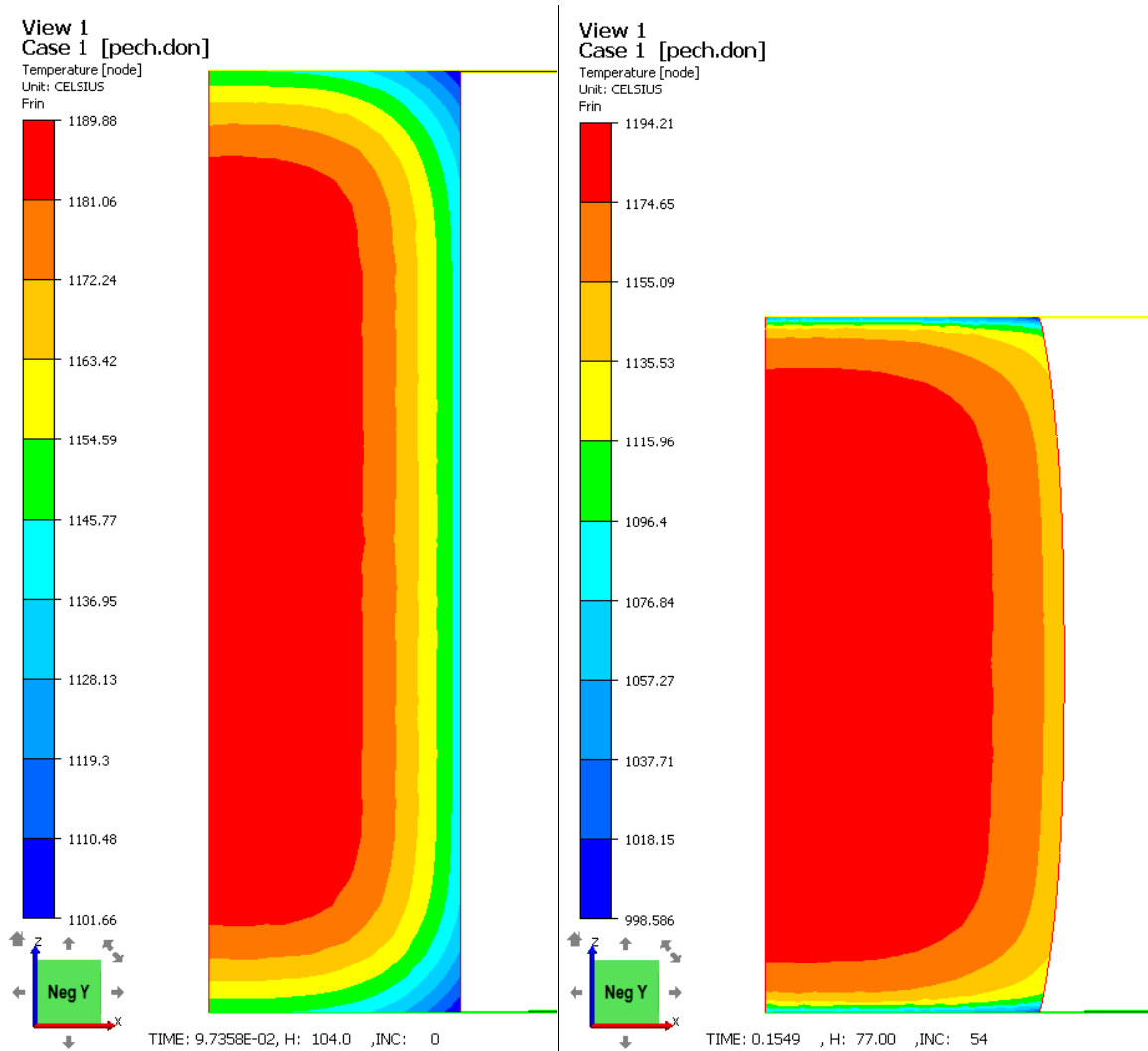
5.3.1 Pěchování

Před výpočtem pěchování je třeba polotovaru ohřát a nechat chládnout. Doba chládnutí je stanovena na 7s. Taková doba je vyzorována pro dopravení polotovaru z indukto-ru do prostoru lisu. Po této době dochází k první operaci, tedy pěchování.

Polotovaru ohřátý na kovací teplotu je napěchován mezi rovnými deskami na míru, aby bylo zaručené středění do předkovací zápustky. Jelikož výška napěchování pro danou součást není závratná, nemusíme se v této operaci obávat přeložek a jiných vad na materiá- lu. Za předpokladu, že dodaný materiál z hutí nemá vnitřní vady a praskliny.



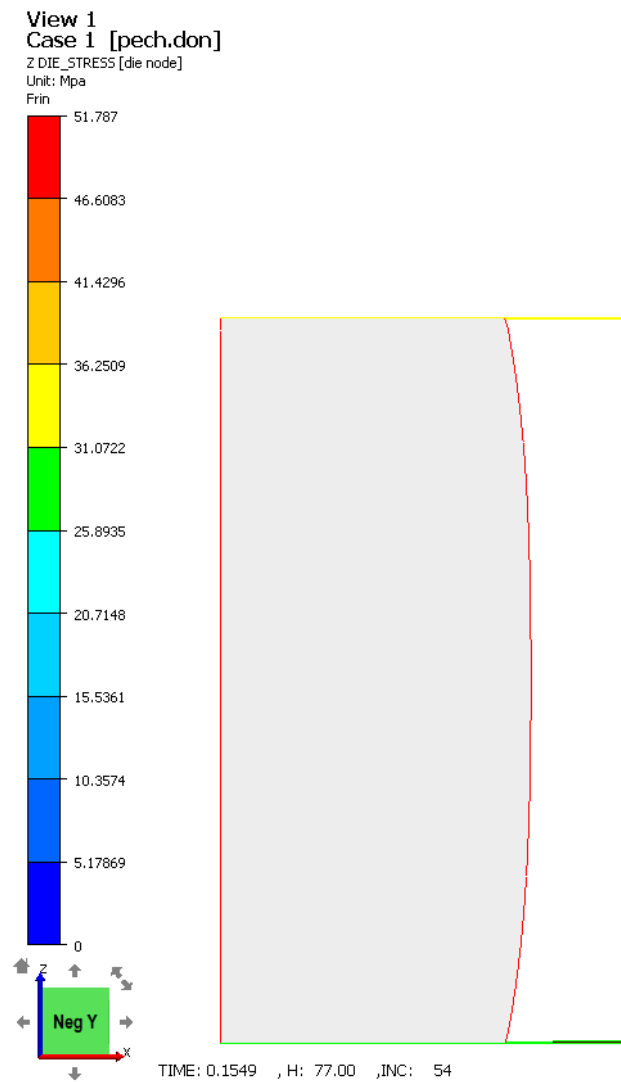
Obr. 40: Polotovaru před a po napěchování - kontakty



Obr. 41: Polotovar před a po napěchování - teplotní pole

Z obrázku s teplotním polem vyplývá, že materiál je při pěchování vlivem vnitřního tření zahříván a povrch zvýší teplotu. Naproti tomu v kontaktu s pěchovací deskou dochází k prudkému chlazení, v našem případě až o 200°C. Pěchovací desky byli při výpočtu uvažovány s teplotou 100°C, což je obvyklá teplota v průběhu procesu.

Jak již bylo řečeno, v operaci pěchování nemá význam zabývat se vektory tečení a sledování možných přeložek. Toto sledování si ponecháme až na předkování s dokováním, kde již k těmto nežádoucím jevům může docházet. Zde nemá význam ani zpracovávat pevnostní analýzu namáhání pěchovacích desek, protože zde nejsou žádná kritická místa na praskání, případně opotřebení.

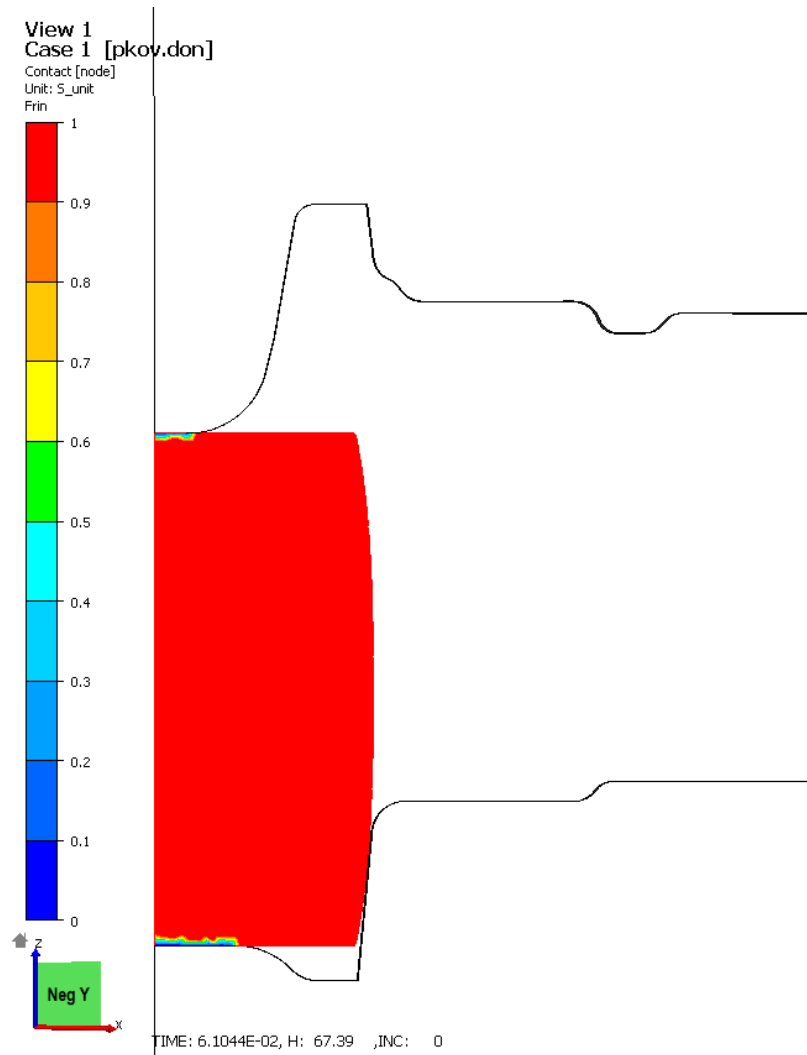


Obr. 42: Napěchovaný polotovar - tuny

Na závěrečném obrázku ke kapitole pěchování je znázorněno tunové zatížení kovačského stroje. jelikož nedochází k extrémnímu tváření materiálu, pouze k malému napěchování, je tunová zátěž dle Forge přibližně 52 tun. Výška pěchu je stanovena na 77 mm.

