



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁVRH NÁSTROJE PRO ZALISOVÁNÍ PLACHTOVÝCH
KROUŽKŮ**

TOOL DESIGN FOR PRESSING OF THE TARP GROMMETS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marek Hudeček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Řiháček

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Marek Hudeček**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Jan Řiháček**
Akademický rok: 2016/17

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:

Návrh nástroje pro zalisování plachtových kroužků

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby plachtových kroužků včetně řešení jejich zalisování. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární rešerše i výpočty potřebné pro návrh a kontrolu nástroje. Požaduje se návrh výroby a zalisování plachtových kroužků primárně o průměru 10 mm, příp. variantní řešení pro průměry 25 mm či 40 mm.

Cíle diplomové práce:

- rešerše a popis současného stavu řešené problematiky,
- návrh nástroje pro lisování plachtových kroužků,
- analýza využití materiálu,
- analýza přetvoření lisovaného dílce.

Seznam literatury:

BOLJANOVIC, Vukota. Sheet Metal Forming Processes and Die Design. New York: Industrial Press. 2004. 219 s. ISBN 0-8311-3182-9.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

HOSFORD, William F. a Robert M CADDELL. Metal forming: mechanics and metallurgy. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011, xii, 331 s. ISBN 978-1-107-00452-8.

MARCINIAK, Zdislaw, John DUNCAN a Jack HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

HUDEČEK Marek: Návrh nástroje pro zalisování plachtových kroužků.

Práce řeší návrh nástroje pro zalisování plachtového kroužku průměru 10 mm z ocelového plechu DX51 tloušťky 0,5 mm. Kroužek je vyráběn na lisu LENA 25 C. Na základě literární studie problematiky stříhání, rozšiřování a lemování byl navržen nástroj, který slučuje děrování otvoru plachty a rozšíření konce kroužku. Je provedena studie vzhledu hrany kroužku na stereomikroskopu SSM 3-E a měření tloušťky stěny pomocí ATOS Core 80. Byla provedena simulace přetvoření při zalisování. Navržený nástroj byl experimentálně ověřen jako funkční.

Klíčová slova: stříhání, rozšiřování, simulace přetvoření

ABSTRACT

HUDEČEK Marek: Tool design for pressing of the tarp grommets.

The thesis solves the design of tools for pressing round eyelet 10 mm diameter from steel sheet of DX51 0,5 mm thick. The ring is produced on the press LENA 25 C. Based on a literary study of shearing, expanding and neck drawing, a tool was developed that combines the hole punching of the sail and expanding of the ring end. The study of the circle edge appearance on SSM 3-E stereo microscope and the measurement of wall thickness using the ATOS Core 80 was performed. A simulation of the strain on the press was performed. The proposed tool was experimentally verified as working.

Keywords: shearing, expanding, simulation of strain

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HUDEČEK, Marek. *Návrh nástroje pro zalisování plachtových kroužků*. Brno, 2017. 57s, 4 výkresy, 4 přílohy, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Jan Řiháček.

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 Ing. Jana Řiháčka.

V Brně dne 26.5.2017

.....
Marek HUDEČEK

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Janu Řiháčkovi za cenné připomínky a odborné vedení při zpracování diplomové práce. Děkuji také své rodině za morální a finanční podporu během celého studia.

ÚVOD [20], [10]

Tváření je produktivní technologie s velmi dobrým využitím materiálu a vysokou hospodárností. Během tváření za studena nastává působením vnějších sil nevratná změna tvaru polotovaru, aniž by došlo k překročení teploty rekrystalizace tvářeného materiálu. Nedojde-li k podstatné změně průřezu či tloušťky, jedná se zpravidla o plošné tváření. Mezi základní technologie, spadající do plošného tváření, patří zejména rovnání, stříhání, tažení a ohýbání. Tyto procesy lze automatizovat, a tím dochází ke snižování nákladů na výrobek.

