



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE VÝROBY VÍKA PRO KLIMATIZACI

PRODUCTION TECHNOLOGY COVER FOR AIR-CONDITIONING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VÁCLAV DOLEŽAL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MILAN DVOŘÁK, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Václav Doležal

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

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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 bakalářské práce:

Technologie výroby víka pro klimatizaci

v anglickém jazyce:

Production technology cover for air-conditioning

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Možnosti technologie tváření ke zhotovení zadané součásti z ocelového plechu.

Po výběru technologie, včetně ekonomického rozboru, navrhnout tvářecí nástroj pro malosériovou výrobu.

Cíle bakalářské práce:

Návrh tvářecího nástroje s ohledem na zadané vyráběné množství součástí.

Seznam odborné literatury:

1. BAČA, Jozef; BÍLIK, Jozef; TITTEL, Viktor. Technológia tvárnenia. 1.vyd. Bratislava : STU, 2010. 245 s. ISBN 978-80-227-3242-0.
2. BOLJANOVIC, Vukota. Sheet Metal Forming Processes and Die Design. 1.st. ed. New York: Industrial Press. 2004. 219p. ISBN 0-8311-3182-9.
3. FOREJT, Milan; PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 26.10.2010

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá plošným tvářením, se zaměřením na základní práci tažení, jako je lemování. Cílem práce je návrh tvářecího nástroje pro výrobu *víka klimatizace* ze zadaného plechu. Byl proveden experiment k odstranění nežádoucí deformace příruby tohoto víka.

Klíčová slova

tváření, tažení, lemování, tažný nástroj, přístřih, víko

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with sheet metal forming and it is focused on basic work, drawing - dimpling. The aim of the bachelor thesis is to design a forming tool for making the cover sheet of the specified air conditioning. There was conducted an experiment to eliminate an undesirable deformation of the flange of the cover.

Key words

forming, drawing, dimpling, drawing tool, blank, cover

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DOLEŽAL, Václav. *Technologie výroby víka pro klimatizaci*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 46 s., 6 příloh. Vedoucí práce doc.Ing.Milan Dvořák, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma technologie výroby víka pro klimatizaci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně 21.5.2011

.....
Václav DOLEŽAL

Poděkování

Děkuji tímto doc.Ing.Milanu Dvořákovi, CSc.za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

1	Úvod	10
2	Teorie tváření kovů	11
2.1	Podstata tváření	11
2.2	Rozdělení tváření	11
2.3	Plastická deformace	11
2.3.1	Mechanismus plastické deformace	11
2.4	Tváření za studena	12
2.5	Deformační odpor materiálu	13
2.6	Tvařitelnost materiálu	13
3	Plošné tváření kovů	13
3.1	Základní technologické operace plošného tváření	14
4	Procesní parametry lemování	16
4.1	Určení velikosti otvoru v polotovaru	17
4.2	Lemovací síla a práce	18
4.3	Mezera při lemování	19
4.4	Lemování se ztenčením stěny	19
4.5	Mazání při tažení	19
4.6	Tvářecí stroje pro lemování	20
5	Konstrukce nástrojů pro lemování	20
5.1	Tažník	20
5.2	Tažnice	20
5.3	Přidržovač	20
5.4	Geometrie funkčních ploch nástroje	21
5.4.1	Poloměr zaoblení tažnice	21
5.4.2	Poloměr zaoblení tažníku	21
6	Návrh technologie výroby	22
6.1	Technologičnost součásti	22
6.1.1	Materiál výrobku	23
6.1.2	Určení velikosti výchozího polotovaru	24
6.1.3	Výroba polotovaru	25
6.1.4	Výpočet potřebné lemovací síly a práce	25
6.1.5	Návrh tvářecího stroje	26
6.2	Návrh tvářecího nástroje	27
6.2.1	Materiál nástroje	27
6.2.2	Stanovení rozměrů pracovních částí nástroje	28
7	Experimentální část bakalářské Práce	28
7.1	Zjištění původního stavu tvaru součásti po lemování	28
7.2	Použití různých maziv při experimentu	30
7.3	Zjištění deformací na vzorcích	31
7.4	Měření drsnosti na vzorcích	40
7.5	Závěry z experimentu	41

8	Ekonomické zhodnocení	42
8.1	Variabilní náklady.....	42
8.2	Fixní náklady.....	44
8.3	Celkové náklady.....	45
9	Závěr.....	46
	Seznam použitých zdrojů	
	Seznam použitých zkratk a symbolů	
	Seznam příloh	

1 ÚVOD

Cílem bakalářské práce je návrh tvářecího nástroje pro výrobu víka klimatizace z nerezové oceli, jenž je součástí oběžného kola pohonu ventilátoru pro vzduchotechniku udírenské komory, s ohledem na jeho vyráběné množství.

Při současné výrobě této součásti byla zjištěna nechtěná deformace-zvlnění, která vzniká po vylisování (obr.1.1). Při výrobě oběžného kola, kdy je toto víko přivařováno k lopatkám ventilátoru tohoto oběžného kola (obr.1.2), je víko srovnáno pomocí svěrek, ale v místě svaru po odlehčení svěrek vzniká tahové napětí, které může jeho vlivem způsobit i prasknutí svaru.

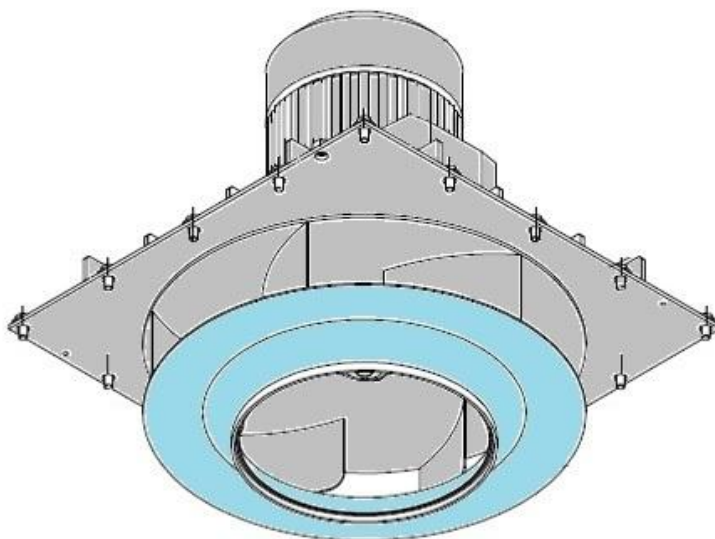
Jednou z možností odstranění tohoto nechtěného efektu je použití žíhaného nerezového plechu. Ale z důvodu probíhajících chemických procesů v udírně jej nelze použít z důvodu vzniku korozních jevů, což je pro výrobu udírny nepřijatelné.

Další možnost je použití jiného maziva při lisování daného víka, s následnou kontrolou deformací, zvlnění a změnou drsností použitého plechu.

Výroba víka klimatizace spadá do oblasti technologie tváření kovů plošným tvářením za studena.



Obr.1.1 Víko klimatizace



Obr.1.2 Ventilátor klimatizace

2 TEORIE TVÁŘENÍ KOVŮ

Jedinečným darem člověka je schopnost tvořit, většinou s jediným záměrem, a to především pro zjednodušení své práce [1].

2.1 Podstata tváření

Základem tváření je vyvolání trvalých (plastických) deformací po překonání pružných (elastických) deformací, pomocí kterých se mění tvar i rozměry tvářeného tělesa. Technologie tváření vede nejen k získání požadovaného tvaru, ale taktéž ke zlepšení mechanických vlastností výchozího materiálu [1].

2.2 Rozdělení tváření

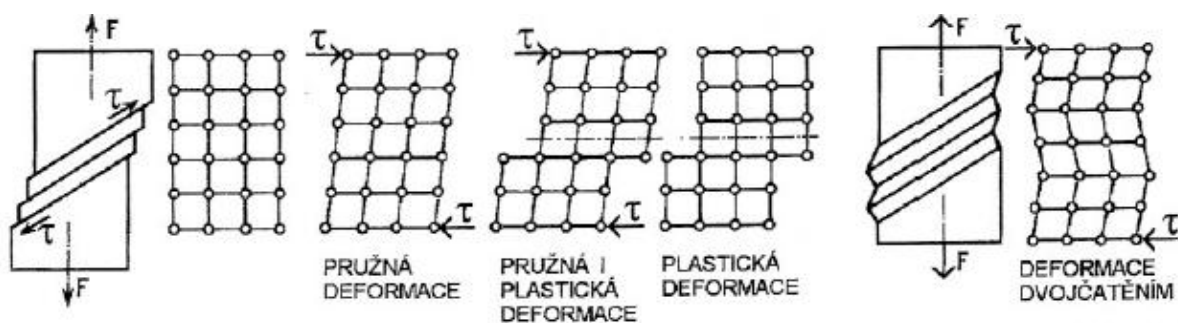
Dle převládajícího stavu napjatosti lze tváření dělit na plošné a objemové. Tváření objemové většinou s prostorovým stavem napjatosti, při kterém dochází ke změnám tvaru v celém objemu všestranným přemísťováním materiálu a rovněž změnou průřezu výchozího polotovaru. Kdežto u plošného tváření je tvořen rovinný stav napjatosti, kdy dochází ke změně tvaru bez výrazné změny průřezu výchozího polotovaru [2].

2.3 Plastická deformace

Zatížením kovového materiálu tahovou nebo tlakovou silou, vznikají v materiálu deformace. Pružná deformace je specifikována svou vratností do původního stavu po odstranění vnějších zatížení, charakteristickou závislostí mezi silami a deformacemi podle Hookova zákona. U plastické deformace je hlavním znakem nevratnost děje při zachování krystalické struktury kovu. U tváření je potřeba dosáhnout meze kluzu pro získání požadovaného tvaru, avšak nesmí být dosaženo meze pevnosti, aby nedošlo k porušení materiálu [1], [2].

2.3.1 Mechanismus plastické deformace

U plastické deformace se přemísťování hmoty děje na základě difuzního pohybu a taktéž pohybu dislokací. Tyto deformace nastanou buď na hranicích, nebo uvnitř zrn, a proto existují pouze dva mechanismy plastické deformace. Jedním z mechanismů je skluz, který obvykle nastává v rovinách s největší hustotou atomů a je totožný se směrem nejvíce obsazeným atomy, přičemž nastává s kritickou hodnotou maximálního skluzového napětí. Druhým mechanismem je dvojčatění, což je natočení jedné části mřížky vůči druhé kolem roviny symetrie s vytvořením zrcadlového obrazu (obr.2.1) [1].



Obr.2.1 Schématické znázornění pružné a plastické deformace monokrystalu skluzem a dvojčatěním [1]

U většiny kovů se nachází velké množství skluzových systémů a mají tedy vysokou tvárnost. Skluzové systémy jsou aktivovány zvyšující se teplotou a tím vzrůstá i tvárnost kovů.

V průběhu deformací kovů nastávají významné mechanické, fyzikální a strukturní změny, které závisí na výšce deformační teploty.

U tváření za tepla, které probíhá za vyšších teplot, než je teplota rekrytalizace, kde současně probíhá primární rekrytalizace, jenž má schopnost opakovaného obnovování tvaru zrna, je možné neomezené přetvoření.

$$T > T_{\text{REK}} \quad (2.1)$$

Tváření za studena je prováděno při teplotách nižších, než je teplota rekrytalizace [2].

$$T < T_{\text{REK}} \quad (2.2)$$

2.4 Tváření za studena

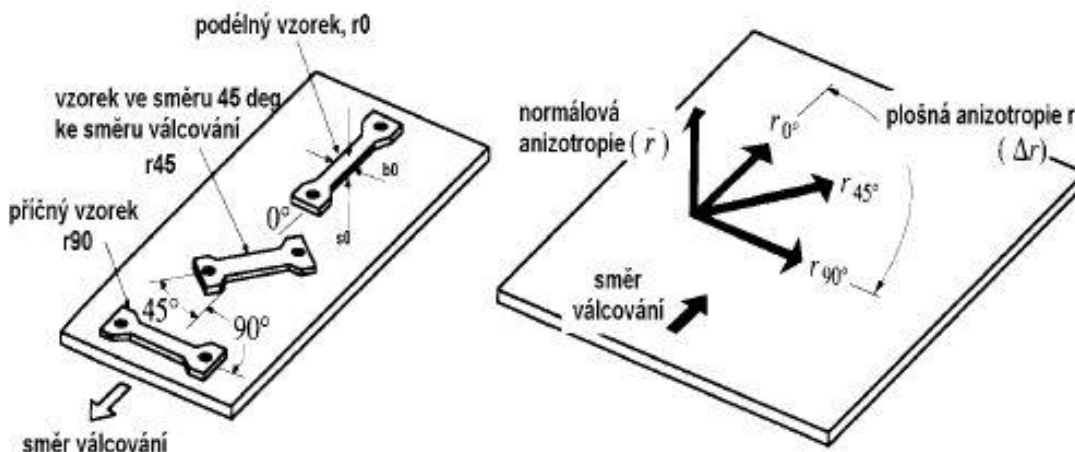
Při probíhající technologické operaci, kdy při vzniklé plastické deformaci, je současně tvořeno deformační zpevnění, které ovlivňuje mechanické a fyzikální vlastnosti kovového materiálu.

U mechanických vlastností dochází k poklesům hodnot tažnosti a vrubové houževnatosti, přičemž tvrdost a pevnost stále rostou. Na počátku deformace tažnost prudce klesá, kdežto mez pevnosti a mez kluzu stále rostou, ovšem mez kluzu rychleji. Tímto se při velkých deformacích může mez kluzu dostat na mez pevnosti.

Zpevnění ovlivnilo i fyzikální vlastnosti, jako je zvýšení hustoty materiálu, nárůst elektrického odporu, a snížením permeability materiál ztrácí odolnost vůči korozi [1].

Vlivem směru působení vnější síly při plastické deformaci kovů, se jednotlivé bloky krystalů pootáčejí a dělí na menší celky, kdy se jednotlivá zrna protahují a natáčejí a tím vytvářejí vláknitý vzhled struktury. Vměstky v kovu se protahují jako zrna kovu jen při jejich dostatečné tvárnosti, vlivem poklesu tvárnosti se drobí a jsou situovány do řádků ve směru deformace, a vzniká tak textura. Tyto jevy jsou příčinou anizotropie vlastností tvářeného kovu, kdy je vrubová houževnatost podél vláken lepší než napříč vláknům. Toto deformační zpevnění, vzniklé při tváření za studena lze efektivně využít v praxi, ale na úkor poklesu plastičnosti [2].

Směrová závislost mechanických i fyzikálních vlastností v rovině plechu vzhledem ke směru válcování je označována jako plošná anizotropie. Lze ji zjistit provedením tahové zkoušky plochých zkušebních tyčí, pořízených z tabule plechu pod úhly 0° , 45° , 90° vzhledem ke směru válcování plechu [7].



Obr.2.2 Plošná anizotropie [12]

2.5 Deformační odpor materiálu

Během tvářecího procesu musí tvářecí síla překonávat souhrn všech napětí, což je označováno jako deformační odpor. Je souhrnem přirozeného deformačního odporu daného vnitřní pevností materiálu, a pasivních odporů, jenž souvisí s pohybem kovu v nástroji, především tření [2].

