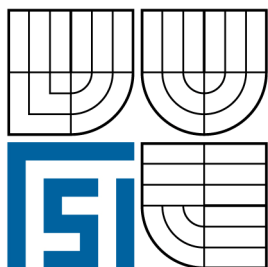


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

INOVACE VÝROBY SOUDEČKŮ VALIVÝCH LOŽISEK OBJEMOVÝM TVÁŘENÍM ZA STUDENA(OTS)

SPHERICAL ROLLERS PROCEES INOVATION BY APPLICATION OF COLD BULK FORMING.

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

STANISLAV MACHAČ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

prof. ing. RADKO SAMEK, CSc.

BRNO 2008

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Machač Stanislav

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Inovace výroby soudečků valivých ložisek objemovým tvářením za studena(OTS)

v anglickém jazyce:

Spherical rollers procees inovation by application of cold bulk forming.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě rešeršní studie současného stavu výroby navrhnout inovaci výroby valivých elementů-soudečků-na vertikálním lisu, včetně konstrukčního řešení nástrojů a ekonomického hodnocení inovace.

Cíle diplomové práce:

Shrnutí poznatků o současných způsobech hromadné výroby soudečků.

Návrh postupu výroby soudečků OTS na vertikálních lisech při zohlednění tvařitelnosti materiálu 100CrMn6 a 100Cr5.

Konstrukční řešení nástroje,layout pracoviště, ekonomické hodnocení.

Seznam odborné literatury:


1. FELDMAN, H. Protlačování ocelí. Přel. V. Hašek. 1. vyd. Praha: SNTL. 1962. 197 s.
2. BILLIGMAN, J.und FELDMAN,H. Stauchen und Pressen.Munchen: CarlHanser Verlag. 1973. 572 s.
3. SEMIATIN, L.S., et al. Metals Handbook: Forming and Forging.9 th.ed. Metals Park, Ohio: ASM. 1988. 947 s. ISBN 0-87170-007-7

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Radko Samek, CSc.


Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 4.12.2007





doc. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

MACHAČ Stanislav: Inovace výroby soudečků valivých ložisek objemovým tvářením za studena (OTS).

Diplomová práce prezenčního studia, magisterského studijního programu – Strojírenství. Obor strojírenská technologie, 2. ročník, 2. stupeň – letní semestr, studijní skupina 50 / 51, akademický rok 2007 / 2008. FSI VUT Brno, ÚST odbor tváření kovů a plastů, květen 2008, stran 75, tabulek 6, příloh 4.

Tématem diplomové práce je inovace výroby soudečků valivých ložisek objemovým tvářením za studena. Na základě rešeršní studie současného stavu výroby je navrhnout a vypracován výrobní postup pro lisování dřívě soustruženého soudečku dvouřadého radiálního soudečkového ložiska s označením 22226EJ. Postup výroby je vypracován s ohledem na určený kolenový lis LLR 1000 (Šmeral Brno a.s.), s ohledem na stanovený způsob přechování v polozavřené zápustce a při zohlednění tvařitelnosti materiálu soudečku 100CrMn6. Pro tento soudeček je zde proveden návrh a kontrola funkčních částí nástroje, při jejichž návrhu je přihlíženo ke stávajícímu uspořádání jednotlivých částí a jejich zabudování do pracovního prostoru lisu. Dále je zde uveden návrh LAYOUTU pracoviště pro ruční zakládání polotovarů. V závěru je provedeno ekonomické hodnocení inovace porovnáním vlastních nákladů výroby soustružených a lisovaných soudečků 22226EJ.

Klíčová slova: soudeček, radiální dvouřadé soudečkové ložisko, přechování za studena, ocel 100CrMn6,

ABSTRACT

MACHAČ Stanislav: Spherical rollers process innovation by applicaton of cold bulk forming.

Diploma thesis of the attendance engineer's studies, Institute of technology, 2nd year, 2nd level – summer term, study group 50 / 51, school year 2007 / 2008. FSI VUT Brno, department of forming and plastics, May 2008, 75 pages, 6 tables, 4 enclosures.

The topic of this thesis is production innovation of spherical rollers for bearings. The innovation is based on the technology of cold bulk forming. According to the literary research and according to the current stage of production is proposed and conceived manufacturing process for cold upsetting instead of turning using in current spherical rollers production. This manufacturing process is dedicated for the bearing type 22226EJ. The production process is conceived with regard to determinate knuckle-joint press LLR 1000 (Smeral Brno, a.s.). Also with regard to determinate half-closed die upsetting and with regard to formability of the steel 100CrMn6. The proposal and check-up of tool functional parts are designed regarding the current setting of particular parts of the press. In the next part of this thesis the proposal of work-room layout dedicated for hand-filling of semi-factured product is conceived. In conclusion the comparison of spherical roller production budget between cold upsetting and turning is conceived.

Key words: Spherical roller, radial spherical bearing, cold upsetting, the steel 100CrMn6.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MACHAČ, S. *Inovace výroby soudečků valivých ložisek objemovým tvářením za studena (OTS)*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 75 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Radko Samek, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 23.5.2008

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu diplomové práce panu Prof. Ing. Radko Samkovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

Taktéž děkuji firmám ZKL Brno, a.s. a ZKL Hanušovice, a.s. za poskytnutí teoretických poznatků k danému tématu.

OBSAH

Titulní list	
Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	
1. ÚVOD	11
2. OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ ZA STUDENA	13
2.1 Základní způsoby OTS	15
2.2 Tvarové skupiny součástek pro OTS.....	16
2.3 Výchozí polotovary pro OTS	18
2.4 Materiál pro OTS	20
2.4.1 Plastičnost a technologická tvařitelnost.....	20
2.4.2 Faktory plastičnosti	22
2.4.3 Křivky zpevnění	24
2.4.4 Deformační přetvárný odpor σ_d	25
2.4.5 Mez technologické tvařitelnosti	26
3. PĚCHOVÁNÍ	26
3.1 Proces pēchování a jeho činitele	27
3.1.1 Princip pēchování	27
3.1.2 Činitele procesu pēchování.....	28
3.1.3 Výpočet deformačního odporu	31
3.1.4 Výpočet tvářecí síly, práce a výkonu.....	32
3.2 Stroje používané pro pēchování	34
3.2.1 Zhodnocení strojů vzhledem k problematice výroby soudečků	35
3.2.2 Kolenové lisy	35
3.3 Nástroje	36
3.3.1 Základní zásady pro konstrukci nástrojů pro OTS	36
3.3.2 Materiál nástrojů.....	37
4. SHRUTÍ POZNATKŮ O SOUČASNÝCH ZPŮSOBECH HROMADNÉ VÝROBY SOUDEČKŮ	39
4.1 Soudečková ložiska	39
4.2 Způsoby výroby soudečků.....	40
4.2.1 Příčné válcování	41
4.2.2 Soustružení	41
4.2.3 Kování za tepla a poloohřevu	41
4.2.4 Lisování za studena – OTS.....	41
4.3 Situace ve světě	43
5. SOUČASNÝ STAV VÝROBY SOUDEČKŮ V ZKL	43
5.1 Výroba tvaru soudečků.....	43
5.1.1 Výroba v ZKL Hanušovice, a.s.	43

5.1.2	Výroba v ZKL Brno a.s.....	44
5.2	Tepelné zpracování soudečků	44
5.3	Dokončovací operace	45
5.4	Inovační záměr	45
6.	NÁVRH POSTUPU VÝROBY MĚKKÝCH SOUDEČKŮ	45
6.1	Výchozí fakta k řešení postupu výroby.....	45
6.2	Stávající výrobní postup měkkého soudečku 22226EJ	46
6.3	Návrh výrobního postupu lisovaného soudečku	48
6.4	Tvařitelnost výchozí oceli	51
6.4.1	Oceli na valivá ložiska	51
6.4.2	Ocel 100CrMn6, měkce žhánáno	51
6.4.3	Technologická tvařitelnost oceli 100CrMn6	53
6.5	Zhodnocení použitelnosti lisu LLR 1000.....	54
6.6	Navržený výrobní postup	55
7.	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ NÁSTROJE.....	57
7.1	Návrh vyhazovačů.....	58
7.2	Kontrola podložek.....	59
7.3	Návrh zápustky	59
8.	LAYOUT PRACOVNÍHO MÍSTA	64
8.1	Lisování.....	66
8.1.1	Definice parametrů vstupního materiálu soudečku 22226EJ.....	66
8.1.2	Definice technologického postupu.....	66
8.1.3	Kalkulace vlastních nákladů výroby:.....	68
8.2	Soustružení.....	69
8.2.1	Definice parametrů vstupního materiálu soudečku 22226EJ.....	69
8.2.2	Definice technologického postupu.....	69
8.2.3	Kalkulace vlastních nákladů výroby:.....	69
8.3	Porovnání	70
9.	ZÁVĚR.....	70

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých zkratk a symbolů

Seznam příloh

Výkresová dokumentace

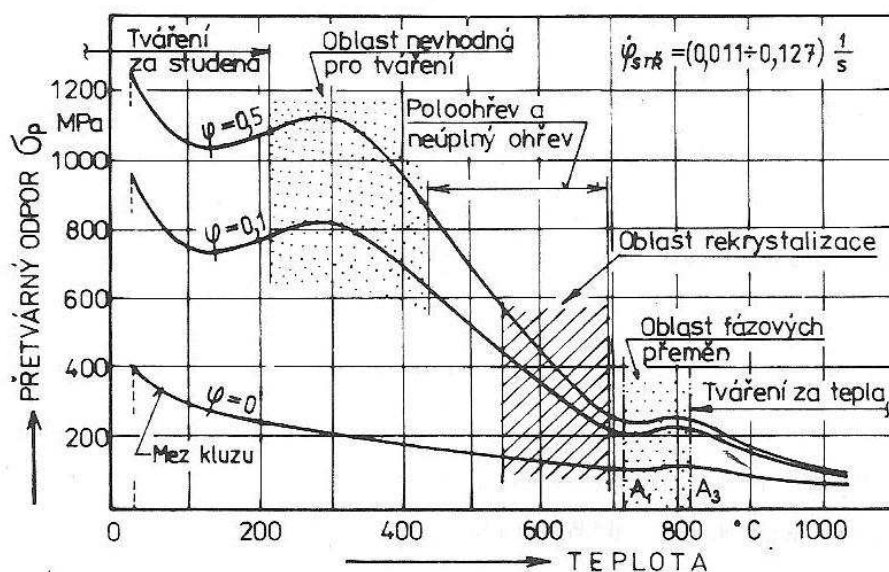
1. ÚVOD [1][7]

Volba materiálu a způsob jeho zpracování má zásadní vliv na konečné vlastnosti výrobku. Správná volba materiálu a technologie může ovlivnit jak konečné vlastnosti výrobku, tak jeho konečnou cenu. Při návrhu technologie je nutno zohledňovat oba tyto faktory. V současné době se dá způsob zpracovávání ocelí rozdělit v podstatě do dvou hlavních skupin. Obrábění a tváření.

Obrábění je velmi dynamicky se rozvíjející technologie. K dosahování konečných rozměrů výrobku z polotovaru dochází odběrem třísek. Klasickými způsoby obrábění jsou soustružení, frézování, řezání, vrtání, broušení. Dnes jsou na vzestupu také nové technologie. Obrábí se vodním paprskem, laserem, plazmou, elektroerozivně aj. Obráběním lze dosáhnout velmi přesné výrobky. Tato technologie je takřka nezastupitelná pro dokončovací operace po ostatních technologiích. I přes prudce rostoucí automatizaci a zvyšování rychlosti obrábění je tato technologie zvláště pro velké série výrobků nevhodná. Je zde velká energetická náročnost, poměrně dlouhé výrobní časy a velký odpad materiálu.

Určitou alternativou pro obrábění je tváření. Vhodnou volbou technologie lze dát výrobku v některých případech lepší vlastnosti oproti obrábění, ale ve většině případů je tato volba motivována hlavně ekonomickým hlediskem.

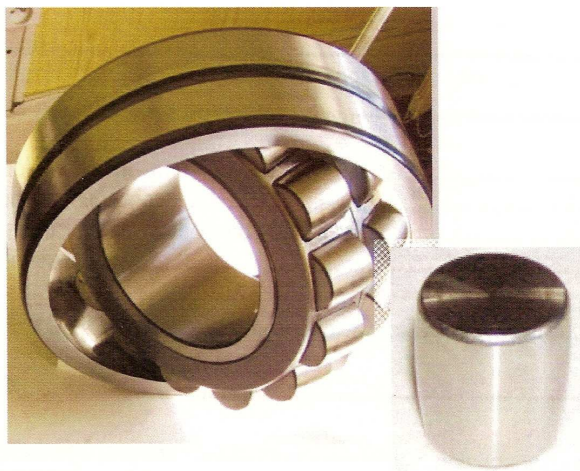
Ve tváření se využívá schopnosti materiálu měnit svůj tvar bez porušení soudružnosti v důsledku působení vnějších sil. Tvářením měníme průřez tělesa přičemž objem zůstává stejný. Tváření lze rozdělit na tváření plošné nebo objemové a dále na tváření tlakem nebo rázem. Tvárnost kovových materiálů je ve velké míře ovlivňována teplotou, při které tváření probíhá. Hlavním mezníkem pro rozdělení procesů dle teploty je teplota rekrystalizace. Tváření pod teplotou rekrystalizace, $T \leq 0,3 \cdot T_{TAV}[K]$, se všeobecně označuje jako tváření za studena (dále OTS), nad touto teplotou jako tváření za tepla. Při tváření za studena dochází k významnému jevu, tzv. zpevňování, které se projevuje změnou vlastností materiálu. Tváření za tepla probíhá za teplot vyšších než je teplota rekrystalizace, ke zpevňování zde nedochází, což umožňuje velké přetvoření materiálu. Kovací teploty se pohybují od 900 do 1300°C. Tváření za teplot vyšších než je pokojová teplota, ale zároveň nižších než je teplota rekrystalizace, se označuje jako tváření za poloohřevu. Výrobek má strukturu s rekrystalizací i bez rekrystalizace.



Obr. 1.1: Rozdělení tvářecích procesů podle teploty [7]

Tato práce se bude zabývat řešením konkrétních dílčích problémů v rámci inovačního programu ve firmě ZKL a.s.. Firma se zabývá výrobou celé řady strojních součástek, jejím nosným výrobním programem jsou však valivá ložiska a to především ložiska soudečková. Jedním z dílčích podúkolů, které firma v rámci inovačního programu v posledních letech řeší je potřeba inovace výroby valivých elementů – soudečků. Tato práce bude tedy řešit právě inovaci výroby soudečků valivých ložisek, určitých rozměrových skupin, které se do teď vyráběly soustružením. Původní technologie se zdá být pro stále se zvyšující objem výroby nedostatečná. Není již schopna při stávajícím strojovém parku dalšího navyšování produkce a neumožňuje snižování nákladů. Vzhledem k tomu bude v této práci prezentována možnost náhrady soustružení za vhodnější technologii, kterou je objemové tváření za studena. Technologii OTS firma určila na základě vlastních dlouhodobých zkušeností v oblasti strojní výroby a také dle poznatků o výrobních programech konkurenčních firem. Od inovace si firma slibuje především finanční úspory plynoucí ze snížení spotřeby materiálu a snížení energetické náročnosti výroby, dále je očekáváno zvýšení životnosti a dosažení rozměrové stálosti vyráběných soudečků a neméně důležitým výstupem této inovace by měla být výroba, která bude šetrnější k životnímu prostředí.

Níže bude podrobněji rozebrána problematika vztažená k problémům vyplývajících z řešení tohoto úkolu. Pro součástky tvarově blízké řešenému soudečku zde bude probrána materiálová stránka s ohledem na mezní přetvoření související se vznikem defektu a změnou vlastností materiálu v průběhu OTS. Po stránce mechaniky přetvoření zde bude zejména věnována detailnější pozornost procesu pěchování, jakožto nosné technologii pro řešení soudečky. Na základě rešeršní studie současného stavu výroby bude dále nastíněn zvolený výrobní postup. Při volbě výrobního postupu bude vycházeno z daných požadavků firmy, z jejích možností a ze stávajícího strojového parku.



Obr. 1.2: Dvouřadé radiální soudečkové ložisko a detail jeho soudečku

2. OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ ZA STUDENA [1][8][12][18][19]

Objemové tváření za studena (OTS), je moderní, velmi produktivní metoda výroby strojních součástí. Zejména díky své hospodárnosti se tato technologie stala jedním ze základních technologických procesů pro výrobu celé řady součástek. OTS na rozdíl od plošného tváření probíhá za působení optimální prostorové napjatosti (převážně jde o všestranný tlak) a vytváří tak příznivé podmínky pro vznik velkých trvalých deformací v celém objemu tvářeného materiálu, aniž by se porušila jeho soudružnost.

Volba procesu a výrobního postupu souvisí s tvarem součástky, která ovlivní volbu výrobní metody. To musí být řešeno v interakci se zohledněním vhodnosti materiálu pro OTS. Výrobní postup musí být volen tak, aby jednotlivé operace měly přiměřenou hodnotu přetvoření, nedojde tak potom k přetěžování nástrojů, což přinese požadovanou životnost nástrojů pro zadané série výrobků. Tyto otázky budou dále rozvedeny podrobněji.

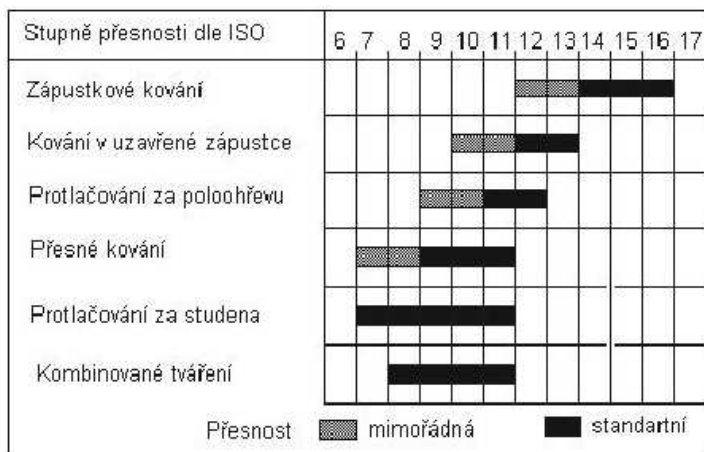
Volba OTS pro výrobu řešené součásti – soudečku, je určena a zadána firmou, která ji zvolila s ohledem na požadovanou jakost, se zohledněním ekonomické výhodnosti, spolehlivosti výroby, velikostí vyráběných sérií atd.. Technologie OTS má jako každá jiná technologie řadu výhod a nevýhod.

Hlavními nevýhodami OTS jsou vysoké vstupní náklady zejména na pořízení strojů a nástrojů. Tyto stroje jsou navíc většinou jednoúčelové, což znamená malou variabilitu výroby. Pro kusovou výrobu je tedy OTS používána jen minimálně. U OTS jsme omezeni velikostí a tvarovou složitostí výrobků, složité nebo velkorozměrné dílce jsou touto technologií nevyrobitelné nebo je pro jejich výrobu tato technologie nevhodná.

Hlavními výhodami OTS jsou především:

- **Jakost tvářených součástí:**

V současnosti se zvyšují požadavky na životnost strojních součástí a tedy na jakost výlisků. Technologií OTS lze dosahovat vysoké kvality rozměrů, tvarů a mechanických vlastností tvářených součástí. To nám v některých případech umožňuje vyrábět dílce na „hotovo“. Drsnost povrchu se v závislosti na kvalitě povrchu lisovacích nástrojů pohybuje v rozmezí $R_a = 0,4 \mu\text{m}$ až $12,5 \mu\text{m}$. Ovalita bývá v rozsahu 0,2% až 0,6% vnějšího průměru. Co se týká mechanických vlastností přináší OTS příznivý poměr mezi houževnatostí a pevností, dostáváme účelně orientovaná, nepřerušovaná vlákna a nenarušená zrna, což při výrobě obráběním získat nelze.



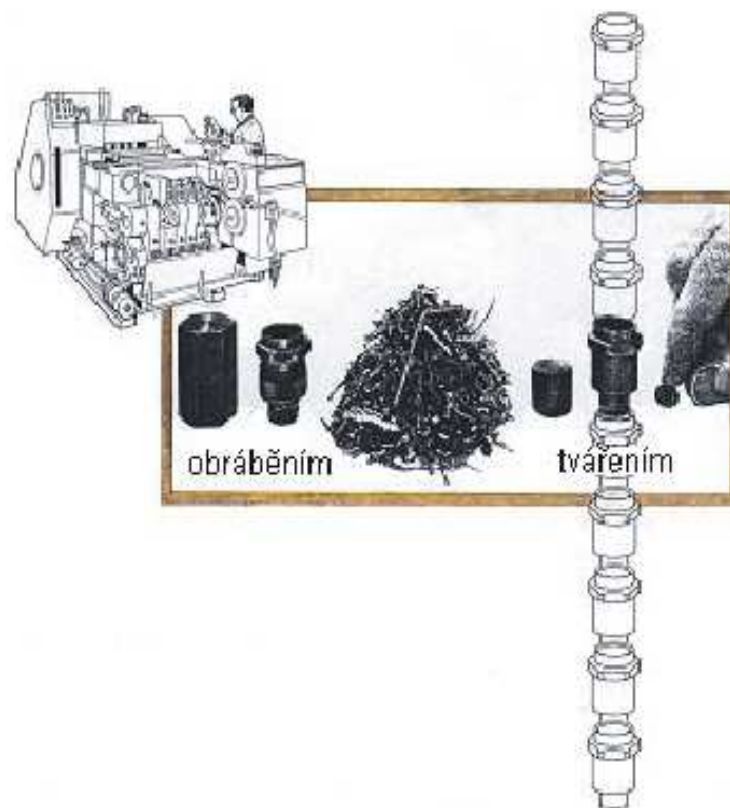
Obr. 2.1: Jakost součástí vyrobených různými technologiemi [8]

- **Vysoká produktivita výroby**

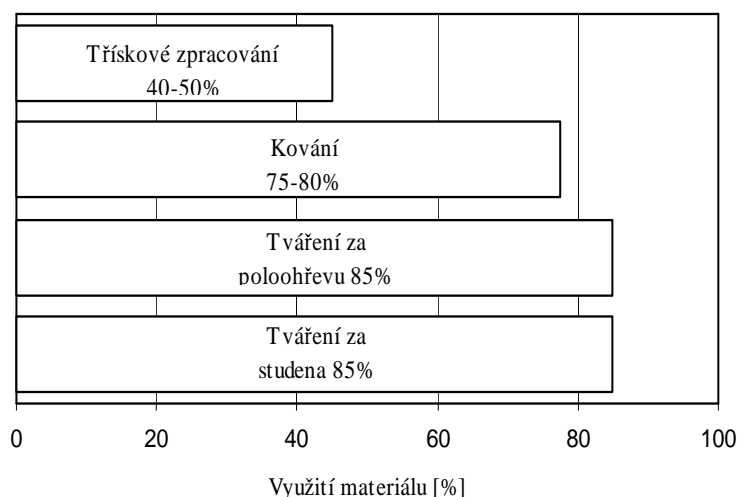
Dalším důležitým argumentem pro technologii tváření je vysoká produktivita tvářecích strojů, zejména víceoperačních tvářecích automatů, které mohou vyrábět až 300 součástí za minutu. Pořizovací náklady tvářecích strojů jsou sice podstatně vyšší než náklady na pořízení obráběcích automatů, avšak pro zajištění stejného objemu výroby obráběním by bylo obráběcích strojů zapotřebí několik. Na vysoké produktivitě výroby OTS se významně podílí široká možnost mechanizace a automatizace, která zrychluje výrobu a šetří mzdové náklady.

- **Podstatná úspora výrobního materiálu:**

OTS umožňuje vyrábět dílce jen s minimálními přídávky na dokončení nebo dokonce již hotové dílce, které se dále již nezpracovávají. To oproti obrábění přináší zásadní úsporu na materiálu ve formě odpadu. K úspoře může docházet i díky procesu zpevňování, který výrazně mění mechanické vlastnosti výchozího materiálu. Můžeme tak využít levnější výchozí materiál s horšími výchozími mechanickými charakteristikami. Polotovarem pro OTS může být tažený ocelový drát dodávaný ve svitcích, který je oproti tažené a rovnané tyči, nutné pro obráběcí automaty, také levnější. Pořizovací náklady pro uskutečňování technologie OTS jsou proti třískovým metodám znatelně vyšší, proto je OTS většinou hospodárnější až při hromadné a sériové výrobě. Až při těchto velkých objemech výroby začíná materiálová úspora vyvažovat nutné vstupní náklady. Porovnání využití materiálu při různých výrobních způsobech ukazuje (Obr. 2.2) a (Obr. 2.3).



Obr. 2.2: Polotovary a odpad pro výrobu součásti technologií obrábění a OTS [8]



Obr. 2.3: Využití materiálu při různých technologiích výroby [12]

- **Energetická úspora**

Úspora energie je přímo spojena s úsporou materiálu. Podstatná část energie spotřebované na výrobek připadá na hutní výrobu výchozího materiálu. Technologie, u kterých vzniká jen malý odpad jsou tedy energeticky mnohem úspornější.

2.1 Základní způsoby OTS [1]

Podle směru a způsobu přemísťování materiálu v tvářecím nástroji rozeznáváme tyto hlavní způsoby objemového tváření kovů.

Protlačování:

- Dopředné (Obr. 2.4.a)

Materiál teče ve směru pohybu průtlačníku. Výchozím materiálem může být kalíšek, prstenec, děrovaný polotovar kruhového průřezu, nebo plný špalík.

- Zpětné (Obr. 2.4.b)

Při této metodě se materiál přeskupuje v protisměru pohybu průtlačníku. Výchozím polotovarem je nejčastěji špalík, jehož výška je zpravidla větší než polovina průměru. Tímto způsobem se nejčastěji vyrábějí tvary podobné kalíškům.