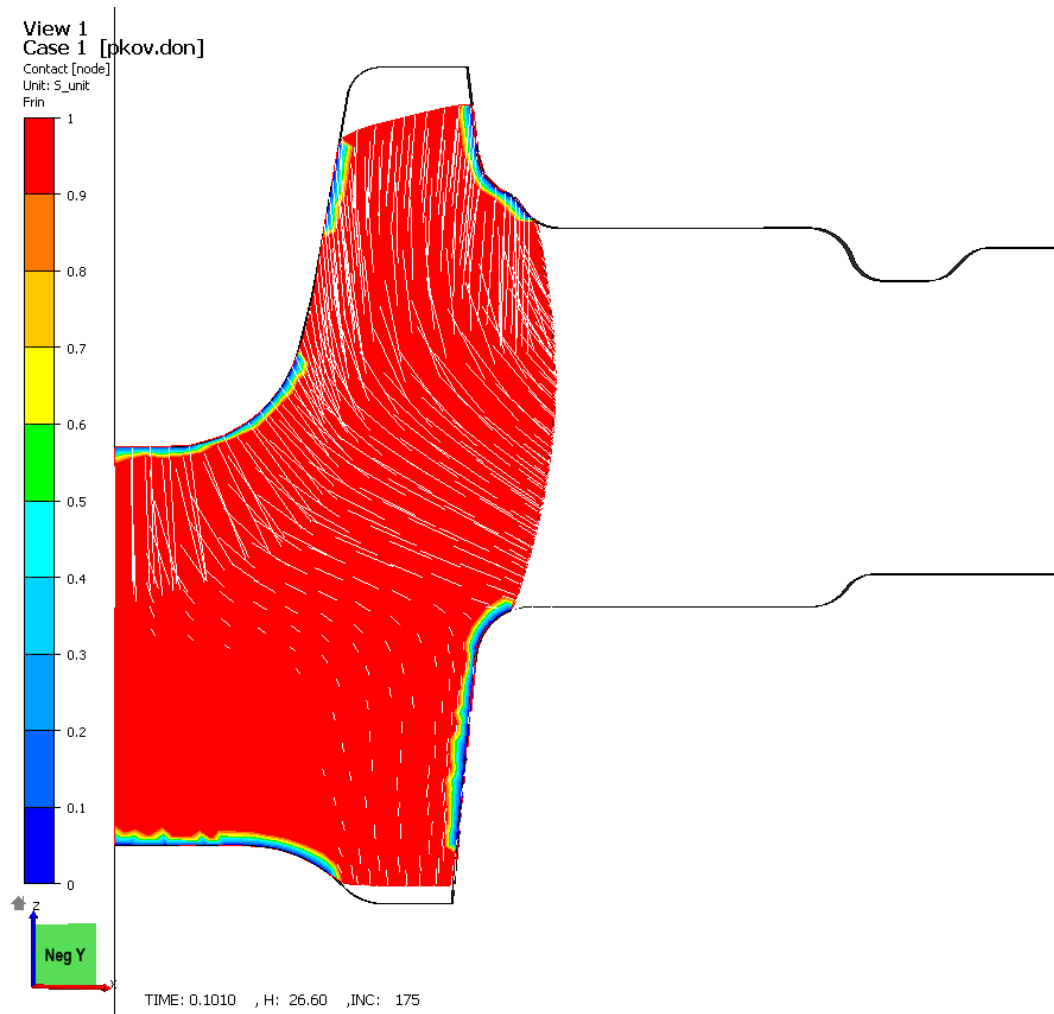
5.3.2 Předkování

Po napěchování na výšku, která odpovídá možnostem středění pěchu do předkovací zápustky dojde k předkování. Zde je nutné sledovat kritická místa jako jsou přechody rádiusů, odtrhávání materiálu z horního pupku apod.



Obr. 43: Pěch v předkovací zápustce

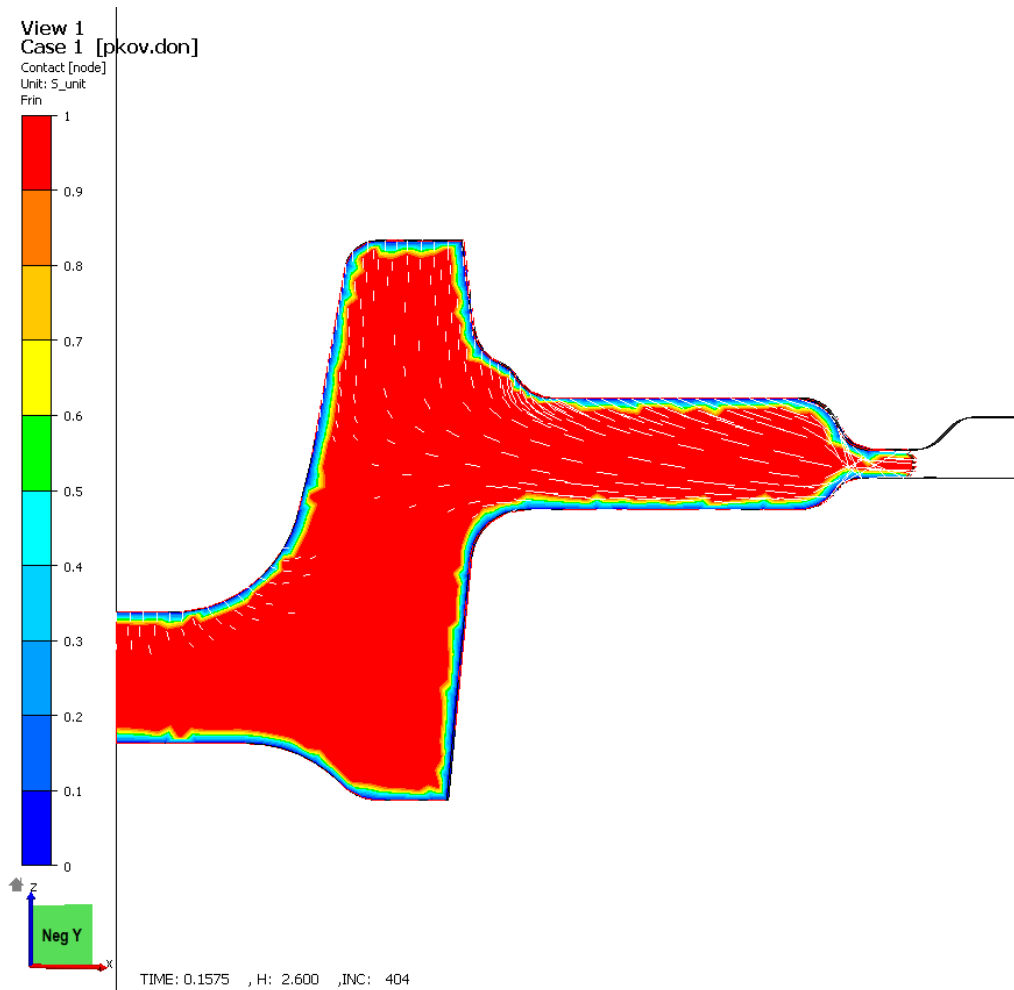
Na obrázku je napěchovaný polotovar založený do předkovací zápustky. Více napěchovaný polotovar by se nevešel na spodní pupek, méně napěchovaný polotovar by byl příliš volný a bylo by obtížné středění. Úloha by se stávala rotačně nesymetrickou a mohlo by docházet k excentrickému namáhání zápustek. Tečení materiálu by bylo také nesymetrické. Je proto třeba napěchovaný polotovar usadit do předkovací zápustky s co nejmenší vůlí. V tomto případě je naměřená vůle mezi stěnou zápustky a napěchovaným polotovarem 0,4 mm na plochu. Tento rozdíl zaručuje poměrně přesné středění do zápustky.



Obr. 44: Předkování 24mm před dolní úvrati stroje

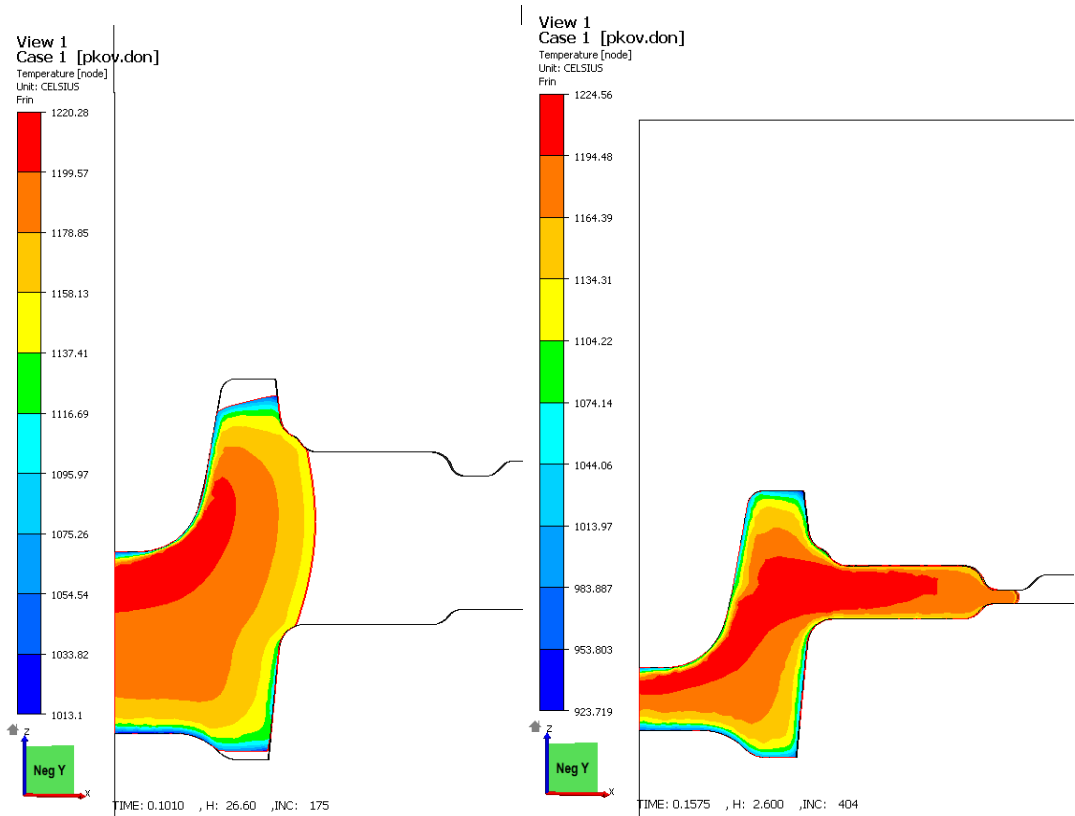
Na obrázku znázorněno předkování ve výšce 24 mm před dolní úvrati. Je zde názorně vidět kontakty se stěnou zápusky a vektory směru tečení materiálu. Zvýšenou pozornost je potřeba dbát místu, kde se odtrhává materiál od předkovacího horního pupku.