2.6 Tvařitelnost materiálu

Tvařitelnost kovů spočívá ve schopnosti trvale měnit tvar tvářeného tělesa bez jeho porušení při konkrétních technologických podmínkách. Je souhrnem vlastností materiálu, nástroje a prostředí, jež při daných termomechanických podmínkách určují schopnost pro trvalou změnu tvaru tělesa bez porušení s požadovanými rozměry a vlastnostmi. Jednou hlavní vlastností tvářeného materiálu je plasticita, která je dána velikostí plastického přetvoření, než dochází k porušení tělesa za určité teploty, napjatosti a rychlosti plastické deformace [1].

3 PLOŠNÉ TVÁŘENÍ KOVŮ

Plošné tváření kovů je technologický proces, kterým se dosahuje požadované změny tvaru bez podstatné změny průřezu výchozího polotovaru, hlavně plechu.

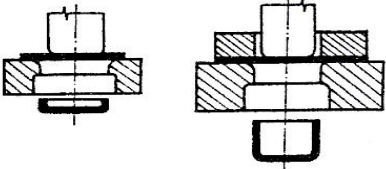
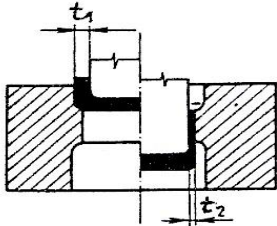
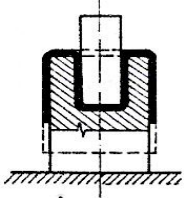

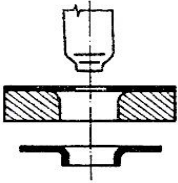
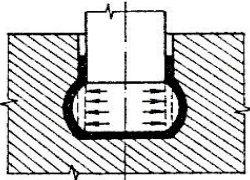
Možnostmi plošného tváření kovů za studena je, že při malých počtech pracovních zdvihů lze vyrobit i složitější součásti, součásti nevyrobitelné jinou technologií, velmi přesné součásti, a např. v automobilovém průmyslu zhotovovat tuhé a zároveň lehké konstrukce. Konstruktor je při návrhu součásti použitím této technologie podmíněn využitím základních prací a operací s přihlédnutím na tvařitelnost použitého materiálu [2].

3.1 Základní technologické operace plošného tváření

Technologie plošného tváření je dělena do základních operací [5]:

- Stříhání je oddělování materiálu v celém průřezu se základními pracemi:
 - Prosté stříhání – rozdělování materiálu, např. pásů, tabulí, tyčí.
 - Děrování – vytváření otvorů různých tvarů, kdy vystřižená část tvoří odpad.
 - Vystřihování – zhotovování výstřížků různého tvaru oddělením od materiálu po uzavřeném obrysu, kdy vystřižená část tvoří výstřížek.
 - Ostřihování – oddělování přebytečného materiálu.
 - Přistřihování – dosažení přesných tvarů, rozměrů nebo hladkých střížných ploch.
 - Nastřihování – částečné nastřihnutí materiálu v okraji tak, že není úplně oddělen.
 - Prostřihování – částečné nastřihnutí materiálu v libovolném tvaru uvnitř součásti.
 - Protrhávání – protržení materiálu pro vytvoření hrotů, děr a výstupků.
- Ohýbání je určeno trvalou deformací materiálu ohybem tvořenou základními pracemi:
 - Prosté ohýbání – tváření plochy rovinné v plochy různé vůči sobě orientované vytvářením ostrých nebo oblých hran
 - Ohraňování – ohýbání plechu na jednoúčelových, neboli ohraňovacích lisech.
 - Rovnání – dodatečné rovnání plechu, přístřihu, profilového materiálu i výtvarku.
 - Zakružování – tváření rovinné i členité plochy v plochu válcovou, kuželovou nebo části těchto ploch.
 - Lemování – ohýbání okraje rovinné nebo prostorové plochy k získání ozdobného vzhledu, odstranění ostrých hran apod.
 - Obrubování – vyztužování okraje rovinné nebo prostorové plochy ke zvýšení jakosti okraje, vytvoření okraje pro závěsy apod.
 - Osazování – ohnutí promáčknutím v okraji nebo uvnitř rovinné plochy.
 - Drápkování – pevné spojení předehnutých okrajů plechů tím, že se do sebe vzájemně zaklesnou a společně dohnou.
 - Zkrucování – natáčení plochého nebo profilovaného polotovaru nebo výkovku vzhledem k sousední části kolem společné osy o určitý úhel.
- Tažení je technologický proces tváření, kdy z rovného plechu, nebo-li přístřihu se jednou nebo ve více operacích zhotoví duté těleso. Jedná se o velmi rozšířený způsob zpracování plechu, kdy lze jednoduše zhotovit

různé prostorové součásti, ať už válcové, nebo hranaté výtažky bez podstatného zeslabení tloušťky stěny (Obr.3.1).

<p><i>Prosté tažení</i></p> 	<p>Tváření rovinného polotovaru na duté těleso bez podstatné změny tloušťky materiálu</p>
<p><i>Tažení se ztenčením stěny</i></p> 	<p>Změna rozměrů dutého polotovaru zmenšením příčného průřezu. Dochází k podstatné změně tloušťky stěny výtažku</p>
<p><i>Zpětné tažení</i></p> 	<p>Druhá nebo další tažná operace vykonávaná v obráceném směru k původnímu tažení</p>
<p><i>Žlábkování</i></p> 	<p>Vytlačení mělkých prohlubin ke zvýšení tuhosti polotovaru</p>
<p><i>Protahování</i></p> 	<p>Protahování okraje materiálu po vnějším nebo vnitřním obvodu tak, aby se vytvořila kolmá válcová plocha</p>
<p><i>Rozšiřování</i></p> 	<p>Zvětšování průměru dutého polotovaru v jeho části</p>

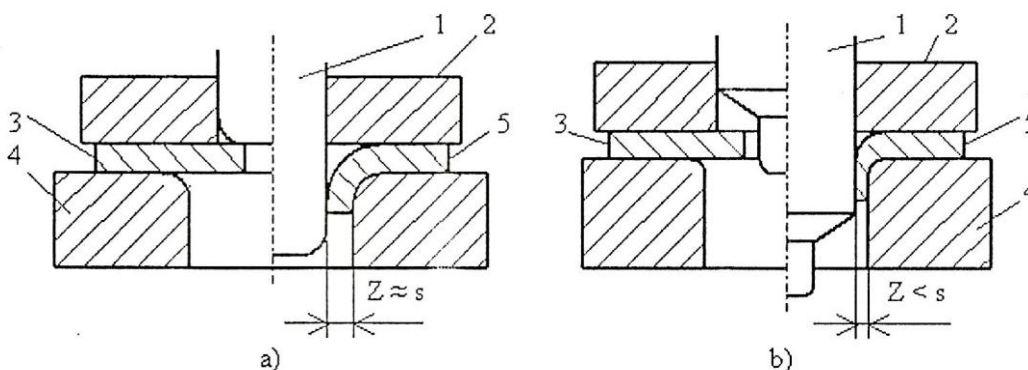
Obr.3.1 Základní práce tažení [5]

- Tlačení spočívá ve tváření rotujícího polotovaru v prostorovou uzavřenou plochu, a mezi její základní práce se řadí:
 - Tlačení tvaru – tlačení různě profilovaného tvaru z přístříhu.
 - Rotační obrubování – vyztužení okraje rotačního tělesa.
 - Rotační lemování – ohýbání okraje rotačního tělesa.
 - Rotační rozšiřování – zvětšování obvodu části rotačního výtažku tím, že se materiál tváří tlačáním zevnitř.
 - Rotační zužování – zmenšování obvodu rotačního výtažku tím, že se materiál tváří tlačáním zevně.
 - Rotační žlábkování – vytlačování mělkého žlábků po obvodu rotačního výtažku ke zvýšení tuhosti.
 - Rotační drápkování – spojování dvou plechových dutých rotačních polotovarů tak, že se přehnuté okraje do sebe vzájemně zaklesnou.
 - Osazování – zmenšování průměru u kraje nebo v plášti rotační plochy nebo vtlačení části rotační plochy dna.
 - Tlačení se ztenčením stěny – tváření rotačně duté plochy jednou nebo více kladkami s podstatným ztenčením stěny.

4 PROCESNÍ PARAMETRY LEMOVÁNÍ

Technologií protahováním, nebo také lemováním, se vytváří válcová stěna protažením materiálu prostříženým otvorem, převážně kruhovým, kdy se vytváří válcová stěna [4]. Je jí možno vytvořit ve dnu výtažku, nebo jeho stěně, a taktéž na rovném plechu. Lemování otvorů se ve výrobě lisování dost často používá, a nahrazuje tak tažení s následným prostřížením dna. Lemování je výhodné pro součásti se zvláště velkou přírubou, protože u tažení by bylo zapotřebí několik operací, kdežto u protahování jen jedna. V některých literaturách je lemování uváděno také jako obrubování nebo protahování [8], [9].

Touto technologií je kov namáhán pouze tahem, kdy dosti závisí na kvalitě vnitřního otvoru přístříhu, tvaru čela protahovacího nástroje, a v neposlední míře i na vůli mezi tažníkem a tažnicí [11].



Obr.4.1 Schéma lemování otvoru bez ztenčení stěny (a) a se ztenčením stěny (b) 1-tažník, 2-přidržovač, 3-přístřih, 4-tažnice, 5-výtažek [4]

4.1 Určení velikosti otvoru v polotovaru

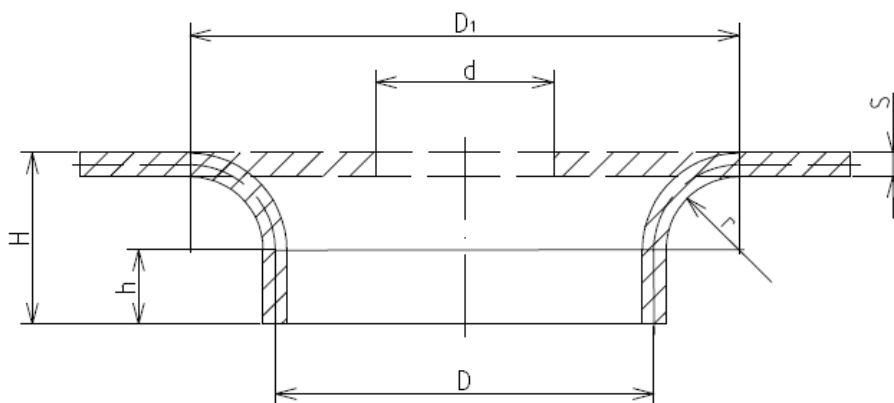
U technologie lemování, která nahrazuje tažení s následným prostřížením dna, je nutno nejprve vytvořit v plechu střední kruhový otvor tzv. technologický tak, aby jeho průměr neovlivnil dostatečné množství kovu, které je zapotřebí pro vytvoření válcové stěny požadované výšky lemu. Geometrické rozměry při lemování jsou počítány na základě rovnosti objemu polotovaru a součásti.

Rozměr kruhového otvoru a výšku lemu lze nejlépe stanovit podle vzorce dle Romanovského [9]:

$$d = D_1 - \left[\pi \cdot \left(r + \frac{t}{2} \right) + 2 \cdot h \right] \quad [\text{mm}] \quad (4.1)$$

$$H = \frac{D - d}{2} + 0,43 \cdot r + 0,72 \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (4.2)$$

- d..... průměr otvoru před lemováním [mm]
- D..... průměr válcové části ve středu tloušťky [mm]
- D₁... průměr středu zaoblení [mm]
- r..... rádius zaoblení lemu a příruby [mm]
- t..... tloušťka plechu [mm]
- h..... výška lemu [mm]



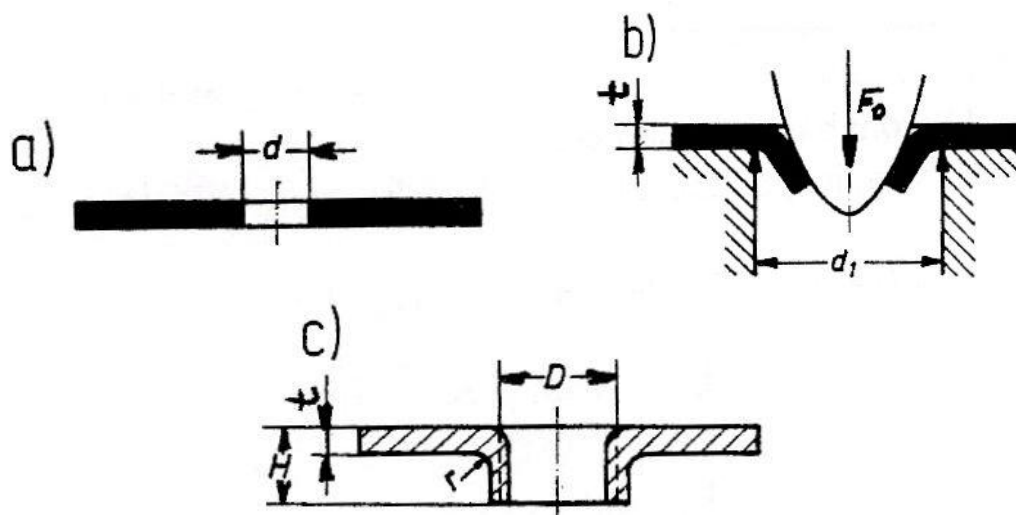
Obr.4.2 Rozměry k výpočtu lemování [9]

nebo dle Dvořáka [7] a také Boljanovice [6]:

$$d = D - 2 \cdot (H - 0,43 \cdot r - 0,72 \cdot t) \quad [\text{mm}] \quad (4.3)$$

$$H = \frac{D - d}{2} + 0,43 \cdot r + 0,72 \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (4.4)$$

d..... průměr otvoru před lemováním [mm]
D..... průměr středu zaoblení [mm]
r..... rádius zaoblení lemu a příruby [mm]
t..... tloušťka plechu [mm]
H..... celková výška lemu [mm]



Obr.4.3 Princip rozšiřování otvoru, a - výchozí stav, b – průběh rozšiřování, c – rozšířený otvor [7]

Tyto použité vzorce se nejvíce přibližují skutečným požadovaným geometrickým rozměrům výroby víka klimatizace při vlastním pokusu technologií lemováním.

4.2 Lemovací síla a práce

K získání lemu z kruhového otvoru je potřeba znát lemovací sílu, která je závislá na tvaru čela tažníku. Při použití parabolického tvaru čela tažníku lze získat nejlepší jakost lemu při použité nižší síle. Naopak u tažníku s rovným čelem je lemovací síla veliká, a dochází také k výraznému ztenčení tloušťky stěny lemu, k možnosti vzniku radiálních trhlin a také k většímu zpevnění vlivem ohybu přes poloměr hrany tažníku [5], [6].