- Sdružené (Obr. 2.4.c)

Je to kombinace dopředného a zpětného protlačování. Materiál teče ve směru i proti směru průtlačníku. Výchozím polotovarem může být děrovaný rondel, prstenec nebo špalík.

- Stranové (Obr. 2.4.d)

K hlavnímu přemísťování kovu dochází kolmo k ose tvářeného polotovaru. Používá se například pro změnu průřezu určité části vylisku.

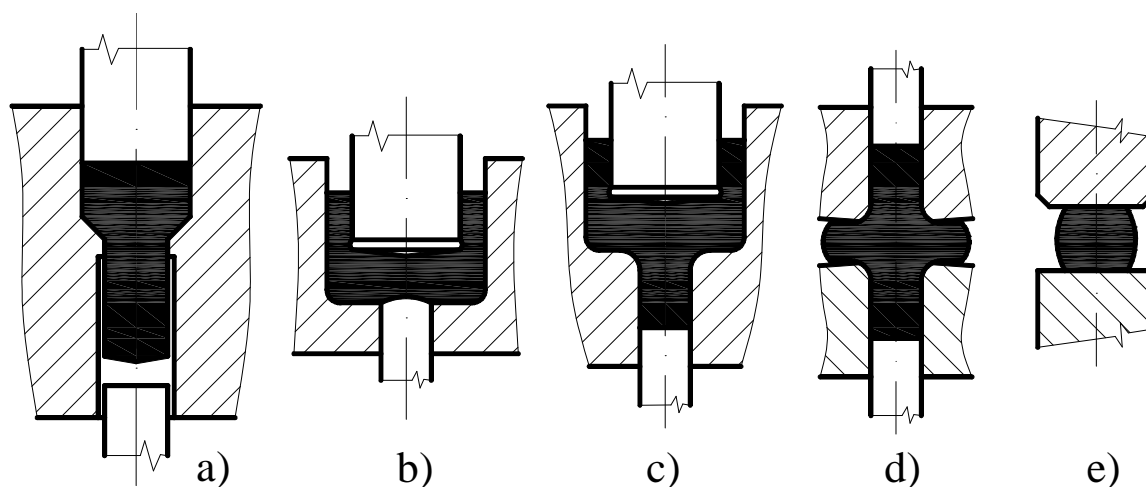
Pěchování:

Pěchování je tvářecí operace, která spočívá ve stlačování výchozího polotovaru k získání větších průřezů více či méně složitých tvarů. (Obr. 2.4.e)

Jiné způsoby:

Ke způsobům OTS také patří redukování tyčí a drátů, vtlačování, ražení, válcování závitů a drážek.

Popsané základní způsoby OTS se v praxi používají samostatně jen zřídka. Při výrobě tvarově složitých součástí se tyto způsoby kombinují a to jak v jedné tak i ve více operacích. To umožňuje vyrábět složité, velmi přesné tvary.



Obr. 2.4: Základní způsoby OTS: a) Dopředné protlačování; b) zpětné protlačování; c) sdružené protlačování; d) stranové protlačování; e) pěchování

Závěr:

Předmětem této práce je řešení výroby soudečků valivých ložisek pěchováním za studena, proto ze zmíněných způsobů OTS zde bude dále podrobněji rozebráno pouze právě pěchování.

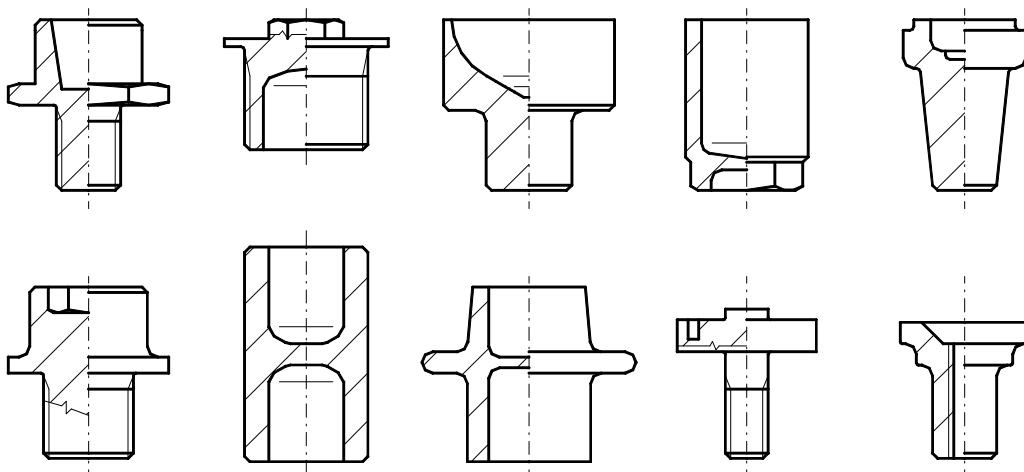
2.2 Tvarové skupiny součástí pro OTS [1][18]

Jde o tvary více nebo méně složité, jejichž realizace vyžaduje v některých případech víceoperační postupy s případným mezioperačním tepelným zpracováním. Výrobní postup těchto součástí je ovlivněn především tvařitelností materiálu. Pokud hovoříme o možnosti aplikace OTS, jde o řešení celé řady vztahů mezi materiálem, zařízením, které je k dispozici, tvarem a rozměrem výrobku, možnosti využití vhodného maziva atd.

OTS se vyrábí součásti symetrické, nesymetrické, jednoduchého i složitějšího tvaru. Hmotnost protlačků může být od několika gramů až po dílce vážící kolem 20 kg. V ČR se horní hranice pohybuje kolem 2,5 kg.

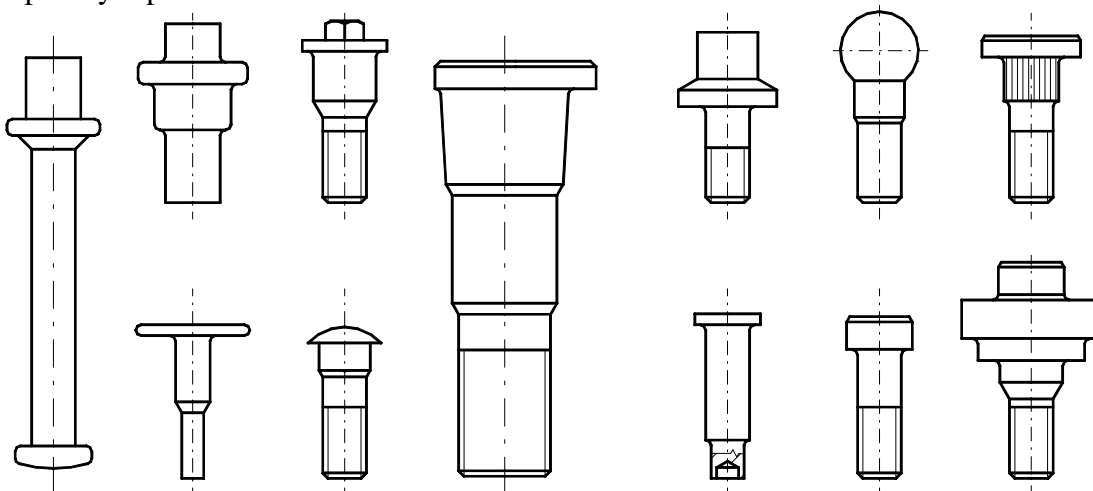
Základní typy dílců lze základně rozdělit podle charakteristických tvarových znaků do následujících skupin:

a) součásti kalíškového tvaru (jednostranné i dvoustranné), vyráběné převážně protlačováním dopředným a stranovým (Obr. 2.5)



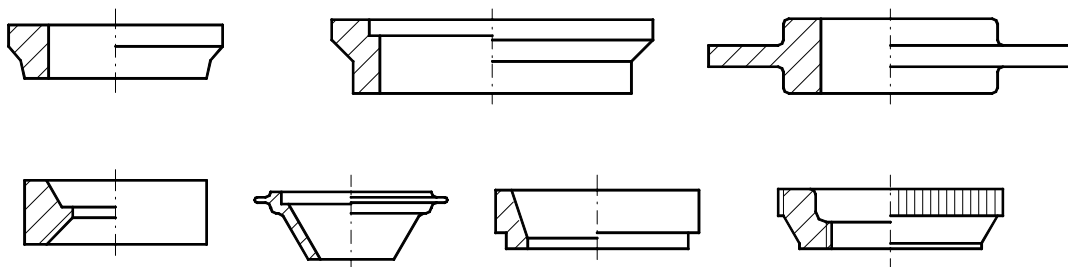
Obr. 2.5: Součásti kalíškovitého tvaru [18]

b) součásti čepového tvaru (Obr. 2.6), vyráběné většinou pěchováním a stranovým a dopředným protlačováním



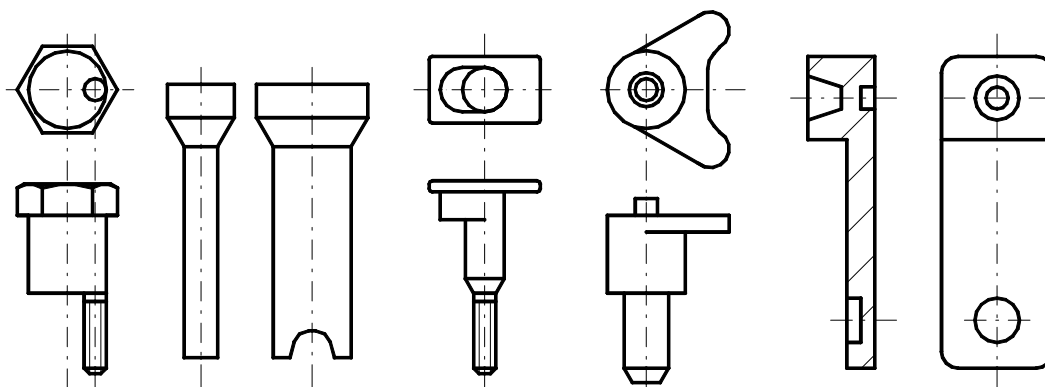
Obr. 2.6: Součásti čepového tvaru [18]

c) nízké rotační součásti s průchozím otvorem (Obr. 2.7), zhotovené kombinací některých základních způsobů OTS



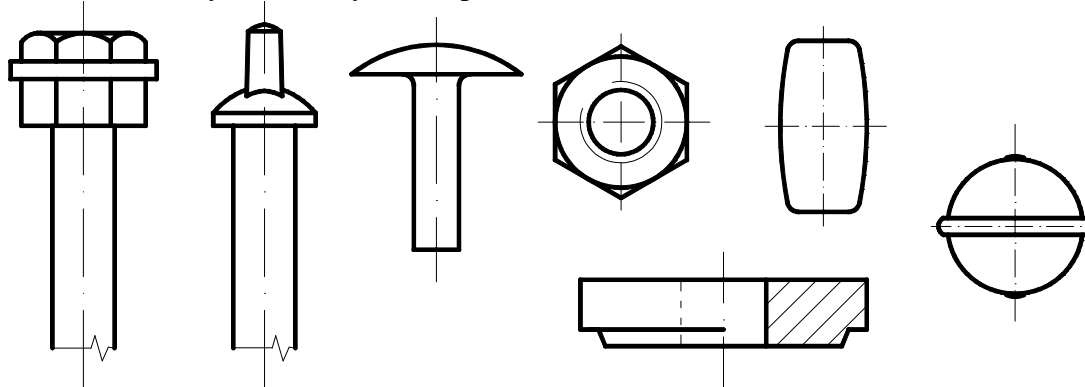
Obr. 2.7: Nízké rotační součásti s průchozím otvorem [18]

- d) součásti nepravidelného tvaru (Obr. 2.8), dosud u nás ojediněle vyráběné, které jsou předmětem dalšího výzkumu



Obr. 2.8: Součásti nepravidelného tvaru [18]

- e) součásti různých tvarů vyráběné pěchováním (Obr. 2.9)



Obr. 2.9: Příklady dílců vyrobených pěchováním [18]

Základní rozdělení pěchovaných součástek:

součástka typu dřík s hlavou (hlavy šroubů, nýty, čepy, tvarová osazení apod.)

součástka bez dříku (matice, kuličky, prstence) tento případ se týká i soudečku valivého ložiska, jehož tváření je součástí této práce.

2.3 Výchozí polotovary pro OTS [1][5]

Výše uvedené tvary dílců vyžadují volbu optimálního tvaru polotovaru a to tak, aby byly například splněny požadavky rovnoměrnosti přetvoření v dílčích operacích.

Výchozími polotovary mohou být špalíky kruhového či jiného průřezu (výška $> 1/2$ průměru) nebo kaloty (výška $< 1/2$ průměru). Polotovary se dělí na přesnou hmotnost, resp. na požadovaný rozměr. Způsob dělení materiálu má vliv na kvalitu výrobku, a to kvalitou plochy v místě oddělení. Materiál můžeme dělit z tyčí a drátů stříháním, lámáním, sekáním a řezáním nebo také soustružnickým upichováním. Pokud jsou špalíky a kaloty stříhané, lámáné nebo sekané je nutné následné zarovnání čela. Pro tento účel je proto vhodné zařadit do výrobního postupu jako první operací kalibrační pěchování.

Určení objemu vylisku:

Objem polotovaru se při objemovém tváření nemění a zůstává konstantní, to znamená, že se objem polotovaru rovná objemu vylisku. Výchozí objem materiálu se určí z konečného tvaru vylisku, u kterého se také berou v úvahu přídatky pro případné dokončení obráběním. K celkovému vypočtenému objemu se musí připočítat množství odpadu připadajícího na zhotovení výchozího polotovaru daným způsobem dělení včetně nevyužitých konců tyčí či drátů. Součet těchto hodnot dává výchozí objem a hmotu polotovaru.

Pro hospodárnost procesu a pro kvalitu lisovaných výrobků, je rozhodující správná povrchová úprava.

Obecný postup povrchové úpravy:

- Mechanické odstranění vad povrchu. Odstranění může být, škrábáním, broušením, tryskáním, loupáním nebo leštěním. Doporučuje se vyhýbat tryskání z důvodu nebezpečí přilnutí vrhaného materiálu na polotovar. Také není vhodné broušení z důvodu zanášení tahového napětí do povrchové vrstvy.
- Čištění a odmašťování. Pokud je výchozí polotovar znečištěn mazivem, je potřebné použít tuto operaci.
- Žíhání materiálu. Rekrytalizačně nebo na měkko.
- Odstranění oxidů. To může být mechanickým kartáčováním, otloukáním v bubnech nebo chemicky mořením.
- Oplach
- Vytvoření kvalitní nosné vrstvy pro mazivo. U polotovarů z oceli je nejvhodnějším nosným podkladem fosfátová vrstva, která se na kov nanáší při tzv. fosfátování. Fosfatizačním procesem se povrch obrobku nepokryje dokonale, vrstva má určitou pórovitost, což vytváří dobrý základ pro ulpění olejů a maziv. Fosfátovaný povrch má mnohem větší nasákavost oleje než povrch holý.
- Konečnou fází povrchové úpravy je nasycení fosfátové vrstvy stearátem sodným a samotné mazání.

Mazání:

Mazivo je důležitým prostředkem v procesech technologie tváření. Volba maziva má vliv na životnost tvářecích nástrojů, povrchové vlastnosti tvářených materiálů a velikost tvářecí práce. Dobré mazivo má mít hlavně schopnost vytvářet únosné mazací filmy nebo filmy s optimálním koeficientem tření, být nekorozivní, nevyvolávat barevné změny na povrchu kovů, nevytvářet lepivé povrchy, být po použití snadno odstranitelné z povrchu kovu, být fyziologicky nezávadné, ekologické, musí být tepelně stálé, aby při tvářecích teplotách neztrácelo potřebné vlastnosti, kapalná maziva musí mít dobrou smáčivost kovových povrchů a schopnost odvádět teplo. Volba maziva musí být přizpůsobena požadavkům, které má při daném tvářecím procesu splňovat. Při OTS se maže nástroj a zpravidla i tvářený materiál. Úlohou maziva je zmenšit třecí sílu při tvářecím procesu, zamezit studeným svarům, prodloužit životnost nástrojů a zajistit požadované tolerance vylisku. Mazivy pro OTS jsou různá mýdla, univerzální oleje či rostlinné tuky s aditivy pro vysoké tlaky.

2.4 Materiál pro OTS [1][5][7][13][18]

Možnost výroby určité součástky a možnost použití daného materiálu se hodnotí na základě tzv. technologické tvařitelnosti.

2.4.1 Plastičnost a technologická tvařitelnost

Technologická tvařitelnost

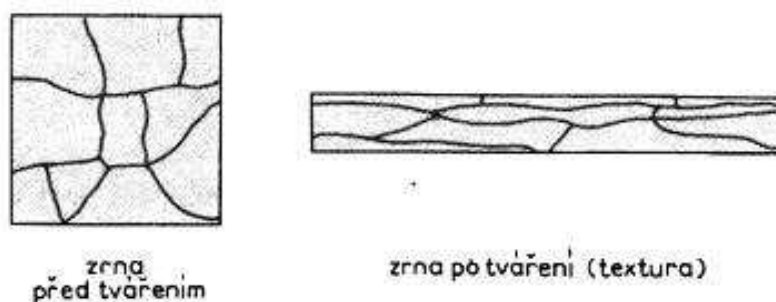
Je to obecně souhrn vlastností popisujících možnost vyrobít požadovanou součástku danou technologií bez porušení materiálu. Zahrnuje v sobě materiálový faktor neboli plastičnost a faktor procesních činitelů daný tvářecími podmínkami. Posuzování technologické tvařitelnosti znamená posuzovat plastičnost materiálu v interakci s procesními podmínkami dané technologie.

Plastičnost

Je materiálový faktor technologické tvařitelnosti. Vyjadřuje schopnost materiálu tvářet se bez porušení. Plastičnost posuzujeme s přihlédnutím ke stavu napjatosti a hodnotíme ji z různých hledisek, např. podle rozsahu zpevňování materiálu, tj. podle změny mechanických vlastností v závislosti na změně průřezu. Plastičnost taky posuzujeme podle chemického složení nebo na základě výsledků materiálových zkoušek.

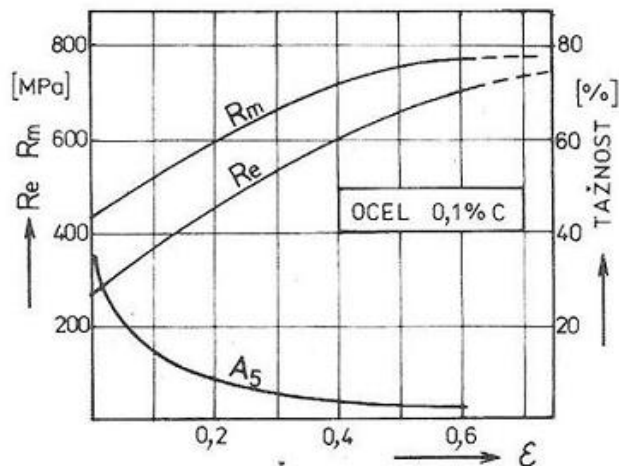
Zpevňování a změna vlastností materiálu

Hovoříme-li o plastičnosti jako o schopnosti materiálu tvářet se bez porušení, hodnotíme vlastně průběh a rozsah zpevnění v materiálu během procesu tváření. Zpevňování materiálu je pro OTS velmi významným průvodním jevem. Zpevňováním se rozumí nárůst odporu proti dalšímu přetvoření. Důvodem zpevňování je nárůst hustoty dislokací během fáze plastické deformace, která se uskutečňuje volným pohybem dislokací. Dochází k zastavení a nakupení dislokací před překážkami, zrna se deformují ve směru tváření, vytváří se textura (Obr. 2.10) a dochází k anizotropii mechanických vlastností.



Obr. 2.10: Změna tvaru zrn v důsledku tváření [13]

V průběhu tváření dochází také ke změnám vlastností ocelí. Mění se vlastnosti fyzikální, mechanické a někdy i chemické. Na změnu mechanických vlastností má vliv především právě zpevnění. Změna se projevuje nárůstem mezi pevnosti a mezi kluzu, poklesem tažnosti a zvýšením tvrdosti (Obr. 2.11). Snižuje se houževnatost, která může poklesnout i tak, že se materiál při tažení trhá, při pěchování praská apod. Přiměřeným tvářením za studena se většinou zlepšuje i mez únavy ocelí.



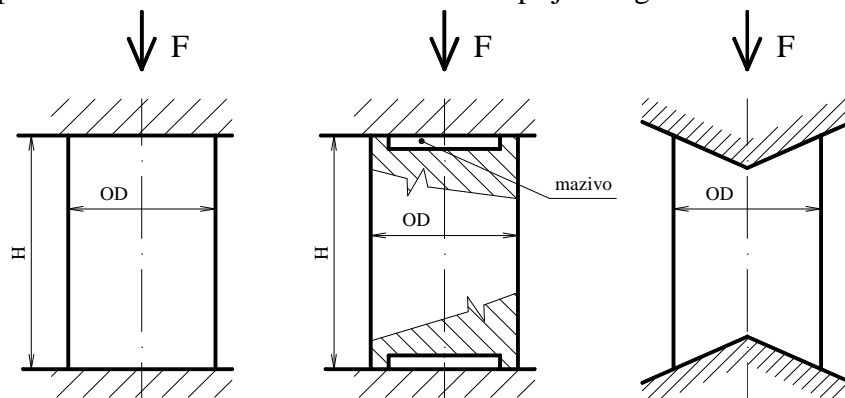
Obr. 2.11: Změna mechanických vlastností v závislosti na stupni deformace [13]

Zpevňování není v celém tvářeném tělese rovnoměrné. Povrchové vrstvy materiálu se zpevňují více než vrstvy vnitřní. Hloubka tohoto zpevnění závisí na způsobu tváření. Nestejným zpevněním jednotlivých vrstev vzniká v materiálu vnitřní pnutí. Rozdíly ve zpevnění rostou s velikostí průřezu a se stupněm deformace, takže tváření větších průřezů za studena je obtížné nejen z hlediska potřebných tvářecích sil, ale i z hlediska dosažení rovnoměrného zpevnění v celém průřezu. Proto se tváření za studena zpracovávají převážně jen menší průřezy (asi do \varnothing 50 mm). Zpevnění oceli lze snížit nebo vůbec zrušit žíháním.

Zkoušky objemové tvařitelnosti

Provádějí se pro získávání důležitých charakteristik, které slouží pro posouzení plastičnosti a tvařitelnosti materiálu z hlediska jeho chování ve tvářecím procesu. Jsou to charakteristiky jako například přirozený přetvárný odpor, technologický přetvárný odpor, pěchovatelnost, kovatelnost a další. Nejčastěji používané zkoušky objemové tvařitelnosti materiálů jsou:

- Pěchovací zkouška s válcovými vzorky s rovnými čely nebo se vzorky s upravenou geometrií kontaktních ploch vzorek - nástroj (Obr. 2.12). Tyto zkoušky jsou pro OTS nejpodstatnější.
- Krutová zkouška.
- Tahová zkouška.
- Zkouška pěchovatelnosti a tvařitelnosti materiálu přijatá organizací CIRP-F.



Obr. 2.12: Schéma základních pěchovacích zkoušek objemové tvařitelnosti [6]
a) s rovnými čely; b) s vybranými čely; c) s kuželovitými čely

2.4.2 Faktory plastičnosti

Hlavními faktory ovlivňujícími plastičnost jsou:

- druh materiálu a charakter jeho struktury,
- termomechanické podmínky zkoušky, tedy teplota a rychlost deformace,
- napětově-deformační stav,
- geometrický faktor (např. pěchovací poměr při pěchování).

Vliv materiálu:

- souvisí s
- chemickým složením a jeho lokální nestejnorodostí,
 - druhem mřížky,
 - přítomností karbidů, sulfidů, nečistot, precipitátů, sekundárních fází, atd.
 - objemem, tvrdostí a rozložením vměstků a inkluzí,
 - velikostí zrn, jejich desorientací a rozměrem bloků,
 - rozložením mikrodefektů mřížky.

Tyto vlivy materiálu na plastičnost se posuzují podle určitých ukazatelů jako např. poměr $R_{p0,2} / R_m$, exponent zpevnění n , tažnost A , kontrakce Z . Ocel vhodná pro OTS má mít co nejnižší mez kluzu, co nejvyšší tažnost, poměr $R_{p0,2} / R_m$ má být 0,5 až 0,6. Obecně lze oceli pro OTS rozdělit na oceli s malým, středním nebo velkým přetvárným odporem. Oceli s větším obsahem uhlíku a oceli legované kladou značně větší deformační odpor, špatně zaplňují tvářecí nástroj a vyžadují složité tepelné zpracování. Pokud se týká struktury, tak pro dobrou tvárnost je vhodná struktura stejnorodá, rovnoměrně uspořádaná bez větších nekovových vměstků a jejich shluků, porézности, bublin, trhlin, rýh, segregace a ostatních vad. S rostoucí nestejnorodostí a nerovnoměrností struktury a s množstvím defektů ve struktuře výrazně roste přetvárný odpor a vzrůstá náchylnost k prasklinám. Výhodná je struktura feritická, nebo feriticko-perlitická se zrny o velikosti 400-4000 μ m. Obsah perlitu roste s obsahem uhlíku. Nejlepší tvárnost mají oceli, které mají ve struktuře perlit zrnitý. Taková mikrostruktura zaručuje největší měkkost a houževnatost. S rostoucím množstvím perlitu se snižuje tvárnost oceli a naopak se stoupajícím obsahem feritu se tvárnost zvyšuje. Malá zrna tvářených ocelí kladou větší deformační odpor než zrna velká. Avšak oceli s velkými zrny mají sklon k praskání a výrobek má hrubší povrch. Nejvýhodnějším stavem výchozího polotovaru je žhánání na měkko, případně kombinace normalizačního žhánání (pro dosažení jemného zrna) s žhánáním na měkko (pro dosažení tvárnosti).