Plachtové kroužky neboli oka slouží ke zpevnění a vyztužení zhotovených otvorů ve tkaninách a textiliích. Pro jejich výrobu jsou běžně používány plechy ze žárově pozinkované oceli, korozivzdorné oceli, mosazi a v některých případech jsou použity kroužky plastové. Pro zlepšení vzhledu a zvýšení zejména korozní odolnosti, může být zařazena povrchová úprava jako niklování nebo chromování. Kromě autoplachet bývají kroužky používány při výrobě stanů, stánků a reklamních bannerů nebo pro pergoly, přístřešky bazénů apod. Jednotlivá provedení používaných kroužků a nástroje pro jejich aplikaci jsou na obrázku 1 a). Příklady použití uvádí obrázek 1 b).



a) typy kroužků a nástroje pro lisování



b) příklady použití

Obr. 1 Plachtové kroužky a jejich aplikace [18], [15], [16].

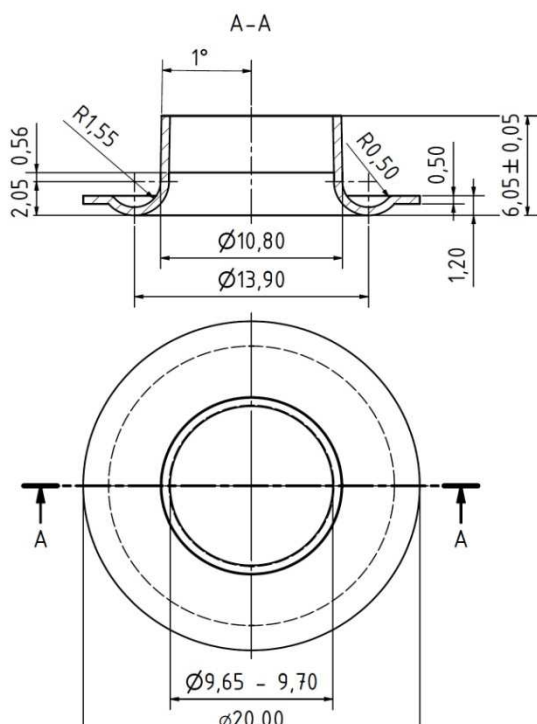
1 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO STAVU [18], [8], [26]

Příkladem tváření jsou plachtové kroužky spolu s plachtovými podložkami, které jsou vyráběny v několika tvarových variacích. Nejčastěji používaný je kruhový tvar, u kterého se vnitřní průměr pohybuje v rozmezí 8 až 40 mm a jejich výška je 5,8 až 13 mm. Dále jsou používány kroužky oválné a obdélníkové.

Problematickou výroby a následné aplikace rotačně symetrického plachtového kroužku se zabývá tato práce. Jelikož se jedná o plechový dílec, jsou k jeho optimální výrobě zvoleny technologie z oblasti plošného tváření. Geometrie dílce je znázorněna na obr. 2 v podobě 3D modelu, který byl vytvořen pomocí programu Inventor 2017 od firmy Autodesk. V podstatě se jedná o kalíšek bez dna, s přírubou obsahující prolis. Protikusem je plachtová podložka, tedy prstenec, který rovněž obsahuje prolis.



Obr. 2 Plachtový kroužek s podložkou.



Obr. 4 Základní rozměry.

a do otvoru je vložen tm průbojník. Úderem kladiva do průbojníku je volný okraj kroužku rozšířen a dojde k jeho zakroužení. Tím se přitlačí plachtová podložka ke kroužku a plachta je sevřena nerozebíratelným spojením.