Zde ztrácí materiál kontakt se stěnou pupku a je možné místo vzniku přeložky. V tomto případě přeložka nevznikne, materiál je zároveň zastaven na protější straně v zápusce a k radikálnímu odtržení od pupku nedojde.



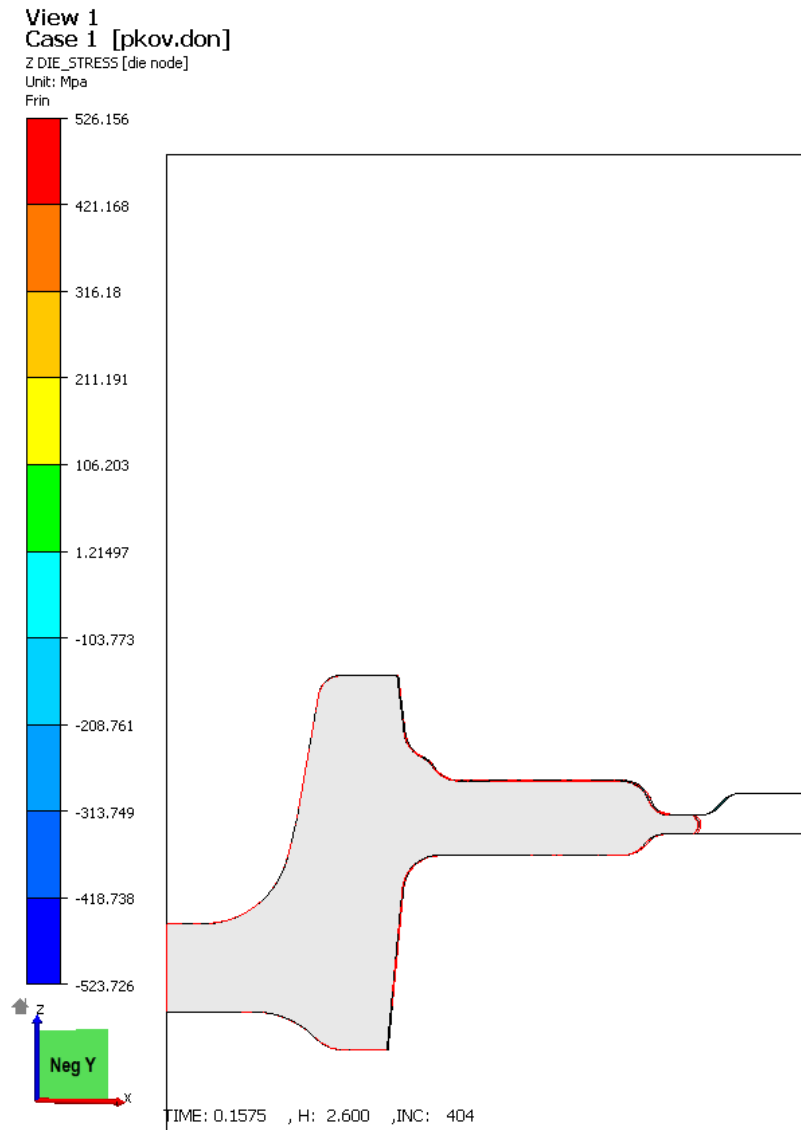
Obr. 45: Předkování - dolní úvrať

Na obrázku je předkování v dolní úvrati. Předkovek je viditelně dotečený v celém objemu, není zde výskyt žádné vady. Ve výronku je materiál v délce 8 mm. Materiál je podle vektorů tečení tlačěn ven do výronku. Pro předkování je tento stav plně dostačující.



Obr. 46: Předkování - teplota

Teplotní pole výkovku je znázorněno na obrázku. Zde je patrné, že materiál opět nejvíce chladne v kontaktu se stěnou zápustky. Teplota zápustek je v průběhu kování přibližně 200°C. S touto teplotou je analýza počítána. Naopak uprostřed materiálu, kde dochází k velkým deformacím a vysokému tření, dochází ke zvyšování teploty.

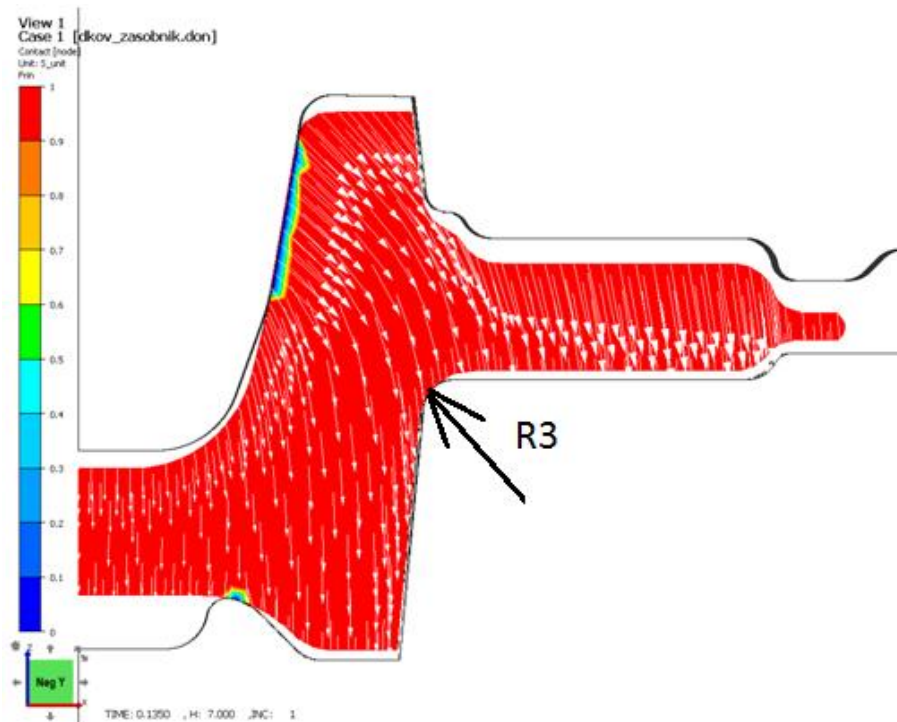


Obr. 47: Předkování - tuny

Na závěrečném obrázku v kapitole předkování je znázorněno tunové zatížení kovacího stroje. Jelikož zde dochází k vyššímu tváření materiálu, než tomu bylo při pēchování, je i zatížení kovacího stroje vyšší. Tunová zátěž dle Forge je přibližně 550 tun. V tomto případě je již nutné provést analýzu mechanického zatížení zápustek. Tento problém bude řešen v následujících kapitolách společně s analýzou dokování.

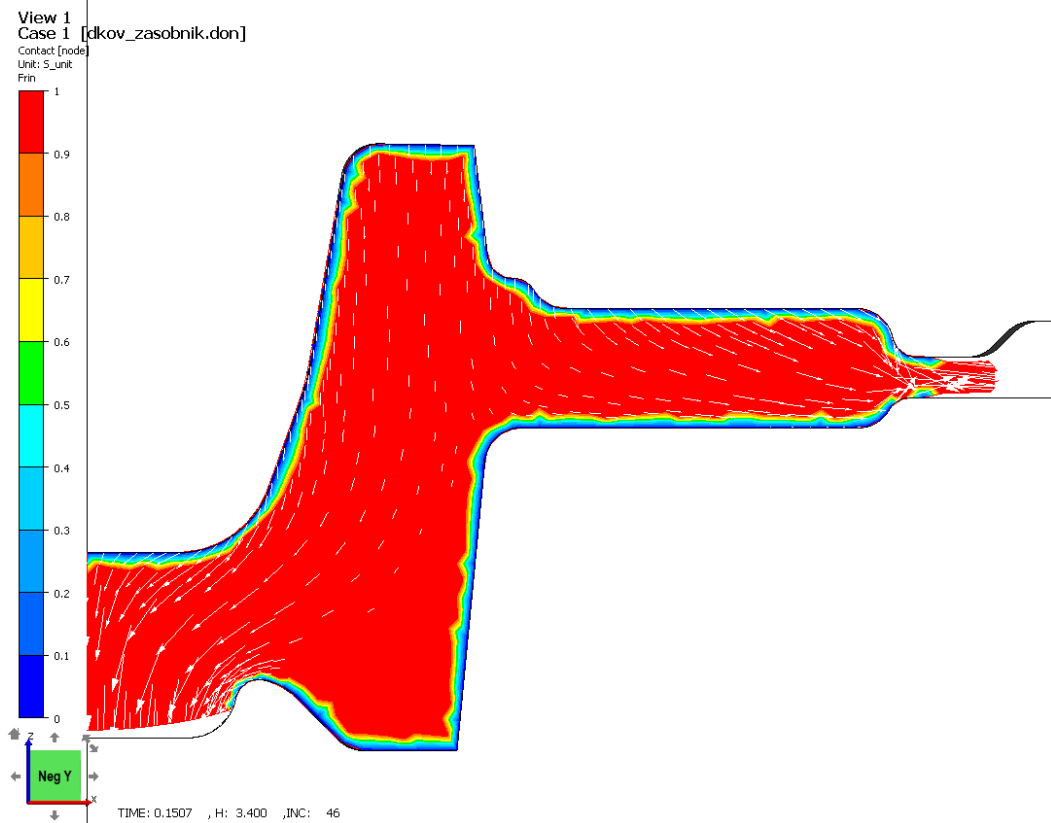
5.3.3 Dokování

V operaci dokování dochází k finálnímu tvarování dílu do určených rozměrů. Dochází zde k vytvarování rádiusů, přechodů a kompletní doplnění dutiny. Zde je třeba dbát na kontrolu výskytu přeložek, správné tečení materiálu směrem od středu k výrobku. Dále pak je třeba najít výšku vyplnění dutiny před spodní úvratí stroje. Tato hodnota se pro daný stroj pohybuje od 0,4 - 0,8 mm dle složitosti výkovku.