Vliv prvků chemického složení materiálu:

Uhlík – Se stoupajícím obsahem uhlíku v oceli její tvárnost klesá, ale současně stoupá mez pevnosti, mez kluzu, tvrdost a zmenšuje se tažnost, kontrakce a vrubová houževnatost. Nejlépe tvárné jsou oceli s $C < 0,25\%$, při větším obsahu C je nutno ocel tepelně zpracovávat. Oceli vysokouhlíkové s $C = 1$ až $1,2\%$ jsou již těžko tvařitelné, lze je například pěchovat se stupněm deformace jen 20-30%. Obsah 1,6% uhlíku znamená prakticky horní mez tvárnosti oceli.

Křemík – Zvyšuje mez pevnosti, mez kluzu, tvrdost a zmenšuje tvárnost a vrubovou houževnatost. Oceli s větším obsahem křemíku obsahují větší množství nekovových vměstků.

Mangan – Snižuje tvárnost ocelí, proto obsah manganu má být právě takový, aby kompenzoval vliv síry. Ocel s obsahem Mn nad 0,6% je již těžko tvařitelná.

Síra – Je škodlivou příměsí v oceli. Snižuje houževnatost oceli za normální teploty.

Fosfor – Způsobuje v oceli křehkost při tváření za studena, má sklon k odměšování a způsobuje vznik rádkovité struktury. Fosfor je považován za škodlivou příměšinu.

Kyslík – Je nežádoucí příměšinou v oceli. Množství kyslíku se zmenšuje dezoxidací.

Dusík – Způsobuje stárnutí ocelí a nepříznivě působí i na mez únavy.

Chrómu – Přítomnost většího množství chrómu (více než 1%), zvláště u ocelí s větším obsahem uhlíku zvětšuje tvrdost a zmenšuje tvárnost ocelí.

Nikl, vanad, hliník – Zlepšují tvárnost ocelí. V chromových ocelích nemá být niklu více než 0,20% a v uhlíkových ocelích nemá množství niklu překročit 0,15%.

Vliv teploty:

Při tváření za studena se teplota zpravidla pohybuje hluboce pod teplotou zotavení, nedochází tedy k rekrystalizačním pochodům jako u tváření za tepla. Vliv teploty je tedy v průběhu OTS malý.

Vliv rychlosti deformace $\dot{\varphi}$:

Vliv rychlosti deformace na plastičnost se popisuje mocninou funkcí ve tvaru:

$$\bar{\sigma} = C \cdot \dot{\varphi}^m \quad (2.1)$$

Kde: m exponent rychlostního zpevnění
 $\dot{\varphi}$ rychlost deformace

Pro OTS je exponent rychlostního zpevnění malý ($m=0,05$), stoupání přímek zpevnění v závislosti na $\dot{\varphi}$ je malé, vliv m je zanedbatelný.

Vliv napěťového stavu:

Složité stavy lze vyjádřit komplexně pojatou hodnotou, tzv. efektivním napětím

$$\bar{\sigma}_{ef} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right] \quad (2.2)$$

Důležitou veličinou, která umožňuje predikci tvařitelnosti je střední napětí

$$\sigma_s = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (2.3)$$

Je to tzv. hydrostatická složka, která je součástí všech napěťových stavů. Vyjadřuje buď všestranný tlak nebo tah. Plastičnost se zvyšuje, má-li σ_s tlakový charakter, tedy pokud jsou v systému hlavních napětí v převaze tlaková napětí.

2.4.3 Křivky zpevnění

Křivky zpevnění neboli křivky přirozených přetvárných odporů charakterizují plastičnost materiálu. Křivky vyjadřují závislost růstu napětí na skutečném přetvoření a pro jednotlivé materiály se sestavují na základě hodnot získaných ze zkoušek objemové tvařitelnosti.

Přirozený přetvárný odpor:

je vnitřní odpor materiálu proti působení vnějších sil za podmínek jednoosého stavu napjatosti, při kterém nastane počátek plastické deformace za daných termomechanických podmínek:

- materiálu (chemického složení)
- výchozího stavu (R_e , R_m , ε , φ)
- teploty tváření
- rychlosti deformace
- stavu napjatosti

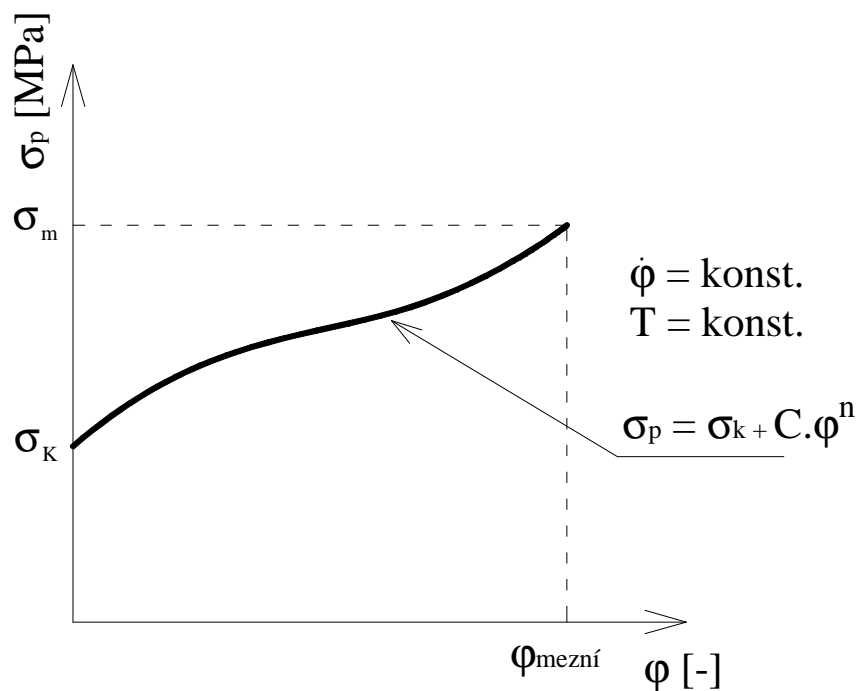
Pro plastický materiál se pro oblast homogenních plastických deformací (oblast od meze kluzu po mez pevnosti) nejčastěji používá tzv. Hollomonova aproximační funkce (Obr. 2.13)

$$\sigma_p = C \cdot \varphi^n \quad (2.4)$$

kde: σ_p přirozený přetvárný odpor
C konstanta
n exponent zpevnění
 φ Skutečná (logaritmická) deformace:

$$\varphi = \ln \frac{L_0}{L} = \ln \frac{H_0}{H} = \ln \frac{S_0}{S} = \ln \frac{D_0^2}{D^2} \quad [-] \quad (2.5)$$

Kde: L_0 výchozí délka [mm]
L délka po deformaci [mm]
 H_0 výchozí výška [mm]
H výška po deformaci [mm]
 S_0 výchozí průmět přechované plochy [mm²]
S koncový průmět přechované plochy [mm²]
 D_0 výchozí průměr součásti [mm]
D průměr součásti po deformaci [mm]



Obr. 2.13: Křivka přirozeného přetvárného odporu dle Hollomonovy funkce [7]

2.4.4 Deformační přetvárný odpor σ_d

Nebo-li také technologický přetvárný odpor je charakteristikou technologické tvařitelnosti. Prakticky se jedná o přirozený přetvárný odpor zvětšený o vlivy pasivních technologických odporů při změně tvaru tvářeného tělesa. Jsou to následující vlivy:

- vliv tření
- vliv změny geometrie
- vliv změny teplotních podmínek
- vliv napjatosti a změn nerovnoměrné napjatosti
- vliv lokálních změn rychlosti deformace při toku kovu

Obecně lze tyto vlivy vyjádřit souhrnným součinitelem M

$$\sigma_d = \sigma_p(\sigma_p, M) \quad (2.6)$$

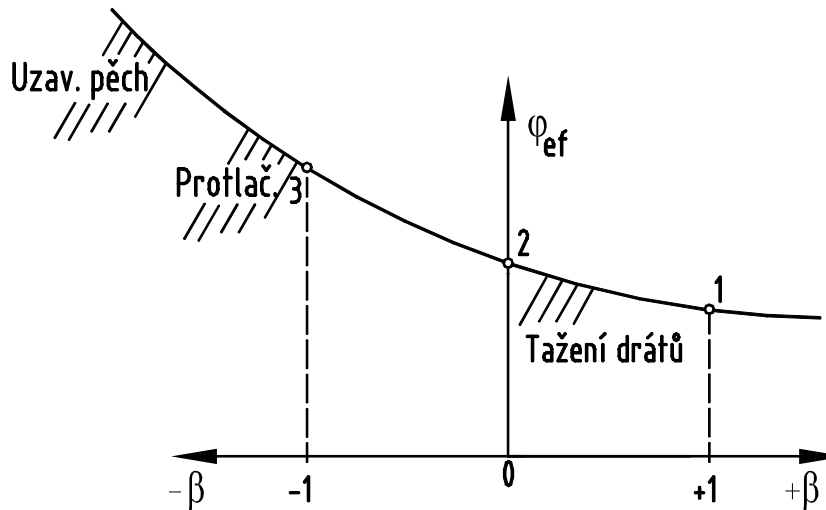
Jako praktický příklad je zde uveden výpočet deformačního odporu pro pěchování válce mezi rovnoběžnými rovinami podle Siebela:

$$\sigma_d = \sigma_p \left[1 + \frac{2}{3} f(1-f) \frac{D}{H} \right] \text{MPa} \quad (2.7)$$

Technologický faktor
Materiálový faktor

2.4.5 Mez technologické tvařitelnosti

Křivky přetvárných a deformačních odporů nám udávají potřebné napětí pro iniciaci počátku plastické deformace a následného růstu napětí nutného pro další přetvoření materiálu při daných podmínkách. Tvařitelnost materiálu má však své omezení, které označujeme jako mez technologické tvařitelnosti. Určení meze tvařitelnosti znamená definovat hranici, zpravidla limitní přetvoření, v okamžiku vzniku defektu (u OTS tvárný lom). Výhodné je znázornění v grafech pomocí limitních křivek, které oddělují oblasti dobrých výrobků a výrobků s defekty. Jeden takový diagram je na (Obr. 2.14), kde β je ukazatel stavu napjatosti a φ_{ef} je efektivní přetvoření. Tyto parametry definují meze dosažitelných stupňů deformace.



Obr. 2.14: Základní diagram mezní tvařitelnosti [18]

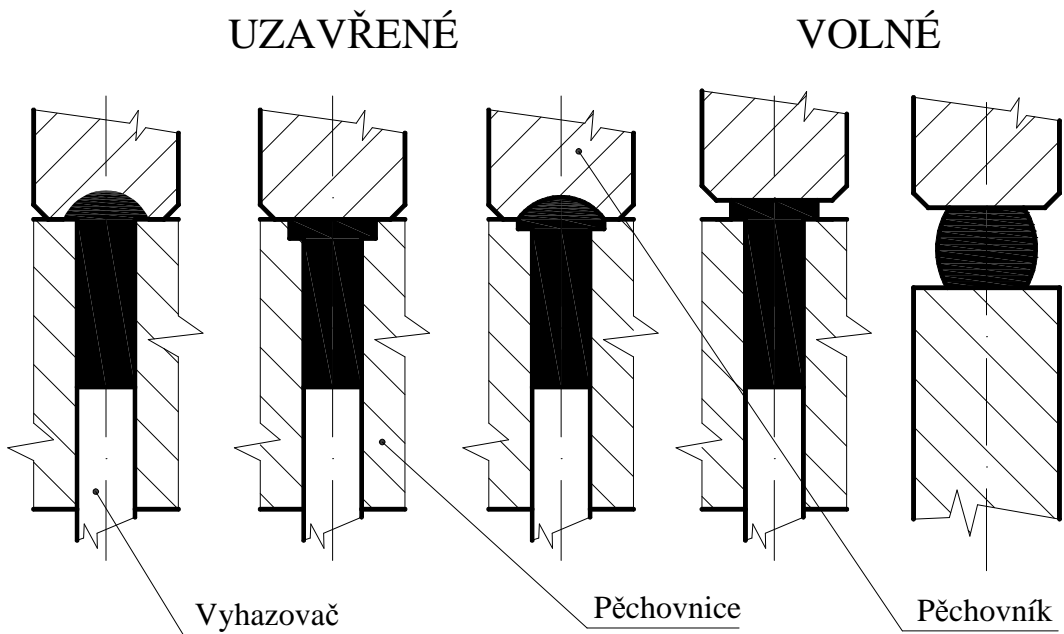
V diagramu mezní tvařitelnosti jsou definovány body (1, 2, 3). Hodnoty pro tyto body jsou získávány z tahové, krutové a pýchovací zkoušky. Při těchto zkouškách jsou vzorky zatěžovány až do okamžiku vzniku trhliny, přičemž dané body jsou právě momentem vzniku trhliny. Rozmezí na křivce mezi těmito body definuje mezní tvařitelnost pro různé typy napěťových stavů. Tyto diagramy mají nevýhodu v nutnosti znalosti hodnot σ_1 , σ_2 a σ_3 pro určení bodu zkoumaného procesu.

3. PĚCHOVÁNÍ [1][4][6][18][20]

Pěchování je využíváno:

- Jako samostatná operace.
- Jako pomocná operace pro kalibraci výchozího špalíku za účelem zarovnání čel deformovaných při střihu.
- Jako přípravná tvářecí operace, při které se přizpůsobuje tvar i rozměr výchozího polotovaru po další tvářecí operaci.
- Při víceoperačním tváření jako v samostatné nebo sloučené tvářecí operaci v kombinaci s protlačováním.

Způsob pěchování lze základně rozdělit jako pěchování volné a uzavřené. Při uzavřeném pěchování mohou být pěchovadla rovná i tvarová. Tvarová dutina může být jen v pěchovníku nebo jen v pěchovnici nebo v obou částech nástroje (Obr. 3.1).

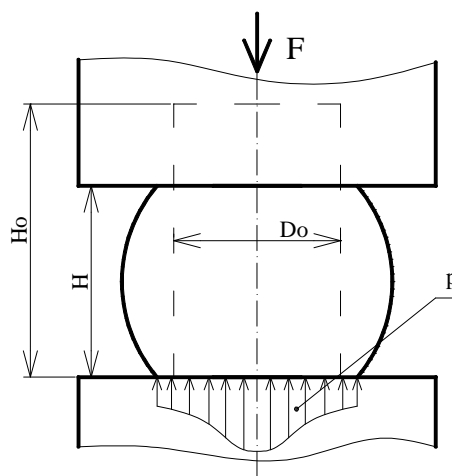


Obr. 3.1: Způsoby umístění tvarových dutin v pěchovadlech [20]

3.1 Proces pěchování a jeho činitelé

3.1.1 Princip pěchování

Podstatou pěchování je stlačování výchozího polotovaru pro získání výrobků větších průměrů různě složitých součástí. Díky tlakové napjatosti dovoluje tato metoda značné přetvoření. Charakteristické pro pěchování je nerovnoměrné rozložení osového tlaku působícího na pěchovaný materiál. Na rozložení tohoto tlaku má vliv průměr a délka polotovaru a způsob mazání čel. Mazáním můžeme ovlivňovat velikost tření na čele nástroje. Toto tření klade odpor proti stranovému posuvu materiálu, což má vliv na deformaci materiálu v celém objemu. Deformace je v důsledku toho nerovnoměrná a vzniká charakteristický soudkovitý tvar, se kterým je spojen nerovnoměrný průběh vláken. Pěchovaný materiál je tedy charakteristický nerovnoměrným zpevněním a tedy nerovnoměrnou tvrdostí. Riziko vzniku povrchových trhlin zde vzniká na největším průměru soudku.



Obr. 3.2: Schéma pěchování válce [18]

3.1.2 Činitelé procesu pýchování

Pýchovací poměr:

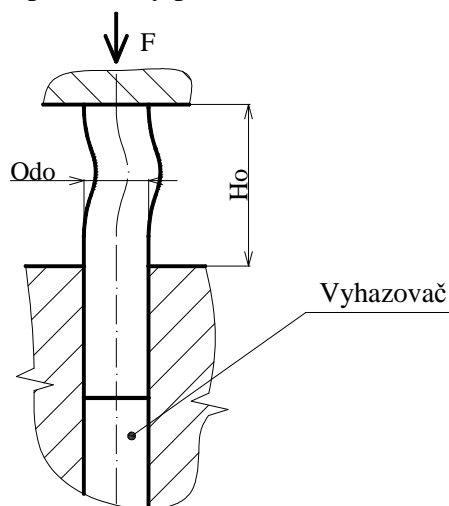
Jedním z omezujících faktorů při pýchování za studena je pýchovací poměr, tj. podíl celkové skutečně pýchované délky a průměru pýchovaného materiálu. Pýchovací poměr umožňuje posoudit odolnost polotovaru proti ztrátě vzpěrné stability během procesu.

$$s = \frac{H_0}{D_0} \quad [-] \quad (3.1)$$

Pýchovací poměr válcových výlisků lze také vyjádřit vztahem:

$$s = \frac{D^2}{D_0^2} H \quad [-] \quad (3.2)$$

Kde: H_0 celková skutečná pýchovaná výška [mm]
 H konečná spýchovaná výška [mm]
 D_0 výchozí průměr pýchovaného materiálu [mm]
 D konečný spýchovaný průměr [mm]



Obr. 3.3: Vybočení polotovaru s velkou štíhlostí [18]

Pokud pýchovací poměr nepřesahuje $s = 2,3$, nedojde v průběhu procesu ke ztrátě vzpěrné stability a je tedy možno pýchovat v jedné operaci. Při pýchovacím poměru $s = 2,3 - 4,5$ je nutno požadované spýchování provést ve dvou operacích. V první operaci se materiál předpýchuje do hruškovitého tvaru, aby byla zkrácena volná délka namáhaná na vzpěr. Ve druhé operaci se pak součást dopýchuje na požadovaný tvar a rozměr. Pýchování součástí, jejichž výchozí polotovar má délku odpovídající pýchovacímu poměru nad 4,5 se pýchuje na více úderů, kdy při každém úderu se předpýchuje délka odpovídající hodnotě $2d$. Dosažení těchto mezních hodnot je podmíněno rovnou střížnou plochou výchozího polotovaru. Z praktického hlediska se proto doporučuje pýchovat na dvě operace už od pýchacího poměru $s = 2$. Uvedené hodnoty pýchacího poměru se vztahují na použití pevného pýchacího nástroje. Tyto hranice mohou být překročeny při použití speciálních nástrojů, např. odpruženého pýchacího nástroje.

Stupeň deformace:

Stupeň deformace, neboli stupeň zpěchování, se zpravidla vyjadřuje skutečným (logaritmickým) přetvořením φ .

$$\varphi = \ln \frac{H_0}{H} \quad [-] \quad (3.3)$$

Velikost deformace se však může vyjádřit i příčným spěchováním q nebo podélným spěchováním ε :

$$q = \frac{S - S_0}{S} \quad [-] \quad (3.4)$$

$$\varepsilon = \frac{H_0 - H}{H_0} \quad [-] \quad (3.5)$$

Pro válcové výlisky lze stanovit převod skutečné deformace φ na podélné spěchování ε nebo na příčné spěchování q :

$$\varphi = \ln \frac{H_0}{H} = \ln \frac{S}{S_0} = \ln(1 + \varepsilon) = \ln(1 + q) \quad [-] \quad (3.6)$$

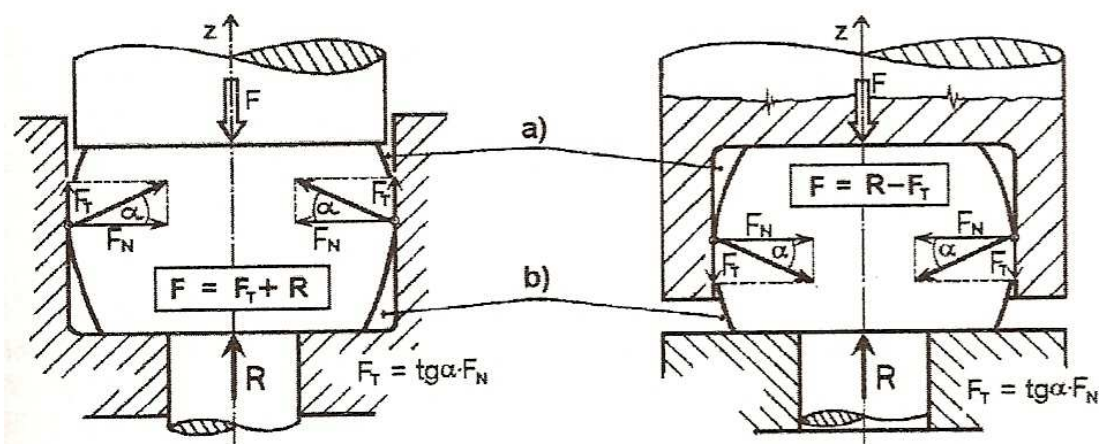
Kde:	H_0	výchozí pěchovaná výška [mm]
	H	konečná výška po spěchování [mm]
	S_0	výchozí průmět pěchované plochy [mm ²]
	S	koncový průmět pěchované plochy [mm ²]
	ε	smluvní podélné spěchování [-]
	q	příčné spěchování [-]

Tření:

Při pěchovacím procesu, stejně jako u ostatních způsobů OTS, hraje významnou roli vnější tření mezi materiálem a nástrojem. Síly vznikající třením mají vliv na výslednou velikost tvářecích sil a na změnu tvaru polotovaru při pěchování. Třecí síly působí proti pohybu tvářeného kovu a mohou se při tvářeni uplatňovat aktivním nebo pasivním způsobem a to podle toho zda zvětšují či zmenšují pěchovací sílu (Obr. 3.4). Vliv tření na změnu tvaru je také patrný z (Obr. 3.4), kde lze vidět jak v důsledku třecí síly dochází k rozdílnému vyplňování dutiny zápustky. Při pěchování působí vnější tření většinou jako činitel pasivní, kdy brzdí rozvoj plastické deformace, zvětšuje přetvárnou práci a snižuje životnost nástrojů.

Kluzné tření může být:

- *Suché* – Přímý styk povrchových nerovností bez mazadla.
- *Mezní* – Přítomnost velmi tenké vrstvy mazadla.
- *Hydrodynamické* – Dokonalé oddělení ploch vrstvou mazadla, která podléhá zákonům hydrauliky.
- *Směšené* - Nejtypičtějším způsobem tření ve tvářením. Je kombinací tření hydrodynamického a mezního. Smíšené tření bylo prokázáno u všech technologií OTS.



Obr. 3.4: Pěchování v dutině pěchovníku a pěchovnice [6]

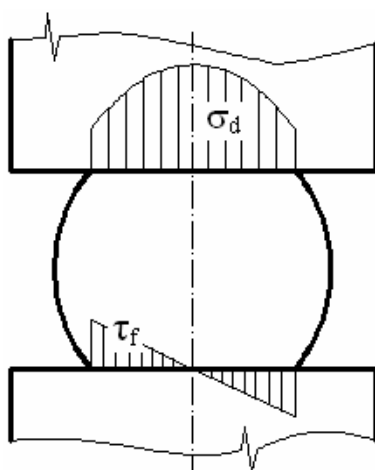
Dle Coulombova zákona platí pro třecí smykové napětí:

$$\tau_f = f \cdot \sigma_n \quad [\text{MPa}] \quad (3.7)$$

Kde: f součinitel tření
 σ_n normální napětí

Na velikost součinitele tření mají rozhodující vliv především teplota, rychlost deformace, měrný tlak, fyzikální a chemické vlastnosti tvářeného materiálu. Při objemovém tváření s běžným mazadlem se součinitel tření pohybuje v rozmezí 0,04 až 0,08. K počátkům zadírání dochází již při hodnotách 0,1 až 0,15.

Při pěchování součástí za studena jako třeba hlavy šroubů nebo kuličky a soudečky do ložisek je na čele pěchovníku třecí smykové napětí rozloženo dle (Obr. 3.5).



Obr. 3.5: Rozložení třecího smykového napětí na čele pěchovníku při pěchování válce [18]

3.1.3 Výpočet deformačního odporu

Střední hodnotu deformačního odporu σ_{ds} je možno přibližně stanovit ze střední meze kluzu σ_{Ks} :

$$\sigma_{ds} = \frac{\sigma_{Ks}}{\eta} \quad [MPa] \quad (3.8)$$

Kde: η deformační účinnost tváření (její hodnoty lze určit z diagramů)

Pomocí křivek měrné přetvárné práce lze vypočítat σ_{ds} z měrné práce a určené skutečnou deformací φ :

$$\sigma_{ds} = \frac{a}{\eta \cdot \varphi} \quad [MPa] \quad (3.9)$$

Velkou nevýhodou těchto výpočtů je velmi nejistý odhad účinnosti tvářecího způsobu. Pro přesnější výpočty byly odvozeny vzorce respektující přímo tření, tvar a rozměry vylisků.

Pěchování válce:

Pro výpočet střední hodnoty deformačního odporu u vylisků válcového tvaru, které představují většinu vylisků objemově tvářených, se používá několika vztahů. Pro volné pěchování mezi rovnoběžnými rovinami jsou nejpoužívanější vztahy podle Siebela a podle Unksova.

- Řešení podle Siebela:

Siebelův vztah vychází z předpokladu, že se smykové kontaktní napětí a normální napětí po celé výšce pěchovaného tělesa nemění.

$$\sigma_{ds} = \sigma_p \left(1 + \frac{1}{3} \frac{f \cdot D}{H} \right) \quad [MPa] \quad (3.10)$$

Kde: σ_p přirozený přetvárný odpor [MPa]
f součinitel tření
D průměr spěchovaného válce [mm]
H výška spěchovaného válce [mm]

Existuje mnoho úprav Sieblova vztahu pro různé podmínky tření a poměry D/H. Pro poměry D/H = 0,7 až 1 při pěchování za studena jsou střední hodnoty součinitele tření $f \leq 0,15$.