Lemovací síla podle vzorce dle Tschätsche [14] :

$$F_{OL} = 0,7 \cdot t \cdot (d_1 - d) \cdot R_m \quad [N] \quad (4.5)$$

Přidržovací síla:

$$F_{PŘ} = (0,25 \text{ až } 0,30) \cdot F_{OL} \quad [N] \quad (4.6)$$

Celková síla s ohledem na lis:

$$F_C = F_{OL} + F_{PŘ} \quad [N] \quad (4.5)$$

Lemovací práce :

$$A_L = k \cdot F_c \cdot z \quad [\text{J}] \quad (4.8)$$

t..... tloušťka plechu [mm]

d₁... průměr otvoru v ohybnici [mm]

d..... průměr otvoru před lemováním [mm]

R_m...mez pevnosti v tahu [MPa]

z..... pracovní zdvih nástroje [mm]

k..... součinitel respektující průběh ohýbací síly (všeobecně $k = \frac{1}{3}$)

4.3 Mezera při lemování

Mezi tažnicí a tažníkem bývá mezera m_L o velikosti osmi až desetinásobku tloušťky plechu s ohledem na snížení lemovací síly. Ovšem k zpřesnění tvaru lemu byla experimentálně prokázána mezera rovna tloušťce plechu t , což odpovídá kalibraci tvaru, a výjimečně může být snížena až o $0,1 \cdot t$ (viz.vzorec 4.9). U mezery $m_L \geq t$ je na povrchu protaženého válce horší jakost z důvodu ztenčení materiálu na jeho okraji. Není-li na výkrese předepsána tloušťka materiálu v části lemování, stanoví se pro plochý polotovár z následujícího vzorce [10].

$$m_L = t - (0,05 \text{ až } 0,1) \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (4.9)$$

4.4 Lemování se ztenčením stěny

Pro získání větší výšky stěny lemu se používá lemování se ztenčením stěny, které docílíme zmenšením vůle mezi tažníkem a tažnicí. Tímto je docíleno většího stupně deformace. Při tomto způsobu lemování se ztenčením stěny vzniká velký boční tlak, doporučuje se zalisování obrubnice do vnější objímky, aby byla zvětšena její pevnost [2], [9].

4.5 Mazání při tažení

U procesu tváření mezi nástrojem a polotovarem vznikají vysoké tlaky. Tyto spolu s drsností povrchu polotovaru a nástroje určují okrajové podmínky technologie a také zvětšují tvářecí sílu omezením deformace polotovaru. Maže se nástroj i tvářený materiál, není však nutné mazat celý přístřih. Mazání přispívá ke zmenšení třecí síly, tím pádem i tažné síly, prodloužení životnosti nástroje a zlepšení kvality povrchu výlisku. Použitá maziva mají mít dobré mazací a konzervační vlastnosti, nesmí poškodit povrch nástroje i výrobku, měla by lehce přilnout s vytvořením souvislé vrstvy a být snadno odstranitelná [8].

Lze je rozdělit na maziva [7]:

- kapalná, jako jsou minerální, organické a syntetické, které jsou např. při použití čistých ropných alkalických olejů s přísadami chlorovaného tuhého parafínu nebo tuhého maziva jako je grafit, MoS₂, křída apod., nebo rostlinné či živočišné oleje, olejové emulze a vodné roztoky sodných nebo draselných mýdel.

- konzistentní, kam patří mazací tuky, lůj, včelí vosk, lanolín atd.
- tuhá, která se používají jen za lisování za tepla, jako je grafit, dále stearany kovu, prášková mýdla.

4.6 Tvářecí stroje pro lemování

Návrh tvářecího stroje vychází z velikosti protahovací síly a rozměry tažného nástroje. Jsou to rozhodující hodnoty, podle kterých je lis vybrán. Používají se mechanické lisy, které jsou poměrně jednoduché s velkou výrobností, kde má tvářecí síla největší účinek těsně před dolní úvratí. Hrozí zde přetížení stroje, a nelze docílit tváření velkou silou po delší dráze. Nejpoužívanější u tvářecích strojů je klikový mechanismus. Z důvodu bezpečnosti a funkčnosti stroje jsou tyto lisy jištěny různými druhy pojistných zařízení, jako jsou pojistky funkční, zvyšující bezpečnost obsluhy a jistící stroj proti přetížení. Další možností jsou hydraulické lisy, které využívají rovnoměrného šíření tlaku všemi směry. Jejich výhodou je plynulá regulace rychlosti, využití maximální síly v libovolném zdvihu a rovněž docílení konstantního tlaku a rychlosti. To je na úkor složitosti konstrukce pohonu, pomalejšího chodu beranu, náročnosti údržby a rovněž pořizovacími náklady [13].

5 KONSTRUKCE NÁSTROJŮ PRO LEMOVÁNÍ

Nástroje pro lemování se skládají ze dvou základních částí, a to tažníku a tažnice, které musí být vůči sobě přesně orientovány a uchyceny k tvářecímu lisu. Rovněž by měly umožňovat zakládání materiálu a vyjímání protažených součástí se zajištěním bezpečnosti obsluhy.

5.1 Tažník

Vnější průměr tažníku je zároveň vnitřním průměrem protahovaného otvoru. Lze jej zhotovit z jednoho kusu, nebo u větších tažníků použít jeho dělení, také jde použít vložkování tažné hrany. Upnutí je zajištěno stopkou, podobně jako střížníky [1].

5.2 Tažnice

Tažnice jsou prstencového tvaru s funkčním otvorem a potřebným tvarem tažné hrany. Jejich konstrukce může využít možnosti jejího dělení u větších rozměrů, nebo použití vložek na tažné hraně, jako tažníky. Tyto jsou uloženy a středěny v základové desce [1].

5.3 Přidržovač

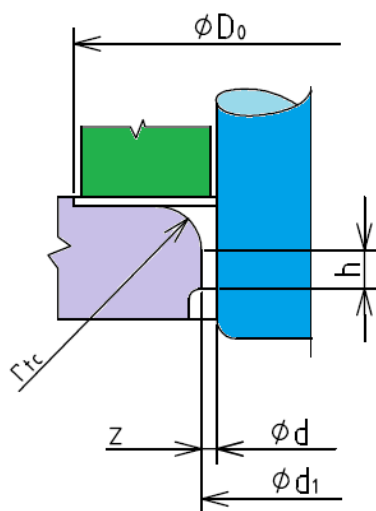
Úkolem přidržovače je přitlačit plech k ploše tažnice, a jeho geometrie je skoro totožná s jejím tvarem. Přidržovač je jen málo zatížen, a proto je převážně celistvý z jednoho kusu. Pro výrobu přidržovače se používá nástrojová ocel nebo šedá litina [1].

5.4 Geometrie funkčních ploch nástroje

Kvalitu výrobku ovlivňují nejen mechanické vlastnosti tvářeného materiálu, ale i geometrie tvářecího nástroje. Při volbě geometrie funkčních částí tažníku a tažnice je důležité vhodně stanovit poloměry zaoblení, které přímo ovlivňují napětí v lemovaném materiálu, a rovněž velikost síly potřebné pro lemování [3].

5.4.1 Poloměr zaoblení tažnice

Poloměr tažné hrany tažnice má bezprostřední vliv na kvalitu výtažku i velikost síly pro lemování. Použitím většího poloměru zaoblení tažnice je jednodušší proces lemování. Doporučuje se pro jedno operační tažení poloměr tažné hrany tažnice $r_{tc} = (6 \text{ až } 10) \cdot t$.



Obr.5.1 Základní geometrické charakteristiky tažného nástroje při lemování [1]

5.4.2 Poloměr zaoblení tažníku

Jak už bylo uvedeno dříve, je nejvhodnější použití parabolického tvaru tažníku, kdy využijeme menší sílu pro lemování a dosáhneme lepší jakost lemu.

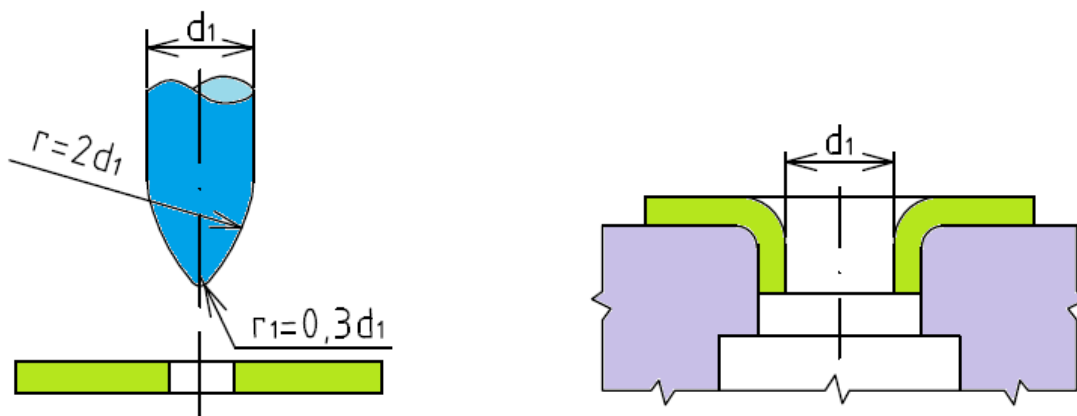
Poloměry tohoto parabolického tvaru jsou doporučeny podle Romanovského následovně (viz.obr.5.2) :

$$r = 2 \cdot d_1 \quad [\text{mm}] \quad (5.1)$$

$$r_1 = 0,3 \cdot d_1 \quad [\text{mm}] \quad (5.2)$$

r..... rádius zaoblení u válcové plochy tažníku [mm]

r₁.....rádius zaoblení u špičky tažníku [mm]



Obr.5.2 Tvar tažníku při lemování [9]

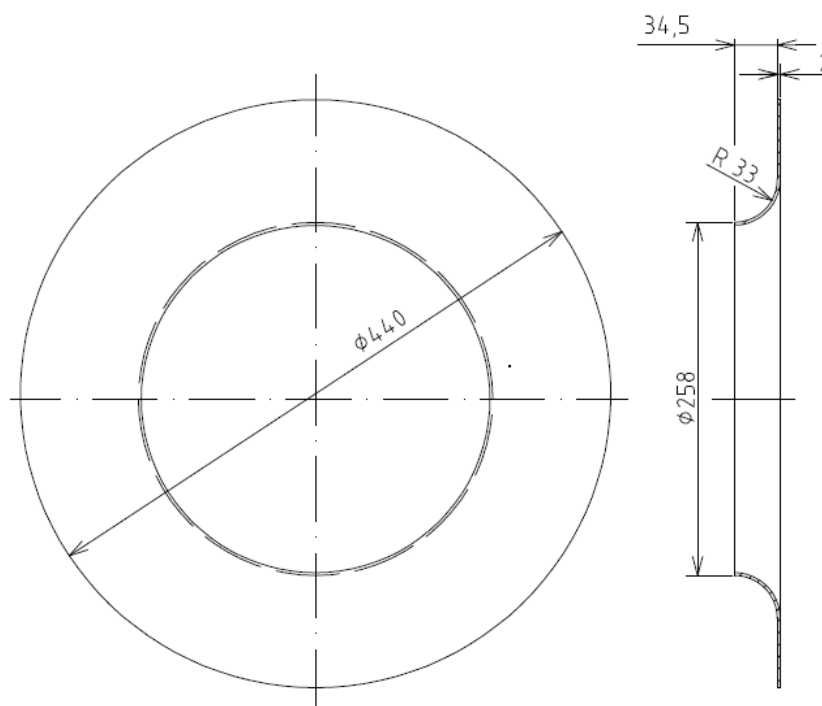
6 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

6.1 Technologičnost součásti

Výrobek je konstruován jako víko klimatizace z nerezového plechu, které je součástí oběžného kola ventilátoru (viz.obr.1.2), který slouží k usměrnění odvodu kouře, horkého vzduchu či páry z prostoru udírny přes její strop. Zde je s hrdlem vytvořeným na stropě usměrněn odvod těchto médií pomocí distančního kroužku, který je navařen na lem víka, které je již přivařeno na lopatky oběžného kola. Jedná se o rotující součást, a v tomto případě je nutno dodržet přesné geometrické tvary součásti a rozměry, hlavně u lemu, na který je přivařován kroužek. Je uvažovaná roční produkce v objemu 8.000 ks.



Obr.6.1 Model víka klimatizace



Obr.6.2 *Rozměry součásti*

6.1.1 Materiál výrobku

Materiál pro víko klimatizace je navržen plech o tloušťce 2 mm z nerezové oceli. Jedná se o chrom niklovou austenitickou nestabilizovanou molybdenovou nízkouhlíkovou ocel.

Označení:

- DIN X2CrNiMo 17-12-2
- ČSN 10088-1 1.4404
- AISI 316L
- ČSN 17 349

Chemické složení v [hmotn.%]:

- C ≤ 0,03
- Si ≤ 1,00
- Mn ≤ 2,00
- Mo 2 až 2,5
- Cr 16,5 až 18,5
- Ni 10 až 12

Vlastnosti:

- vysoce odolná proti kyselinám
- dobře odolné proti korozi
- mírný sklon k důlkové korozi způsobených pnutí v roztocích s obsahem chlóru

Technologické zpracování:

- ocel lze velmi dobře svařovat, po svařování není třeba provádět žádnou tepelnou úpravu, i po svařování si

ocel zachovává svou vysokou odolnost proti mezikrystalické korozi

- vyznačuje se velmi dobrou leštitelností
- velmi dobrou tvárností (ohýbání, zakružování, hluboké tažení, lisování atd.)

Použití:

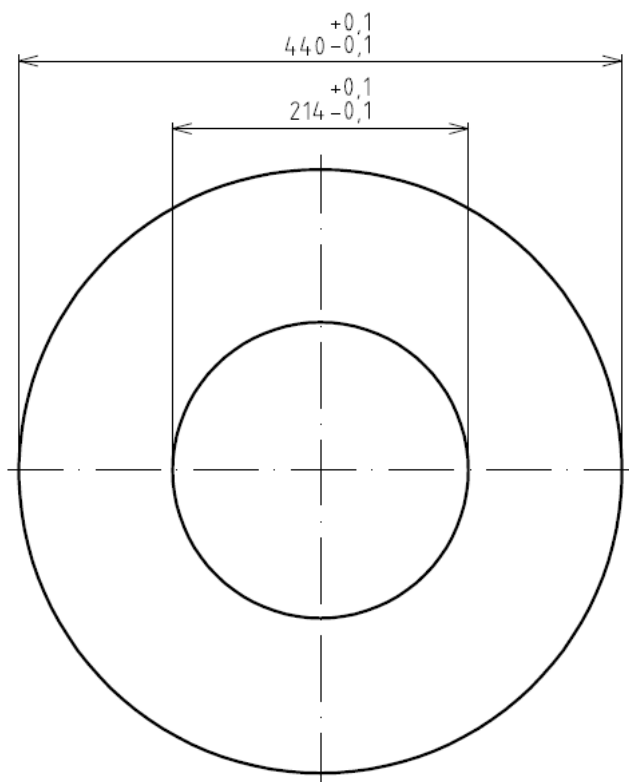
- používá se pro konstrukční díly, přístroje a aparáty chemického průmyslu s vysokým chemickým namáháním, především při přítomnosti chloridů
- dalšími typickými oblastmi použití jsou zařízení na úpravu teplé vody a konstrukční díly, které přicházejí do kontaktu s mořskou vodou
- použití ve styku s potravinami a pokrmami

6.1.2 Určení velikosti výchozího polotovaru

Podle rozměrů součásti (viz. obr. 6.2) je potřeba zhotovit polotovar kruhového tvaru o průměru $D_0 = 440$ mm, kde je v jeho středu nutno vyrobít kruhový, tzv. technologický otvor pro vytvoření válcové stěny požadované výšky lemu.

Velikost tohoto technologického otvoru zjistíme dle vzorce 4.3.

$$d = D - 2 \cdot (H - 0,43 \cdot r - 0,72 \cdot t) = 256 - 2 \cdot (36,5 - 0,43 \cdot 33 - 0,72 \cdot 2) = 214,26 \text{ mm} \quad (6.1)$$



Obr. 6.3 Velikost polotovaru

6.1.3 Výroba polotovaru

Polotovar je potřeba vyrobit z plechu, je větších rozměrů, který by vystřihováním ve střížném nástroji byl pro malou výrobní sérii dosti nákladný.