Obr. 48: Dokování - první kontakt s horní zápuskou

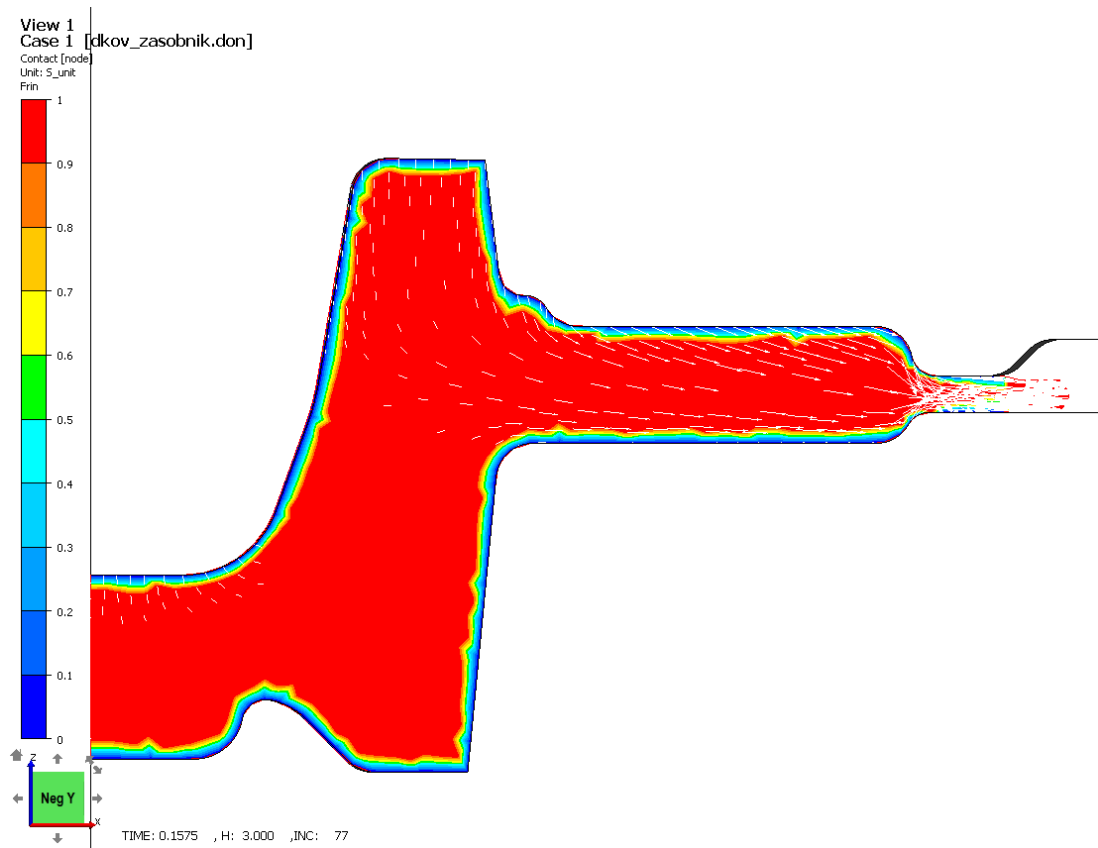
Dle obrázku dochází k prvnímu kontaktu se zápuskou pomocí pupku. Tento stav je výhodný, protože pupek si může předkovek nasměrovat a vystředit do dokovací dutiny. Nedojde tak k vadám na výkovku jako jsou přeložky apod. předkovek sedí na spodním pupku v dokovací zápusce s minimální vůlí 0,3 mm na rádiu R3. Z tohoto stavu je zaručeno, že obsluha lisu předkovek vždy založí správně a nemusí se zabývat komplikovaným středěním, aby se úloha nestávala nesymetrickou.



Obr. 49: Dokování - dotečení výkovku

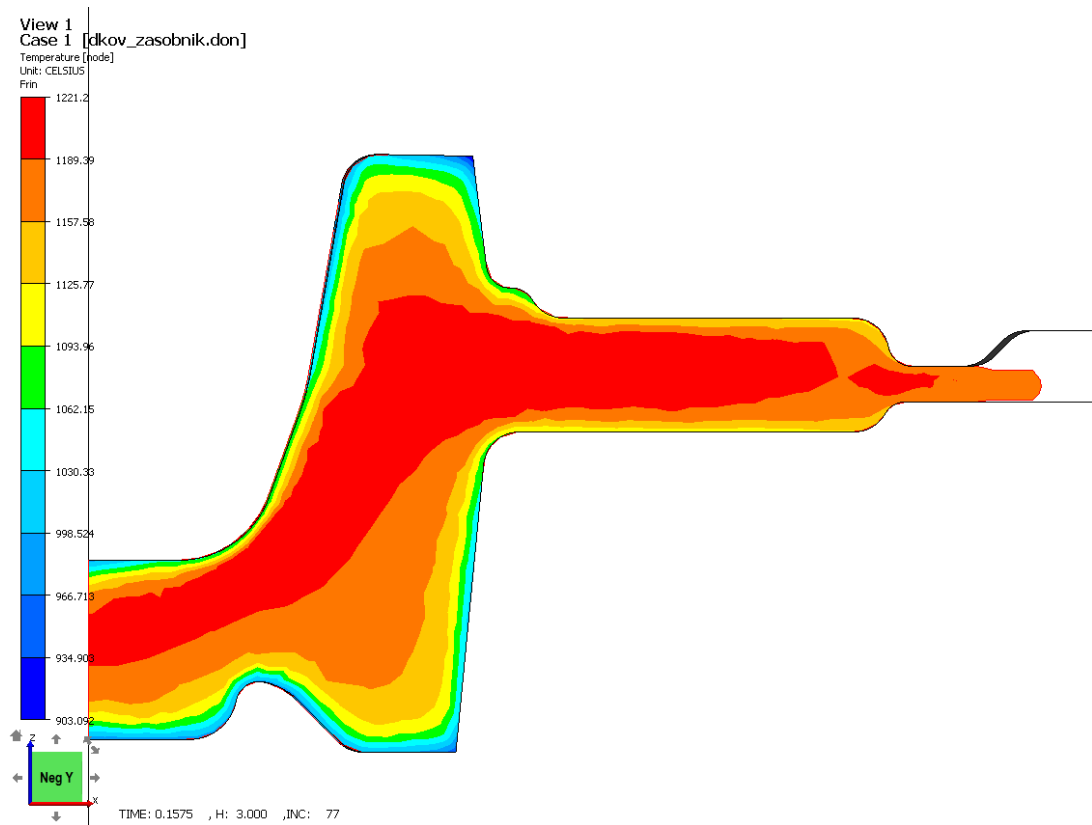
Na obrázku je znázorněn stav, kdy došlo k úplnému vyplnění kovací zápustky. Materiál už bude pouze vytékat do výronkové drážky. Dále je pak z důvodů odlehčení tunové zátěže stroje vyroben ve spodním pupku zásobník. Tento stav je výhodný z několika hledisek. Materiál není potřeba tlačit od pupku do výronku, zásobník na pupku bude vyděrován do odpadu. Není tak zbytečně namáhána zápustka. Stroj je namáhán rovnoměrně a tunová zátěž bude s předkováním podobná.

Výkovek je dotečený 0,4 mm před spodní úvratí. Jak již bylo řečeno, je tato výška zcela dostačující a není třeba přidávat na předkovku výšky pro větší dokovací přídavky.



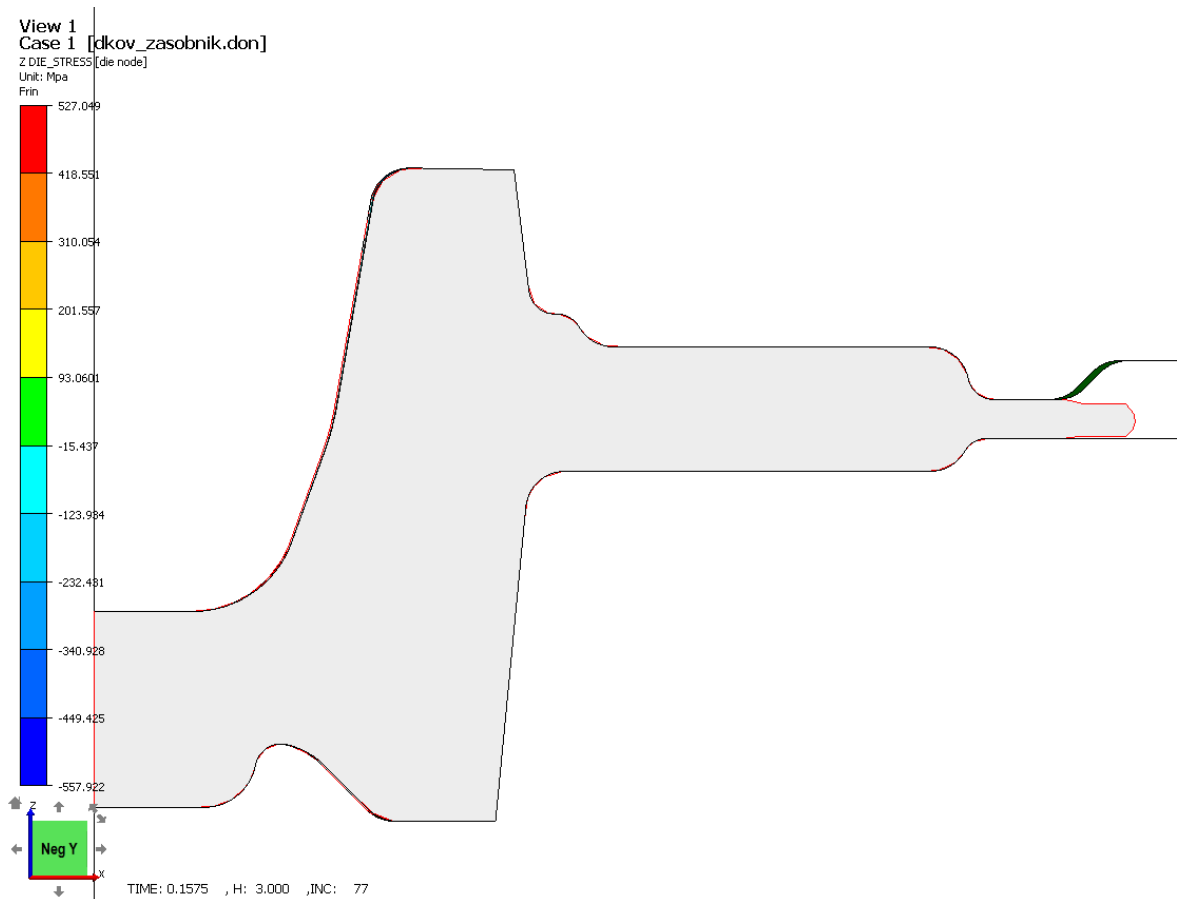
Obr. 50: Dokování - dolní úvrat'

V dolní úvratí bude výkovek vypadat jako na obrázku. je zcela dotečený, vektory tečení ustávají, nedochází k dalšímu stlačování materiálu. Ve výronkové drážce je výronek v délce 16 mm. Pro daný díl zcela dostatečné.