- Řešení σ_{ds} podle Unksova:

Unksov zjistil, že smyková napětí mezi pěchovníkem a tvářeným materiálem nejsou konstantní a rozlišil 3 pásma různých průběhů těchto napětí.

$$\sigma_{ds} = \sigma_p \left[1 + \frac{2}{3} f (1 - f) \frac{D}{H} \right] \quad [MPa] \quad (3.11)$$

Kde: σ_p přirozený přetvárný odpor [MPa]

Pěchování složitějších geometrických tvarů:

Pro výpočet deformačního odporu při pěchování složitějších výlisků, nebo v uzavřeném nástroji, se používá různých dalších výpočtových metod. V praxi se osvědčil vztah podle Navrockého (), korigující původní Siebelův vztah.

$$\sigma_{ds} = \sigma_p \left(1 + \frac{1}{3} \frac{f \cdot D}{H} \right) \cdot k_1 k_2 \quad [MPa] \quad (3.12)$$

Kde: k_1 součinitel charakteru deformace
 $k_1 = 1$ pro volné pěchování plochým kusovníkem
 $k_1 = 1,25$ až $1,75$ pro pěchování v uzavřeném nástroji
 k_2 součinitel nerovnoměrnosti napětí
 $k_2 = 1,1$ pro válcové a půlkulové hlavy svorníků
 $k_2 = 1,2$ pro složitější symetrické výlisky
 $k_2 = 1,3$ pro nesymetrické složité výlisky

Pro výpočet deformačního odporu při pěchování výlisků s výronkem platí podle Navrockého:

$$\sigma_{ds} = \sigma_p \cdot e^{\frac{0,4s_v}{t}} \left(1 + \frac{1}{3} \frac{f \cdot D}{H} \right) \cdot k_1 k_2 \quad [MPa] \quad (3.13)$$

Kde: s_v šířka výronku [mm]
 t tloušťka výronku [mm]

Misožnikov sloučil součinitele a upravil Navrockého vztah:

$$\sigma_{ds} = \sigma_p \cdot K \quad [MPa] \quad (3.14)$$

Kde: K součinitel závisející na způsobu tváření a tvaru výlisku. Jeho hodnota byla stanovena z praxe. Pro pěchování v uzavřeném nástroji, kdy $H > D$ je $K \approx 2,4$

3.1.4 Výpočet tvářecí síly, práce a výkonu

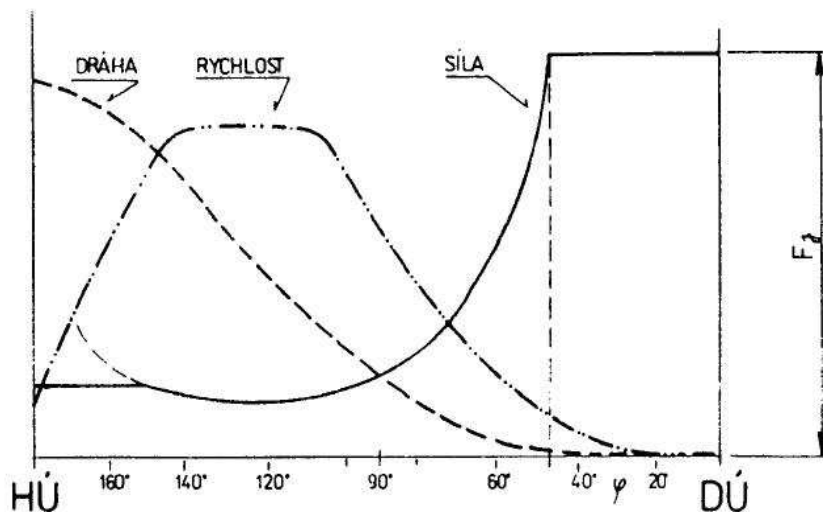
K uskutečnění požadované tvářecí operace je třeba určité tvářecí síly, která nesmí překročit jmenovitou tvářecí sílu použitého lisu. Přetvárná – tvářecí síla je definována:

$$F = \sigma_d \cdot S \quad [N] \quad (3.15)$$

Kde: σ_d deformační přetvárný odpor [MPa]
 S průmět plochy tvářeného tělesa, na kterou působí tvářecí síla [mm²]

Tvářecí práce:

Při volbě klikových či kolenových lisů pro OTS je nutné znát také průběh tvářecí síly v závislosti na pracovní dráze, abychom jej mohli porovnat s pracovním diagramem lisu, tj. s diagramem přípustných sil na beran lisu (Obr. 3.6). Předejde se tak přetížení stroje nepřipustným krouticím momentem.



Obr. 3.6: Průběh síly, rychlosti a dráhy beranu na kolenovém lise [4]

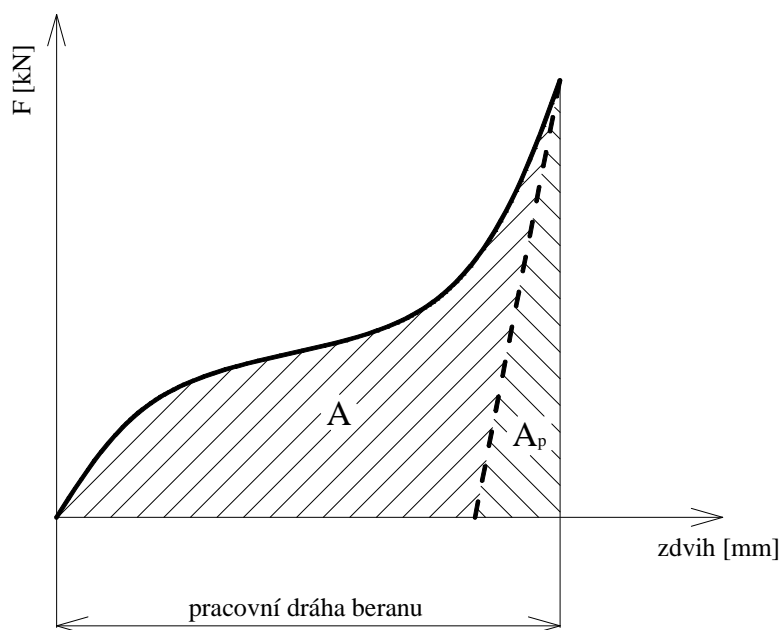
Příklad průběhu tvářecí síly v závislosti na dráze beranu při pýchování je na (Obr. 3.7). Charakteristika průběhu je závislá na složitosti geometrického tvaru výlisku.

V diagramu je čárkovaně přibližně vyznačen vliv pružných deformací, závislých na tuhosti použitého lisu. Uvedené plochy v diagramu na (Obr. 3.7), vyznačují celkovou práci A_c , tj. tvářecí práci A včetně práce pružení lisu A_p , takže platí:

$$A_c = A + A_p \quad [J] \quad (3.16)$$

$$A_p = \frac{1}{2} \cdot F \cdot y \quad [J] \quad (3.17)$$

Kde: F maximální tvářecí síla [N]
 y maximální prodloužení lisu [m]



Obr. 3.7: Závislost průběhu tvářecí síly na pracovní dráze při pýchování [5]

Nemá-li dojít k přetížení lisu, nesmí celková práce daného pracovního způsobu A_c překročit jmenovitou práci lisu A_D .

$$A_c \leq A_D$$

Jmenovitá práce lisu:

$$A_D = F_D \cdot s_D \quad [J] \quad (3.18)$$

Kde: F_D jmenovitá síla lisu [N]
 s_D jmenovitá dráha beranu [m]

Pokud pracovní postup vyžaduje větší pracovní dráhu beranu než je jmenovitá dráha, musíme při kontrole lisu zohlednit pracovní diagram, který popisuje závislost pracovní dráhy a tvářecí síly na úhlu natočení kliky. Přípustná síla lisu pak nesmí být při dané úhlové odlehlosti kliky překročena. Pro skutečnou tvářecí práci platí vztah:

$$A = m_p \cdot F_{\max} \cdot s_s = F_s \cdot s \leq F_D \cdot s_D \quad (3.19)$$

Kde: m_p korekční součinitel, pro přechování $m = 0,5$
 F_{\max} maximální tvářecí síla daného pracovního způsobu
 F_s střední hodnota F_{\max}
 s_s účinná dráha beranu

Účinnost tváření:

Účinnost tváření na daném lisu je určena poměrem vlastní tvářecí práce a práce celkové:

$$\eta = \frac{A}{A_c} = \frac{A}{A + A_p} \quad (3.20)$$

Účinnost se zmenšuje s malou tuhostí a využíváním lisu pro tváření na malé pracovní dráze. Tvářecí výkon vyjádříme prostřednictvím celkové tvářecí práce

$$N = \frac{A_c \cdot n_z}{60 \cdot 102 \cdot 1000} \quad [kW] \quad (3.21)$$

Kde: A_c celková tvářecí práce [J]
 n_z počet zdvihů lisu [min^{-1}]

Potřebný výkon lisu je součet tvářecího výkonu, výkonu pomocných mechanismů lisu (stříhání, rovnání drátu, vyhazování výlisku apod.) a výkonu pro běh stroje na prázdko.

3.2 Stroje používané pro přechování [1][4][5][11]

Tvářecí automaty:

Pro výrobu velkých sérií drobnějších výlisků tvářených za studena se užívají převážně speciální tvářecí automaty. Tyto automatické postupové lisy tvářejí výlisek postupně v sadě několika nástrojů, přičemž se polotovary přenášejí mezi jednotlivými nástroji zvláštním přenášecím zařízením. Tyto přechovací automaty mohou být jednou až šesti rázové.

Mechanické lisy:

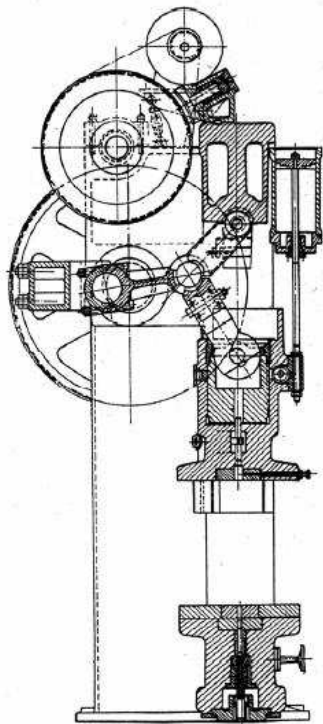
Mechanické lisy jsou klikové, kolenové, výstředníkové. Jsou výhodné pro objemové tváření především velkých výlisků, k jejichž tváření je třeba značné síly, dále pro výlisky, jejichž série jsou malé pro postupové lisy, pro výlisky, k jejichž výrobě stačí jedna, nanejvýš dvě tvářecí operace a pro výlisky, vyžadující tepelné zpracování mezi jednotlivými operacemi. Často se vybavují automatickým přísunem špalíků, přenášením a vyhazováním výlisků, nebo celými nástrojovými bloky s postupovými nástroji s vlastním přenášecím zařízením.

3.2.1 Zhodnocení strojů vzhledem k problematice výroby soudečků

Soudečky menších průměrů se pěchují na jednorázových automatech. Pro větší rozměry soudečků je potřeba vertikálních lisů. Pro vertikální lisování soudečků byly ve firmě ZKL Hanušovice vybrány lisy výstředníkové a kolenové. Tato práce bude řešit lisování na lisu kolenovém.

3.2.2 Kolenové lisy

Pro pěchování je charakteristický neustálý růst potřebné tvářecí síly až do konce zdvihu. Z tohoto důvodu jsou pro pěchování vhodné také kolenové lisy (Obr. 3.8), které mají ve svém pracovním diagramu špičku tvářecí síly na konci zdvihu (Obr. 3.6). Tyto lisy mají poměrně malý zdvih a malou tvářecí práci, proto jsou vhodné především pro výlisky vyžadující krátkou pracovní dráhu. Konstrukční řešení umožňuje mechanizaci a automatizaci pracovního cyklu.

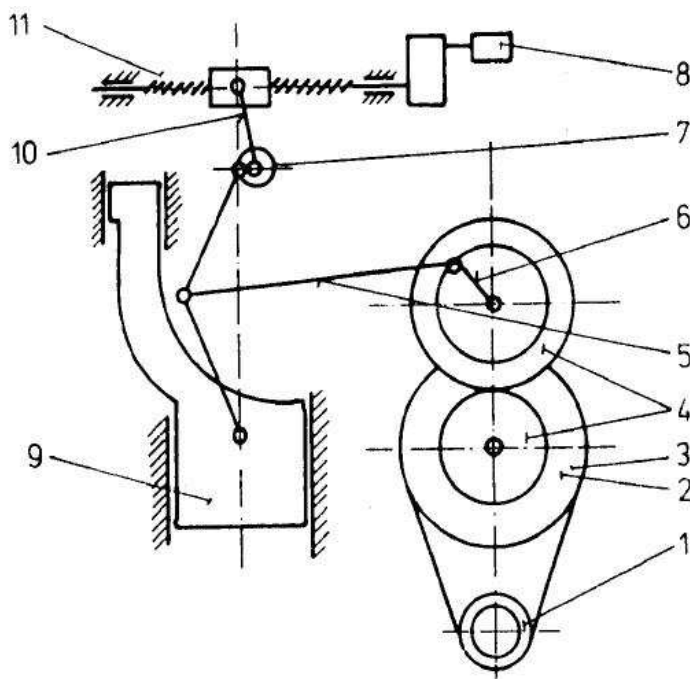


Obr. 3.8: Kolenový lis [15]

Základní konstrukční charakteristika:

K přenosu síly je použito kolenového mechanismu, kterým lze docílit značných sil při relativně nízkém výkonu hnacího elektromotoru. Zdvih beranu je konstantní, sevření je možno měnit, beran je výškově přestavitelný. Stojan se používá uzavřený, někdy i otevřený s velkou tuhostí, obvykle svařovaný.

Kinematické schéma kolenového lisu je na (Obr. 3.9). Kroutící moment z elektromotoru 1 je přenášen na setrvačnick 2, v němž je vestavěna lamelová spojka. Na hřídeli setrvačnicku je umístěna i brzda, která je funkčně spřažena se spojkou. Kroutící moment je dále přenášen ozubeným soukolím 4 a klikovým hřídelem s ojnicí 5 je transformován na střední čep kolenového mechanismu, který ovládá pohyb beranu. Sevření beranu lze měnit pootáčením šnekového soukolí v beranu ovládaného pomocným elektromotorem nebo natáčením horního opěrného čepu 7, který je uložen výstředně. V beranu je vestavěn horní vyhazovač, jehož zdvih lze měnit. Kolenový mechanismus tvoří soustava desek, přičemž pouzdra jsou z kované bronzi. Ve stole lisu je dolní vyhazovač, který je ovládán pravítkem a táhlem od klikového hřídele. Proti poškození při přetížení bývají tyto lisy chráněny vzduchovou pojistkou.



Obr. 3.9: Kinematické schéma kolenového lisu [4]

3.3 Nástroje [1][5][9]

Nástroje pro objemové tváření je možno rozdělit na:

- Nástroje jednoduchého provedení, tj. nástroje určené jen pro jednu tvářecí operaci.
- Víceoperační nástroje určené pro více operací v jednom pracovním cyklu na mechanickém lisu běžné výroby.
- Víceoperační nástroje, určené pro více operací v jednom pracovním cyklu na speciálních víceoperačních tvářecích automatech.

3.3.1 Základní zásady pro konstrukci nástrojů pro OTS

Při konstrukci tvářecích nástrojů je nutno přihlížet k velkému zatížení a namáhání, která jsou na ně kladena. Všeobecně se musí při konstrukčním řešení sledovat tyto hlavní zásady:

- Zajistit dostatečnou tuhost tvářecího nástroje, tj. zamezit pružení funkčních částí, které způsobuje nedodržení požadované přesnosti výlisku a současně podstatně snižuje životnost

funkčních částí nástroje. Proto se volí masivní upínací tělesa. Dosedací plochy funkčních částí, se opatřují kalenými opěrnými vložkami tak, aby se nebortila opěrná plocha. Funkční části tvářecího nástroje, které jsou vystaveny největšímu opotřebenému, je nutno řešit rozměrově co nejmenší a snadno vyměnitelné. U těchto částí nástroje je třeba věnovat co největší pozornost volbě poloměrů zaoblení, přechodům, požadovaným tolerancím jakosti povrchu. Dále se musí dbát na to, aby tok tvářeného materiálu byl plynulý a nebyl ničím brzděn. Aby byla zaručena požadovaná souosost dutiny s povrchem výlisku, je nutno zajistit dokonalé zavedení funkčních částí nástroje.

- Opatřit tvářecí nástroj spolehlivým zařízením pro vyhazování výlisku.
- Počítat s jednoduchou a snadnou montáží i rychlou výměnou funkčních částí nástroje. Upínání funkčních částí volit takové, aby se nekřížily dosedací plochy. Veškeré funkční části nástroje mají být snadno přístupné a všechny upínací elementy, u nichž lze předpokládat uvolňování způsobené otřesy při chodu stroje, je třeba zajistit proti uvolňování.
- Velkou pozornost věnovat volbě nástrojových ocelí funkčních částí tvářecího nástroje, volbě technologického postupu při jejich opracování a tepelném zpracování.
- Chlazení a mazání funkčních částí nástroje je nezbytné u všech tvářecích strojů, u nichž je použito mechanického vkládání výchozího polotovaru. Při tváření se materiál rychle zahřívá, přenáší teplo na funkční části nástroje, které je nutno vydatně chladit. Protože při objemovém tváření mohou vznikat velmi jemné otřepy, které se odplavují chladicí emulzí, je nutno emulzi dostatečně filtrovat a dbát na odmagnetování všech částí nástroje. Velmi důležité je neopomenout předepsat odvzdušnění všude tam, kde je nebezpečí, že se budou vytvářet vzduchové nebo jiné polštáře a kde to popřípadě usnadní montáž i demontáž.

3.3.2 Materiál nástrojů

Při objemovém tváření pracuje nástroj za podmínek, které vyžadují od materiálu nástrojů velkou tvrdost a pevnost, hladkost i vzdornost proti opotřebenému. Při volbě se musí přihlížet k složitým pracovním podmínkám. Druh materiálu nástroje se volí podle použité technologie, podle druhu a stavu tvářeného materiálu, tvaru a velikosti výrobku, velikosti deformace, počtu kusů a druhu nástroje. Nejvíce namáhány jsou činné části nástrojů, pýchovníky a pýchovnice.

Nástrojové oceli

Základní druhy nejdůležitějších ocelí, používaných pro nástroje, určené k objemovému tváření, jsou uvedeny v (Tabulka 3.1). Platí zásada, že všechny nástrojové oceli musí mít vysokou jakost, tj. musí obsahovat malé procento síry a fosforu a musí být pečlivě dezoxidované. Základní strukturou těchto ocelí je martenzit. Legující prvky (Cr, Ni, Mo, W, V) vážou určitou část uhlíku oceli ve formě karbidů. Aby se dosáhlo správného uspořádání karbidů v základní martenzitické struktuře, je nutno ocel vhodně tepelně zpracovat. Na jakost nástrojových ocelí a na jejich trvanlivost má také podstatný vliv při jejich hutní výrobě kování. Oceli mají být pečlivě vykovány tak, aby se dosáhlo struktury s drobnými, rovnoměrně rozdělenými karbidy.

Velmi důležité u nástrojů pro objemové tváření je jejich tepelné zpracování. Před vlastním kalením je vhodné upravit výchozí strukturu pro tepelné zpracování vyžháním. Kalením se získá ocel o velké tvrdosti s martenzitickou strukturou. Kalicí teplota závisí na chemickém složení oceli, a to zejména na obsahu uhlíku. Po zakalení mají součásti tvářecích nástrojů značnou tvrdost a vnitřní pnutí. Proto se musí popustit, aby se zvýšila jejich

houževnatost a odstranilo vnitřní pnutí. Velikost kalicí teploty ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti oceli. Kromě klasického způsobu tepelného zpracování nástrojových ocelí lze použít ještě lomeného kalení, přerušovaného kalení, ochlazení a umělého stárnutí.

Tabulka 3.1: Základní druhy nástrojových ocelí používaných pro OTS [1]

Použití	Značka ČSN	Chemické složení v procentech						
		C	Mn	Si	Cr	Ni	V	W
Lisovníky	19 436	1,95	0,50	0,50	12,00		0,15	
	19 437	1,90	0,30	0,30	12,00		0,21	0,75
	19 800	0,80	0,50	0,50	4,00		1,85	8,75
	19 810	1,25	0,50	0,50	4,40		4,00	11,00
	19 824	0,70	0,20	0,25	4,15		1,30	17,50
	19 820	0,80	0,20	0,25	4,15		1,35	17,50
	19 733	0,56	0,22	1,02	1,10			1,90
	19 423	0,85	0,40	0,35	0,70		0,12	
Lisovnice	19 721	0,30	0,35	0,32	2,35		0,20	
	19 733	0,56	0,22	1,02	1,10			9,25
	19 614	0,55	0,45	0,45	0,75		0,60	1,90
	19 436	1,95	0,50	0,50	12,00		0,15	
	19 437	1,90	0,30	0,30	12,00		0,21	
	19 824	0,70	0,20	0,25	4,15	2,55	1,30	0,75
	19 826	0,80	0,20	0,25	4,15		1,30	17,50
	19 810	1,27	0,50	0,50	4,40		4,00	17,50
	19 191	1,25	0,27	0,30				11,00
	19 423	0,85	0,40	0,35	0,70		0,12	
Zděře	13 180	0,75	0,90	0,20				
	19 650	0,40	0,65	0,40	1,10		0,15	0,55
	19 423	0,85	0,40	0,35	0,70		0,12	
Opěrné podložky Podpěrné kolíky	19436	1,95	0,50	0,50	12,00		0,15	
	19423	0,85	0,40	0,35	0,70		0,12	
Vodicí pouzdra lisovnice	19 436	1,95	0,50	0,50	12,00		0,15	
	19 423	0,85	0,40	0,35	0,70		0,12	
Vyhazovače	19 420	1,35	0,35	0,35	0,65			
	19 710	0,23	1,40	0,50	0,30			

Slinuté karbidy

Pro pracovní části nástrojů se z důvodu požadavků na velkou pevnost a trvanlivost používá slinutých karbidů. Mechanické vlastnosti slinutých karbidů jsou často daleko lepší než vlastnosti nástrojových ocelí. Nejlepší vlastnosti mají slinuté karbidy wolframu a kobaltu. Slinuté karbidy vynikají velkou tvrdostí a vzdorností proti opotřebování, proto jejich použití zaručuje velkou přesnost a čistotu výrobku. Pevnost v tlaku je několikrát větší než u oceli. Naopak pevnost v ohybu je menší než u oceli. Vrubová houževnatost slinutých karbidů závisí na obsahu kobaltu. Použití slinutých karbidů zvýší trvanlivost tvářecích nástrojů oproti nástrojovým ocelím 10 až 100krát. Nástroje ze slinutých karbidů jsou dražší než nástroje vyrobené z nástrojové oceli, také jejich montáž a provozní manipulace s nimi je obtížnější a náročnější.

4. SHRUTÍ POZNATKŮ O SOUČASNÝCH ZPŮSOBECH HROMADNÉ VÝROBY SOUDEČKŮ

4.1 Soudečková ložiska

Radiální a axiální soudečková ložiska (Obr. 4.1) jsou nejnáročnější ložiska a to jak po stránce výpočtu vnitřní konstrukce, tak i po stránce výrobní. Jejich náročnost je dána nutností velmi přesného dodržení vzájemné vazby ploch, které tvoří oběžné dráhy kroužků (vnějšího a vnitřního) a valivá tělíska. I když jednotlivé plochy jsou geometricky jednoduché — koule a plocha vznikající rotací kruhového oblouku — je dodržení jejich přesné vzájemné polohy velmi náročné, ale pro správnou funkci ložiska bezpodmínečně nutné.



Obr. 4.1: Radiální a axiální soudečková ložiska [21]

Soudečková ložiska mají svou hlavní výhodu ve schopnosti vyrovnávat montážní nepřesnosti v zařízeních možností naklopení oběžných drah. Díky této vlastnosti dokáží pohlcovat značné zatížení v radiálním i axiálním směru. Mají velkou únosnost, trvanlivost a odolnost.

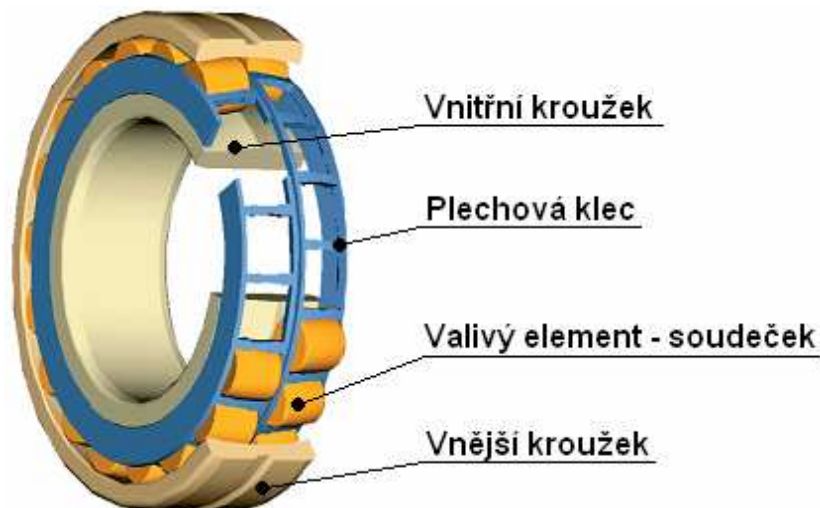
Radiální dvouřadá soudečková ložiska:

Soudečková ložiska mají jednu nebo dvě řady soudečků. Tato vnitřní konstrukce ložiska umožňuje určité vzájemné naklopení kroužků. Při zatížení se u dvouřadých ložisek soudečky svou funkční plochou opírají o pevný nebo plovoucí vodící nákržek, kterým jsou vedeny. Dvouřadá ložiska mohou přenášet velká radiální a současně i axiální zatížení v obou směrech. Soudečková ložiska se vyrábějí s válcovou nebo kuželovou dírou (K). Soudečková ložiska jsou značně rozšířena zejména tam, kde jde o přenos velkých zatížení a kde lze s výhodou využít jejich naklopitelnost.