Proto navrhuji vyrobit tento polotovar jinou nekonvenční metodou, a to řezání laserem. Tato metoda je v současnosti dosti využívána pro dělení materiálů, která umožňuje zvýšení technologičnosti konstrukce a sériovosti výroby se současným omezením výroby zmetků a snížení pracnosti daných operací za použití CNC řízení. Fokusem záření laseru, který vyvine teplotu až 10^4 °C, lze řezat i nekovové a nevodivé materiály. Materiál ohřátý zářením laseru do bodu varu je tlakem plynu z místa řezu vyfukován. Je to velice efektivní způsob s ohledem na úzký a přesný řez bez ostřin (až $\pm 0,05$ mm). Používá se pro rozřezávání těžko obrobitelných materiálů, přesných otvorů a součástí [3].

Navrhuji často v praxi používané laserové centrum TRUMPF CNC TRUMATIC L 3030 (obr.6.3).



Obr.6.3 Laserové centrum TRUMPF CNC TRUMATIC L 3030

6.1.4 Výpočet potřebné lemovací síly a práce

Lemovací síla (viz.4.5):

$$F_{OL} = 0,7 \cdot t \cdot (d_1 - d) \cdot R_m = 0,72 \cdot 2 \cdot (258 - 214) \cdot 680 = 41888 \text{ N} \quad (6.2)$$

Přidržovací síla (viz.4.6):

$$F_{PR} = (0,25 \text{ až } 0,30) \cdot F_{OL} = 0,25 \cdot 41888 = 10472 \text{ N} \quad (6.3)$$

Celková síla s ohledem na lis (viz.4.7):

$$F_c = F_{OL} + F_{PR} = 41888 + 10472 = 52360 \text{ N} \quad (6.4)$$

Lemovací práce (viz.4.8):

$$A_L = k \cdot F_c \cdot z = \frac{1}{3} \cdot 52360 \cdot 0,0365 = 637 \text{ J} \quad (6.5)$$

6.1.5 Návrh tvářecího stroje

Výběr vhodného tvářecího stroje vychází z velikosti celkové síly potřebné pro lemování, která je jednou z rozhodujících hodnot pro výběr lisu. Je volen lis s větší jmenovitou silou, kdy se počítá s dostatečnou rezervou síly vybraného stroje, aby nedošlo např. k jeho poškození. Rozměry součástí jsou také jedním z rozhodujících faktorů.

Pro vypočtenou potřebnou celkovou sílu ($F_C=53\text{kN}$) a práci ($A=637\text{J}$) při lemování, a dle rozměru polotovarů, byl vybrán výstředníkový lis LEN 40 C (obr.6.4), od výrobce Toma Industries Trnava, s technickými údaji v tab.6.1, parametry v tab.6.2 a informační výkres v příloze č.1.

Tab.6.1 *Technické údaje lisu* [15]

Technické údaje		LEN 40 C	MJ
jmenovitá síla lisu		400	kN
počet zdvihů – trvalý chod P/R		70/140	1/min
využitelný počet jednotlivých zdvihů P/R		35/-	1/min
max. tloušťka	trvalý chod	3,2/2	mm
zpracovaného plechu P/R	jednotlivé zdvihy	6,4/-	mm
maximální odebraná práce P/R	jednotlivé zdvihy	1040/-	J
	trvalý chod	800/425	J
elektromotor	výkon	3,5/7	KW
	otáčky	710/1450	1/min.
elektrické napětí	síťové	380 V/50 Hz	V/Hz
	Ovládací	24 V/50 Hz	
	osvětlení	24 V/50 Hz	



Obr.6.4 *Výstředníkový lis* [15]

Tab .6.2 Parametry a rozměry lisu [15]

Parametry a rozměry		LEN 40 C	MJ
stavitelnost zdvihu	A	8.95	mm
stavitelnost beranu	B	60	
vyložení	C	265	
sevření	E	295	
průchod	F	300	
plocha stolu		530 x 660	
plocha beranu		250 x 400	
tloušťka upínací desky		75	
rozměry lisu	A1	1250	
	B1	2370	
	C1	1585	
	D1	1220	
	E1	830	
	F1	450	
	G1	505	
	H	800	
	H1	120	
	J1	130	
K1	900		
L1	738		
sklopení stojanu	α		
hmotnost lisu		4500	kg

6.2 Návrh tvářecího nástroje

6.2.1 Materiál nástroje

Pro výrobu tvářecích nástrojů pro lemování, které se skládají ze dvou základních částí, a to tažníku a tažnice, je navržen materiál 19 436.4 , jehož vlastnosti a použití jsou uvedeny v tab.6.3.

Tab.6.3 Vlastnosti a použití nástrojové oceli [16]

ČSN chemické složení	Vlastnosti, tepelné zpracování (Co)	Tvrdoost HRC	Třída odpadu	Po užití
19 436.4 2,0 C 12,0 Cr	Vysokolegovaná ocel ke kalení v oleji a na vzduchu, s velkou prokalitelností a odolností proti opotřebení a nižší houževnatosti, dobře tvárná za tepla, dobře obrobitelná ŽM: 800 až 840 K: 920 až 970/olej P: 180 až 250	asi 63	010	Nástroje pro tváření za studena: Všechny druhy jednoduchých nástrojů pro přetváření a ražení, tj. nástroje, u nichž nedochází k přidavnému namáhání na ohyb, dále nástroje pro tažení, menší průvlastky, nástroje k protlačování a tlačení, nebo závitové válce pro válcování závitů

6.2.2 Stanovení rozměrů pracovních částí nástroje

Při konstruování nástrojů pro lemování se potřeba počítat s tím, že se více opotřebovávají tažníky, oproti tažnicím, které se opotřebovávají jen nepatrně. Přídavek na opotřebení je u tažníku $P_o = 0,8 \cdot P_u$ a u tažnice $P_o = 0,2 \cdot P_u$, kde P_u je úchylka ohýbaného tvaru. S využitím přídavku na opotřebení je ke stanovení rozměru pracovních částí použito vzorce dle Bareše [10].

$$D_{1t} = (D_{1L} - 0,2 \cdot U_s)^{+P_p} \quad [\text{mm}] \quad (6.6)$$

$$D_{1t} = (258 - 0,2 \cdot 0,1)^{+0,01} = 257,98^{+0,01} \text{ mm} \quad (6.7)$$

$$D_{2t} = (D_{2L} + 0,8 \cdot U_h)_{-P_p} \quad [\text{mm}] \quad (6.8)$$

$$D_{2t} = (254 + 0,8 \cdot 0,1)_{-0,01} = 254,08_{-0,01} \text{ mm} \quad (6.9)$$

D_{1t}průměr pracovní části otvoru tažnice [mm]

D_{2t}průměr pracovní části tažníku [mm]

D_{1L}vnější rozměr lemované části [mm]

D_{2L}vnitřní rozměr lemované části [mm]

U_sspodní úhylka [mm]

U_hhorní úhylka [mm]

P_pdovolená úchylka na zhotovení činné části dle stupně přesnosti IT7–IT8 [mm]

7 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

7.1 Zjištění původního stavu tvaru součásti po lemování

Při výrobě součásti byla zjištěna nechtěná deformace, a to zvlnění příruby víka klimatizace, a vznik dvou vln po obvodě o výšce 18,8 mm (obr.7.1).



Obr.7.1 Vzorek 1

Víko klimatizace je součástí oběžného kola ventilátoru klimatizace, které je při jeho kompletaci přivařováno k lopatkám oběžného kola. Zde vznikem obvodové vlny na přírubě víka neleží příruba po obvodu na všech lopatkách ventilátoru, kdy je potřeba provést svar k jejich připevnění. Víko je srovnáváno pomocí svěrek a přivařeno. V tomto místě po odlehčení svěrek vzniká ve svaru nepotřebné tahové napětí, které může svým vlivem způsobit i prasknutí svaru.

Jednou z možností, aby při výrobě víka klimatizace nedocházelo k této nechtěné deformaci, lze pro jeho výrobu použít nerezový plech upravený žíháním. Použití tohoto žíhaného plechu je z důvodu chemických procesů probíhajících během provozu v udírně pro potravinářský průmysl nepřijatelné, proto je třeba tento problém řešit jinou formou.

Další možností, jak by bylo možno řešit zjištěnou deformaci víka klimatizace, je použití různých druhů maziv. Zde byla při lemovací operaci u pěti vzorků této součásti sledována změna zvlnění příruby tohoto víka, fotodokumentace průběhu lemování v příloze č.2. Dále zjištění změn deformací a drsností povrchu po této operaci v rámci vlastního experimentu, který byl proveden na hydraulickém lisu znázorněném na obr.7.2 .



Obr.7.2 Lis použitý při experimentu

7.2 Použití různých maziv při experimentu

Při výrobě původního výrobku byla použita olejová emulze Wislon X-Cd, která se běžně používá k mazání nástrojů u vysekávačky FINN POVER.

U prováděného experimentu bylo použito následujících vysoce výkonných tažných olejů na bázi minerálních olejů používaných při tváření zastudena, a to:

- MULTIDRAW KTL N 16 (vzorek č.2)
- DRAWSOL WDC9 (vzorek č.3)
- DRAWSOL 3750 DB (vzorek č.4)
- DAG 5480 (vzorek č.5)
- DAG 5520 (vzorek č.6)

Používají se převážně k tažení, protlačování, hlubokému tažení i s velkým ztenčením stěny, lisování, pěchování, ohraňování, ohýbání, ražení, přesné stříhání, tažení profilů a drátů.



Obr.7.3 Použitá maziva při experimentu

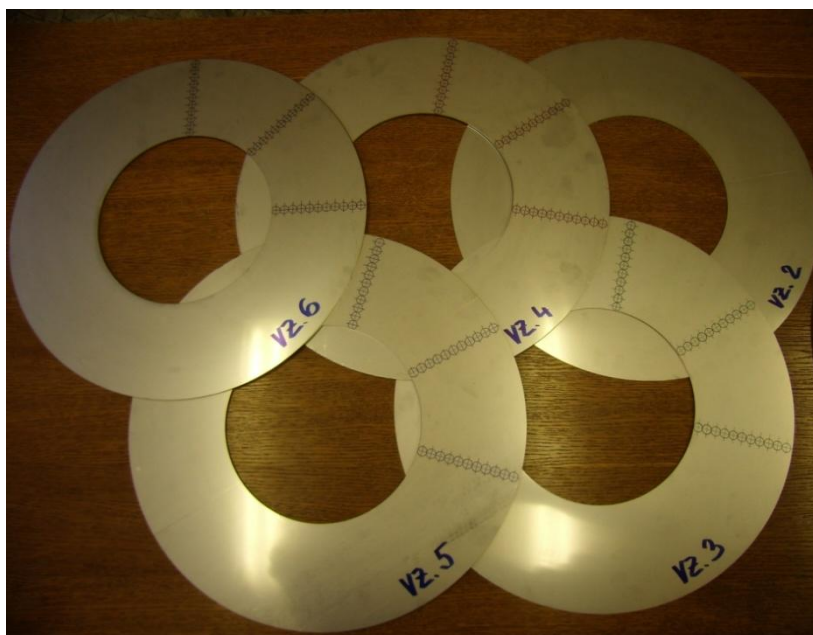
Před provedením vlastního experimentu lemování byly na všechny zkušební vzorky nanесeny vybrané maziva válečkem (obr.7.4)



Obr.7.4 Vzorky s nanесeným mazivem

7.3 Zjištění deformací na vzorcích

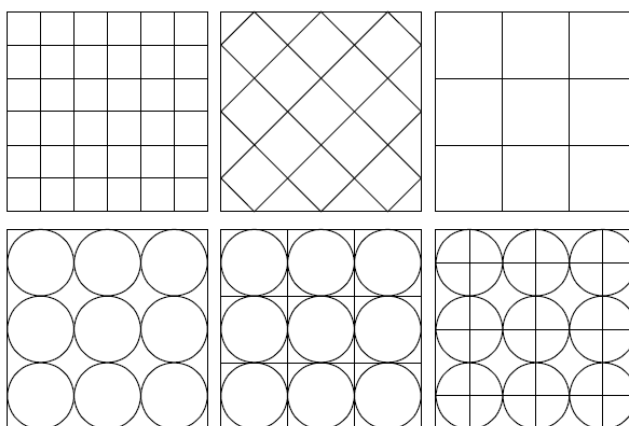
Deformace byla na vzorcích zjištěna pomocí nanesené měrné kruhové sítě. Tyto kružnice byly narýsovány pomocí šablony lihovým fixem, a to tak, že byly zohledněny směry 0°, 45° a 90° ke směru válcování plechu, a tyto byly zvoleny z důvodu sledování anizotropie u plechu (obr.7.5). Existují i jiné typy (obr.7.6) a metody nanášení měrných sítí, kromě orýsování i použití gumového válečku, dále pak metody sítotiskem, ofsetem, fotograficky a elektrochemicky. Výhody a nevýhody výše uvedených metod jsou uvedeny v tab.7.1 .



Obr.7.5 Nanesené měrné kruhové sítě na vzorcích

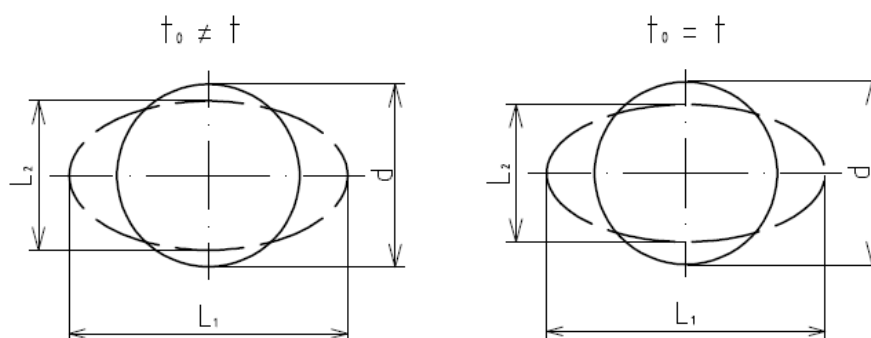
Tab.7.1 Metody nanášení měrných sítí [7]

Metoda nanášení	orýsování	gumovým válečkem	sítotiskem	ofsetem	fotograficky	elektrochemicky
výhody	jednoduchost přesnost	vysoká rychlost	rychlost a vyhovující přesnost	rychlost a vyhovující přesnost	vysoká přesnost	vysoká rychlost a přesnost
nevýhody	značná pracnost	nízká přesnost	omezené rozměry	nákladné zařízení	vyšší pracnost	nákladné zařízení



Obr.7.6 Základní typy sítí přetvoření [1]

Při zhotovení lemu u zadané součásti dochází k deformaci nanesené sítě kružnic, které se mění na elipsy. Z velikostí jejich os lze spočítat velikost logaritmické deformace φ_1 , φ_2 respektive φ_3 (obr.7.7). [7]



Obr.7.7 Stanovení velikosti logaritmické deformace [7]

V případě, že se nemění tloušťka plechu po lemování, je

$$\varphi_1 = \ln \frac{L_1}{D} \quad (7.1)$$

$$\varphi_2 = \ln \frac{L_2}{D} \quad (7.2)$$

$$\varphi_3 = 0 \quad (7.2)$$

Při změně tloušťky plechu po lemování, je

$$\varphi_3 = -\varphi_1 - \varphi_2 \quad (7.2)$$

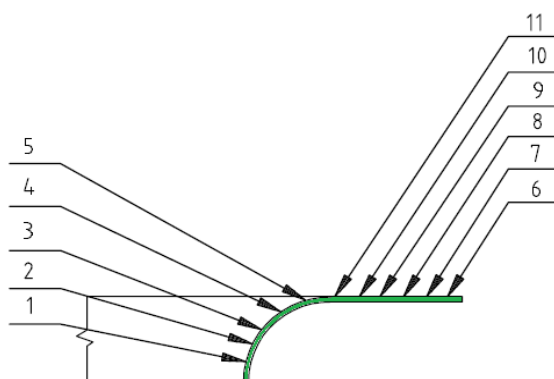
Po provedeném lemování byly zkušební vzorky jednotlivě proměřeny a výsledky zapsány do tabulek. Byla měřena změna kruhové sítě podle obr.7.7 (tab.7.2), výška zvlnění přírub a drsnosti v ohybu lemu jednotlivých vzorků.