Obr. 51: Dokování - teploty

Teplota výkovku se snížila, v jádře neustále roste. Při odhazování kovářem k ostřihovacímu lisu má teplota na povrchu přibližně 950 °C, teplota uvnitř výkovku se pohybuje okolo 1220°C. Tyto teploty se při ukončení kontaktu se zápuskou začnou vyrovnávat.



Obr. 52: Dokování - tuny

Z tunové zátěže na kovací stroj jasně vyplývá příznivý vliv zásobníku na spodním pupku. Tunové zatížení se pohybuje okolo 550 tun, což je shodné s předkovacím zdvihem.

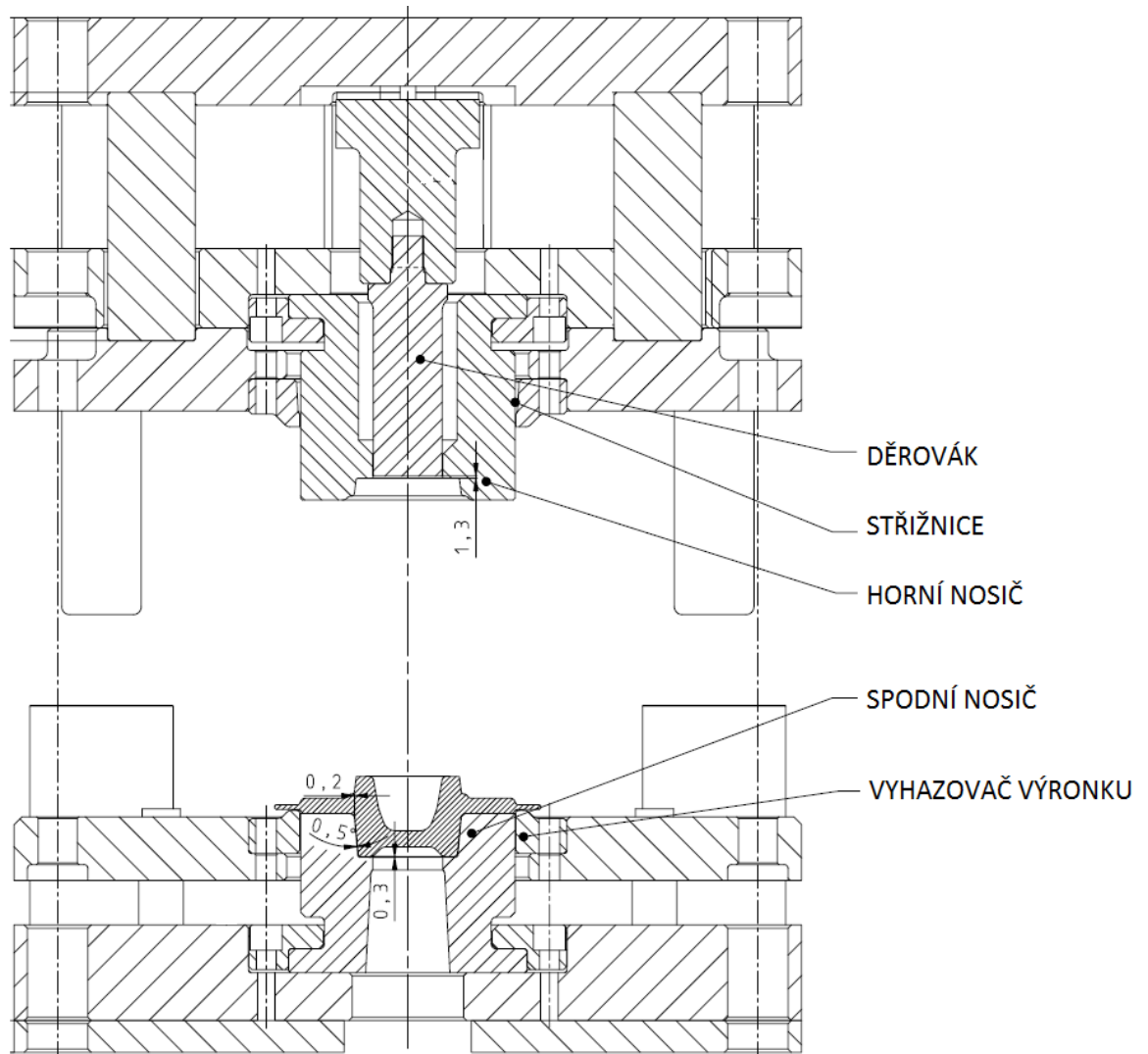
S takto nastaveným tvarem zápustek můžeme být z hlediska tečení materiálu a vyplnění dutin zápustek zcela spokojeni. Výkovek je bez vad, dobře dotečený s dobrým výronkem ve výronkové drážce. Tunové zatížení je téměř shodné. Díky tomu nebude docházet k extrémnímu namáhání stroje a proces bude stabilní.

5.3.4 Ostřihování a děrování

Ostřížením a vyděrováním zbavíme výkovek výronku a vytvoříme díru. Tento proces probíhá na ostřihovacím lise, který stojí vedle kovacího lisu.

Na následujícím obrázku je schematicky znázorněna sestava ostřihování. Výkovek je založen do nosiče, vystředěn a následně jedním zdvihem stroje vyděrován a ostřížen. Vzniká tím samotný finální výkovek, který je odhazován na dopravník ústící do bedny. Dále vzniká odpad, tedy ostřížek a brok, které jsou odhozeny do další bedny s odpadem. Tento materiál je vrácen zpět do hutí na opětovné zpracování.

Při ostřihování je třeba dbát na zvýšenou pozornost při zakládání výkovku do ostřihu. Aby výkovek dobře seděl, nebyl v nosiči nakřivo apod. Vůle pro zastředění výkovku do nosiče bývá podobná, jako u dokovací zápustky. Tedy přibližně 0,2 - 0,3 mm na plochu.



Obr. 53: Ostřih - schéma

5.4 Namáhání zápustek

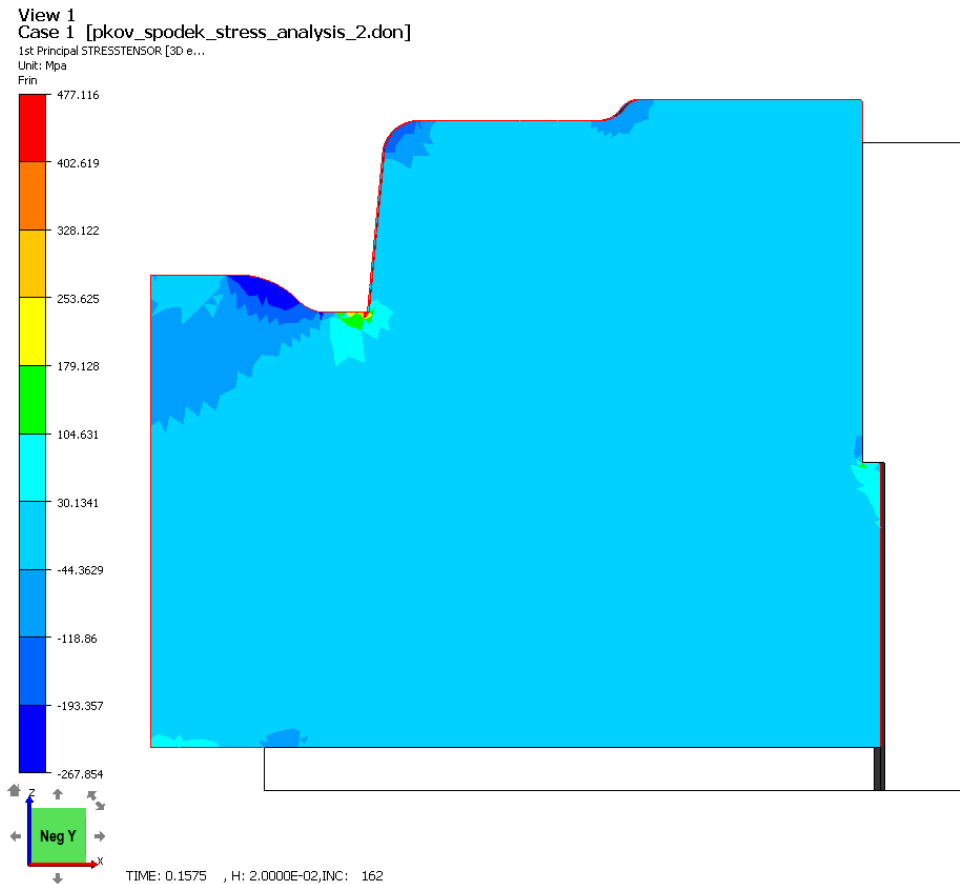
Po vyřešení technologie tečení materiálu je potřeba namodelované zápustky podrobit analýze na namáhání. Abychom eliminovali praskání zápustek, případně odhalili místa extrémního opotřebení a mohli ještě při návrhu zasáhnout.

Již na počátku konstruování zápustek jsme vyvložkovali kritická místa, kde se rádiusy blížili nule. Tato místa jsme ale ve výpočtu tečení zanedbali a zápustky uvažovali jako jeden díl. Proto je zřejmé, že v následujících výpočtech bude špička napětí soustředěna právě do míst, kde je zápustka vlozkována. Díky vlozkování se ale v těchto místech nemusíme bát, zápustka zde nepraskne.

Jako vstupní parametr slouží vypočítaná analýza, materiál zápustek volím jako H13, tedy ekvivalent materiálu 1.2343. Dále pak uvažuji okolní držák jako tuhý, tedy ne-deformovatelný. Tato podmínka je z důvodu ulehčení výpočtu. Pro takto tvarově nenáročný díl lze pružení okolního držáku zanedbat.