Axiální soudečková ložiska:

Axiální soudečková ložiska jsou značně únosná a mohou současně přenášet i určité radiální síly. Mají velký stykový úhel a kulová oběžná dráha kroužku uloženého v tělese umožňuje vyrovnávat nezbytné výrobní a montážní nepřesnosti. Protože je masivní mosazná klec vedena na pouzdru, zalisovaném do vnitřního kroužku, vyžadují tato ložiska s výjimkou velmi nízkých otáček, mazání olejem.

Obecně se soudečková ložiska skládá z vnějšího a vnitřního kroužku, mezi nimiž jsou valivé elementy, v daném případě soudečky, které jsou od sebe odděleny klecí. Klece zabraňují vzájemnému dotyku valivých elementů. Soudečky přenášejí síly působící na ložisko. Velikost přenášené síly je pak úměrná průměru a počtu valivých elementů — soudečků.



Obr. 4.2: Dvouřadé radiální soudečkové ložisko

Soudeček (Obr. 4.3) je tedy velmi důležitým a významným elementem soudečkových ložisek. Jeho obrys je tvořen buď kruhovým obloukem a nebo modifikovaným profilem, který je daný výkresovou dokumentací. Na stupni přesnosti soudečku, tedy na způsobu jeho výroby pak přímo závisí kvalita a tím vlastně životnost soudečkového ložiska.



Obr. 4.3: Soudeček radiálního ložiska

4.2 Způsoby výroby soudečků

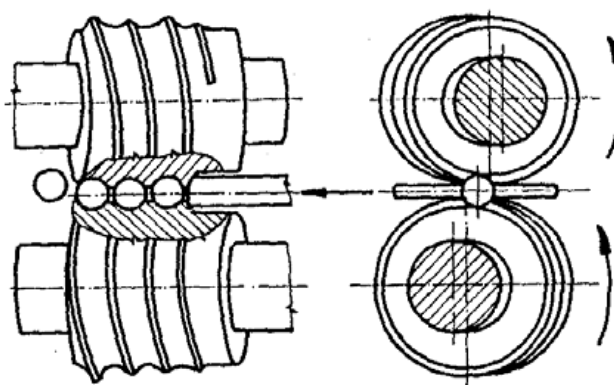
Valivá tělíska radiálních a i axiálních soudečkových ložisek se mohou vyrábět následujícími způsoby:

- příčným válcováním
- soustružením
- kování za tepla a poloohřevu
- lisováním za studena

Těmito technologiemi se zhotoví tzv. měkký soudeček, který je dále tepelně nebo chemicko-tepelně zpracováván. Před tepelným zpracováním, v závislosti na přesnosti výrobní metody měkkého soudečku, jsou ještě vykonávány technologie jako omílání, soustružení, broušení, odjehlování. Snahou je eliminace těchto mezioperací, které snižují produktivitu výroby. Jejich eliminace se dosáhne použitím co možná nejpřesnější technologie výroby měkkých soudečků. Posledními operacemi jsou dokončovací úpravy jako je broušení, leštění, superfinišování, lapování dle požadavků daného ložiska.

4.2.1 Příčné válcování

Příčné válcování je velmi produktivní, bezodpadová metoda tváření za tepla i za studena, která se používá především pro výrobu kuliček. Válcový polotovár je vložen napříč mezi stejně se otáčející válce mající profil zápustky (Obr. 4.4). Vysoká produktivita výroby plyne z kontinuálního průběhu tváření bez časových ztrát jakými jsou u jiných technologií např. prázdné zdvihy stroje, čas na zakládání, upínání, vyjímání výlisku, atd. Jednotlivé výrobní operace jsou vykonávány v jednom nástroji kontinuálně za sebou. Další výhodou je výrobek „na hotovo“ bez větších přídavků materiálu, nejsou zde stopy od vyhazovačů apod., je zde tedy velká materiálová úspora. Nevýhodou je složitost a výrobní náročnost geometrického profilu nástroje. Z těchto důvodů se tato technologie uplatňuje jen při hromadné výrobě. Je zde větší riziko vzniku vnitřních defektů ve výrobcích.



Obr. 4.4: Válcování koulí [16]

4.2.2 Soustružení

Soustružení se používá především pro velké rozměry valivých elementů. Tyto velká valivá tělesa se nevyrábějí v tak velkých sériích jako malá tělíska a proto jsou jiné technologie pro jejich výrobu ekonomicky méně výhodné. Soustružení se také často používá jako dokončovací operace po jiných technologiích. Nevýhodou soustružení je přerušení vláken na povrchu soudečku a tím snížená jakost valivého elementu, klesá trvanlivost soudečku. Obrábí se na jednoúčelových strojích, na obráběcích vícevřetenových automatech, na CNC strojích nebo na konvečních soustružích. Výchozím polotovarem je tyč.

4.2.3 Kování za tepla a poloohřevu

Jedná se o technologii objemového tváření za vysokých teplot na horizontálních nebo vertikálních lisech. Používá se pro těžko tvařitelné ložiskové oceli a pro valivé elementy větších rozměrů. Výhodou je možnost dosažení větších deformací oproti lisování za studena. Nevýhodou je větší energetická náročnost z důvodu ohřevu, horší kvalita povrchu tvářených těles oproti OTS, delší výrobní časy prodlouženy o ohřev a chladnutí. Lisuje se v otevřených i v uzavřených zápustkách.

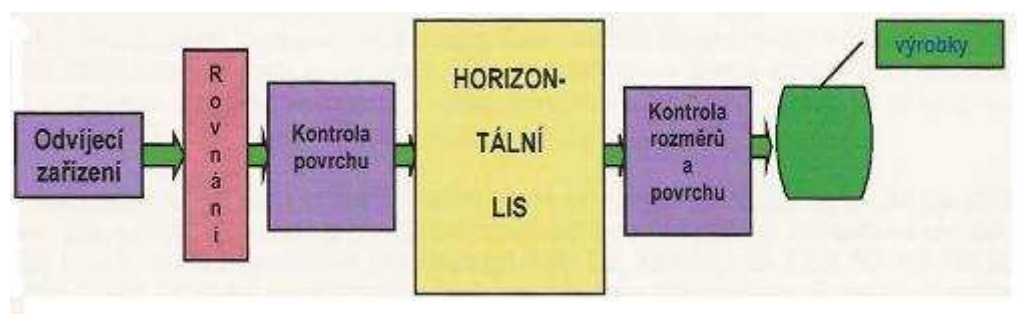
4.2.4 Lisování za studena – OTS

Jedná se o nejprogresivnější a nejekonomičtější metodu hromadné výroby soudečků radiálních a axiálních ložisek menších a středních rozměrů. Lisováním za studena se dají soudečky zhotovovat jen s minimálním přídavkem na dokončení. Lisuje se v otevřených i

uzavřených zápustkách. Snahou je vyrábět soudečky s co nejmenšími výronky, nejlépe však bez nich, čímž se snižují výrobní časy procesu nutné pro jeho odstranění (soustružení, broušení). Dalším důvodem snahy o minimalizaci výronků je fakt, že jeho odstraněním třískovým obrobením se přeruší průběh vláken na povrchu, a tím má soudeček horší užitné vlastnosti, především trvanlivost. Lisování probíhá na horizontálních jednorázových lisech, nebo na lisech vertikálních. U této technologie jsou kladeny vysoké nároky na polotovar, který má mít vysokou kvalitu bez materiálových a povrchových vad. Polotovarem je tyč nebo drát ve svitcích většinou vyžíhaný na měkko, broušený nebo loupaný. Často je nutné fosfátování.

Výroba soudečků lisováním za studena na horizontálním lise:

Touto technologií se vyrábí soudečky menších rozměrů do průměru kolem 25 mm. Starší technologie výroby soudečků na horizontálním lise zahrnuje stříhání a tváření soudečků v jednom zdvihu lisu. Poté, z důvodu nepřesnosti těchto lisů, se musí měkké soudečky ještě dále opracovávat - brousit čela a soustružit plášť. Tuto starší technologii v současnosti postupně vytlačuje nová, bezodpadová technologie, kde se po lisování soudečky přímo tepelně zpracovávají, tedy odpadá proces soustružení a broušení čel. Jako výchozí materiál je používán drát ve svitcích, žíhaný na měkko s následným egalizačním tahem v mýdle. Součástí horizontálního lisu nové generace bývá periferie na kontrolu povrchových vad a poškození drátu a také koncová kontrolní zóna pro kontrolu rozhodujících rozměrů hotových výlisků s automatickým tříděním. Lis provádí operace stříhání na délku a lisování tvaru. K dělení materiálu dochází v uzavřených pouzdrech ze slinutých karbidů. Celé pracoviště je řízeno CNC, obsluha jedním pracovníkem z řídicí kabiny, která je zvukově odizolovaná. Rozsah konečného produktu, valivého tělíska — soudečku, je do cca 28 mm.



Obr. 4.5: Schéma pracoviště pro horizontální lis nové generace

Výroba soudečků lisováním za studena na vertikálním lise:

Téměř bezodpadová technologie (vyjma řezání), jako v minulém případě. Používá se pro soudečky středních rozměrů. Technologický proces je následující:

- Přesné řezání z ocelové tyče na špalíky přesné hmotnosti. Po řezání bývá vložena operace pro odstranění hran a čištění špalíků, kvůli zvýšení životnosti lisovacích zápustek.
- Lisování
- Tepelné zpracování soudečků

Jako výchozí materiál je používána ocelová tyč loupaná nebo broušená, žíhaná na měkko. Rozsah konečného produktu, valivého tělíska — soudečku je v rozsahu cca. od Ø28 mm do Ø50 mm.

4.3 Situace ve světě

Lisováním za studena se vyrábí v převážné většině firem, které se zabývají výrobou soudečkových ložisek, SNR, FAG, SKF a další.

5. SOUČASNÝ STAV VÝROBY SOUDEČKŮ V ZKL

Výroba soudečků v ZKL má *tři základní fáze*:

- **Výroba tvaru soudečků** z ložiskového materiálu, který odpovídá konečnému tvaru s potřebnými přídávky na dokončovací operace po tepelném zpracování (tzv. měkké soudečky).
- **Tepelné zpracování soudečků** v kalírně ZKL Brno, a.s. na předepsané hodnoty tvrdosti.
- **Dokončovací operace**, tj. operace po tepelném zpracování. Jedná se o broušení čel soudečků, pláště soudečků eventuálně supertřinišování oběžných drah soudečků. Součástí dokončovacích operací je kontrola na výskyt vzhledových vad, které mohou být v provozu iniciátorem vzniku mikrotrhlin, které po zvětšení mohou vyvolat destrukci ložiska a následně i havárii zařízení, kde je ložisko použito.

5.1 Výroba tvaru soudečků

Soudečky se v této fázi vyrábí především v ZKL Hanušovice, a.s. a to do průměru 45 mm. Soudečky nad tento průměr a soudečky pro určité typy axiálních ložisek se vyrábí v ZKL Brno, a.s.

5.1.1 Výroba v ZKL Hanušovice, a.s.

a) soudečky malých průměrů (od Ø10 do Ø23 mm)

- Výchozí materiál 14 209, broušená tyč
- Lisování do tvaru polovičního soudečku na horizontálním lise STANKO A 148
 - o operace 1 — ustřížení špalíku
 - o operace 2 lisování tvaru
- Broušení čel soudečků na výšku na bruskách BSBK
- Soustružení pláště soudečků a jeho rádiusové napojení na obě čela na jednoúčelových soustruzích typu AST 26 (konstrukce a výroba ZETORu Brno v letech 1975 až 1980)

b) soudečky středních průměrů (od Ø24 do Ø 45 mm)

- Výchozí materiál 14 209, loupaná tyč
- Soustružení na víceřetenových soustružnických automatech typu AN 40, AN 60 a na CNC soustruzích (S 50 a HAAS)

ZÁVĚR:

k bodu a)

- Technologie morálně i fyzicky zastaralá
- Technologie neumožňuje další zvyšování přesnosti tvaru soudečků před tepelným zpracováním
- Při této technologii zůstávají na povrchu oběžné dráhy rýhy po soustružení, které je nutno v dokončovacích operacích odstranit
- Technologie neumožňuje další zvyšování produktivity práce
- Technologie neumožňuje snižování nákladů na materiál
- Technologie je náročná na údržbu strojů, provozní náklady
- Technologie zatěžuje životní prostředí (hluk, emulze, páry z operace broušení atd.)

k bodu b)

- Technologie morálně i fyzicky zastaralá
- Technologie neumožňuje zvýšení využití materiálu — odpad ve formě třísek dosahuje až 20%
- Technologie neumožní zvýšení přesnosti tvaru soudečků
- Na povrchu zůstávají rýhy po soustružení
- Technologie je náročná na údržbu strojů, provozní náklady
- Technologie zatěžuje životní prostředí (hluk, emulze, páry z operace broušení atd.)

5.1.2 Výroba v ZKL Brno a.s.

Jedná se především o soudečky velkých průměrů (nad 45 mm) v menších výrobních dávkách.

- Výchozí materiál 14 209, tyč
- Soustružení pláště soudečků na soustruzích CNC (S 50, SPR 63, SPR 100, HAAS)

ZÁVĚR:

Tato technologie pro menší série díky využití CNC strojů vyhovuje.

5.2 Tepelné zpracování soudečků

Všechny měkké soudečky ze ZKL Hanušovice, a.s. i ze ZKL Brno, a.s. jsou po vstupní kontrole uvolněny pro tepelné zpracování. Tepelné zpracování je prováděno v kalírně ZKL Brno, a.s.

- Průměr do 50 mm: na pásové kalící lince
- Průměr od 50 mm do 70 mm: na válečkové kalící lince
- Průměr nad 70 mm: v solné lázni.

Kalící linky mají řízení teplotního režimu pro jednotlivé typorozměry, pracují v ochranné atmosféře, čímž je dosaženo minimální oduhličení povrchové vrstvy. Na těchto linkách se kalí cca 98% produkce válečků.

ZÁVĚR:

Technologicky tepelné zpracování soudečků vyhovuje požadavkům, dosahované parametry a kapacita linek vyhovuje. Po tepelném zpracování a následné kontrole jsou soudečky uvolněny na středisko dokončovacích operací.

5.3 Dokončovací operace

Dokončovací operace mají rozhodující vliv na kvalitu valivých elementů.

Hlavní požadavky:

- Rozměrová přesnost
- Tvarová přesnost
- Jakost opraveného povrchu
- Povrch bez vzhledových vad a mikrotrhlin
- Tvrdost jádra a povrchové vrstvy

Dokončovací operace na středisku dokončovacích operací:

- Broušení čel soudečků broušení plášťů soudečků
- Superfiniš funkčních ploch — některé typorozměry
- Omílání v bubnech — běžná produkce

Dokončovací operace v Úseku řízení jakosti:

- Vzhledová kontrola, vyřazení soudečků u kterých jsou místa, která by mohla iniciovat vznik trhlin
- Rozměrová kontrola včetně kontroly jakosti povrchu
- Třídění soudečků do skupin podle průměru s odlišením 2 μm

5.4 Inovační záměr

Firma ZKL a.s. se na základě poznatků o současném stavu výroby rozhodla inovovat 1. fázi výroby, tedy výrobu tzv. měkkých soudečků. Vzhledem k výše popsanému stavu výroby se zdá být výhodné inovovat výrobu malých a středních rozměrů, tedy soudečků od $\varnothing 10$ do $\varnothing 45$. Pro malé soudečky, tedy $\varnothing 10$ až $\varnothing 23$, kde je také předpoklad největších výrobních dávek, bude řešena inovace výroby na horizontálních lisech. Pro střední rozměry soudečků, tedy $\varnothing 23$ až $\varnothing 45$, je řešena možnost náhrady stávajícího soustružení. Vhodnou variantou pro tuto náhradu se zdá být použití vertikálního lisování za studena. Právě možností lisování za studena se zabývá tato práce. Níže je uveden návrh technologického postupu pro typového reprezentanta a posouzení vhodnosti této inovace.

6. NÁVRH POSTUPU VÝROBY MĚKKÝCH SOUDEČKŮ

6.1 Výchozí fakta k řešení postupu výroby

Při návrhu výrobního postupu je třeba zohlednit stávající strojový park. Firma vlastní několik kapacitně nevyužitých strojů, které na dílnách zbyly z dřívějších výrobních programů. Při zavádění nové výroby je tedy účelné jejich využití. Pro výrobu soudečků řešené velikostní skupiny jsou z možných strojů vhodné lisy LE 250 a LLR 1000, oba výrobce ŠMERAL.

Lisovat se budou symetrické soudečky, které jsou rozděleny do dvou skupin podle velikosti průměru: 1. skupina od $\varnothing 23$ do $\varnothing 30$, 2. skupina od $\varnothing 30$ do $\varnothing 45$. Soudečky 1. skupiny jsou určeny pro lisování na LE 250 a LLR 1000, soudečky 2. skupiny pouze na LLR 1000. Jako první se do výroby zavádějí soudečky menších rozměrů. Důvodem je fakt, že v této skupině soudečků je nejvyšší odbyt a tedy jejich brzké zavedení přinese rychlejší návrat vstupních investic. Také z technologického hlediska je vhodnější zavádět a ověřovat výrobu na menších tělískách.

Zatím byly postupně do výroby zavedeny soudečky s firemním označením: 22316EJ, 22222EJ, 22224EJ a 22317EJ, což jsou soudečky v konečném rozsahu průměrů 24 až 25 mm. Tato práce se zabývá řešením nově do výroby zaváděného soudečku typu 22226EJ. Jedná se o soudeček s konečným průměrem 26 mm, který tedy bude zatím největším lisovaným soudkem.

6.2 Stávající výrobní postup měkkého soudečku 22226EJ

Výroba je prováděna na pěti vřetenových tyčových automatech AN5/35 značky ZPS Zlín, které byly vyrobeny v roce 1952. Polotovarem pro výrobu je kruhová tyč broušená $\varnothing 27$ ČSN 42 6514 čl. 5, o délce $3000 \div 3500$ mm z materiálu 14209.3. Z důvodu postupného zhoršování technického stavu těchto strojů, bez možnosti generálních oprav (není dodavatel) dochází k výměně strojů AN5/35 za revolverové soustruhy firmy Haas SL-20 CNC.

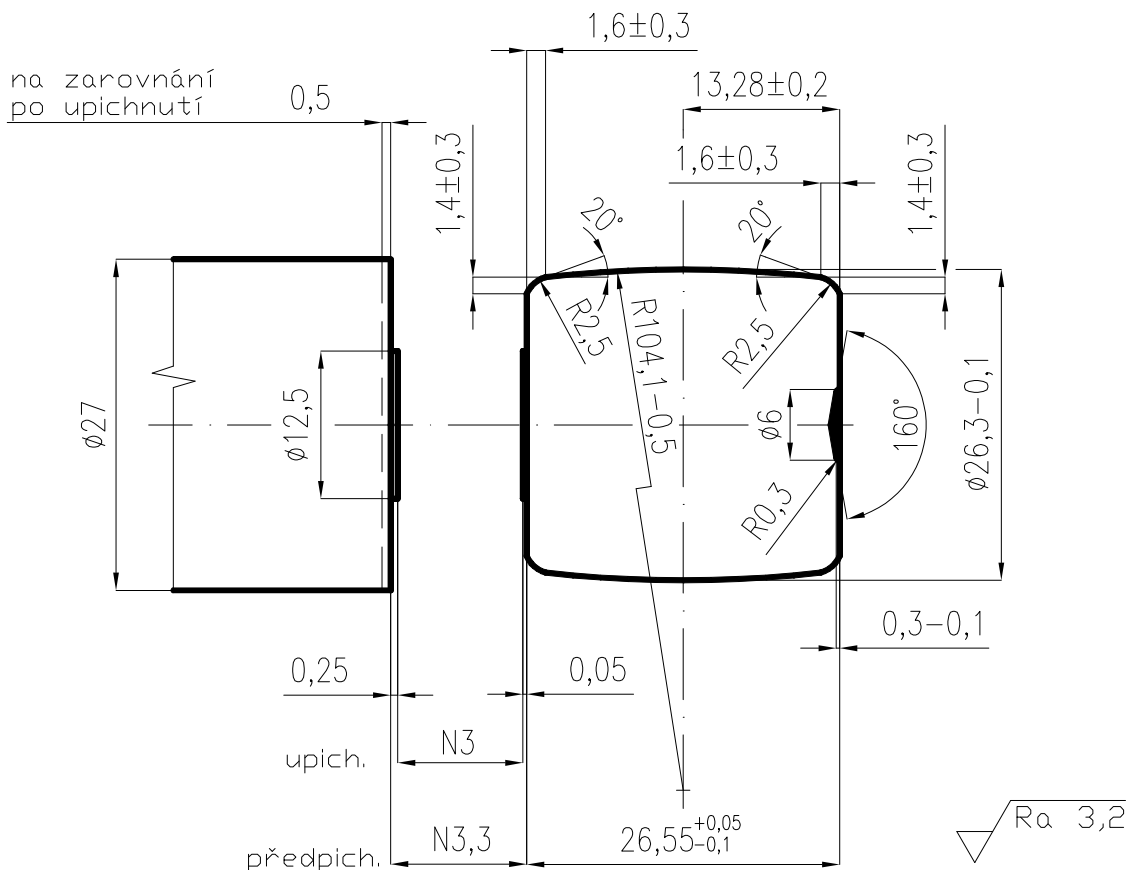


Obr. 6.1: Soustruh AN 5/35



Obr. 6.2: Soustruh HAAS SL-20 CNC

Číslo operace: 1		Název stroje: HAAS SL-20 CNC		
Sled	Popis práce	Nářadí / Nástroj		
1	Soustružit tvar hotově	Břit. dest. / nástroj	Nůž / pouzdro	Držák
		DNMG 150612E-DM	PDJNL 2525 M15	PR 417 602
		TGMF 420 IC635	TGDL 2525-4M	PR 417 602
		DGL 3102J-6D	SGTBU 25-6G	PR 417 602
		4/415-225-4815-11	4/415-122-4844-11	PR 418 102



Ø 26,3 ve vzdálenosti 3 mm od nefunkčního čela = Ø 25,29

Ø 26,3 ve vzdálenosti 23 mm od malého čela = Ø 25,39

Axiální házení čel max. 0,1

Číslo operace: 2		Název stroje: HYDROMAT	
Sled	Popis práce	Nářadí / Nástroj	Parametry stroje
1	Odmastit		odmašťovací rychlost: 1 doba odmašťování: 0,5hod pracovní tlak: 0,8-1,0 kN/cm ²

Do poloviny naplněnou dílenskou bednu vložit na dopravník.

Provést technologický úkon odmaštění. Zastavit dopravní pás a nechat působit odmašťovací proces po dobu 30 min., po této době dokončit operaci.

Zastavit průběžný pás, sundat koš z dopravníku, provést mezioperační kontrolu.

6.3 Návrh výrobního postupu lisovaného soudečku

Dělení polotovaru:

Aby byl zaručen přesný objem polotovaru je nutno zajistit velmi přesné dělení výchozích špalíků. Dělení polotovaru probíhá na CNC dělicím stroji ADIGE CM 601, který byl firmou nově zakoupen právě za účelem řezání přesných polotovarů pro soudečky.



Obr. 6.3: CNC dělicí stroj ADIGE CM 601 [22]

<i>Rozsah řezaných rozměrů pro ocel:</i>	Ø102 x 800 mm 70x70 x 800mm
<i>Přesnost stroje:</i>	0,1 mm
<i>Chladicí emulze:</i>	SAROL C1 100 (25%) + voda (75%)
<i>mazání kotouče:</i>	Adilube Plus

Odstranění ostrých hran:

Po dělení je potřeba odstranit ostré hrany výchozích válečků. Dosáhne se tak zvýšení životnosti zápustek. Pro odstranění hran je vhodné omílání v bubnech nebo ořezávání na speciálních ořezávačkách. Ořezávačka hran není součástí strojového parku firmy, proto bylo zvoleno omílání v bubnech. Operace je prováděna v omílacím bubnu OMILBRUS OB200, který je součástí omílny v hale lisovny. Jako omílací medium mohou sloužit dřevěné piliny, voda, nebo voda se speciálními omílacími elementy firmy Rösler. Po vyzkoušení všech omílacích médií bylo zvoleno omílání v pilinách, které polotovary zároveň odmastí a očistí.

Lisování:

Jak bylo uvedeno výše, budu se v této práci zabývat lisováním na LLR 1000. Dále bude uvedena kontrola lisu a konstrukční řešení funkčních částí nástroje pro řešení soudeček 22226EJ.

Jako mazivo při lisování soudečků se používá směs: BITOL O (25%) + parafín (75%)

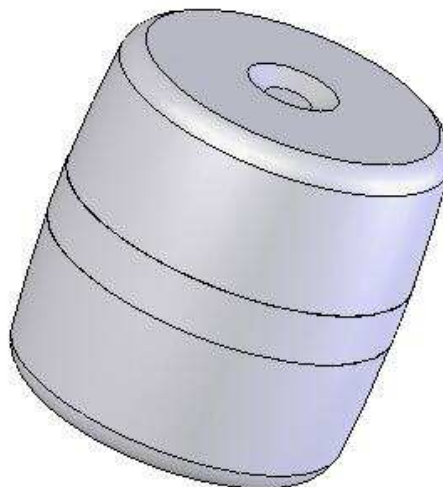


Obr. 6.4: lis LLR 1000

Volba polotovaru:

Při volbě tvarů, rozměrů a přídavek vylisovaného soudku, bylo vycházeno ze stávajícího soustruženého soudečku. Maximální rozměry výrobku byly stanoveny dle požadavků z brusírny. Navrhnutý výkres vylisovaného soudku je přiložen v příloze.

Pro správnou volbu polotovaru je nutné přesně stanovit objem hotové součásti.