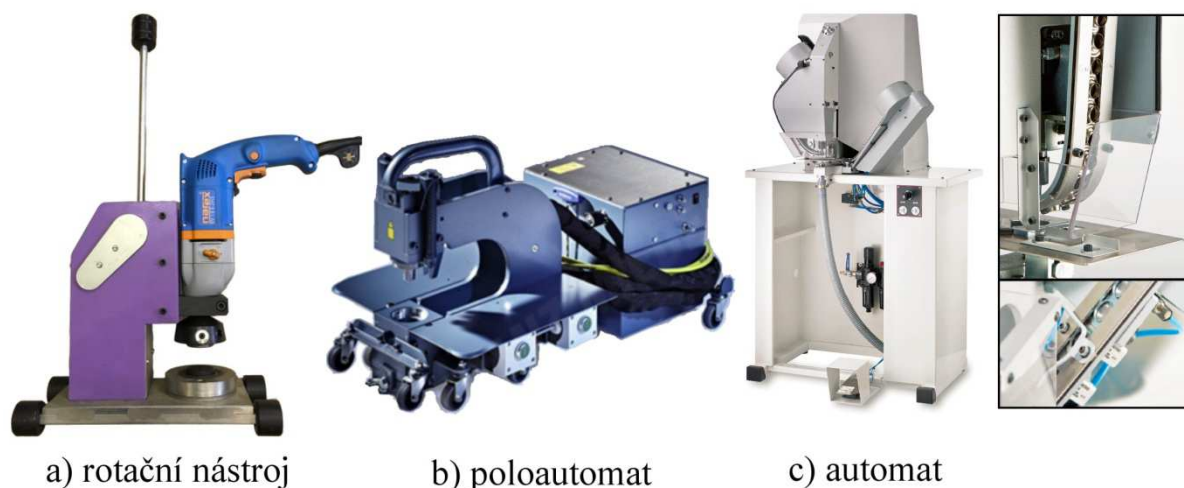
Dílec je vyráběn z plechu o tloušťce 0,5 mm. Kroužek má vnější průměr 20 mm a jeho výška je 6,05 mm. Vnitřní průměr má velikost 9,68 mm. Základní rozměry ukazuje obr. 3.

Aplikace plachtového kroužku je možná několika způsoby. Jedním z nich je aplikace za použití ručního nářadí (viz obr. 4), která se děje níže popsaným způsobem. Nejprve je nutné vytvořit v plachtě otvor úderem kladiva do děrovadla na podložce, která absorbuje přebytečnou energii. Následně je vytvořeným otvorem v plachtě prostrčen plachtový kroužek, pod který se umístí spodní část průbojníku. Poté je na kroužek nasunuta plachtová podložka



Obr. 3 Ruční nástroje na plachtové kroužky.

Dalším způsob, jak může zalisování kroužků také probíhat je pomocí rotačního nástroje, jež obsahuje tvářecí rolny (obr. 5 a). Nástroj je upevněn ve vřetenu vrtačky, která se nachází na rámu s kolečky pro snadnější manipulaci. Pomocí pákového mechanismu je rotující nástroj přitlačen ke kroužku, který se postupně rozšiřuje, až je úplně zakroužen. Firma Franz Miederhoff oHG poskytuje stroje pro poloautomatickou (obr. 5 b) nebo plně automatickou (obr. 5 c) aplikaci plachtových kroužků se speciálním tvarem. Automatický pneumatický lis prořízne tkaninu a zalisuje kroužek v jediné operaci, přičemž jsou i kroužky a podložky přiváděny k nástroji samočinně, jak ukazuje detail obrázku 5 c).



Obr. 5 Zařízení pro aplikaci plachtových kroužků [7].

Kroužek je vyráběn z ocelového plechu, který se válcuje za studena a má označení DX51D+Z275MAC. Tento plech je vhodný k ohýbání a profilování. Podle normy ČSN EN 10346, která udává technické dodací podmínky, může být rovněž značen 1.0917. Jde o nízkouhlíkovou ocel pro tváření za studena, která je žárově povlakovaná ponorem v zinkové lázni. Povlak s minimální hmotností 275 g/m^2 má malý zinkový květ. Povrch je obvyklé jakosti a projde chemickou pasivací. Tloušťka povlaku se dle normy pohybuje v rozsahu 19 až $27 \text{ }\mu\text{m}$, s typickou hodnotou $20 \text{ }\mu\text{m}$. Zvolená tloušťka plechu je $0,5 \text{ mm}$. Dle normy ČSN EN 10143 pro mezní úchytky rozměrů a tolerance tvaru, je mezní odchylka tloušťky $\pm 0,05 \text{ mm}$ pro jmenovitou šířku do 1200 mm . Základní mechanické vlastnosti a chemické složení plechu uvádí tabulky 1 a 2. Další informace o použitém materiálu jsou uvedeny v příloze č. 1.