Tab.7.2 Měření měrných sítí po lemování

		MÍSTO MĚŘENÍ OD VNITŘNÍ STRANY										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
vzorek 2	L1 0o	11,3	10,8	10,5	10,3	10,1	10	10	10	10	10	10
	L2 0o	9,4	9,7	10,6	10,4	10,3	10	10	10	10	10	10
	L1 45o	11,2	10,6	10,4	10,3	10	10	10	10	10	10	10
	L2 45o	9,3	9,7	10,5	10,4	10,3	10	10	10	10	10	10
	L1 90o	11,1	10,7	10,5	10,2	10	10	10	10	10	10	10
	L2 90o	9,2	9,8	10,6	10,3	10,2	10	10	10	10	10	10
vzorek 3	L1 0o	NELZE MĚŘIT - POŠK.MĚRNÁ SÍŤ					10	10	10	10	10	10
	L2 0o	NELZE MĚŘIT - POŠK.MĚRNÁ SÍŤ					10	10	10	10	10	10
	L1 45o	NELZE MĚŘIT - POŠK.MĚRNÁ SÍŤ					10	10	10	10	10	10
	L2 45o	NELZE MĚŘIT - POŠK.MĚRNÁ SÍŤ					10	10	10	10	10	10
	L1 90o	NELZE MĚŘIT - POŠK.MĚRNÁ SÍŤ					10	10	10	10	10	10
	L2 90o	NELZE MĚŘIT - POŠK.MĚRNÁ SÍŤ					10	10	10	10	10	10
vzorek 4	L1 0o	11,5	10,7	10,3	10,2	10	10	10	10	10	10	10
	L2 0o	9,2	9,8	10,5	10,3	10,2	10	10	10	10	10	10
	L1 45o	11,4	10,8	10,5	10,2	10	10	10	10	10	10	10
	L2 45o	9,1	9,8	10,7	10,3	10,3	10	10	10	10	10	10
	L1 90o	11,4	10,8	10,2	10,1	10	10	10	10	10	10	10
	L2 90o	9,2	9,9	10,7	10,4	10,2	10	10	10	10	10	10
vzorek 5	L1 0o	11,6	10,8	10,3	10,2	10,1	10	10	10	10	10	10
	L2 0o	9,2	9,8	10,4	10,3	10,2	10	10	10	10	10	10
	L1 45o	11,6	10,8	10,2	10,1	10	10	10	10	10	10	10
	L2 45o	9,3	9,9	10,6	10,3	10,1	10	10	10	10	10	10
	L1 90o	11,7	10,8	10,3	10,1	10	10	10	10	10	10	10
	L2 90o	9,1	9,8	10,4	10,2	10,1	10	10	10	10	10	10
vzorek 6	L1 0o	11	10,5	10,2	10,1	10	10	10	10	10	10	10
	L2 0o	9	9,5	10,6	10,5	10,1	10	10	10	10	10	10
	L1 45o	11,1	10,6	10,2	10,1	10	10	10	10	10	10	10
	L2 45o	9,2	9,7	10,8	10,6	10,2	10	10	10	10	10	10
	L1 90o	10,8	10,5	10,2	10,1	10	10	10	10	10	10	10
	L2 90o	9,1	9,8	10,6	10,3	10,2	10	10	10	10	10	10

U vzorku č. 3 je reliéf měrné sítě poškozen po aplikaci maziva, nešlo provést měření.

Nebyla zjištěna změna tloušťky plechu u žádného ze vzorků, tudíž podle znění kružnic na elipsy je spočtena logaritmická deformace φ_1 dle vzorce 7.1, a zanesena do tabulky 7.3 se sestrojením grafů. Místa měření změn jsou znázorněna na obr.7.8 .



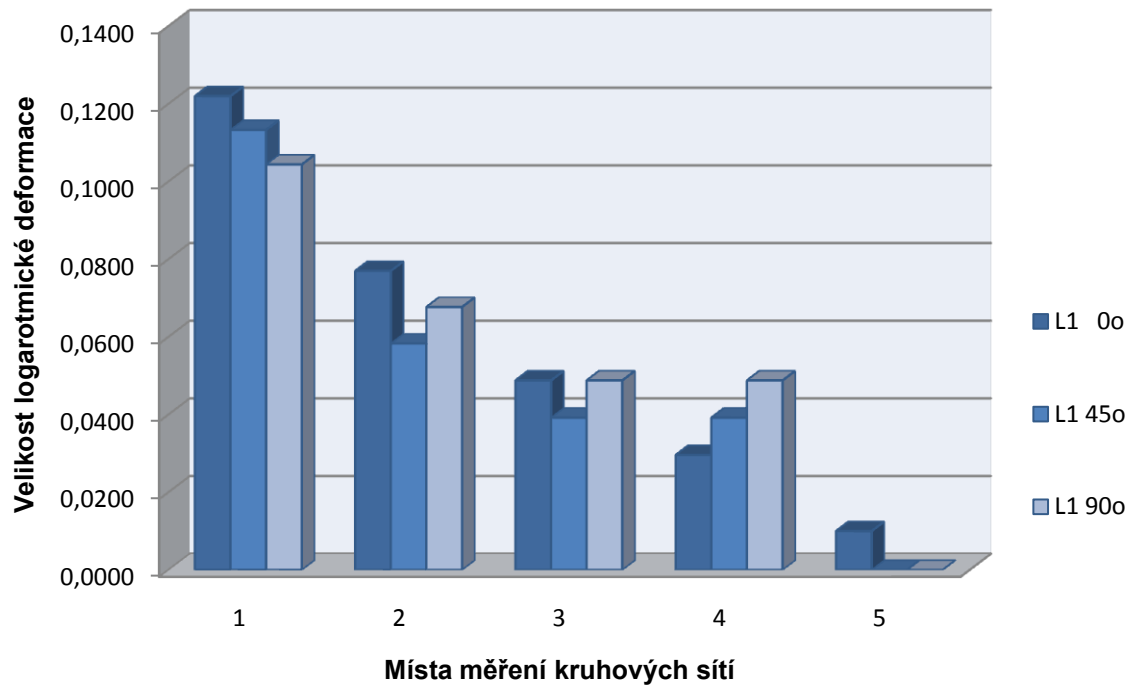


Obr.7.8 Místa měření změn

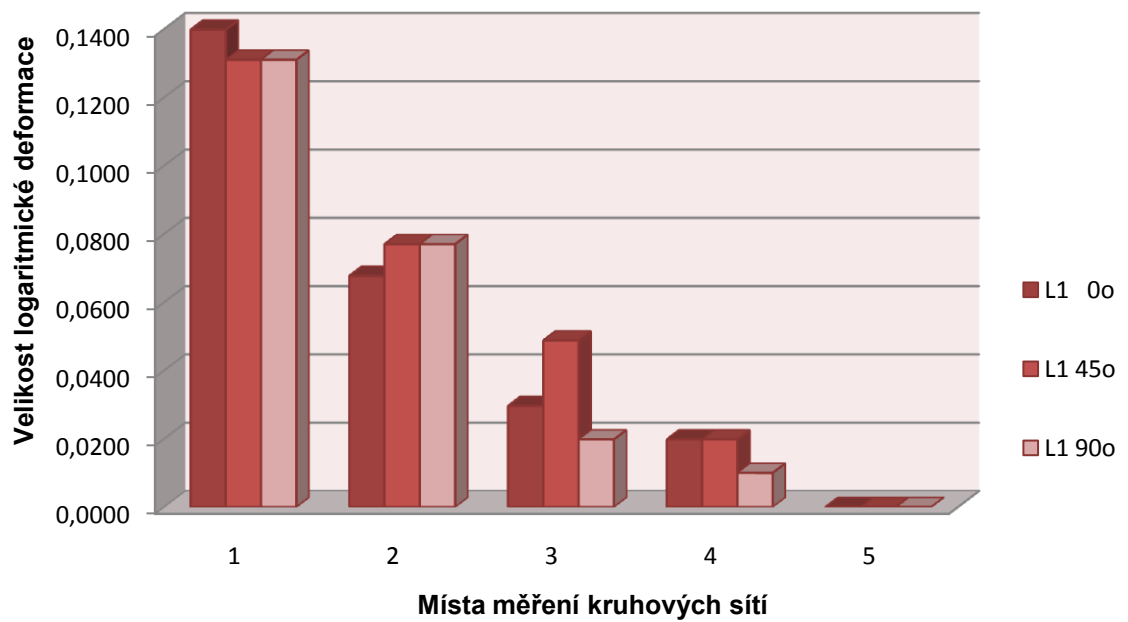
Tab.7.3 Logaritmická deformace φ_1

		MÍSTO MĚŘENÍ OD VNITŘNÍ STRANY										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
vzorek 2	L1 0o	0,1220	0,0770	0,0488	0,0296	0,0100	0	0	0	0	0	0
	L1 45o	0,1133	0,0583	0,0392	0,0392	0,0000	0	0	0	0	0	0
	L1 90o	0,1044	0,0677	0,0488	0,0488	0,0000	0	0	0	0	0	0
vzorek 4	L1 0o	0,1398	0,0677	0,0296	0,0198	0,0000	0	0	0	0	0	0
	L1 45o	0,1310	0,0770	0,0488	0,0198	0,0000	0	0	0	0	0	0
	L1 90o	0,1310	0,0770	0,0198	0,0100	0,0000	0	0	0	0	0	0
vzorek 5	L1 0o	0,1482	0,0770	0,0296	0,0198	0,0100	0	0	0	0	0	0
	L1 45o	0,1482	0,0770	0,0198	0,0100	0,0000	0	0	0	0	0	0
	L1 90o	0,1570	0,0770	0,0296	0,0100	0,0000	0	0	0	0	0	0
vzorek 6	L1 0o	0,0953	0,0488	0,0198	0,0100	0,0000	0	0	0	0	0	0
	L1 45o	0,1044	0,0583	0,0198	0,0100	0,0000	0	0	0	0	0	0
	L1 90o	0,0770	0,0488	0,0198	0,0100	0,0000	0	0	0	0	0	0