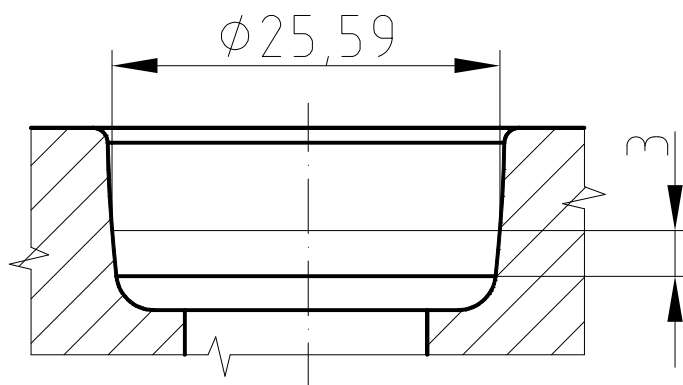


Obr. 6.5: Vylisovaný soudeček 22226EJ

Hodnoty odečtené z programu SOLIDWORKS:

Maximální objem soudečku:	$V_{\max} = 13806,26 \text{ [mm}^3\text{]}$
Minimální objem soudečku:	$V_{\min} = 13791,42 \text{ [mm}^3\text{]}$
Hmotnost soudečku:	$m = 107,69 \text{ [g]}$

Nejdůležitější částí lisovaného soudku je přechodový rádius mezi pláštěm a čelem, který se po vylisování již neobrábí. Tato nejdůležitější část soudku je zároveň nejhůře lisovatelnou. V důsledku tření mezi pláštěm polotovaru a zápustkou vznikají aktivní třecí síly, které sice snižují tvářecí sílu, avšak způsobují horší vyplňování dolní části dutiny zápustky. Zmírnění tohoto nežádoucího jevu lze kromě použití dobrého maziva dosáhnout také vhodnou volbou způsobu přechování, kdy se v procesu využije vzniku charakteristického soudku. Vhodné je umístit výchozí váleček v zápustce nad rádiusem. V počáteční fázi přechování pak nejprve dojde k redukci průměru a k tvorbě soudku, materiál se pak v konečné fázi opře o stěny zápustky a při optimální všestranné tlakové napjatosti dochází k vylisování rádiusu. Zvolený způsob umístění polotovaru je na (Obr. 6.6).



Obr. 6.6: Volba průměru tyče

Tyče z materiálu 14 209.3 se dle ČSN 42 6514 čl. 5 dodávají v průměrech: $\text{Ø}25$; $\text{Ø}25,5$; $\text{Ø}26$ s přesností h9.

Průměr výchozí tyče volím: $D_0 = \text{Ø} 25,5 \text{ [mm]}$

Výpočet délky válečku z tyče $\text{Ø}25,5$ při zohlednění tolerance h9:

$$\text{minimální délka přířezu: } l_{\min} = \frac{4 \cdot V_{\min}}{\pi \cdot D_{0h}^2} = \frac{4 \cdot 13791,42}{\pi \cdot 25,5^2} = \underline{\underline{27,005 \text{ [mm]}}}$$

$$\text{maximální délka přířezu: } l_{\max} = \frac{4 \cdot V_{\max}}{\pi \cdot D_{0d}^2} = \frac{4 \cdot 13806,26}{\pi \cdot 25,448^2} = \underline{\underline{27,14 \text{ [mm]}}}$$

Při zohlednění přesnosti řezání dělicího stroje ADIGE CM 601, které je 0,1mm, volím konečný předepsaný rozměr polotovaru: $\text{Ø}25,5 \times 27,07^{+0,05}_{-0,05} \text{ [mm]}$

Rozměr bude zřejmě ještě nutné upřesnit po vylisování a vyhodnocení prvních prototypů.

6.4 Tvařitelnost výchozí oceli

6.4.1 Oceli na valivá ložiska [10]

Ocel na výrobu soudečků je dána specifickými požadavky kladenými na materiál pro ložiska. Jakost ložiskové oceli závisí na matici a na obsahu, morfologii a rozložení karbidů a vměstků. Základní požadavky na vlastnosti ložiskové oceli je možno shrnout:

- matrice musí mít tvrdost 61 až 65 HRC,
- ložisko musí mít vysokou mez únavy při kontaktním namáhání po dobu několika tisíc hodin,
- ocel musí mít vysokou mez kluzu, pevnost a dostatečnou houževnatost,
- v matici musí být minimální obsah oxidických vměstků,
- karbidická fáze musí být rozložena v matici rovnoměrně,
- v dodaném materiálu nesmí být vnitřní vady (poréznost, trhlinky apod.).

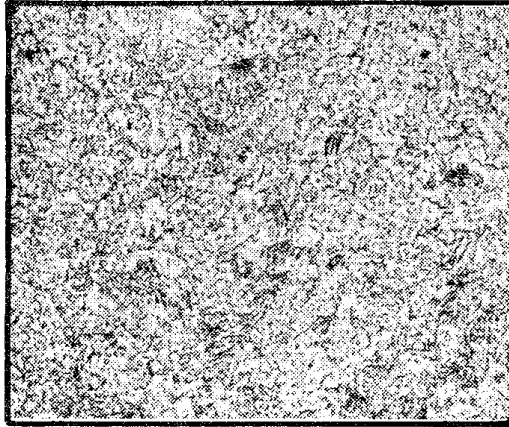
V technické praxi nejsou valivá ložiska obvykle příliš dynamicky namáhána, takže se na jejich výrobu používají poměrně křehké vysokouhlíkové nízkolegované chromové nebo chrommanganové oceli, které se kalí a popouštějí za nízkých teplot.

Ve firmě ZKL se na základě dlouhodobých zkušeností používá pro soudečky valivých ložisek ložisková ocel 100CrMn6, která dle normy ČSN odpovídá oceli 14 209. Jedná se o vysokouhlíkovou ocel za studena těžko tvařitelnou, která se dodává vyžíhaná na měkko. V roce 2006 byla pro soudečky menších rozměrů hodnocena i možnost použití méně kvalitní ložiskové oceli 100Cr5. Důvodem zkoušení byla nižší cena oceli. Hlavním problémem při pokusu o zavedení této oceli byla nutnost přenastavování kalící linky, vznikaly časové prodlevy nutné na přednastavení a byla zde také větší zmetkovitost, protože se často stávalo, že pracovníci linku chybně nastavili. Na základě těchto zkušeností se prozatím od oceli 100Cr5 upustilo. Se zavedením nové pásové kalící linky s řízeným režimem (rok 2007) se však nyní hodnotí znovuzavedení této oceli, avšak jen pro soudečky malých rozměrů cca do průměru 15mm. Vzhledem k problematice této práce bude tedy dále podrobněji rozebrána pouze ocel 100CrMn6.

6.4.2 Ocel 100CrMn6, měkce žíháno [10]

Jedná se o nadeutektoidní nízkolegovanou chrommanganovou ocel. Mikrostruktura ve vyžíhaném stavu je zrnitý perlit, zbytky lamelárního perlitu jsou dovoleny do 10%. V základní matici jsou rozloženy nadeutektoidní karbidy $(\text{Fe,Cr,Mn})_3\text{C}$. Ve výchozím polotovaru nesmí tyto karbidy tvořit síťoví, povolují se jen minimální zbytky. Po vyžíhání dochází k vytvoření řetízků karbidů na hranicích zrn, což snižuje vlastnosti ocelí. Síťoví nadeutektoidního cementitu se tvoří při pomalém ochlazení z tvářecích teplot. Při hodnocení jakosti se také sleduje, zda je ve výchozím polotovaru mikroporéznost (mikrořediny), které se u tyčí do průměru 40mm nepřipouštějí vůbec. Polotovary určené na výrobu ložisek musí mít minimálně oduhličený povrch, protože se tím snižuje tloušťka přídavek na obrábění. Oduhličenou vrstvu je nutno při obrábění úplně odstranit, čímž se zvyšují náklady.

Struktura 100CrMn6 - měkce žháno



NITAL

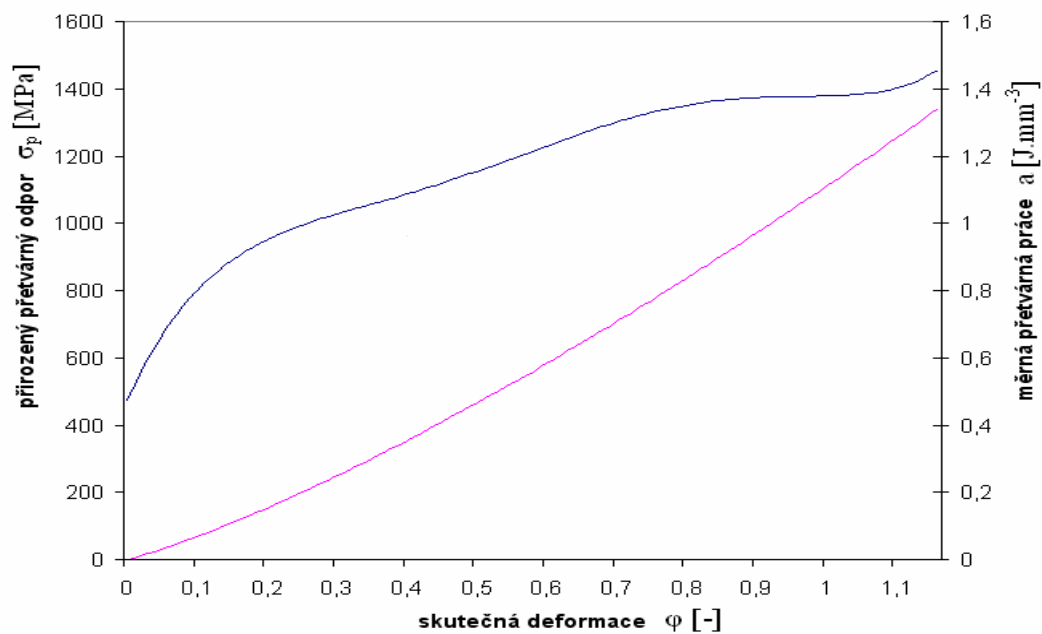
500x

Chemické složení v %

C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
0,98	0,97	0,42	1,47	0,076	0,153	0,022	0,020

Mechanické vlastnosti	Měkce žháno
Pevnost v tahu R_m [MPa]	674,69
Mez kluzu $R_p 0,2$ [MPa]	299,10
Tažnost A_5 [%]	28,00
Kontrakce Z [%]	60,20
Tvrdość HB 2,5/187,5	191

Křivka zpevnění oceli 14 209.3 (polynom 5. stupně)



6.4.3 Technologická tvařitelnost oceli 100CrMn6 [2]

Z výše uvedených údajů vyplývá, že se jedná o ocel vysokouhlíkovou, jejíž ukazatele plastičnosti ve vyžíhaném stavu spadají do skupiny za studena středně tvařitelných materiálů. Trhliny v soudečku s největší pravděpodobností vzniknou na povrchu. Zde kromě tlakového přetvoření φ_2 působícím v osové směru, existuje ještě tahové přetvoření φ_1 ve směru obvodovém. φ_1 je doprovázeno tahovým napětím, které snižuje tvařitelnost.

Průběh zpěchování je nehomogenní, protože cílem je vznik soudku. V závěru operace se však materiál opře o stěnu, která vyvíjí vnější tlak, v důsledku kterého vzniká napětí σ_3 zatěžující napěťový element. σ_3 je tlakové a přes hydrostatickou napjatost σ_s zvyšuje plastičnost materiálu. Tento proces pěchování v dělené zápustce se zejména z hlediska napěťového stavu na povrchu dílce liší od procesu volného pěchování válečku při pěchovací zkoušce. V tomto případě je cílem získání závislosti σ jako funkce φ pokud možno při homogenním zpěchování.

Pěchování výchozího polotovaru do soudečku:

$$\phi D_0 = 25,5 [mm] \Rightarrow \phi D = 26,45 [mm]$$

Pěchovací poměr:

$$s = \frac{H_0}{D_0} = \frac{27,01}{25,5} = 1,06 [-] \leq 2 \Rightarrow \text{jedna operace}$$

Příčné zpěchování:

$$q = \frac{D^2 - D_0^2}{D^2} = \frac{26,45^2 - 25,5^2}{26,45^2} = \underline{\underline{0,0705 [-]}}$$

Skutečná deformace:

$$\varphi = \ln \frac{D^2}{D_0^2} = \ln \frac{26,45^2}{25,5^2} = \underline{\underline{0,0732 [-]}}$$

Přirozený přetvárný odpor:

$$\begin{aligned} \sigma_p &= 8556,45 \cdot \varphi^5 - 26876,69 \cdot \varphi^4 + 30936,20 \cdot \varphi^3 - 16325,03 \cdot \varphi^2 + 4613,91 \cdot \varphi + 473,88 = \\ &= 8556,45 \cdot 0,0732^5 - 26876,69 \cdot 0,0732^4 + 30936,20 \cdot 0,0732^3 - 16325,03 \cdot 0,0732^2 + \\ &+ 4613,91 \cdot 0,0732 + 473,88 = \underline{\underline{735,525 [MPa]}} \end{aligned}$$

Deformační odpor dle Navrockého (3.13):

$$\begin{aligned} \sigma_{ds} &= \sigma_p \cdot e^{\frac{0,4s}{t}} \left(1 + \frac{1}{3} \frac{f \cdot D}{H} \right) \cdot k_1 k_2 = 735,525 \cdot e^{\frac{0,4 \cdot 0,05}{2,55}} \left(1 + \frac{1}{3} \frac{0,15 \cdot 26,45}{26,55} \right) \cdot 1,5 \cdot 1,1 = \\ &= \underline{\underline{1284,101 [MPa]}} \end{aligned}$$

Závěr:

Reálný případ pēchování soudečků valivých ložisek se odlišuje od procesních podmínek pēchovací zkoušky nejen v důsledku existence zápusky, ale také v důsledku odlišného pēchovacího poměru D/H, který rovněž spolupůsobí na definici limitu tvařitelnosti (geometrický faktor). Celkové pētvoření φ_2 v závěru dokončení soudku je 0,0732. Porovná-li se tato hodnota s průběhem závislosti $\sigma_p(\varphi)$ daného materiálu je jasné, že σ_p tohoto procesu je velmi nízké oproti oblasti blízké mezi pevnosti. Vypočtená hodnota σ_p pro $\varphi_2=0,0732$ je 735,525 MPa. Materiál je tedy tvářen v oblasti velmi přijatelného pētvoření.

6.5 Zhodnocení použitelnosti lisu LLR 1000

Lis je určen pro ražení, rovnání, protlačování a kalibrování za studena i za tepla pro hromadnou i sériovou výrobu. Svým charakterem a určením je vhodný především pro nízké součásti, pro jejichž výrobu je potřeba značné síly a není potřeba velkého zdvihu.

Jmenovitá síla lisu:	10000 [kN]
Jmenovitý zdvih:	3 [mm]
Zdvih:	140 [mm]

Soudeček 22226EJ:

Tvářecí síla při pēchování soudku:

$$F_{\max} = \sigma_{ds} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 1284,101 \cdot \frac{\pi \cdot 26,45^2}{4} = \underline{\underline{705,570 [kN]}}$$

Práce potřebná pro zpēchování soudku:

$$A = m \cdot F_{\max} \cdot s_s = 0,5 \cdot 705570 \cdot 0,00061 = \underline{\underline{215,2 [J]}}$$

Jmenovitá práce lisu:

$$A_D = F_D \cdot s_D = 10^7 \cdot 0,003 = \underline{\underline{30 [kJ]}}$$

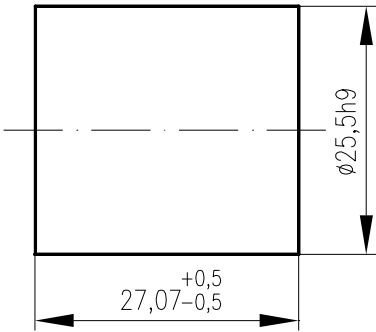
Porovnání prací:

$$\underline{\underline{A = 215,2 [J]}} \leq A_D = 30000 [J]$$

Závěr:

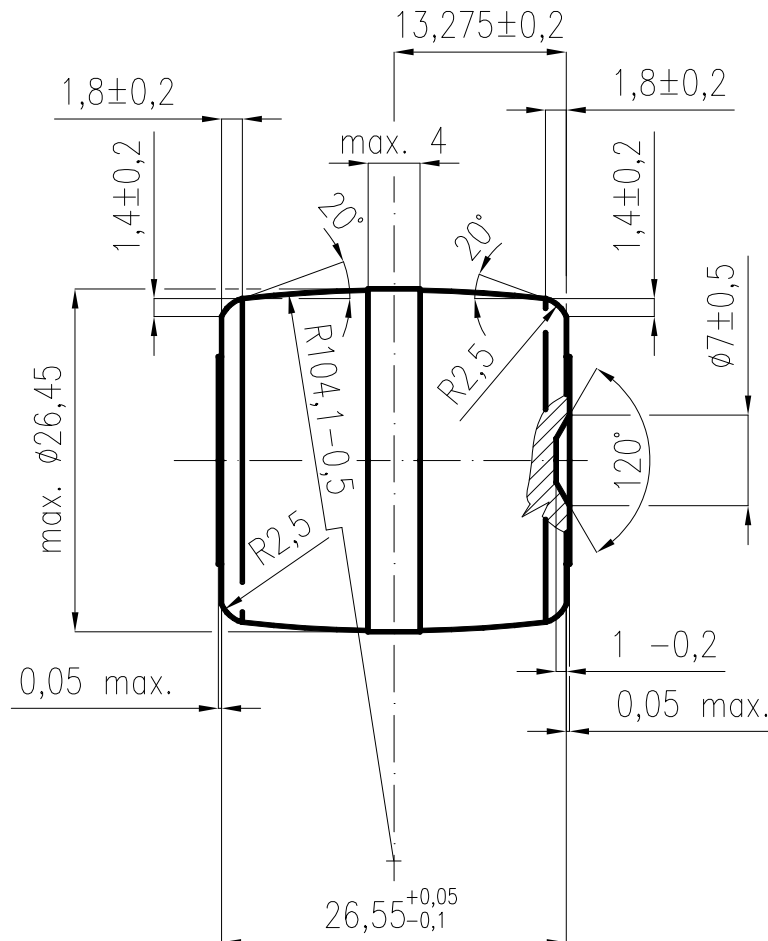
Kontrola zatížitelnosti lisu byla provedena pro soudeček 22226EJ. Potřebná tvářecí práce je 215,2 [J], což je v porovnání s jmenovitou tvářecí prací lisu 30000 [J] velmi malá hodnota.

6.6 Navržený výrobní postup

Číslo operace: 1		Název stroje: ADIGE CM 601	
Sled	Popis práce	Nářadí / Nástroj	Parametry stroje
1	Dělit na délku: 27,07 ^{+0,05} _{-0,05}	pilový kotouč 360 x 100 Ti-3 4D0310	rychlost: 90,3 posuv na zub: 0,0449 <i>při opotřebení kotouče:</i> rychlost: 75 až 90,3 posuv na zub: 0,035 až 0,04
			
<p>Při dělení dílů nesmí vznikat otlaky po upnutí a vtisky po třískách. Vyrobené kusy ukládat do dílenské bedny tak, aby nepřesahovaly horní okraj. V případě neshody - vady ukládat díly do červeně označené palety neshoda - vada. Stroj nutno udržovat v čistotě.</p>			

Číslo operace: 2		Název stroje: Omilbrus OB200	
Sled	Popis práce	Nářadí / Nástroj	Parametry stroje
1	Omílat max. 30 minut	piliny	neměnné
<p>Do bubnu vložit 1000 - 5000 ks. Díly ukládat volně do malé palety tak, aby nepřesahovaly horní okraj.</p>			

Číslo operace: 3		Název stroje: ŠMERAL LLR 1000	
Sled	Popis práce	Nářadí / Nástroj	Parametry stroje
1	Lisovat	Nástroj LN LLR 1000 Vyhazovač horní 22226EJ Vyhazovač dolní 22226EJ vločka 222 26EJ	neměnné



Pro vkládání a vyjímání dílu použít kleště.

Do kovací zápustky vkládat díl namazaný olejem čípkem nahoru.

Ustavit díl do zápustky tak, aby byl kolmo a nepoškodil přechodové rádiusy.

Provést technologickou operaci lisování.

Provést mezioperační kontrolu dle mezioperační kontrolní návodky.

Vizuálně kontrolovat povrch dílu (nesmí být jakékoliv vtisky nad 0,05 mm).

Díly ukládat do dílenské bedny v počtu cca. 500 kusů (max. do výše 1/2 bočnic)

Vyrobené soudečky se musí ukládat do bedny takovým způsobem, aby nevznikaly jakékoliv otlaky.

Pozornost věnovat povrchu rádiusu R2.

Funkční dutiny zápustky nutno při výrobním procesu udržovat v čistotě, min. 1x za hodinu vyčistit.

V případě neshody - vady ukládat díly do červeně označené palety neshoda - vada.

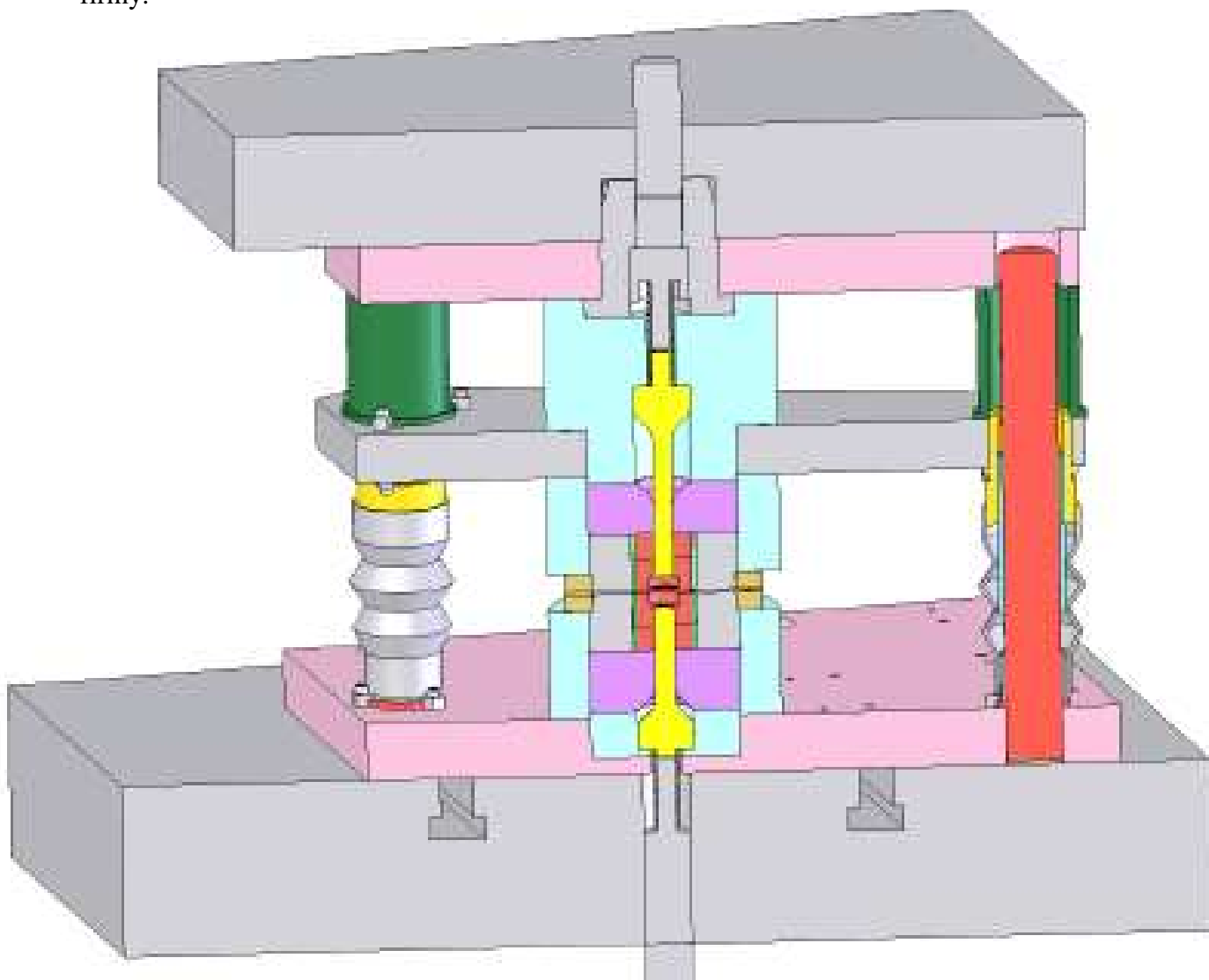
Stroj nutno udržovat v čistotě (během čištění musí být vypnutý stroj).

Každou hodinu překontrolovat nastavení

Číslo operace: 4		Název stroje: HYDROMAT	
Sled	Popis práce	Nářadí / Nástroj	Parametry stroje
1	Odmastit		odmašťovací rychlost: 1 doba odmašťování: 0,5hod pracovní tlak: 0,8-1,0 kN/cm ²
<p>Do poloviny naplněnou dílenskou bednu vložit na dopravník. Provést technologický úkon odmaštění. Zastavit dopravní pás a nechat působit odmašťovací proces po dobu 30 min., po této době dokončit operaci. Zastavit průběžný pás, sundat koš z dopravníku, provést mezioperační kontrolu.</p>			

7. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ NÁSTROJE

Při volbě tvarů a rozměrů funkčních částí nástroje jsem vycházel ze stávajících výkresů již lisovaných soudečků menších rozměrů a na základě konzultací s pracovníky firmy.



Obr. 7.1: Řez nástrojem pro LLR 1000

7.1 Návrh vyhazovačů

Soudeček 22226EJ je rozměrově symetrický, oba vyhazovače mají stejný průměr. Při kontrole vyhazovačů stačí tedy kontrolovat jen jeden z nich. Pro kontrolu volím vyhazovač horní, protože má delší volnou délku a je tedy potřeba kontrolovat ho také na vzpěr.