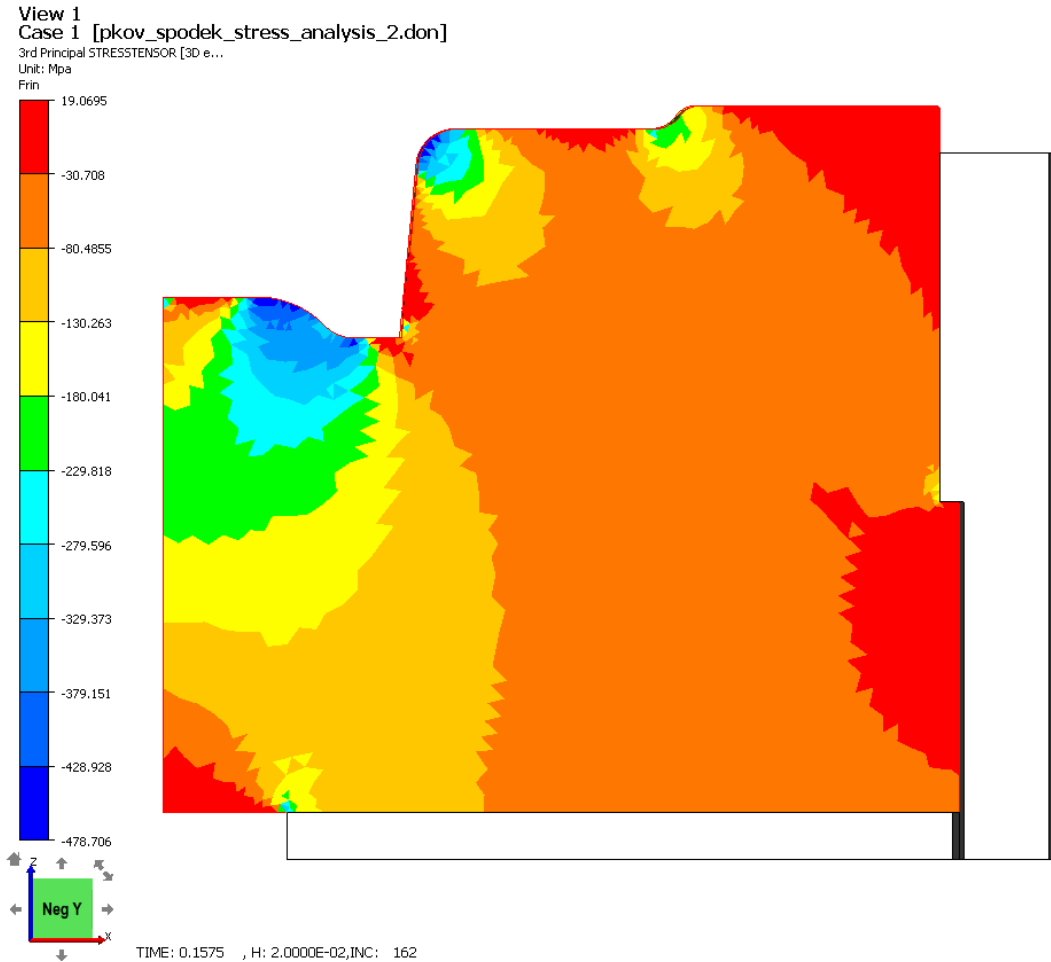
5.4.1 Předkování

V předkování uvažuji, že bude nejvíce na opotřebení namáhán horní pupek. naopak špička tahového napětí se bude nacházet v místě vyvločkování a zřejmě i u výronkové drážky.



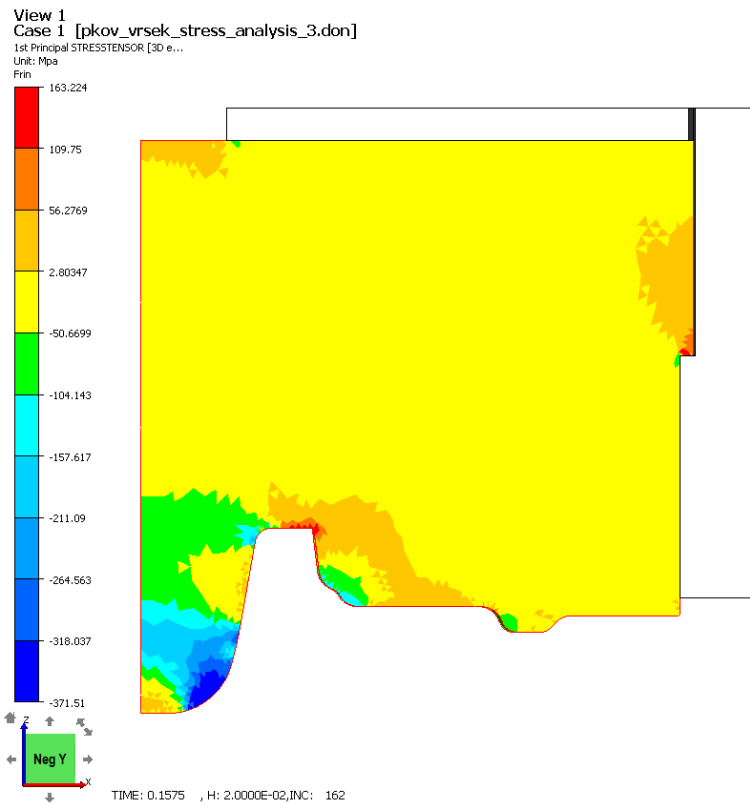
Obr. 54: Předkování spodek - 1. rozdíl normálových napětí

Dle analýzy vyplývá, že špička tahového napětí se opravdu nachází v místě, kde bude nalisována vložka. Avšak i kdyby vložka nebyla a zápustka by byla z jednoho dílu, výsledek 477 MPa není ani zdaleka maximem, co zápustka vydrží. Je třeba se na tento fakt podívat i z jiného úhlu pohledu. Z analýzy je patrné, že celá zápustka je namáhána poměrně stejnoměrně, špička tahového napětí se ale nachází právě v ostré hraně. Toto místo je nejkritičtější v celé spodní zápustce.

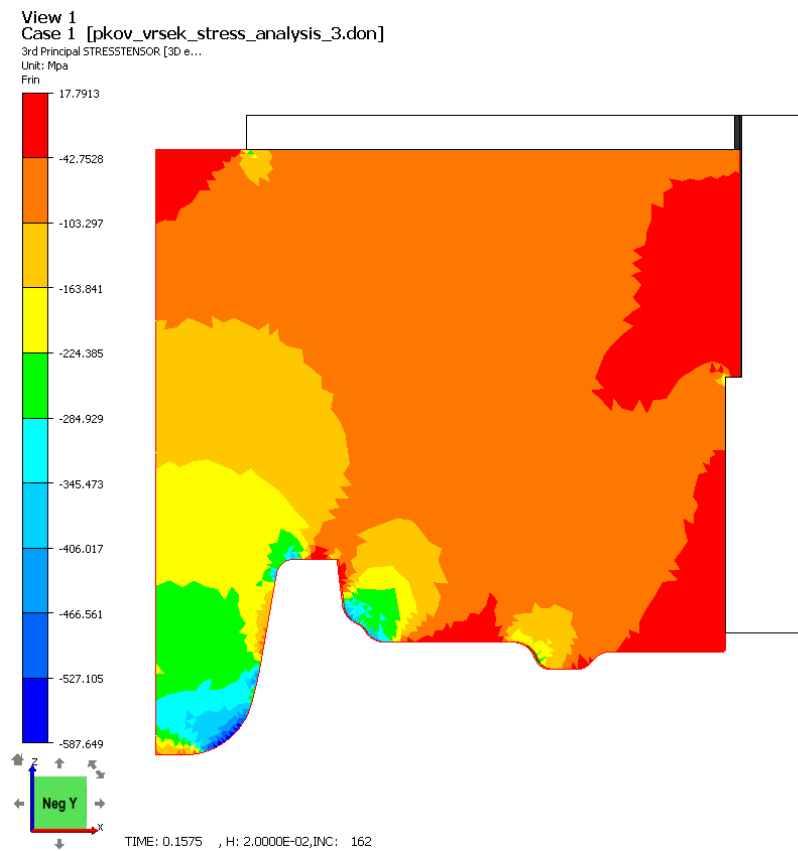


Obr. 55: Předkování spodek - 3. rozdíl normálových napětí

Dle analýzy tlakových napětí vyplývá opět předpoklad, že nejvíce namáhané části zápusky na opotřebení budou pupek a rádius, kde se materiál bude převalovat. Zde dosahuje tlakové napětí přibližně 480 MPa. Pro snížení tohoto napětí by pomohlo zvětšení rádiusů, to by mělo za následek ale zhoršené podmínky středění předkovku do dokovací zápusky. Proto s tímto výsledkem budeme spokojeni.



Obr. 56: Předkování horní - 1. rozdíl normálových napětí



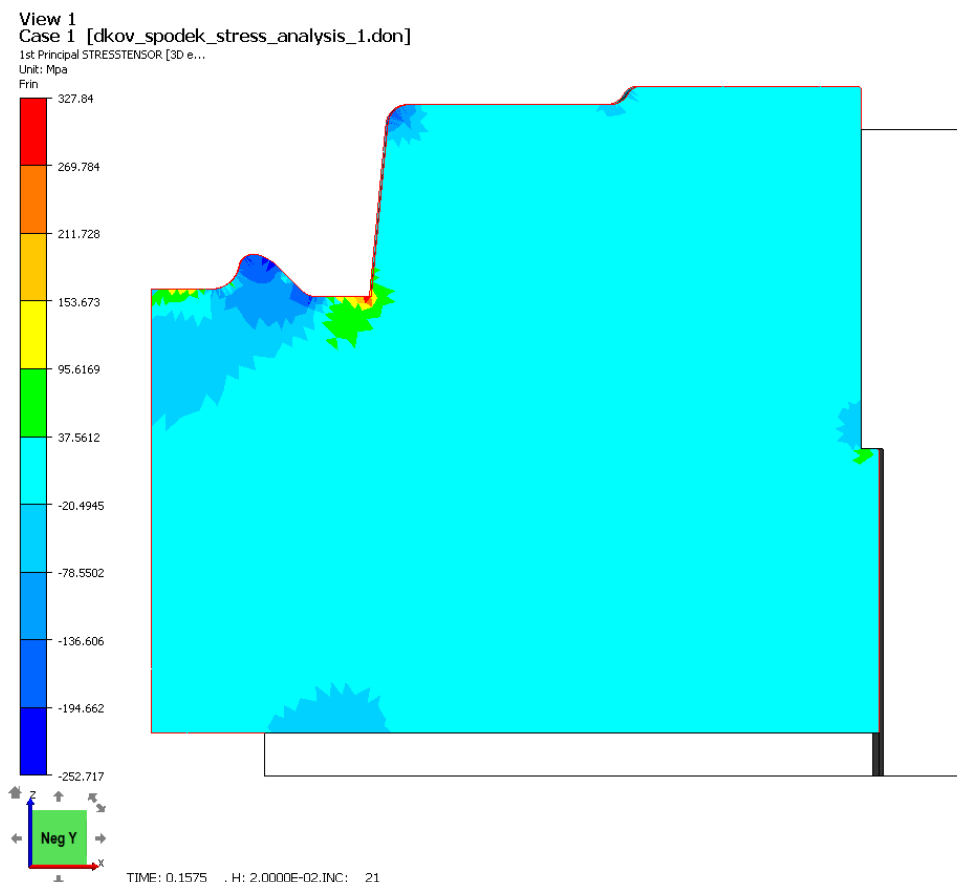
Obr. 57: Předkování horní - 3. rozdíl normálových napětí

Výsledky analýzy horní předkovací zápustky se výrazně neliší od spodních. Opět zde vystupuje špička tahového napětí v místě vložkování. Nejvíce namáhaným místem na tlakové napětí, tedy nejvíce opotřebovávané místo, je horní pupek, kde napětí dosahuje téměř 600 MPa.