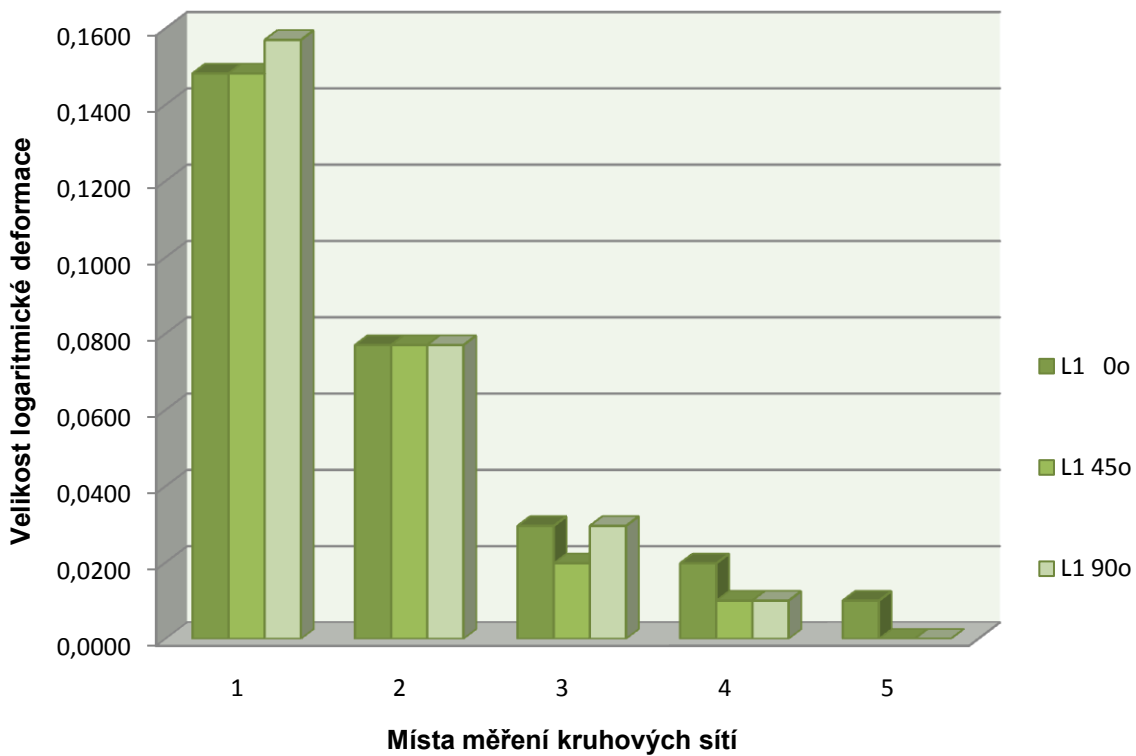
Logaritmická deformace φ_1 u vz. 2



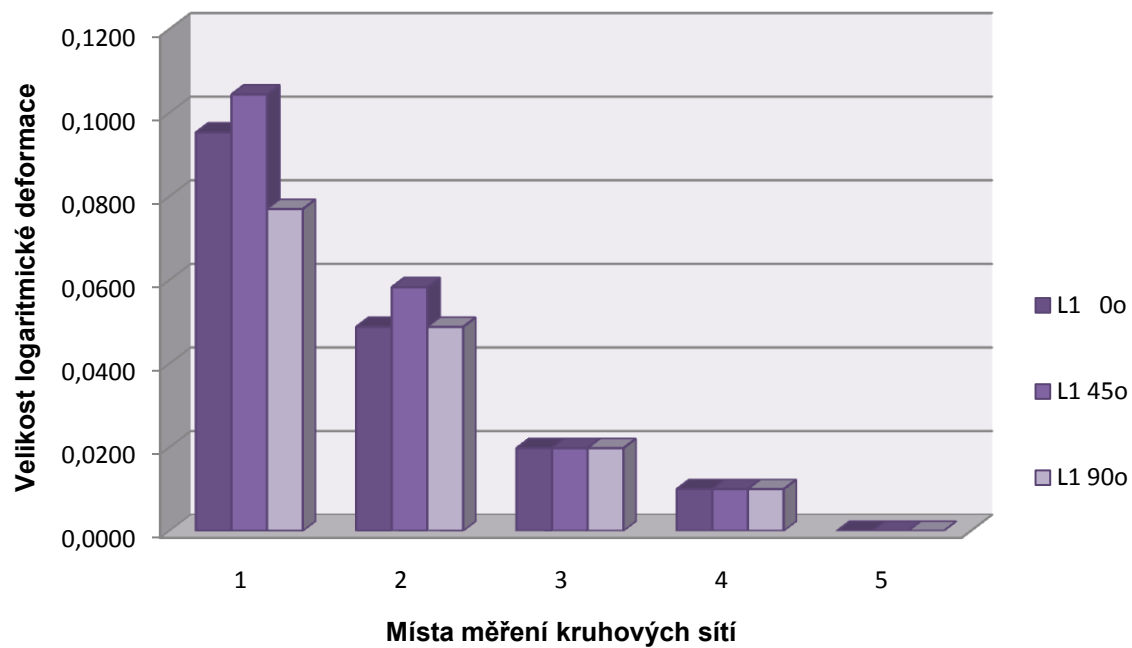
Logaritmická deformace φ_1 u vz. 4



Logaritmičká deformace φ_1 u vz. 5



Logaritmičká deformace φ_1 u vz. 6

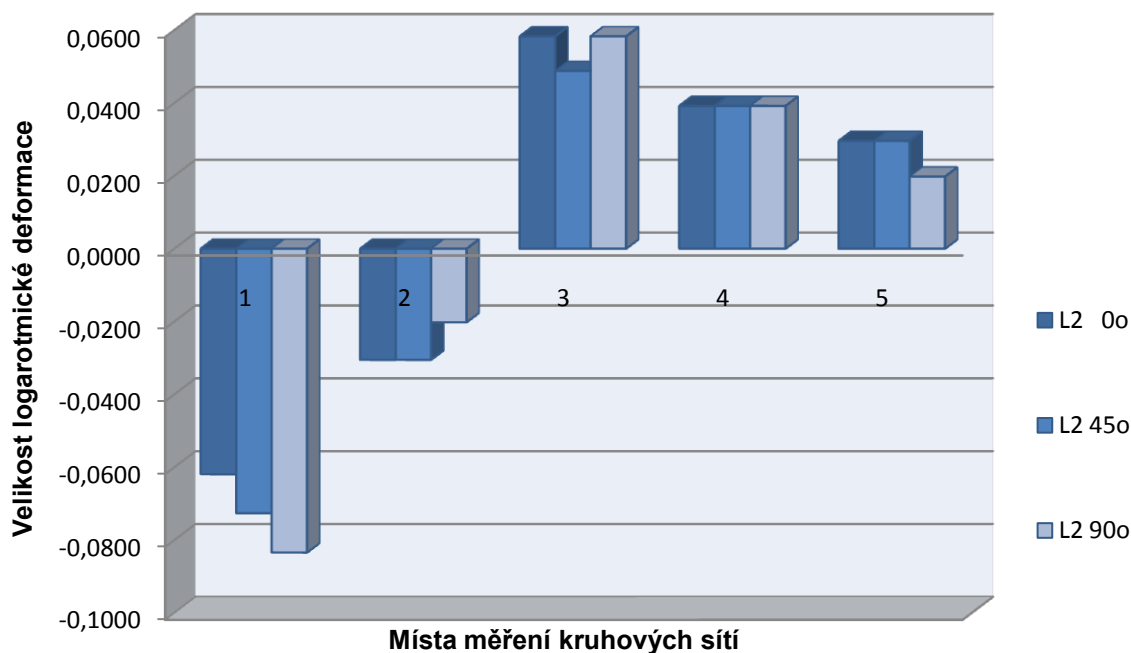


Stejným způsobem, ale podle vzorce 7.2, spočtena logaritmická deformace φ_2 , a zanesena do tabulky 7.4 s následným sestrojením grafů.

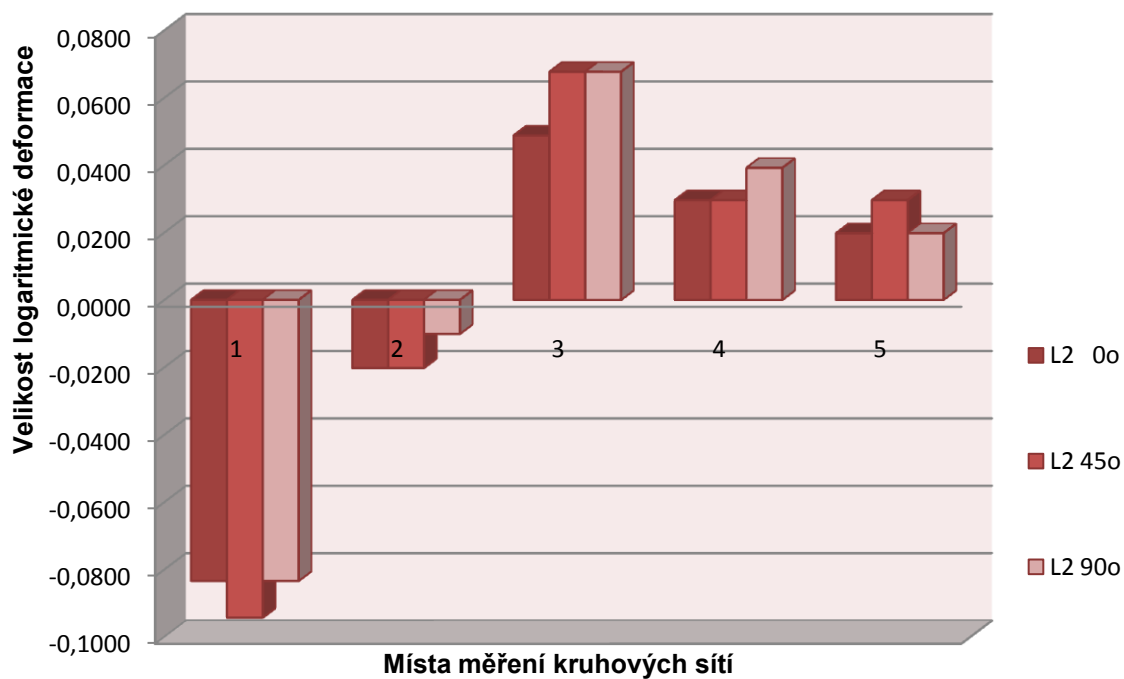
Tab.7.4 Logaritmická deformace φ_2

		MÍSTO MĚŘENÍ OD VNITŘNÍ STANY										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
vzorek 2	L2 0o	-0,0619	-0,0305	0,0583	0,0392	0,0296	0	0	0	0	0	0
	L2 45o	-0,0726	-0,0305	0,0488	0,0392	0,0296	0	0	0	0	0	0
	L2 90o	-0,0834	-0,0202	0,0583	0,0392	0,0198	0	0	0	0	0	0
vzorek 4	L2 0o	-0,0834	-0,0202	0,0488	0,0296	0,0198	0	0	0	0	0	0
	L2 45o	-0,0943	-0,0202	0,0677	0,0296	0,0296	0	0	0	0	0	0
	L2 90o	-0,0834	-0,0101	0,0677	0,0392	0,0198	0	0	0	0	0	0
vzorek 5	L2 0o	-0,0834	-0,0202	0,0392	0,0296	0,0198	0	0	0	0	0	0
	L2 45o	-0,0726	-0,0101	0,0583	0,0296	0,0100	0	0	0	0	0	0
	L2 90o	-0,0943	-0,0202	0,0392	0,0198	0,0100	0	0	0	0	0	0
vzorek 6	L2 0o	-0,1054	-0,0513	0,0583	0,0488	0,0100	0	0	0	0	0	0
	L2 45o	-0,0834	-0,0305	0,0770	0,0583	0,0198	0	0	0	0	0	0
	L2 90o	-0,0943	-0,0202	0,0583	0,0296	0,0198	0	0	0	0	0	0

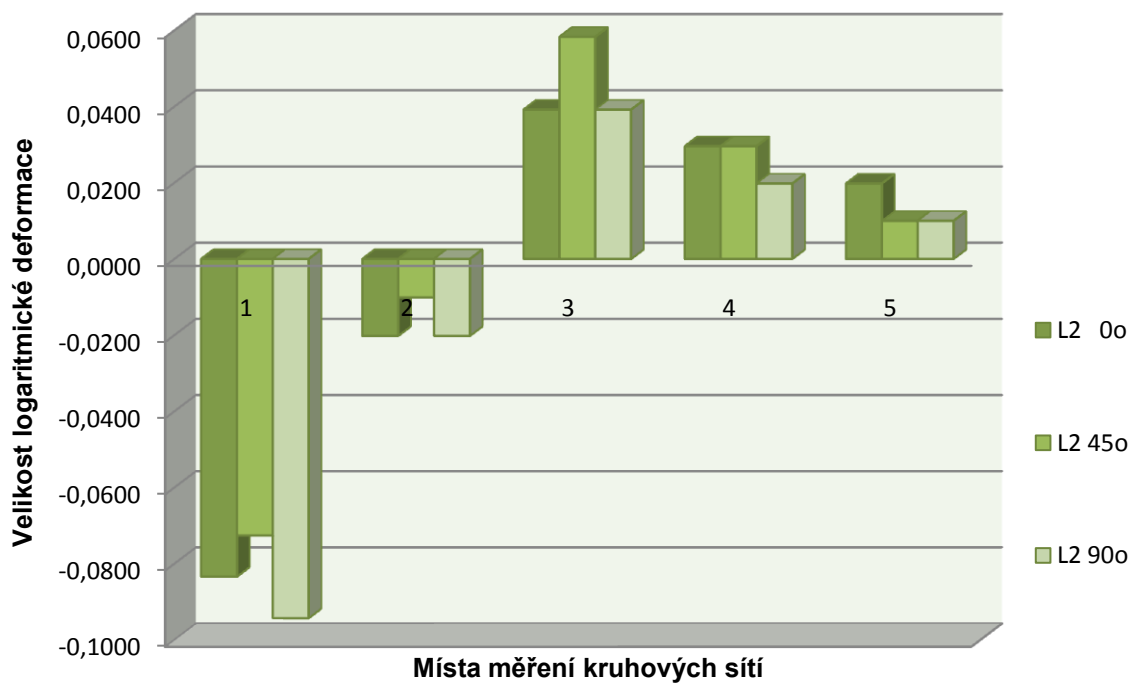
Logaritmická deformace φ_2 u vz. 2



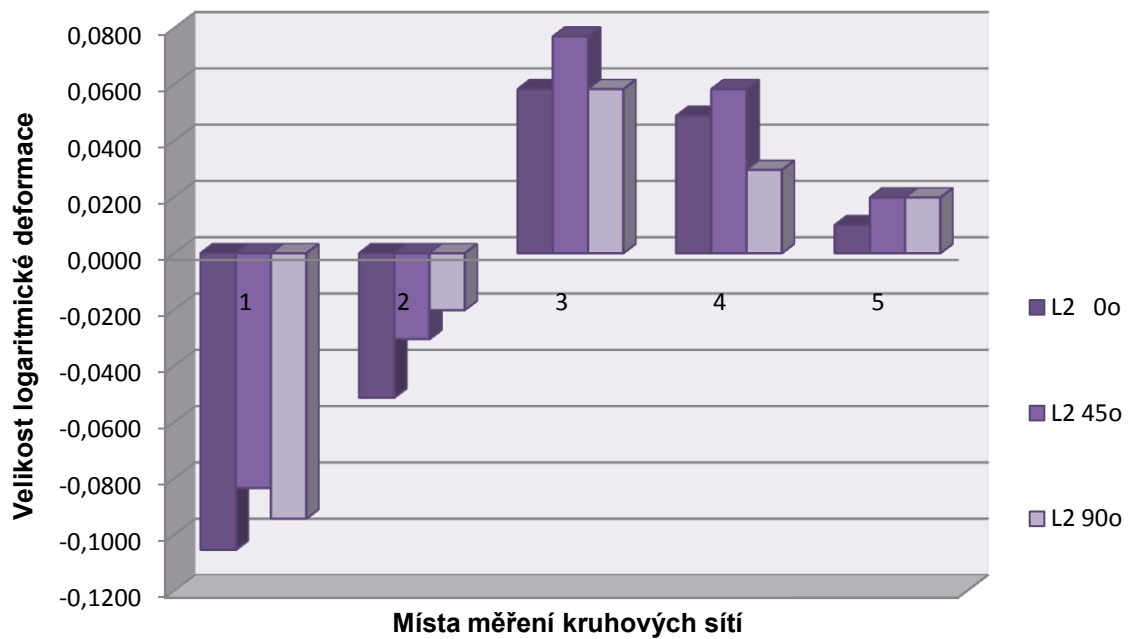
Logaritmická deformace φ_2 vzorku 4



Logaritmická deformace φ_2 u vz. 5



Logaritmická deformace φ_2 u vz. 6

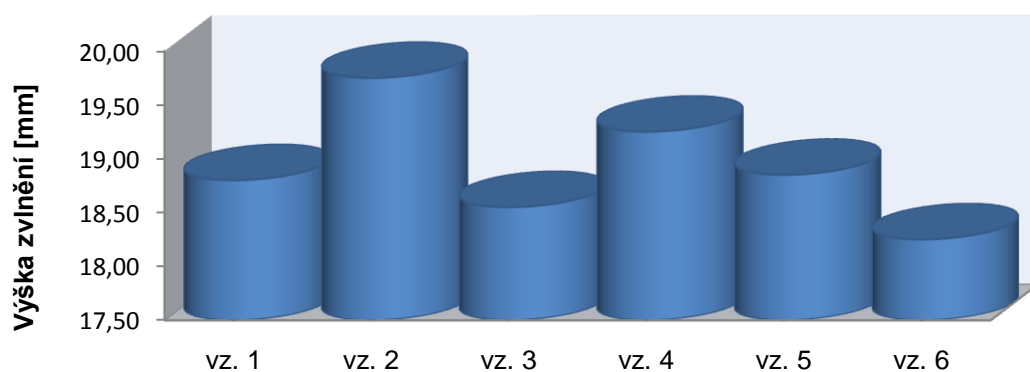


Následné změření výšky zvlnění příruby víka zaneseno do tab.7.5, včetně sestrojení grafu.

Tab.7.5 Výška zvlnění příruby po obvodě

	místo 1	místo 2	průměr zvlnění
vzorek 1	18,8	18,8	18,80
vzorek 2	20,0	19,5	19,75
vzorek 3	18,1	19,0	18,55
vzorek 4	19,5	19,0	19,25
vzorek 5	18,8	18,9	18,85
vzorek 6	18,6	17,9	18,25

VÝŠKA ZVLNĚNÍ [mm]



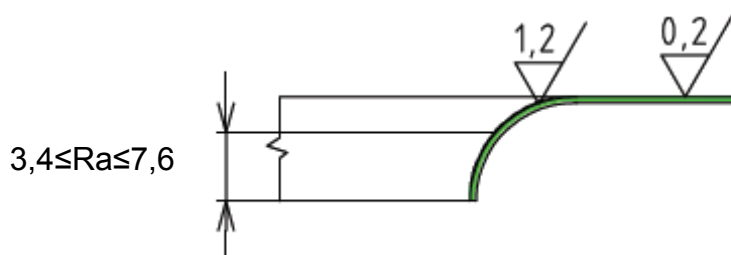
7.4 Měření drsnosti na vzorcích

Měření byla provedena pomocí měřicího přístroje SURTRONIC 3⁺ od fy Taylor Hobson, s chybou měření ± 2 %. Nejprve byla změřena drsnost povrchu na vzorku z materiálu použitého k výrobě víka klimatizace (obr.7.9) v krocích 15 mm .



Obr.7.9 Vzorek používaného materiálu

U vzorků po lemování, bylo provedeno měření v místě vzniklého lemu mimo rýhy způsobené tažníkem (obr.7.10) .