Kontrola na otláčení:

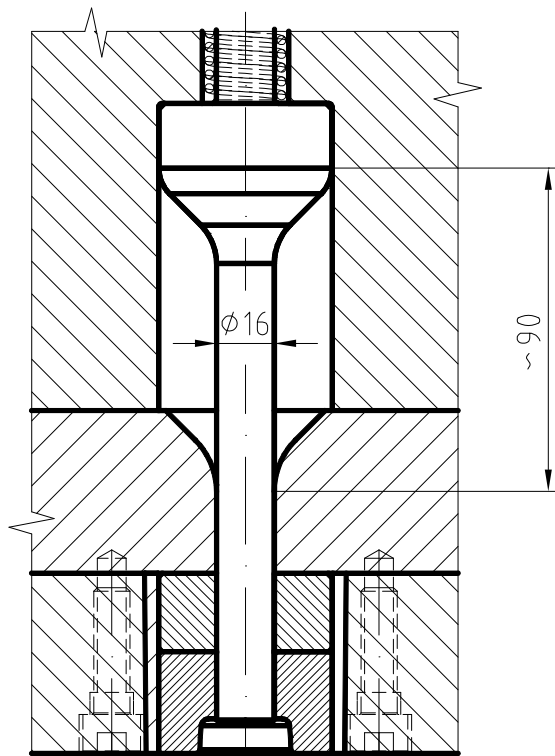
$$\sigma_{ds} = 1284,1 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{ptl}(19452) \approx 2000 \text{ [MPa]} \quad (\text{kaleno na } 58 - 60 \text{ HRC})$$

$$\sigma_{ds} < \frac{\sigma_{ptl}(19452)}{k_b} \Rightarrow \sigma_{ds} < \frac{2000}{1,4} \Rightarrow \underline{\underline{1284,1 < 1428,6 \text{ [MPa]}}}$$

Kde: $\sigma_{ptl}(19452)$ Mez pevnosti materiálu v tlaku [MPa]
 k_b koeficient bezpečnosti ($k_b = 1,4 \sim 1,6$) [-]

Kontrola na vzpěr:



$$F_v < F_{KR}$$

$$F_v = \sigma_{ds} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 1284,1 \cdot \frac{\pi \cdot 16^2}{4} = \underline{\underline{258,18 \text{ [kN]}}}$$

$$F_{KR} = 2 \cdot \pi^2 \frac{E \cdot J}{L^2}$$

$$F_{KR} = 2 \cdot \pi^2 \frac{2 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 16^4}{64}}{90^2} = \underline{\underline{1568 \text{ [kN]}}}$$

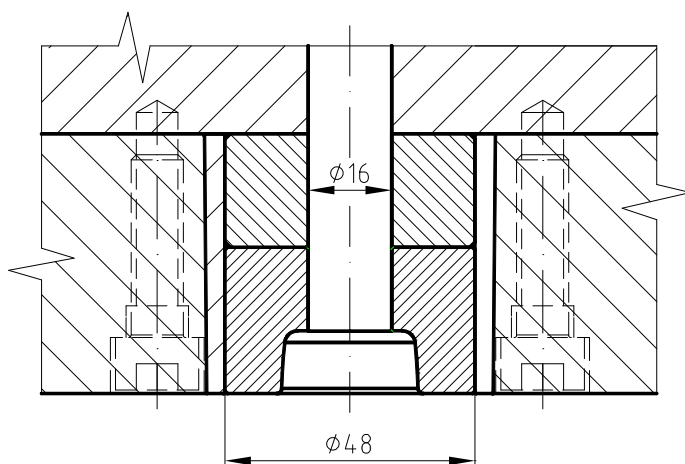
$$258,18 < 1568 \text{ [kN]} \Rightarrow \underline{\underline{F_v < F_{kr}}}$$

Obr. 7.2: Detail uložení horního vyhazovače

Kde: F_v síla na vyhazovač [kN]
 E modul pružnosti v tahu
 J moment setrvačnosti. Pro kruhový průřez $J = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$ [mm⁴]
 d průměr vyhazovače [mm]

7.2 Kontrola podložek

Všechny podložky v nástroji mají shodné průměry a jsou navrhnuty ze stejného materiálu (14 209, kaleno na 58 – 60 HRC). Kontrolovat tedy stačí jednu z nich.



Obr. 7.3: Detail uložení zápusťky a podložky

$$F_{\max} = 705,507 \text{ [kN]}$$

$$\sigma_{\text{ptl (14 209)}} \approx 1200 \text{ [MPa]}$$

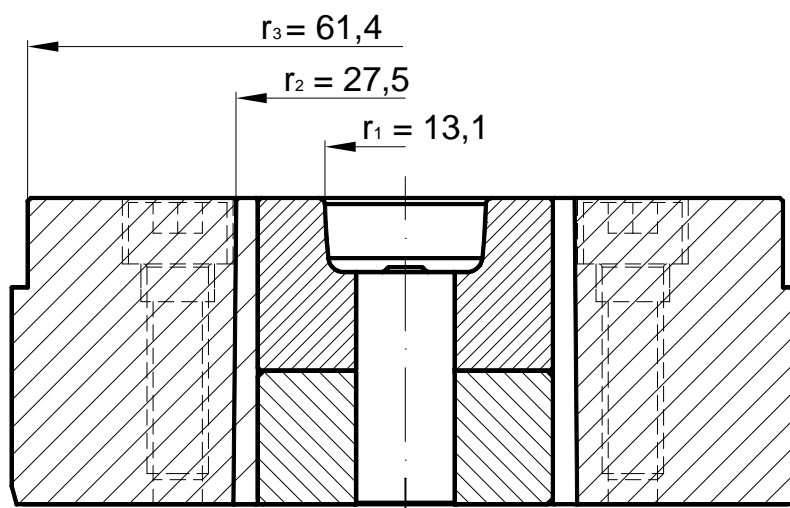
$$F_{\max} \leq \frac{\sigma_{\text{ptl (14209)}}}{k_b} \cdot s$$

$$F_{\max} \leq \frac{\sigma_{\text{ptl (14209)}}}{k_b} \left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right)$$

$$F_{\max} \leq \frac{1200}{1,6} \left(\frac{\pi 48^2}{4} - \frac{\pi 16^2}{4} \right)$$

$$\underline{\underline{705,507 \leq 1206 \text{ [kN]}}}$$

7.3 Návrh zápusťky [14] [5]



Obr. 7.4: Rozměry bandáže a zápusťky dané nástrojem

Zápusťku a případnou potřebnou bandáž lze z výpočtového hlediska považovat za tlustostěnný válec. Při výpočtu lze zavést následující předpoklady: Zápusťka je namáhána vnitřním tlakem p_0 rovnoměrně po celé délce, velikost vnitřního tlaku je při uzavřeném pěchování přibližně rovna deformačnímu odporu σ_d . Při výpočtu uvažujeme axiální napětí nulové, vnitřní průměr konstantní a zanedbává se vliv tvaru vnitřní dutiny (koncentrace napětí ve vnitřních poloměrech apod.)

V důsledku působení vnitřního přetlaku p_0 vzniká ve stěně zápusťky radiální napětí σ_r a tangenciální napětí σ_t . Porušení zápusťky je potom odvislé od složeného výsledného napětí σ_v , které dosahuje nejvyšší hodnoty na vnitřním průměru průtláčnice (Obr. 7.5). Toto maximální výsledné napětí nesmí překročit hodnotu meze kluzu σ_{kt} materiálu zápusťky, sníženou koeficientem bezpečnosti n_k , neboli dovolené napětí.

Vnitřní tlak na zápustku při pěchování soudečku: $p_0 \approx \sigma_d = 1284,101 \text{ MPa}$

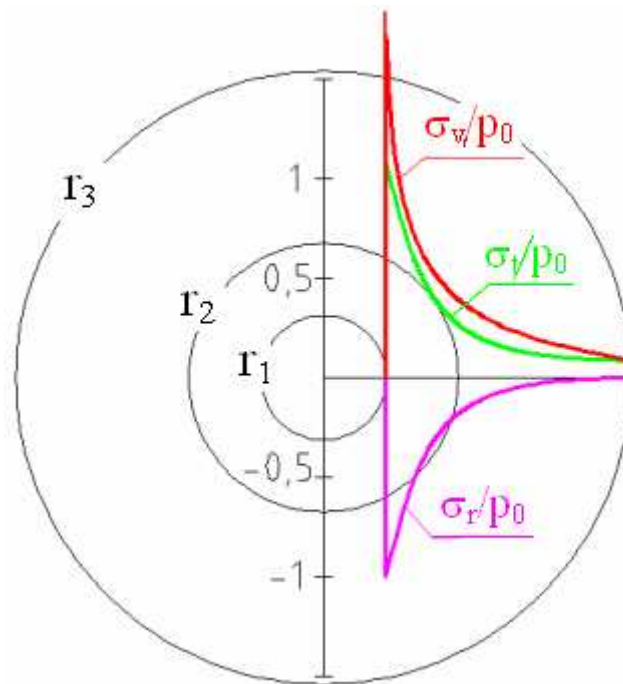
$$\sigma_{r1} = p_0 \frac{r_1^2}{r_3^2 - r_1^2} \left(1 - \frac{r_3^2}{r_1^2} \right) = 1284,101 \frac{13,1^2}{61,4^2 - 13,1^2} \left(1 - \frac{61,4^2}{13,1^2} \right) = \underline{\underline{-1284,101 [MPa]}}$$

$$\sigma_{t1} = p_0 \frac{r_1^2}{r_3^2 - r_1^2} \left(1 + \frac{r_3^2}{r_1^2} \right) = 1284,101 \frac{13,1^2}{61,4^2 - 13,1^2} \left(1 + \frac{61,4^2}{13,1^2} \right) = \underline{\underline{1394,6 [MPa]}}$$

$$\sigma_{v_{\max}} = \sqrt{\sigma_{t1}^2 + \sigma_{r1}^2 - \sigma_{t1} \cdot \sigma_{r1}} = \sqrt{1394,6^2 + 1284,101^2 + 1394,6 \cdot 1284,101} = \underline{\underline{2320,48 [MPa]}}$$

$$\sigma_{v_{\max}} < \sigma_{DOV}$$

$2320,48 > 1620 \Rightarrow$ zápustka nevyhovuje, je potřeba volit řešení s bandáží.



Obr. 7.5: Průběh zatěžovacího napětí při lisování soudečku

Výsledné napětí σ_v na vnitřním průměru zápustky lze podstatně snižovat přidáváním tloušťky stěny zápustky. Toto zvětšování stěny má však praktický význam pouze do poměru $D_0/D_1 = 4$ (D_0 a D_1 jsou vnitřní a vnější průměr zápustky). Při dalším přidávání materiálu je již pokles σ_v minimální. Pokud tedy vypočtené výsledné napětí σ_v je i při poměru $D_0/D_1 = 4$ větší než je povolené napětí materiálu, je potřeba volit zápustku bandážovanou. Bandážování spočívá v nalisování zápustky a bandáže do sebe s vhodným přesahem na vhodném poloměru, čímž se vyvolá v nezátžené zápustce tangenciální tlakové předpětí σ_t' , které potom při pracovním procesu působí proti vznikajícímu tangenciálnímu napětí σ_t . Přesah mezi zápustkou a bandáží se volí tak, aby tangenciální tlakové předpětí σ_t' na povrchu dutiny zápustky bylo asi rovné tangenciálnímu tahovému napětí σ_t v průběhu pracovního postupu. Zápustka je tak potom v průběhu procesu namáhána už jen tlakovým radiálním napětím σ_r ,

čímž klesá výsledné napětí σ_v . Namáhání je přeneseno na vnitřní otvor bandáže. Hlavní otázkou je správná volba poloměru, na kterém bude zápustka s bandáží nalisována a volba vhodného přesahu. Dělicí poměr r_2/r_1 zápustky má svou optimální hodnotu, při které je σ_v na vnitřním průměru zápustky nejmenší.

Pro přesné stanovení rozměrů průtlačnic a průběhů napětí je na VUT v Brně vypracován program OPTIM97.exe, který byl použit i pro návrh řešené zápustky pro soudeček 22226EJ. Zvolené vstupní a vypočtené hodnoty jsou uvedeny na str.62. Jako vstupní podmínka únosnosti zápustky byla zvolena podmínka τ_{max} , pro objímku podmínka HMM. Na základě těchto podmínek únosnosti a dalších podmínek materiálových a geometrických byl programem vygenerován ideální průběh předpětí a maximálního pracovního napětí.

Porovnání výsledků:

Poměrný dělicí poměr při minimálním celkovém výsledném napětí σ_v vyšel $r_2/r_1 = 2,11384$, což je hodnota velmi blízká poměru $r_2 / r_1 = 27,5/13,1 = 2,099$ daného nástrojem.

Vnitřní tlak na zápustku při pěchování soudečku: $p_0 = \sigma_d = 1284,101 \text{ MPa}$

Výsledné maximální radiální napětí: $p_1 = 1318,6 \text{ [MPa]}$

$$\underline{\sigma_d} \leq \underline{p_1}$$

Rozměry bandáže a zápustky mohou být tedy pro lisování řešeného soudečku ponechány, bude však nutno zvětšit průměr vnitřní rozpěrné objímky, jejíž průměr je nyní $\varnothing 55,22 \text{ [mm]}$. Konstrukční přesah vygenerovaný programem je $0,37795$. Průměr objímky volím $\varnothing 55,37 \text{ [mm]}$.

Stažení funkčního průměru zápustky vyšlo $- 0,1458$, na tento rozměr bude brán zřetel při návrhu rozměrů zápustky.

OPTIMALIZACE LISOVNICE S JEDNOU OBJÍMKOU

*****Protokol programu **optim97.exe*******

VSTUPNÍ DATA - MATERIÁL:

			LISOVNICE	OBJIMKA
			Ocel 19 436	Ocel 14 260
Modul pružnosti v tahu	E	[MPa]	208000	200000
Mez pevnosti v tahu	Rm	[MPa]	1860	1770
Mez pevnosti v tlaku	Rd	[MPa]	0	0
Mez kluzu	Rp(0,2)	[MPa]	1680	1580
Poissonovo číslo	μ		0.30	0.30
Dovolené napětí	σ_D	[MPa]	1620	1500

VSTUPNÍ DATA - GEOMETRIE:

Vnitřní poloměr lisovnice	r_1 [mm]	13.10
Vnější poloměr objímky	r_3 [mm]	61.40

VSTUPNÍ DATA - TEPLOTA, TEPEL. ROZTAŽNOST:

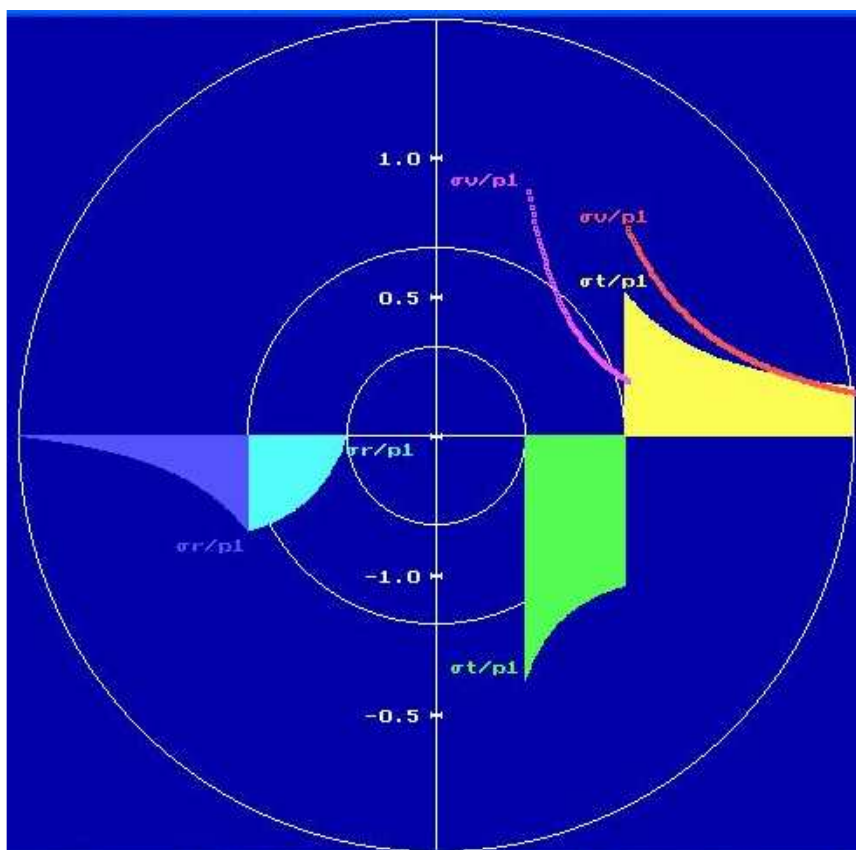
Teplota okolí	T_o [°C]:	23
Teplota popouštěcí	T_p [°C]:	400
Stř. hodnota koef. tepel. roztažnosti lisovnice	α₁ [1/K]:	0.0000128
Stř. hodnota koef. tepel. roztažnosti objímky	α₂ [1/K]:	0.0000125

VSTUPNÍ DATA - PODMÍNKY ÚNOSNOSTI A PODMÍNKY POUZDŘENÍ:

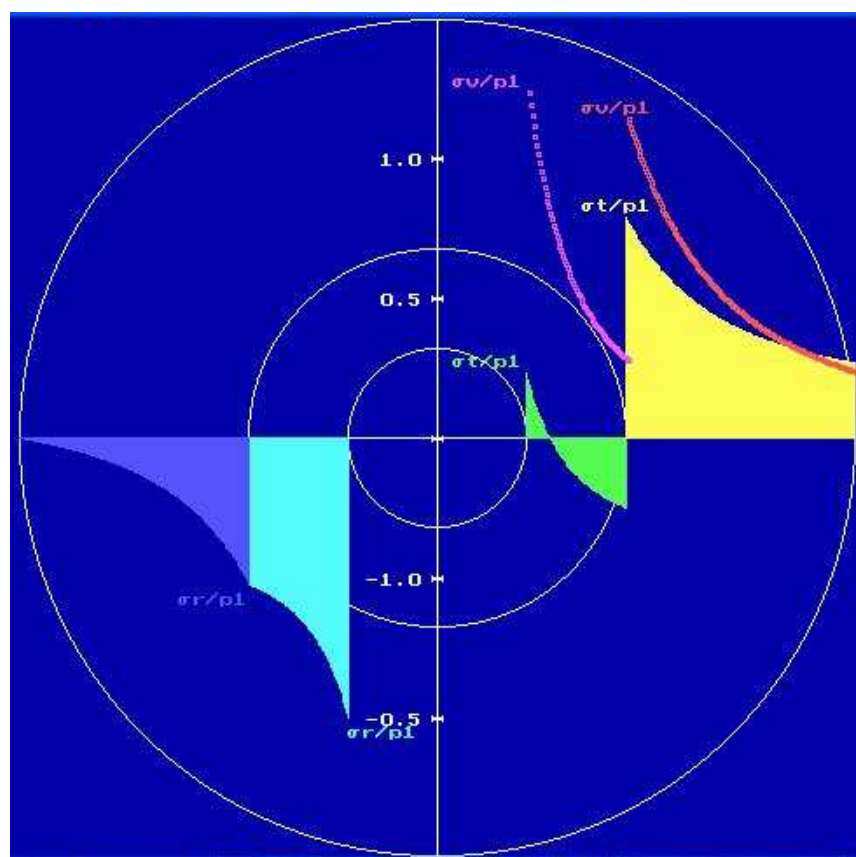
LISOVNICE:	Podmínka max.smykových napětí pro ocel
OBJÍMKA:	Podmínka energetická HMH pro ocel
Pouzďeno za studena	(na kuželové plochy)

VYPOČTENÉ HODNOTY

Poměrný dělicí poloměr	r_2/r_1 [mm]	1.95157
Maximální radiální tlak	p_1 [MPa]	1318.60000
Kontaktní tlak	p_2 [MPa]	689.87582
Dělicí poloměr	r_2 [mm]	27.69133
Vypočtený přesah	$2\Delta r$ [mm]	0.37795
Kontaktní předpětí	p_2 [MPa]	449.23410
Stažení vnějšího Ø lisovnice	$2\Delta r_2$ [mm]	0.15271
Roztažení vnitřního Ø objímky	$2\Delta r_{22}$ [mm]	0.22525
Zvětšení kontaktního tlaku od p_1	p'_2 [MPa]	240.64172
Konstrukční přesah	$2\Delta r_s$ [mm]	0.37795
Stažení funkčního Ø lisovnice	$2\Delta r_1$ [mm]	- 0.1458



Obr. 7.6: Průběh předpětí sevřením bandáží z programu OPTIM97.exe



Obr. 7.7: Průběh předpětí a pracovního napětí z programu OPTIM97.exe

8. LAYOUT PRACOVIŠTĚ

Původně bylo při lisování soudečků využíváno podávání a vyjímání výlisků pomocí transferu, který byl mechanicky spřažen s pohonem lisu. S tímto podavačem však byly od počátku problémy, podavač nepracoval přesně a spolehlivě, nakonec dokonce došlo k jeho kolizi a musel být odstraněn. Aby po dobu řešení nového vhodného podavače nestála výroba, je potřeba realizovat výrobu ručním zakládáním. Dále bude uveden návrh layoutu pracoviště pro ruční zakládání.

Výrobní haly a pracoviště jsou situovány kompromisně vzhledem k celkovému výrobnímu programu. Při návrhu layoutu je proto vycházeno ze stávajícího zařízení a rozmístění výrobních hal a pracovišť. Hlavní výrobní halou je lisovna, jejíž součástí je i omílárna. Sklad materiálu je přistaven k lisovně. Pracoviště pro odmašťování výlisků je součástí lakovny, která se nachází v jiné hale, ve které je také expediční středisko. Lakovna a expedice je společná pro celý výrobní program závodu. Přemísťování polotovarů a hotových výlisků mezi jednotlivými pracovišti je realizováno v paletách nebo dílenských bednách pomocí vysokozdvizného vozíku.

Celkový Layout

1 - Sklad materiálu:

Tyčový polotovar je ve skladu materiálu uložen v regálech. Dělení polotovaru pro soudečky lisované na vertikálním lisu probíhá na kotoučové CNC děličce CM 601, která je umístěna ve skladu materiálu. Obsluha děliček ve skladu je dvoj-strojová. Vyrobené kusy budou ukládány do dílenské bedny tak, aby nepřesahovaly horní okraj. V případě neshody – vady budou díly vkládány do červeně označené palety neshoda - vada. Naplněné dílenské bedny budou odváženy a skladovány v meziskladu polotovarů ve skladu.

2 - Omílárna:

Po zhotovení potřebného množství válečků na zaplnění omílacího bubnu (1000 - 5000ks) budou ze skladu převezeny bedny s válečkami do omílárně. Obsluha omílacího bubnu je realizována jedním pracovníkem. Po dokončení operace omílání budou omléty válečky uloženy zpět do dílenské bedny tak, aby nepřesahovaly horní okraj.

Výrobní kapacita omílacího bubnu je vysoká, proto je využíván několika výrobními programy. Skladovací prostor v omílárně je malý, proto je nutno bezprostředně po omléti odvážet polotovary do meziskladu na lisovnu.

3 - Mezisklad materiálu na lisovně:

Zde budou ukládány omléty polotovary pro lisování a také hotové výlisky pro odmaštění.

4 - Lisovna:

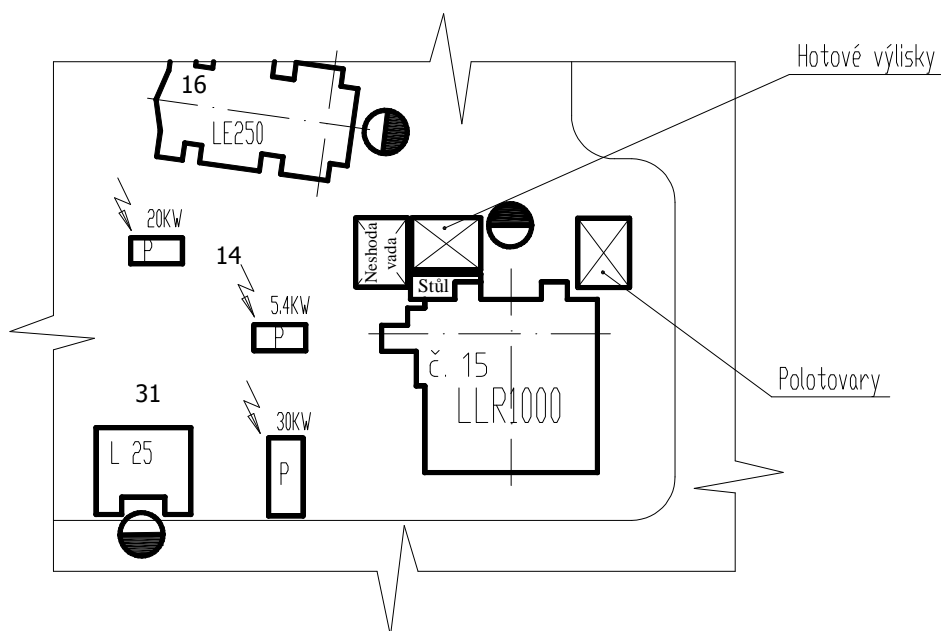
Lisování probíhá na pracovišti č.15 (lis LLR1000). Návrh pracoviště je na (Obr. 8.1), kde je navrženo rozmístění beden s polotovary a dobrými a vadnými výlisky. Součástí pracoviště je ještě stůl, na kterém budou umístěna měřidla a výkresy součástí a bude na něm prováděna kontrola výlisků. Na stole lisu bude umístěna nádoba s mazivem a větší nádoba pro hotové výlisky. Obsluha stroje bude realizována jedním pracovníkem. Z bedny polotovarů si pracovník vyskládá vhodné množství válečků na stůl lisu, po namočení výlisku v nádobě s mazivem vloží polotovar pomocí kleští do zápustky. Hotové výlisky bude ze zápustky ukládat do nádoby na stole lisu, po naplnění této nádoby přemístí výrobky do dílenské bedny hotových výlisků. Bedna se plní počtem cca. 500 kusů (max. do výše 1/2 bočnic), takovým způsobem, aby nevznikaly jakékoliv otlaky. V případě neshody - vady budou díly ukládány do červeně označené palety neshoda - vada. Naplněné bedny s výlisky budou průběžně odváženy do meziskladu materiálu v lisovně.