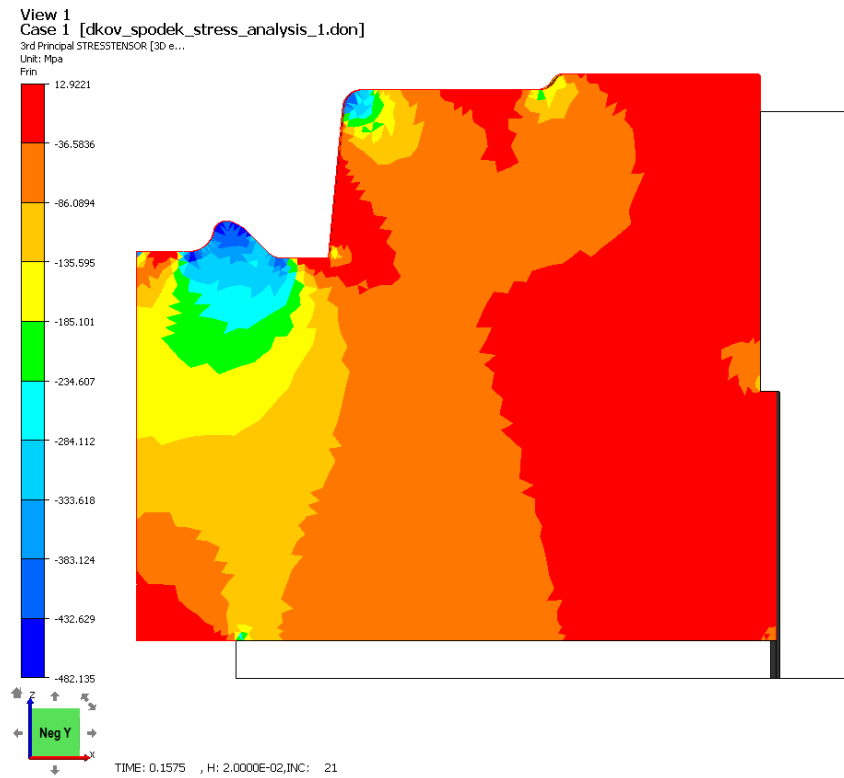
S ohledem na napětí dosažená pevnostní analýzou lze konstatovat, že zápustky vyhovují. Napěťové špičky v místech zápustky budou eliminovány rozdělením zápustky a jejím vyvločkováním. Místa nejvíce opotřebovávaná není třeba upravovat. Předkovací pupky jsou vždy nejvíce namáhanou částí kovacího náradí, protože zde dochází k nejrychlejšímu tečení materiálu.

5.4.2 Dokování

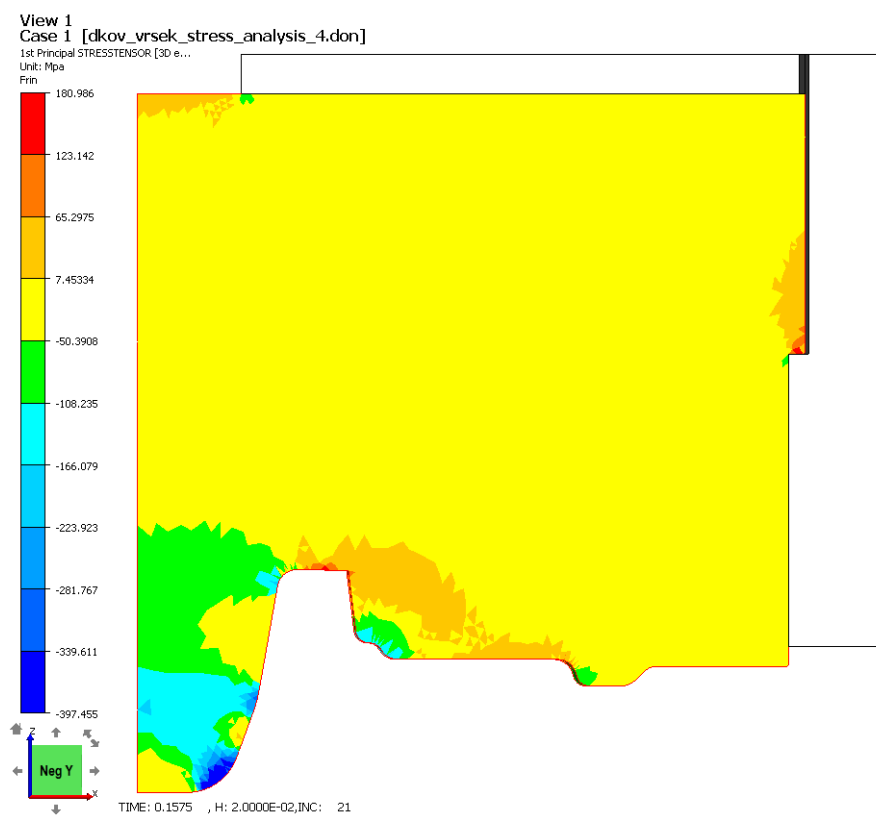
Stejně jako u předkování lze provést analýzu i pro dokování. Výsledky by se neměly výrazně lišit, lze předpokládat největší tahová napětí v místě vložkování, nejvíce namáhaná místa opět na pupku.



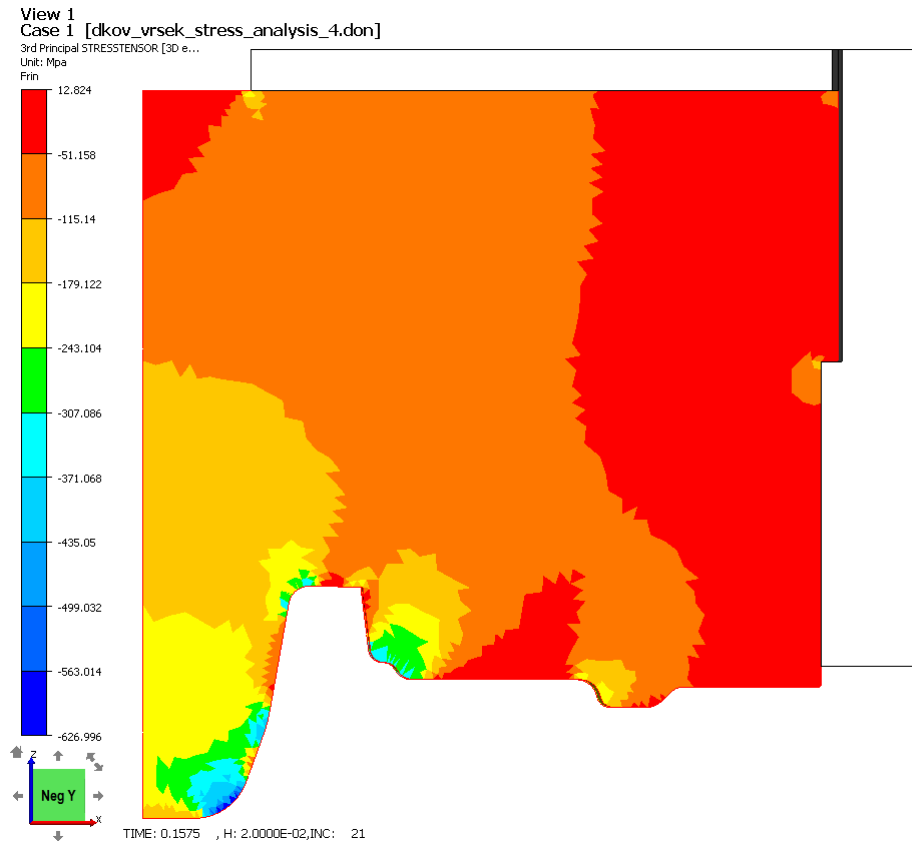
Obr. 58: Dokování spodek - 1. rozdíl normálových napětí



Obr. 59: Dokování spodek - 3. rozdíl normálových napětí



Obr. 60: Dokování horní - 1. rozdíl normálových napětí



Obr. 61: Dokování horní - 3. rozdíl normálových napětí

Z výsledků vyplývá fakt, že ani při dokování nedochází k extrémním špičkám napětí. Zápustky jsou namáhány v mezích pevnosti. Napěťové špičky budou eliminovány vložkováním, napětí tlakové se pohybuje v mezích pevnosti materiálu.

Lze tedy konstatovat, že navržené tvary zápustek pro kování vyhovují.

5.5 Technologický postup

Pro opakovatelnost výroby a dodržování technologické kázně operátorů je třeba přesně definovaný technologický postup. Dle tohoto postupu lze opakovat výrobu a není třeba opětovné přítomnosti vedoucích pracovníků.

Při první kování nového výkovku jsou přítomni vedoucí všech oddělení, pečlivě si zapisují své poznatky a následně konzultují s konstruktérem. Ten jejich požadavky zapíše do kovací návodky, tedy technologického postupu. Tento je následně odsouhlasený všemi dotčenými a vstupuje v platnost. Nedodržením technologického postupu naopak mohou vznikat neshodné výrobky a lze operátory postihovat za nekázeň.

6 VÝROBA NÁŘADÍ, PŘÍPRAVA NA KOVÁNÍ, KOVÁNÍ

Po vypracování modelů, výkresů a postupů pokračuje v práci CAM specialista. Ten má za úkol vypracovat CNC programy pro výrobu na obráběcích centrech, zhotovení technologických postupů a tím i určení polotovarů pro výrobu nářadí.

Po splnění všech náležitostí probíhá výroba nářadí v nástrojárně. Jelikož jsou všechny díly rotačně symetrické, probíhá výroba na soustruhu. Pouze do ostříhovacího nářadí je třeba vyrobit díry pro šrouby, aby bylo jak upevnit do ostříhovacího univerzálu.