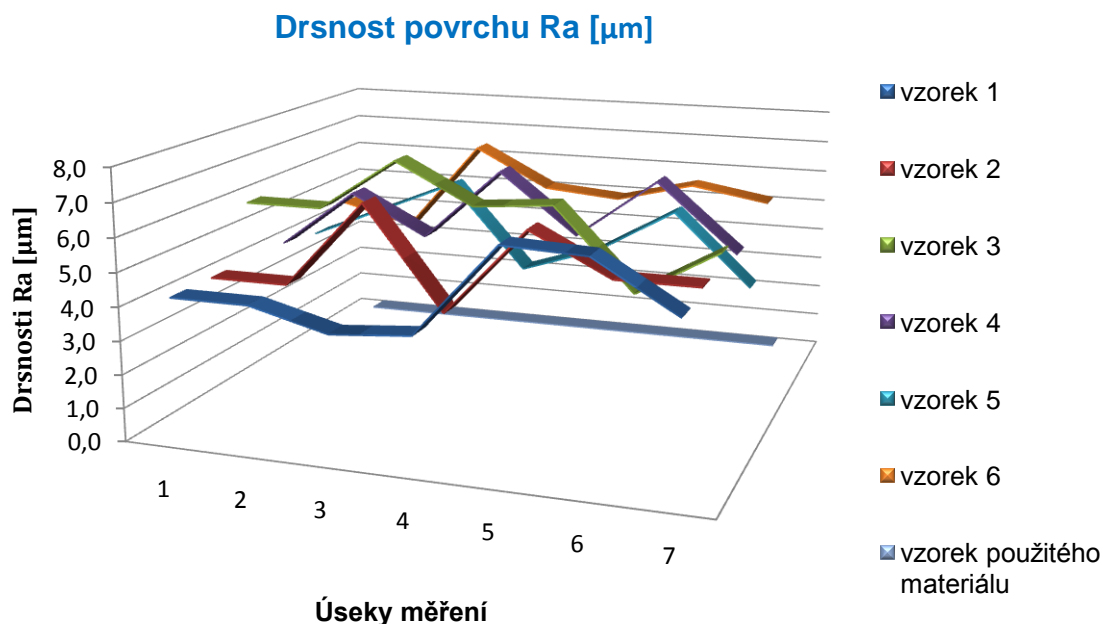


Obr.7.10 Místo a hodnoty měření drsnosti povrchu na lemu

Naměřené hodnoty jsou znázorněny v tab.7.6, včetně grafu.

Tab.7.6 Hodnoty změřené drsnosti v místech 1 až 7

	MÍSTO MĚŘENÍ						
	1	2	3	4	5	6	7
vzorek 1	4,2	4,2	3,6	3,8	6,5	6,4	5,0
vzorek 2	4,2	4,2	6,8	3,8	6,4	5,2	5,2
vzorek 3	6,0	6,0	7,6	6,4	6,6	4,2	5,6
vzorek 4	4,2	6,0	4,8	7,0	5,2	7,0	5,0
vzorek 5	4,0	5,0	6,0	3,4	4,2	5,6	3,4
vzorek 6	4,6	4,0	6,8	5,6	5,4	6,0	5,6
vzorek použitého materiálu	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2



7.5 Závěry z experimentu

Cílem experimentu bylo ověřit možnost použití různých druhů maziv při procesu lemování ke snížení, nebo dokonce úplného odstranění zvlnění příruby po obvodu víka klimatizace.

Výsledky experimentu prokázaly:

- z rozsahů měření výšky zvlnění příruby víka klimatizace bylo zjištěno zmenšení výšky tohoto zvlnění, a to nejvíce u vzorku č.6, při použití maziva DAG 5520. Z důvodu velmi těžce odstranitelného nežádoucího filmu na povrchu materiálu, není toto mazivo vhodné k použití u plošného tváření. Proto hodnotíme další vzorek č.3 s použitým mazivem DRAWSOL WDC 9, u kterého došlo také ke zmenšení zvlnění jako vyhovující.
- u provedených výpočtů logaritmických deformací zjištěných z měření přetvoření kruhových měrných sítí, ať už velikost logaritmické deformace φ_1 nebo φ_2 , jsou zjištěny nejlepší výsledky taktéž u vzorku č.6, u kterého je použito nevyhovující mazivo pro plošné tváření DAG 5520. Dalším v pořadí s dobrými výsledky je vzorek č.4 s mazivem DRAWSOL 3750DB. Z důvodu poškození reliéfu měrné kruhové sítě u vzorku č.3, je toto posouzení neobjektivní s ohledem na tuto posuzovanou veličinu.
- velikosti experimentálně měřených drsností povrchu, byla nejprve měřena na vzorku z tabule plechu, která je používána při výrobě tohoto víka. Zde byly naměřeny hodnoty drsnosti povrchu u všech měřených míst stejné, a to $0,2\mu\text{m}$. Z naměřených hodnot drsností povrchu, kdy bylo na vzorcích naměřena drsnost povrchu od $3,4$ do $7,6\mu\text{m}$, kdy u vzorku č.5 naměřeny nejmenší hodnoty $3,4$ až $6,0\mu\text{m}$. U tohoto vzorku bylo použito mazivo DAG 5480.

Maziva použitá u všech vzorků vyhovují prováděnému způsobu lemování, kromě maziva DAG 5520. Toto mazivo nevyhovuje požadavkům maziv používaných u plošného tváření, a to z důvodu jeho odstraňování z plechu po lemování. Hodnoty změn nepřesáhly ani 1 mm, ale podařilo se zvlnění snížit o 0,55 mm oproti původnímu vzorku č.1. U maziva DAG 5480 byly hodnoty drsnosti povrchu nejnižší a intervalu 3,4 až 6 μm.

Pro docílení zmenšení nechtěné deformace příruby víka klimatizace, je třeba řešit jiným způsobem, například úpravou tvaru tažného nástroje, kdy je vhodné použít pro zmenšení odporu v počátku lemovacího procesu parabolický tvar tažníku. Při tomto použití by se měla zmenšit napjatost, včetně drsnosti povrchu materiálu po provedeném lemování, kdy dochází k postupnému tvarování okraje otvoru pro vytvoření lemu, oproti tažníku s rovným čelem a malým zaoblením hran, oproti parabolickému.

8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Nebudou zde zahrnuty pořizovací náklady na strojní vybavení z důvodu využití již vybavené dílny strojírenského podniku.

8.1 Variabilní náklady

Velikost těchto nákladů se mění s objemem výroby, a lze je přepočítat na výrobní jednotici.

Náklady na materiál:

Pro přípravu polotovaru k lemování je nutno určit rozměr tabule plechu tl.2mm, který bude výhodnější pro výrobu součástí.

Rozměry plechu a počet polotovarů:

- 1000x2000 mm 8 ks
- 1250x2500 mm 15 ks
- 1500x3000 mm 18 ks

Povrch polotovaru : 152054 mm²

Využití plechu lze určit ze vzorce:

$$\text{Využití} = \frac{S_{\text{výr}}}{S_{\text{tab}}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (8.1)$$

$S_{\text{výr}}$plocha všech výstřižků z tabule [mm²]

S_{tab}celková plocha tabule plechu [mm²]

Tabule plechu 1000x2000 mm:

$$\text{Využití} = \frac{152054}{2000000} \cdot 100 = 60,82 \% \quad (8.2)$$

Tabule plechu 1250x2500 mm:

$$V_{\text{yužití}} = \frac{152054}{3125000} \cdot 100 = 70,98 \% \quad (8.3)$$

Tabule plechu 1500x3000 mm:

$$V_{\text{yužití}} = \frac{152054}{4500000} \cdot 100 = 60,82 \% \quad (8.4)$$

Podle ekonomického využití plechu je pro výrobu polotovarů víka klimatizace nejvýhodnější použít tabule plechu o rozměrech 1250x2500 mm, kdy z ní bude vyrobeno 15 ks polotovarů.

Předpokládaná roční výrobní série $Q = 8000$ ks.

Spotřeba počtu tabulí

$$P_{\text{tab}} = \frac{\text{série}}{P_{\text{pol/tab}}} = \frac{8000}{15} = 533 \text{ ks tabulí plechu} \quad (8.5)$$

$P_{\text{pol/tab}}$počet polotovarů z tabule plechu [ks]

Cena jedné tabule plechu

$$C_t = 3845 \text{ CZK} \quad (8.6)$$

Celková cena materiálu:

$$N_{\text{mat}} = P_{\text{tab}} \cdot C_t = 533 \cdot 3845 = 2049385 \text{ CZK} \quad (8.7)$$

Měsíční výrobní dávka

$$Q_m = \frac{Q}{12} = \frac{8000}{12} = 667 \text{ ks} \quad (8.8)$$

Celkový strojní čas

$$t_A = \frac{t_{A1}}{60} \cdot Q = \frac{0,5}{60} \cdot 8000 = 67 \text{ Nh} \quad (8.9)$$

t_{A1}výrobní čas jednoho kusu ($t_{A1}=0,5 \text{ min.ks}^{-1}$)

Mzdové náklady

$$N_{mzdy} = t_A \cdot M_h = 67 \cdot 115 = 7705 \text{ CZK} \quad (8.10)$$

M_hhodinová mzda ($M_h=115$ CZK)
Náklady na elektrickou energii

$$N_e = P \cdot t_A \cdot C_e = 3,5 \cdot 67 \cdot 3,85 = 903 \text{ CZK} \quad (8.11)$$

Ppříkon elektromotoru lisu [kW]
 C_ecena elektřiny ($C_e=3,85$ CZK·kWh⁻¹)

Celkové variabilní náklady

$$N_V = N_{mat} + N_{mzdy} + N_e = 2049385 + 7705 + 903 = 2057993 \text{ CZK} \quad (8.12)$$

Variabilní náklady jednoho výrobku

$$C_V = \frac{N_V}{Q} = \frac{2057993}{8000} = 257,3 \text{ CZK} \quad (8.13)$$

8.2 Fixní náklady

Fixní náklady vzhledem k výrobní sérii jsou neměnné.
Náklady na výrobní a správní režii

$$N_R = N_V \cdot \frac{(R_V + R_S)}{100} = 2057993 \cdot \frac{(75 + 60)}{100} = 2778291 \text{ CZK} \quad (8.14)$$

R_V výrobní režie (75%)

R_S správní režie (60%)

Cena lemovacího nástroje stanovena odhadem.

$$N_{nástr} = 772000 \text{ CZK} \quad (8.15)$$

Fixní náklady celkem

$$N_F = N_R + N_{nástr} = 2778291 + 772000 = 3550291 \text{ CZK} \quad (8.16)$$

8.3 Celkové náklady

$$N_C = N_V + N_F = 2057993 + 3550291 = 5608284 \text{ CZK} \quad (8.17)$$

Výrobní zisk 20%

$$Z_V = N_C \cdot \frac{20}{100} = 5608284 \cdot \frac{20}{100} = 1121657 \text{ CZK} \quad (8.18)$$

Cena jednoho výrobku se ziskem 20%

$$C_Z = \frac{N_C + Z_V}{Q} = \frac{5608284 + 1121657}{8000} = 841,25 \text{ CZK} \quad (8.19)$$

Bod zvratu

$$B_Z = \frac{N_F}{C_Z - C_V} = \frac{3550291}{841,25 - 257,3} = 6049 \text{ ks} \quad (8.19)$$

Výroba víka klimatizace začne být zisková při dosažení počtu výrobků odpovídající bodu zvratu, což je 6049 ks, na zařízeních již vybavené strojírenské firmy.

9 Závěr

Technologie lemováním, nebo také protahováním, je technologie kdy se v polotovaru zvětšuje předděrovaný otvor při současném vytváření válcové plochy. Jedná se o základní operaci tažení, což je technologický proces tváření, kdy se z rovného plechu zhotoví duté těleso, které jsou jednou ze základních operací plošného tváření. Výrobky vzniklé touto technologií nachází široké uplatnění téměř ve všech odvětvích průmyslu, ať už v automobilním, leteckém, tak i při výrobě spotřebního zboží.

Cílem této bakalářské práce bylo najít vhodnou technologii tváření ke zhotovení zadané součásti z ocelového plechu a navrhnout tvářecí nástroj s ohledem na zadané vyráběné množství součásti. Technologie lemováním se jeví jako nejvhodnější pro výrobu víka klimatizace, s ohledem na plánovanou roční výrobní sérii. Ekonomickým zhodnocením výroby zadané součásti, byla zjištěna ziskovost této výroby při docílení výrobnosti přesahující 6049 ks za rok, při plánované roční výrobní sérii 8000 ks.

Provedením experimentu bakalářské práce, jehož cílem bylo ověření možnosti odstranění nechtěné deformace, vzniklé zvlněním příruby víka klimatizace po jejím obvodu, použitím různých maziv při prováděném lemování na lisu. Po provedení tohoto experimentu a vyhodnocení všech prováděných měření, nebylo dosaženo tak výrazného zlepšení u hodnot deformace tohoto víka. K docílení zmenšení, nebo i odstranění nechtěné deformace příruby víka klimatizace, je řešení tvaru tažného nástroje, který byl použit při provádění experimentu. Úpravou spodní části tažníku na parabolický tvar, který značně ovlivňuje průběh přetváření materiálu, hlavně v počátku lemovací operace zmenšení odporu tvářeného materiálu. Touto úpravou bude docíleno snížení napjatosti a jakosti povrchu lemu.

Seznam použitých zdrojů

- [1] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1.vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM,s.r.o.Brno, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [2] KRÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka*. 1.vyd. Praha : Scientia, 1998. 225 s. ISBN 80-7183-054-2.
- [3] DVOŘÁK, Milan et al. *Technologie II*. 2.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM,s.r.o., 2004. 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
- [4] BAČA, Jozef, Jozef BILÍK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárenia*. 1.vyd. Bratislava : STU, 2010. 245 s. ISBN 978-80-227-3242-0.
- [5] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: Návody do cvičení*. 2.vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM,s.r.o., 2005. 103 s. ISBN 80-214-2881-3.
- [6] BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and Die Desing*. 1.st.ed. New York : Industrial Press, 2004. 219p. s. ISBN 0-8311-3182-9.
- [7] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. 4.vyd. Brno : CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
- [8] ELFMARK, Jiří, Alois FARLÍK a Jiří KOTOUČ. *Tváření kovů*. Praha: SNTL, 1992. 524 s. ISBN 80-030-0651-1
- [9] ROMANOVSKIJ, V.P. *Příručka pro lisování za studena*. Praha : SNTL, 1959. 537 s.
- [10] BAREŠ, Karel a Karel DÍTĚ. *Lisování*. Praha : SNTL, 1971. 544 s.
- [11] TIŠŇOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1990. 196 s. ISBN 80-03-0221-4.
- [12] PETRUŽELKA, Jiří . *Vsb* [online]. 3.ver. Ostrava : Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava, 2004, 18.3.2010 [cit. 2011-04-21]. Teorie tváření II. Dostupné z WWW: <<http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/TTII10.pdf>>.
- [13] NOVOTNÝ, Karel. *Studijní opory* [online]. 2002 [cit. 2011-04-21]. Výrobní stroje a zařízení. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/vyrobní_stroje_a_zarizení_novotny.pdf>.
- [14] TSCHÄTSCH, Heinz. *Taschenbuch Umformtechnik: Verfahren, Maschinen, Werkzeuge*. 1.Aufl. Munchen : Sellier GmbH Freising, 1977. 340 s. ISBN 3-446-12151-X.