5 - Odmaštění:

Pracoviště pro odmašťování je realizováno na průběžné odmašťovací lince. Bedny s výlisky se vyskládají na dopravník a nechají se odmastit. Bedny budou plněny jen z půlky aby odmašťovací proces proběhl dokonale a stejně na všech soudečcích.

5 - Expedice:

Expedice se nachází ve stejné hale jako odmašťovací pracoviště a je společná pro celý výrobní program.



Obr. 8.1: LAYOUT pracoviště na lisu LLR 1000

EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

8.1 Lisování

8.1.1 Definice parametrů vstupního materiálu soudečku 22226EJ

<i>Jakost materiálu:</i>	14 209.3
<i>Rozměrová norma materiálu:</i>	Tyč kruhová broušená Ø 25,5 ČSN 42 6514 čl. 5
<i>Dodavatel materiálu:</i>	ZKL Brno, a. s.
<i>Cena za jednotku materiálu:</i>	33 Kč/kg

8.1.2 Definice technologického postupu

- *Výpočet spotřební hmotnosti lisovaného soudečku*

Skutečná délka tyče:

$$l_{sk} = l_t - l_{odp} = 3 - 0,1 = \underline{\underline{2,9[m]}}$$

Kde:	l_{sk}	skutečná délka tyče [m]
	l_t	délka tyče [m]
	l_{odp}	délka odpadu [m]

Počet kusů z tyče:

$$n_t = \frac{l_{sk}}{l_v + s_k} = \frac{2,9}{0,02707 + 0,0025} = \underline{\underline{98[ks]}}$$

Kde:	n_t	počet kusů z tyče [-]
	l_v	délka válečku [m]
	s_k	šířka kotouče [m]

Spotřební hmotnost soudečku:

$$m_{sp} = \frac{\frac{\pi d^2}{4} \cdot l_t \cdot \rho}{n} = \frac{\pi \cdot 0,0255^2}{4} \cdot 3 \cdot 7850}{98} = \underline{\underline{0,1227[kg / ks]}}$$

Kde:	m_{sp}	spotřební hm. soudečku [kg/ks]
	d	průměr tyče [m]
	ρ	hustota tyče [kg/m ³]

- *Spotřební materiál:*

pilový kotouč na CM601 (Ti-4)

cena kotouče:	11 970,- Kč
průměrná životnost kotouče:	20 000 ks

lisovací zápustka

cena zápustky:	1 400,- Kč
průměrná životnost zápustky:	20 000 ks

vyhazovače

cena jednoho vyhazovače:	1 450,- Kč
průměrná životnost vyhazovače:	100 000 ks

- **Čas seřizovací:**

CM 601	0,5 hod
LLR 1000	2,0 hod

- **Čas výrobní:**

CM 601

Posuv na otáčku f_n :

$$f_n = f_z \cdot z = 0,043 \cdot 100 = \underline{\underline{3,5}} \text{ [mm / ot]}$$

Kde: f_z posuv na zub [mm]
 z počet zubů na kotouči [-]

Čas řezu:

$$t_{\bar{r}} = \frac{d}{n_k \cdot f_n} = \frac{25,5}{84 \cdot 3,5} = \underline{\underline{0,087}} \text{ [min]}$$

Kde: n_k otáčky kotouče [min^{-1}]

Čas celkový:

$$t_c = t_{\bar{r}} + t_s = 0,087 + 0,0164 = \underline{\underline{0,1034}} \text{ [min]}$$

Kde: t_s čas seřizovací [min]

LLR 1000

Počet zdvihů:	teoretický	20 Ks. min^{-1}
	ruční zakládání	4 Ks. min^{-1}
	automatické s transferem	16 Ks. min^{-1}

8.1.3 Kalkulace vlastních nákladů výroby:

- **Přímý materiál:**

Hrubá spotřeba materiálu:

$$c_h = m_{sp} \cdot c_j = 0,1227 \cdot 33 = \underline{\underline{4,0491 [Kč / ks]}}$$

Kde: c_j cena za jednotku materiálu [Kč/kg]
 m_{sp} spotř. hm. soudečku [kg/ks]

- **Přímé mzdy:**

Tab.: 9.1: Jednicové mzdy na 1 lisovaný soudeček, měkké operace

OPERACE	Mzdová sazba [Kč/Nmin]	Zakládání ruční		Automatické s transferem	
		ČAS [Nmin]	Kč	ČAS [Nmin]	Kč
Dělit (2-stroj. obsluha)	0,585	0,0517	0,0302	0,0517	0,0302
Omílat	0,585	0,0100	0,00585	0,0100	0,00585
Lisovat (1900ks/směna)	0,585	0,2368	0,1385	0,0625	0,03656
Celkem	-	0,2985	0,1746	0,1242	0,0726

- **Výrobní režie:** Výrobní režie: 1080%

- **Vlastní náklady výroby lisovaného soudečku:**

Tab.: 9.2: Vlastní náklady výroby lisovaného soudečku, měkké operace

Zakládání soudečku	Zakládání ruční	Automatické s transferem
přímé mzdy [Kč/ks]	0,1746	0,0726
přímý materiál [Kč/ks]	4,0491	4,0491
výrobní režie [Kč/ks]	1,8857	0,7841
náklady celkem	6,11 Kč/ks	4,91 Kč/ks

8.2 Soustružení

8.2.1 Definice parametrů vstupního materiálu soudečku 22226EJ

Jakost materiálu: 14 209.3
Rozměrová norma materiálu: Tyč kruhová loupaná Ø 27 ČSN 42 6514 čl. 5
Dodavatel materiálu: ZKL Brno, a. s.
Cena za jednotku materiálu: 29,50 Kč/kg

8.2.2 Definice technologického postupu

Hodnoty pro výpočet nákladů na výrobu soustružených soudečků byly získány ze stávajících výrobních postupů.

8.2.3 Kalkulace vlastních nákladů výroby:

- *Přímý materiál:*

AN6/40 a AN5/35

Hrubá spotřeba materiálu:

$$c_h = m_{sp} \cdot c_j = 0,1631 \cdot 29,5 = \underline{\underline{4,8115}} \text{ [Kč / ks]}$$

HAAS SL20

Hrubá spotřeba materiálu:

$$c_h = m_{sp} \cdot c_j = 0,1352 \cdot 29,5 = \underline{\underline{3,9884}} \text{ [Kč / ks]}$$

Kde: c_j cena za jednotku materiálu [Kč/kg]
 m_{sp} spotř. hm. soudečku [kg/ks]

- *Přímé mzdy:*

Tab.: 9.3: Jednicové mzdy na 1 soustružený soudeček, měkké operace

OPERACE	Mzdová sazba [Kč/Nmin]	AN6/40 a AN5/35 2-strojová obsluha		HAAS SL20 3-strojová obsluha	
		ČAS [Nmin]	Kč	ČAS [Nmin]	Kč
		Soustružit	0,655	0,2180	0,1428
Celkem	-	0,2180	0,1428	0,315	0,207

- *Výrobní režie:*

Výrobní režie: 1270%

- **Vlastní náklady výroby lisovaného soudečku:**

Tab.: 9.4: Vlastní náklady výroby soustruženého soudečku, měkké operace

	AN6/40 a AN5/35	HAAS SL20
přímé mzdy [Kč/ks]	0,1428	0,207
přímý materiál [Kč/ks]	4,8115	3,9884
výrobní režie [Kč/ks]	1,8136	2,6289
náklady celkem	6,77 Kč/ks	6,82 Kč/ks

8.3 Porovnání

Plánovaná roční produkce: 110 000 ks

Tab.9.5: Porovnání ročních výrobních nákladů lisovaných a soustružených soudečků 22226EJ

Obrábění		Lisování	
HAAS SL20	AN6/40 a AN5/35	Zakládání ruční	Automatické s transferem
750.200,- Kč	744.700,- Kč	672.100,- Kč	540.100,- Kč

9. ZÁVĚR

Při zpracovávání úloh diplomové práce bylo nutno respektovat stávající koncepci výroby soudečků užívanou podnikem. Nejdříve bylo nutno prostudovat stávající způsob výroby, prokonzultovat jej s pracovníky závodu a ujasnit si účel inovace. Po rozvaze s konzultantem závodu a vedoucím diplomové práce, bylo nutno zaměřit se na řešení následujících problémů:

- Navrhnout výrobní postup pro nově zaváděný lisovaný soudeček 22226EJ
- Pro tento soudeček navrhnout funkční části nástroje a zpracovat výkresovou dokumentaci
- Zpracování chybějících kontrolních propočtů nástroje
- Zpracování LAYOUTU pracoviště pro ruční zakládání polotovarů
- Ekonomickým hodnocením inovace, prezentovaným konkrétním typorozměrem soudečku 22226EJ

Konstrukční koncepce nástroje, právě tak jako výrobní stroj vertikální lis byly podnikem striktně zadány. Při konstrukčním řešení nástroje bylo nutno přihlídnout ke stávajícímu uspořádání jednotlivých částí a jejich zabudování do pracovního prostoru lisu. Stávající nástroj je ověřen jak z hlediska funkčnosti, tak z hlediska životnosti. Ve svém řešení jsem navrhl drobnou úpravu stávající koncepce nástroje, která nemusí být podnikem využita.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BABOR, Karel, CVILINEK, Augustin, FIALA, Jan. *Objemové tváření oceli*. Praha : SNTL, 1967. 332 s.
- [2] BENEŠ, M. a kol. *Poradenská příručka/33: Křivky přetvárných odporů ocelí, díl 1*. 1. vyd. Praha: TEVUH, 1982. 362 s.
- [3] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření : Plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno : PC-DIR Real, s.r.o., 1999. 169 s. ISBN 80-214-1481-2.
- [4] NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení : určeno pro kombinované studium, III. roč.*. Brno : VUT v Brně, 2002. 122 s.
- [5] FELDMANN, H.D. *Protlačování oceli*. Přel. V. Hašek. 1. vyd. Praha: SNTL Praha. 1962. 197 s.
- [6] FOREJT, Milan. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225s. ISBN 80-214-2374-9
- [7] FOREJT, Milan. *Teorie tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno : Nakladatelství VUT v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
- [8] FOREJT Milan. *Oborový projekt. Sylabus*. Brno: Učební texty FS VUT Brno, 2003. 94 s.
- [9] FREMUNT, P., KREJČÍK, J., PODRÁBSKÝ, T. *Nástrojové oceli*. Dům techniky Brno, 1994. 229 s.
- [10] FREMUNT, Přemysl, PODRÁBSKÝ, Tomáš. *Konstrukční oceli*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 1996. 261 s. ISBN 80-85867-95-8.
- [11] HÝSEK R. *Tvářecí stroje*. 3. vyd. SNTL Praha, 1980. 552 s. ISBN 80-214-0376-4.
- [12] JEDOVNICKÝ, B. Objemové tváření za studena v podmínkách tržní ekonomiky. In FOREJT, Milan.. *Proceedings of the 4th International Conference FORM1998*. 1st ed. Brno: Brno University of Technology, 1998. Vol. 1. s. 35-41. ISBN 80-214-1172-1.
- [13] LENFELD, Petr. *Internetová podpora výuky technologie tváření kovů a plastů* [online]. 1998-2005 [cit. 2008-03-13]. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm>.
- [14] LEIMBERGER J., PECHA J., KÜFFEL I. *Směrnice pro konstrukci a výpočet funkčních částí tvářecích nástrojů pro víceoperační objemové tváření za studena a poloohřevu*. Brno: Výzkumný ústav tvářecích strojů a technologie tváření Brno, 1976. 69 s.
- [15] Mäkel, Heinrich. *Die Mechanischen Pressen*. München CHV 1961. 266 s.

- [16] PETRŽELA, Zdeněk. *Tváření III.*. Ostrava : Brigáda socialistické práce Edičního střediska VŠB Ostrava, 1976. 325 s.
- [17] ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. *Příručka pro lisování za studena*. 2. vyd. Praha : SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986.
- [18] SAMEK R. kap. 8 – Tváření. In *Aktuální příručka pro technický úsek*. Praha: Verlag Dashofer, 2000.
- [19] SAMEK, R. Perspektivy ve vývoji plošného a objemového tváření. View in the Development of Sheet Metal, Cold and Hot Forging. In FOREJT, M.. *Proceedings of the 4th International Conference FORM1998*. 1st ed. Brno: Brno University of Technology, 1998. Vol. 1 s. 7-12. ISBN 80-214-1172-1.
- [20] SEMIATIN, L.S., et al. *Metal Handbook: Forming and Forging*. 9th ed. Metals Park, Ohio: ASM, 1988. 947 s. ISBN 0-87170-007-7.
- [21] www.zkl.cz
- [22] www.blmgroupp.com

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotky	Význam
A	[%]	Tažnost materiálu
$A_{př}$	[kJ]	Přetvárná práce
a	[J.mm ⁻³]	Měrná přetvárná práce
A_c	[kJ]	Celková tvářecí práce
A	[kJ]	Tvářecí práce
A_p	[kJ]	Práce pružení lisu
A_D	[kJ]	Jmenovitá práce lisu
C	[Mpa]	Koeficient Hollomonova aproximační funkce
$c_č$	[Kč/ks]	Čistá spotřeba materiálu
c_j	[Kč/kg]	Cena za jednotku materiálu
d	[m]	Průměr tyče
D	[mm]	Průměr součásti po deformaci
D_0	[mm]	Výchozí průměr součásti
F	[kN]	Tvářecí síla
f	[-]	Součinitel tření
F_D	[N]	Jmenovitá síla lisu
F_{max}	[N]	Maximální tvářecí síla pracovního způsobu
F_s	[N]	Střední hodnota F_{max}
f_n	[mm/ot]	Posuv na otáčku
f_z	[mm]	Posuv na zub
H_0	[mm]	Výchozí výška
H	[mm]	Výška po deformaci
K	[-]	Součinitel dle Navrockého
k_1	[-]	Součinitel charakteru deformace napětí
k_2	[-]	Součinitel nerovnoměrnosti
L	[mm]	Délka po deformaci
L_0	[mm]	Výchozí délka
l_{odp}	[m]	Délka odpadu
l_{sk}	[m]	Skutečná délka tyče
l_t	[m]	Délka tyče
l_v	[m]	Délka válečku
M	[-]	Souhrnný součinitel procesních podmínek
m_{sp}	[kg/ks]	Spotřební hmotnost soudečku
m_p	[-]	Korekční součinitel
m	[-]	Exponent rychlostního zpevňování
n	[-]	Exponent zpevňování
N	[KW]	Tvářecí výkon
n_t	[-]	Počet kusů z tyče

Symbol	Jednotky	Význam
n_k	$[\text{min}^{-1}]$	Otáčky kotouče
n_z	$[\text{min}^{-1}]$	Počet zdvihů lisu
p	$[\text{MPa}]$	Tlak
q	$[-]$	Příčné spěchování
R_m	$[\text{MPa}]$	Smluvní mez pevnosti materiálu
$R_{p0,2}$	$[\text{MPa}]$	Smluvní mez kluzu materiálu
R_a	$[\mu\text{m}]$	Drsnost povrchu
S	$[\text{mm}^2]$	Koncový průmět pěchované plochy
S_0	$[\text{mm}^2]$	Výchozí průmět pěchované plochy
s	$[-]$	Pěchovací poměr
s_v	$[\text{mm}]$	Šířka výronku
s_D	$[\text{m}]$	Jmenovitá dráha beranu
s_k	$[\text{m}]$	Šířka kotouče
s_s	$[\text{mm}]$	Účinná dráha beranu
t	$[\text{mm}]$	Tloušťka výronku
T	$[\text{°C}]$	Teplota
T_{TAV}	$[\text{°C}]$	Teplota tavení
t_c	$[\text{min}]$	Čas celkový
$t_{\text{ř}}$	$[\text{min}]$	Čas řezu
t_s	$[\text{min}]$	Čas seřizovací
V	$[\text{mm}^{-3}]$	Celkový objem součásti
y	$[\text{m}]$	Maximální prodloužení lisu
z	$[-]$	Počet zubů na kotouči
Z	$[\%]$	Kontrakce materiálu
β	$[-]$	Faktor stavu napjatosti
ε	$[-]$	Poměrné přetvoření
φ	$[-]$	Logaritmické přetvoření
φ_{ef}	$[-]$	Efektivní přetvoření
φ_{mez}	$[-]$	Mezní přetvoření
$\dot{\varphi}$	$[\text{s}^{-1}]$	Rychlost přetvoření
π	$[-]$	Ludolfovo číslo
ρ	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$	Hustota oceli
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	$[\text{MPa}]$	Hlavní napětí
σ_d	$[\text{MPa}]$	Deformační odpor
σ_{ds}	$[\text{MPa}]$	Střední deformační odpor
σ_p	$[\text{MPa}]$	Přirozený přetvárný odpor
$\bar{\sigma}_{ef}$	$[\text{MPa}]$	Efektivní napětí
σ_n	$[\text{MPa}]$	Normálové napětí
σ_s	$[\text{MPa}]$	Střední napětí
σ_K	$[\text{MPa}]$	Napětí na mezi kluzu

Symbol	Jednotky	Význam
σ_{Ks}	[MPa]	Střední mez kluzu
τ_{max}	[MPa]	Maximální smykové napětí
τ_f	[MPa]	Třecí smykové napětí
η	[%]	Deformační účinnost tváření

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1 - Materiálový list oceli 14 209

PŘÍLOHA 2 - Křivky přirozeného přetvárného odporu oceli 14 209.3

PŘÍLOHA 3 – Parametry Šmeral LLR 1000

PŘÍLOHA 4 – Pracovní diagram lisu Šmeral LLR 1000

VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

LAYOUT PRACOVIŠTĚ: DP – 2008 – 07

Výkres sestavení:

Výkres sestavení NÁSTROJE LN LRR 1000: DP – 2008 – S01

Kusovník k výkresu sestavení:

K – DP – 2008 – S01 – 1

K – DP – 2008 – S01 – 2

K – DP – 2008 – S01 – 3

Výrobní výkresy:

SOUDEČEK 22226EJ: DP – 2008 – 01

LISOVANÝ SOUDEČEK 22226EJ: DP – 2008 – 02

VLOŽKA 22226EJ: DP – 2008 – 03

VNITŘNÍ OBJÍMKA: DP – 2008 – 04

BANDÁŽ: DP – 2008 – 05

VYHAZOVAČ DOLNÍ 22226EJ: DP – 2008 – 06

POUŽITÝ SOFTWARE

Autodesk AutoCAD 2002 CZ

SolidWorks 2006 CZ

Microsoft Office Professional Edition 2003

PŘÍLOHA 1/1 - Materiálový list oceli 14 209

ČSN 41 4209		Cr-Mn ocel					OCEL	
STN 41 4209		na valivá ložiska					14 209	
Chemické složení [hm. %]								
C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	Ni+Cu	P	S
0,90–1,10	0,90–1,20	0,35–0,65	1,30–1,65	max 0,30	max 0,25	max 0,50	max 0,027	max 0,030
Polotovary								
[1] předvalky				[4] tyče tažené za studena				
[2] tyče válcované za tepla				[5] dráty tažené za studena				
[3] výkovky								
Mechanické vlastnosti								
Polotovary	[1] [2] [3]			[4] [5]				
Rozměr t, d [mm]	–			–				
Stav R _e	.3			.3				
Mez kluzu R _e [MPa] inf.	441			441				
Mez pevnosti R _m [MPa]	608-726			628-765				
Tažnost A ₅ [%] podél inf.	18			18				
Kontrakce Z [%] inf.	35			35				
Tvrdość HB max	210			225				
Fyzikální vlastnosti								
Hustota	Měrná tepelná kapacita	Teplotní součinitel roztažnosti		Tepelná vodivost		Rezistivita		
ρ [kg . m ⁻³]	c _p [J . kg ⁻¹ . K ⁻¹]	α [K ⁻¹]		λ ₁ [W . m ⁻¹ K ⁻¹]		ρ [Ω . m]		
7850	–	–		–		–		
Odolnost proti degračním procesům								
ODOLNOST PROTI KOROZI normální								
ODOLNOST PROTI ÚNAVĚ Mez únavy v ohybu při symetrickém cyklu [MPa]: pro HRC = 58,5-59,0 640 HRC = 60,5-61,0 655 HRC = 62,5-63,0 695								
ODOLNOST PROTI OPOTŘEBENÍ HRC opotřebenění [mg.mn ⁻² .m ⁻¹] Pozn: hodnoty platí pro odvalování válečků bez mazání při zatížení 981 MPa. Opotřebenění je dáno úbytkem hmotnosti [mg] a součinem stykové plochy [mm ²] a proběhnuté dráhy [m]. 58,5-59,0 0,0270 60,5-61,0 0,0252								
Technologické údaje								
TVAŘITELNOST teploty tváření 1050–800 °C ochlazovat na vzduchu								

PŘÍLOHA 1/2 - Materiálový list oceli 14 209

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ					
kalení	810-830 °C	ochlazovat v oleji			
	780-810 °C	ochlazovat ve vodě			
popouštění	150-170 °C	ohřev v oleji			
žhánání na měkko	720-780 °C	ochlazovat v peci			
teploty přeměn	$A_{C1} \approx 750 \text{ °C}$	$A_{C3} \approx 780 \text{ °C}$			
nejnižší tvrdost po kalení do oleje - 61 HRC					
mikrostruktura ve stavu .3: zrnitý perlit; zbytky lamelárního perlitu jsou dovoleny do 10 %					
Tvrdost HRC při teplotě popouštění					
Doba popouštění [h]	150 °C	175 °C	200 °C	250 °C	
2	63,5	62,5	62,0	60,0	
4	63,0	61,6	60,5	58,8	
6	62,7	61,2	60,1	58,6	
OBROBITELNOST					
		soustružení, hoblování		frézování, vrtání	
polotovary [2] [3] stav .3			12b	12b	
polotovary [4] stav .3			11b	11b	
Použití					
Dobře tvárná za tepla a obrobiteľná. Vhodná pro výrobu kuliček nad $\varnothing 55 \text{ mm}$, válečků, kuželíků, soudečků nad $\varnothing 35 \text{ mm}$ a kroužků o tloušťce stěny nad 30 mm do 45 mm.					
Ostatní vlastnosti					
Druh oceli podle způsobu výroby		Barevné značení podle ČSN 42 0010		Třída odpadu podle ČSN 42 0030	
elektroocel		modrá-zelená-červená		008	
Porovnání se zahraničními materiály					
ISO		EURO		Německo	
TYPE 3	ISO 683/17-73	100CrMn6	EN 94-73	100CrMn6	DIN 17230
Francie		Velká Británie		Rusko	
100CM6	NF A35-565-84	535A99	BS 970/1-83	ŠCh15SG	GOST 801-81
100CrMn6	NF A35-565-94				
USA		Japonsko		Kanada	
Gr.2	ASTM A485	SUJ3	JIS G4805-90	–	–
Itálie		Rakousko		Švédsko	
–	–	–	–	–	–
Polsko		Maďarsko		Norsko	
LH15SG	PN H84041-74	GO4	MSZ 17789-83	–	–
Finsko		Švýcarsko		Španělsko	
–	–	–	–	100CrMn6	UNE 36027-86
Čína		Rumunsko		Bulharsko	
Cr9SiMn	GB 3203-82	RUL2	STAS 1456/1-89	SCh15S6	BDS 12731
		RUL2v	STAS 11250-89		
Jugoslávie		–		–	
Č. 4340	JUS C.BO.601-86	–		–	

Ocel 14 209 měkce žháno		Teplota 21°C		
Aproximační křivka	Rovnice *)	I_{yx}	σ^2	δ^2
Polytropa	$\sigma_f = 967,23 \cdot \varphi^{0,4584} + 448,96 [MPa]$	0,98802	953,883	25754,837
Polynom 3. stupně	$\sigma_f = 913,69 \cdot \varphi^3 - 2275,92 \cdot \varphi^2 + 2179,19 \cdot \varphi + 561,59 [MPa]$	0,99166	1597,957	41546,895
Polynom 5. stupně	$\sigma_f = 8556,45 \cdot \varphi^5 - 26876,69 \cdot \varphi^4 + 30936,20 \cdot \varphi^3 - 16325,03 \cdot \varphi^2 + 4613,91 \cdot \varphi + 473,88 [MPa]$	0,99843	326,146	7827,506
Racionálně lomená funkce $\sigma_f = \frac{F}{D^2} \cdot \frac{4000}{\pi} [MPa]$	$F = 1594,08 \cdot \varphi^5 - 4988,62 \cdot \varphi^4 + 5832,67 \cdot \varphi^3 - 2884,77 \cdot \varphi^2 + 953,61 \cdot \varphi + 83,28 [kN]$	0,99979	18,628	447,076
	$D = 2,04 \cdot \varphi^3 + 0,22 \cdot \varphi^2 + 5,91 \cdot \varphi + 15,08 [mm]$	0,99978	0,005	0,134
$a = 0,66 \cdot \varphi^{1,4583} + 0,45 \cdot \varphi [J \cdot mm^{-3}]$		$\dot{\varphi}_{stř.} = 0,0084 [s^{-1}]$		

*) Pozn.: Rovnice platí pro φ v intervalu 0 až 1,16

PŘÍLOHA 3 – Parametry Šmeral LLR 1000

Technické parametry		LLR 1000 A
Jmenovitá tvářecí síla	[kN]	10000
Pracovní zdvih	[mm]	3
Zdvih	[mm]	140
Sevření	[mm]	630
Přestavení beranu	[mm]	15
Počet zdvihů	[1/min]	36
Počet využitelných zdvihů	[1/min]	20
Průchod	[mm]	900
Rozměr stolu	[mm]	900 x 1000
Rozměr beranu	[mm]	710 x 650
Výška lisu	[mm]	4115
Výkon elektromotoru	[KW]	37
Systém řízení	SIEMENS – SIEMATIC S 7	
Mazací systém	DELIMON	
Hydraulický systém	HERION – NORGREN - HOERBIGER	



PŘÍLOHA 4 – Pracovní diagram lisu Šmeral LLR 1000

LLR 1000