Souběžně s výrobou nářadí je plánován termín zkoušky kování. Tento termín je závazný a nástrojárna musí vyrobit všechno nářadí do uvedeného termínu. V případě zpoždění jsou svolávány schůzky k objasnění problémů a jejich rychlé eliminaci. Zde se přijímají opatření, aby se při dalších nových projektech tento jev neopakoval.

Po vyrobení všeho nářadí je dopraveno k pracovišti mechaniků, kteří zkompletují zápustky nalisováním vložek, smontují ostříhovací univerzál s vyrobenými díly a zápustky namontují do držáků.

6.1 Zkouška kování

Po výrobě nářadí, sestavení všech komponent jsou zápustky nahozeny do prostoru kovacího lisu, seřízena výška přetoku na 3mm a ostříhovací nářadí upnuto do prostoru ostříhovacího lisu. Zápustky se předehřejí za pomoci plynových hořáků na teplotu 200°C až 250°C. Do induktoru je založen materiál pro zakázku a je spuštěn.

Po najetí induktoru na kovací teplotu je odkován první vzorek. Změřena jeho výška a rozhodnuto o dalším postupu. Zda je výška kování dostatečná, nebo je třeba lis přestavit na jinou výšku. Klikový kovací lis se při chodu na prázdno a plném vyřízení chová zcela jinak. Lis pruží a proto je ve většině případů nutné lis přestavit, aby pružení bylo eliminováno a výkovky byly s dobrou výškou.

Po odladění výšky kování je z pravidla vykováno 5 ks vzorků, které se i ostříhnou a nechají se vychladit. Kovací linka se odstavuje na nezbytnou dobu. Výkovky se po vychladnutí otryskají a všechny se pomocí mageneticko-práškové metody testují na povrchové vady, přeložky, indikace praskání materiálu. Po této zkoušce je jeden vzorek provozním kontrolorem kompletně proměřen do výkresu.

Při hladkém průběhu všech těchto úkonů lze opět spustit kovací linku a celou zakázku vykovat.

ZÁVĚR

Cílem diplomová práce bylo vytvoření literární studie o možnostech objemového tváření. Studie se zabývá základními zákony tváření, více je popsána technologie kování. Jsou zde popsány vady na výkvcích vyráběných zápustkovým kovááním.

V druhé kapitole této práce je popsán způsob návrhu výkovku, přídavky na obrobení s ohledem na zadaný obrobek. Tato součást je vyrobena z konstrukční oceli C35 technologií objemového tváření, konkrétně zápustkovým kovááním. Jsou určeny kovářské tolerance, výchozí polotovary a vsázková hmotnost. Návrh se dále zabývá konstrukcí zápustek, jejich analýzami na tečení materiálu. Zápustky jsou podrobeny analýze na mechanické namáhání se zaměřením na kritická místa. Na závěr bylo vyrobeno kovací a ostříhovací nářadí s následnou zkouškou kováání, kde byly vykovány vzorky.

Cílem diplomové práce bylo vykování vzorků výkovku, který byl navržen. Zkouška kováání proběhla bez problémů, výkovky byly proměřeny provozní kontrolou a nebyl shledán rozměr mimo určené tolerance.

Vzorky byly odeslány na zkoušky obrobitelnosti a následné smontovatelnosti do sestavy.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] 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
- [2] HAŠEK, Vladimír, et al. *Kování*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1965. 732 s.
- [3] FABÍK, Richard. *Tváření kovů. e-learningová skripta*, VŠB-TU, 2012
- [4] ELFMARK, Jiří, et al. *Tváření kovů: Technický průvodce*, sv 62. 1.vyd. Praha: SNTL. 1992. 524 s. ISBN 80-03-00651-1.
- [5] ŠVERCL, Josef, ŘASA, Jaroslav. *Strojnické tabulky 1*. 1. vyd. Praha : Scientia, 2004. 753 s.
- [6] FRANK Antonín. a kol.: *Strojírenská technologie4*. SNTL, 1978. 352s.
- [7] Katedra tváření kovů a plastů [online]. 2005 [cit. 2010-04-10].
<http://www.ksp.tul.cz>. Dostupné z WWW:
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm>.
- [8] Pedagogická fakulta MU [online]. 2012
<http://www.ped.muni.cz>. Dostupné z WWW:
<<http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/index.htm>>.
- [9] ČSN 22 8306. *Tvářecí nástroje - Zápustky pro kovací lisy - technické požadavky na konstrukci*. Praha: Český normalizační institut, 1990. 39s.
- [10] SOBEK, Evžen, BRANDEJS, Jan, DVOŘÁČEK, Jiří, MAZAL, Pavel, SVOBODA, František. *Základy konstruování*, Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 111 s. ISBN 80-7204-331-5.
- [11] FERMUNT, Pavel, KREJČÍK, J., PODRÁBSKÝ, T. *Nástrojové oceli*, Brno, 1994, 229 s.
- [12] LEINEVEBER, Jan, ŘASA, Jaroslav, VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. SCIENTIA PRAHA, 1999, ISBN 80-7183-164-6.
- [13] DRASLÍK, František. *Výpočty z oboru kování a lisování*. vyd.1. Praha: SNTL, 1972. 192s. ISBN 04-227-72
- [14] NOVOTNÝ, Karel. *Tváření kovů*. vyd.1. Brno: Vysoké učení technické, 1992. 186s. ISBN 80-240-0401-9
- [15] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu I*. 2. rozš. vyd., 2003 516s. ISBN 80-7204-283-1

- [16] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. rozš. vyd., 2002 392s. ISBN 80-7204-248-1
- [17] ČSN 429002. Rozdělení zápusťkových výkovků podle složitosti a tvaru.
Schválená: 9.10.1969. Účinnost od: 1.1.1971
- [18] ŠMERAL [online]. Dostupný z WWW.
<<http://www.smeral.cz> >.
- [19] TRANSVALOR [online]. Dostupný z WWW.
<<http://www.transvalor.com> >.
- [20] FERONA [online]. Dostupný z WWW.
<<http://www.ferona.cz> >.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Název symbolu	Jednotka
τ	Smykové napětí	MPa
G	Modul pružnosti ve smyku	MPa
π	Ludolfovo číslo	-
m	Hmotnost	kg
R_m	Mez pevnosti v tahu	MPa
R_e	Mez pevnosti v kluzu	MPa
V	Objem	mm ³
ϕ	Průměr	mm
l	Délka	mm

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Thomsonův model atomu	12
Obr. 2: Rutherfordův model atomu.....	13
Obr. 3: Rutherfordův model atomu.....	13
Obr. 4: Mechanická analogie stavů soustavy.....	16
Obr. 5: Příklad prostorové mřížky v obecném krystalu.....	17
Obr. 6: Příklad prostorových mřížek	18
Obr. 7: Monokrystal diamantu.....	19
Obr. 8: Rozdíl v růstu krystalů.....	19
Obr. 9: Růst podle šroubovice	20
Obr. 10: Vakance	21
Obr. 11: Hranová dislokace	22
Obr. 12: Šroubová dislokace.....	22
Obr. 13: Princip skuzu	23
Obr. 14: Pohyb dislokací při plastické deformaci.....	24
Obr. 15: Různé způsoby tváření kovů	26
Obr. 16: Napětí v pravoúhlém systému	27
Obr. 17: Kovářský kríž	36
Obr. 18: Tvary kovadel pro volné kování.....	36
Obr. 19: Postup kování na bucharu.....	38
Obr. 20: Deformace výkovku	40
Obr. 21: Zatlačená jehla do výkovku.....	41
Obr. 22: Nedotečený tvar.....	41
Obr. 23: Jehla po ostříhu.....	42
Obr. 24: Přeložky.....	43
Obr. 25: Průhyb výkovku.....	43
Obr. 26: Přesazení.....	44
Obr. 27: Prasklá zápustka	44
Obr. 28: Zakujení.....	45
Obr. 29: Forge - příklad výpočtu klikové hřídele	46
Obr. 30: 3D model obrobeného dílu	48
Obr. 31: Výkres obrobku	49
Obr. 32: Výkres výkovku.....	50

Obr. 33: Návrh vykovaného neostříženého dílu	52
Obr. 34: Klikový lis LMZ1600A	54
Obr. 35: Ostříhvací lis LDO350A.....	55
Obr. 36: Dokovací zápustka spodní před vyvložkováním.....	57
Obr. 37: Dokovací zápustka horní před vyvložkováním	58
Obr. 38: Sestava zápustek dokování	59
Obr. 39: Sestava zápustek předkování	60
Obr. 40: Polotovar před a po napěchování - kontakty	61
Obr. 41: Polotovar před a po napěchování - teplotní pole	62
Obr. 42: Napěchovaný polotovar - tuny	63
Obr. 43: Pěch v předkovací zápustce.....	64
Obr. 44: Předkování 24mm před dolní úvrati stroje	65
Obr. 45: Předkování - dolní úvrat'.....	66
Obr. 46: Předkování - teplota.....	67
Obr. 47: Předkování - tuny	68
Obr. 48: Dokování - první kontakt s horní zápustkou	69
Obr. 49: Dokování - dotečení výkovku	70
Obr. 50: Dokování - dolní úvrat'	71
Obr. 51: Dokování - teploty.....	72
Obr. 52: Dokování - tuny.....	73
Obr. 53: Ostříh - schéma.....	74
Obr. 54: Předkování spodek - 1. rozdíl normálových napětí	76
Obr. 55: Předkování spodek - 3. rozdíl normálových napětí	77
Obr. 56: Předkování horní - 1. rozdíl normálových napětí.....	78
Obr. 57: Předkování horní - 3. rozdíl normálových napětí.....	78
Obr. 58: Dokování spodek - 1. rozdíl normálových napětí	79
Obr. 59: Dokování spodek - 3. rozdíl normálových napětí	80
Obr. 60: Dokování horní - 1. rozdíl normálových napětí	80
Obr. 61: Dokování horní - 3. rozdíl normálových napětí	81

SEZNAM TABULEK

Tabulka I. Přídavky pro obrobení v mm.....	50
Tabulka II. Tabulka kovářských tolerancí	51

SEZNAM PŘÍLOH

- PI Materiálový list C35
- PII Materiálový list 1.2343
- PIII Výkresy:
- Výkres výkovku
- Výkres dokovací zápustky spodní
- Výkres dokovací zápustky horní
- Výkres dokovací vložky spodní
- Výkres dokovací vložky horní
- Výkres předkovací zápustky spodní
- Výkres předkovací zápustky horní
- Výkres předkovací vložky spodní
- Výkres předkovací vložky horní
- Výkres spodního nosiče
- Výkres horního nosiče
- Výkres vyhazovače výronku
- Výkres střížnice
- Výkres děrováku