- [15] *Toma Industries* [online]. 2006 [cit. 2011-04-28]. Výstředníkové lisy. Dostupné z WWW: <<http://www.citace.com/generator.php?druh=8&ukol=1>>.
- [16] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3.dopl.vyd. Úvaly : ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.
- [17] *Citace.com* [online]. 2.0. c2004 [cit. 2011-04-05]. Citace.com. Dostupné z WWW: <www.citace.com>.

Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratka/Symbol	Popis	Jednotka
A_L	lemovací práce	[J]
B_Z	bod zvratu	[ks]
C_e	cena elektřiny	[CZK.kWh ⁻¹]
C_t	cena jedné tabule plechu	[CZK]
C_v	variabilní náklady jednoho výrobku	[CZK]
C_Z	cena jednoho výrobku se ziskem 20%	[CZK]
D	průměr válcové plochy ve středu tloušťky	[mm]
D_1	průměr středu zaoblení	[mm]
D_{1L}	vnější rozměr lemované části	[mm]
D_{2L}	vnitřní průměr lemované části	[mm]
D_{1t}	průměr pracovní části otvoru tažnice	[mm]
D_{2t}	průměr pracovní části tažníku	[mm]
d	průměr otvoru před lemováním	[mm]
d_1	průměr otvoru v ohybnici	[mm]
F_C	celková síla	[N]
F_{OL}	lemovací síla	[N]
$F_{PŘ}$	přidržovací síla	[N]
H	celková výška lemu	[mm]
h	výška lemu	[mm]
k	součinitel ohýbací síly	[-]
M_h	hodinová mzda	[CZK]
m_L	mezera při lemování	[mm]
N_C	celkové náklady	[CZK]
N_e	náklady na elektrickou energii	[CZK]
N_F	fixní náklady celkem	[CZK]
N_{mat}	celková cena materiálu	[CZK]
N_{mzdy}	mzdové náklady	[CZK]
$N_{nástr}$	cena lemovacího nástroje	[CZK]
N_R	náklady na výrobní a správní režii	[CZK]
N_v	celkové variabilní náklady	[CZK]
P	příkon elektromotoru	[kW]
P_p	povolená úchylka	[mm]
$P_{ppl/tab}$	počet polotovarů z tabule plechu	[ks]
P_{tab}	počet tabulí plechu	[ks]
Q	roční výrobní série	[ks]
Q_m	měsíční výrobní dávka	[ks]
R_a	drsnost po vrchu	[μm]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_S	správní režie	[CZK]
R_V	výrobní režie	[CZK]
r	rádus zaoblení	[mm]
r_1	poloměr zaoblení u špičky tažníku	[mm]
r_{tc}	poloměr tažné hrany	[mm]
$S_{výr}$	plocha všech výstřižků z tabule	[mm ²]
S_{tab}	celková plocha tabule	[mm ²]

T	teplota při tváření	[°C]
T _{REK}	teplota rekrystalizace	[°C]
t	tloušťka plechu	[mm]
t _A	celkový strojní čas	[Nh]
t _{A1}	výrobní čas jednoho kusu	[min.ks ⁻¹]
U _s	spodní úchylka	[mm]
U _h	horní úchylka	[mm]
Z _V	výrobní zisk 2%	[CZK]
z	pracovní zdvih nástroje	[mm]
φ ₁	logarimická deformace tahová	[-]
φ ₂	logarimická deformace tlaková	[-]
φ ₃	logarimická deformace při změně tl.plechu	[-]

Seznam příloh

Příloha 1: Informační výkres lisu LEN 40 C

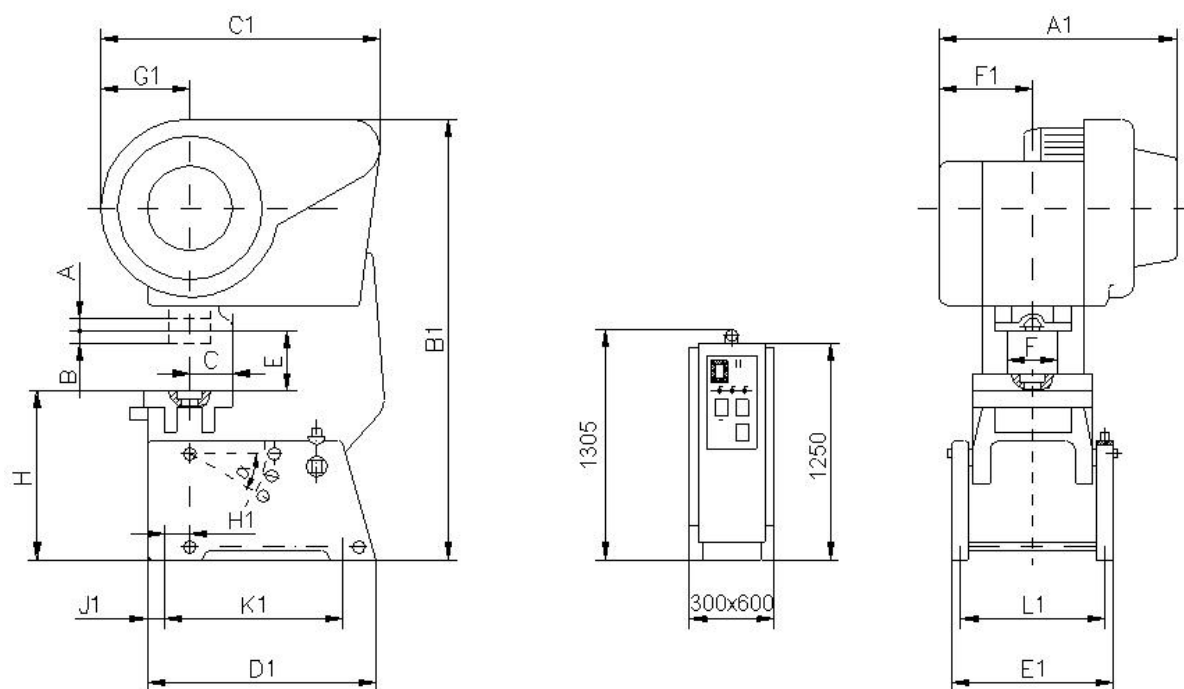
Příloha 2: Fotodokumentace prováděného experimentu

Výkresová dokumentace

Druh dokumentu	Název dokumentu	Číslo dokumentu
Výkres součásti	VÍKO KLIMATIZACE	BP-DOL-1-2011
Výkres sestavy	LEMOVACÍ NÁSTROJ	BP-DOL-2-2011
Výkres součásti	TAŽNÍK	BP-DOL-3-2011
Výkres součásti	TAŽNICE	BP-DOL-4-2011

Příloha 1:

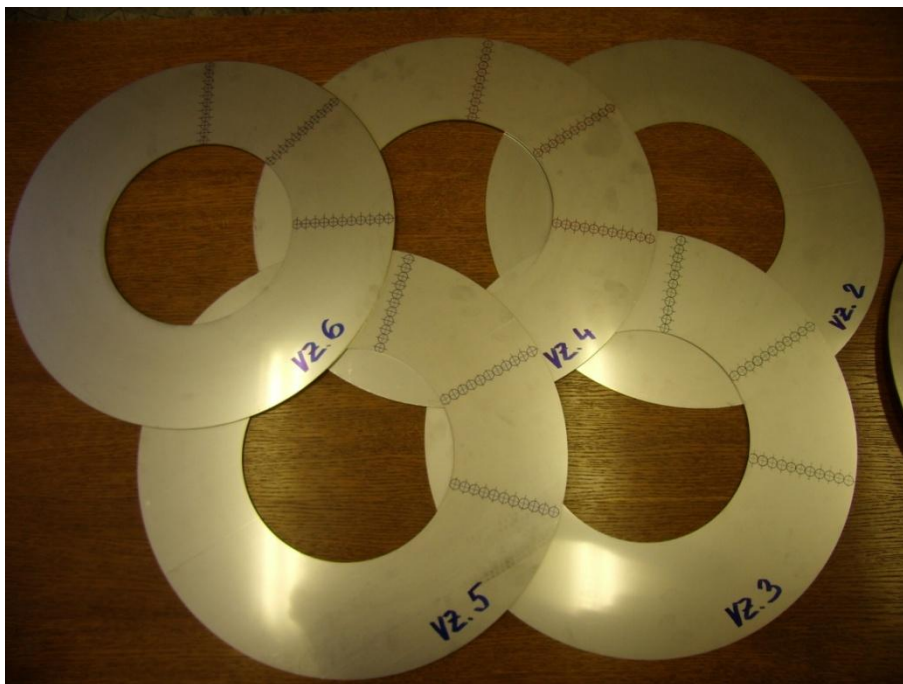
Informační výkres lisu LEN 40 C



Příloha 2/1:

Fotodokumentace prováděného experimentu

1.) Vzorky s nanesenou kruhovou měrnou sítí:



2.) Přípravení vzorků – nanesení maziva před provedením lemování



Příloha 2/2:

3.) Povedení lemování u vzorků č.2 až 6

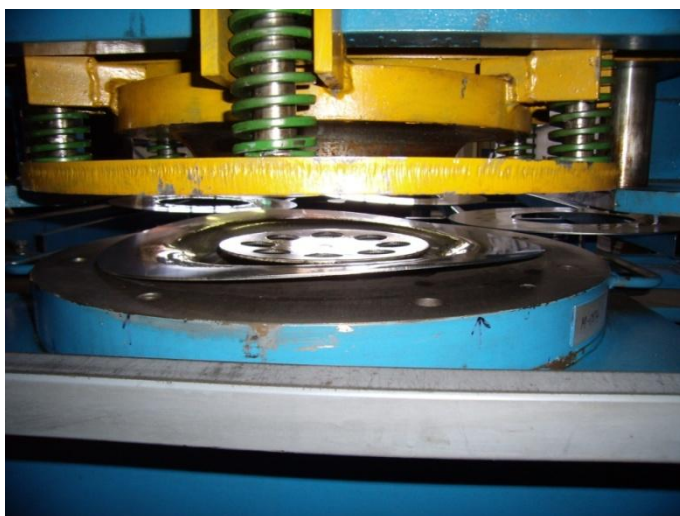
Lemování vzorku č.2



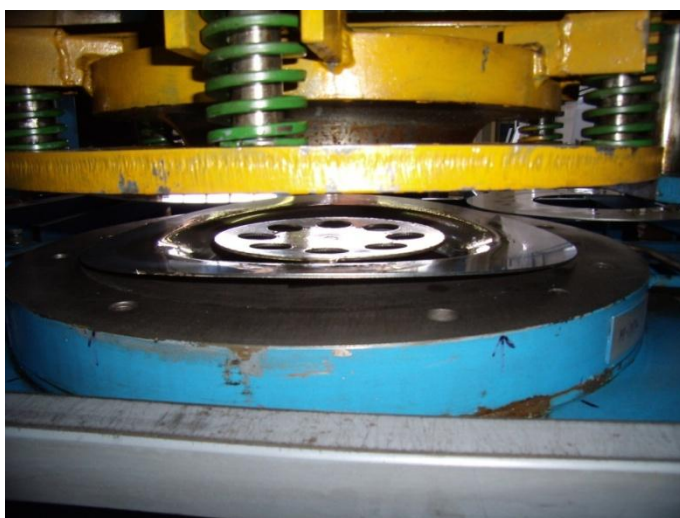
Lemování vzorku č.3



Příloha 2/3:

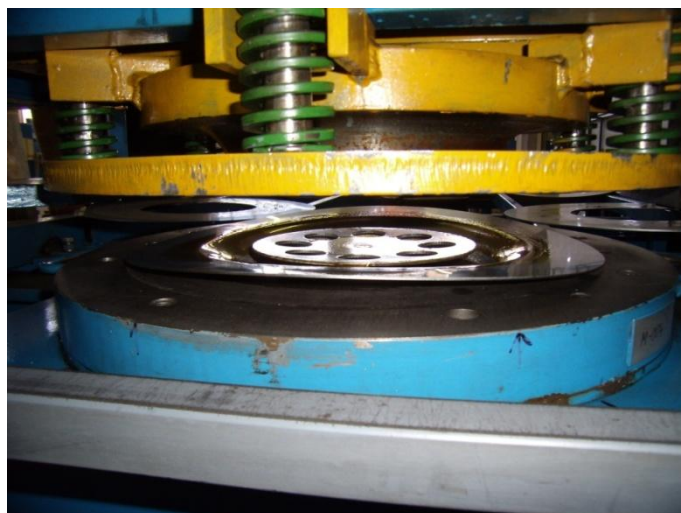


Lemování vzorku č.4

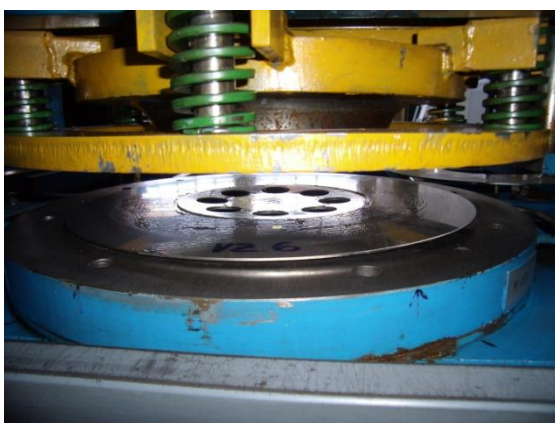


Příloha 2/4:

Lemování vzorku č.5



Lemování vzorku č.6



Příloha 2/5:

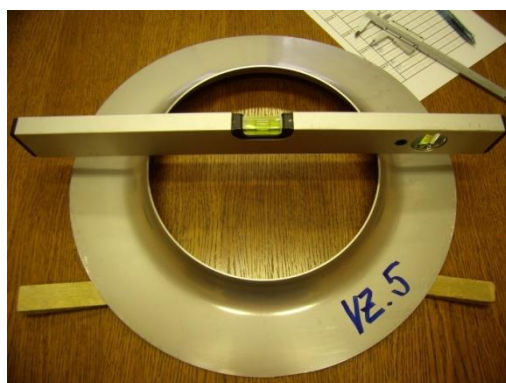
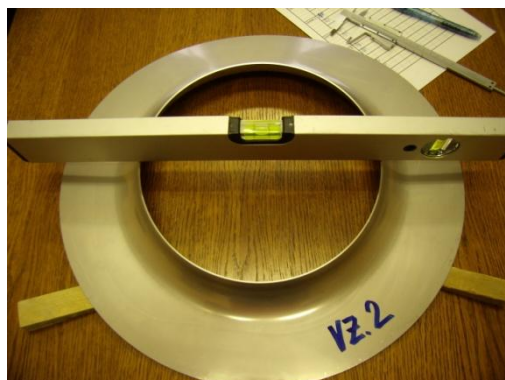
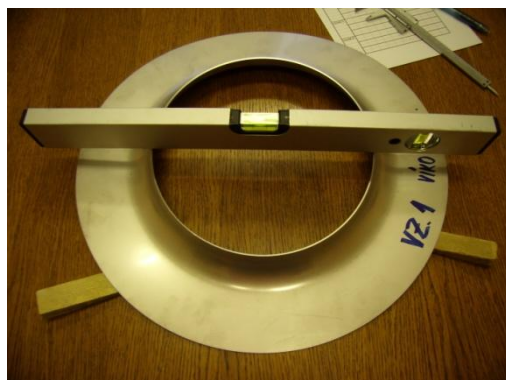


4.) Vzorky po provedeném lemování



Příloha 2/6:

5.) Měření výšky zvlnění přírub vzorků č.1 až 6



Příloha 2/7:

6.) Úseky měření drsnosti po vrchu na jednotlivých vzorcích