Tab. 1 Mechanické vlastnosti materiálu [8].

Mez pevnosti v tahu	Mez kluzu	Tažnost	Modul pružnosti	Poissonovo číslo
R_m [MPa]	R_e [MPa]	A_{80} [%]	E [MPa]	μ [-]
400	330	31	210000	0,3

Tab. 2 Chemické složení oceli [8].

C [hm. %]	Si [hm. %]	Mn [hm. %]	S [hm. %]	P [hm. %]
0,045	0,006	0,203	0,008	0,014

1.1 Proces výroby [5], [3], [24], [13]

Při výrobě plachtového kroužku se uplatňuje několik technologií. Vzhledem k tomu, že jde o rotačně symetrický díl z tenkého plechu, je výroba realizována plošným tvářením pomocí excentrického lisu LENA 25 C (obr.6), jehož základní technické parametry uvádí tabulka 3 a dále příloha 2. Výrobce lisu je Šmeral Trnava.

Tab. 3 Technické parametry lisu LENA 25 C.

Jmenovitá síla	[kN]	25
Zdvih	[mm]	12 až 80
Maximální odebraná práce	[J]	630/320
Počet zdvihů za minutu	[1/min]	76/155
Instalovaný příkon (50 Hz)	[kW]	2,2
Rozměry lisu (š; v; h)	[mm]	1193; 2271; 1371
Hmotnost	[kg]	2500



Obr. 6 Excentrický lis LENA 25 C.

Při podávání plechu do lisu, se zásobní smyčka zmenšuje a zvedá při tom ovládací rameno. Jakmile je dosaženo stanovené polohy ramena, senzor sepne elektromotor a smyčka je doplněna odvíjením materiálu ze svitku.

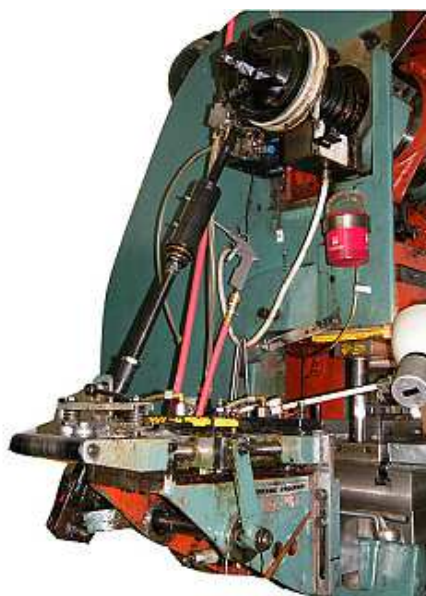
Tento lis je určen pro všechny operace lisování za studena, jako je stříhání, vystřihování, děrování, ostřihování, tažení apod. Výroba na lisech je charakteristická vysokou výrobností a malou pracností při zhotovení vylisku. Výrobnost, neboli produktivita, závisí především na tvarové složitosti a rozměrech vyráběné součásti, tloušťce materiálu, technologické složitosti, stupni přesnosti apod.

Příslušenství lisu se skládá z oboustranného odvíječe plechu QOPD 250 a podavače pásu plechu QPKP 160, které jsou zachyceny na obrázku 7. Jejich technické parametry uvádí příloha 2.

Odvíječ je určen pro odvíjení pásů plechu v podobě svitku, při jeho zpracování ve tvarovací lince. Odvíjení je prováděno automaticky v závislosti na velikosti zásobní smyčky.



a) odvíječ QOPD 250



b) podavač QPKP 160

Obr. 7 Příslušenství lisu LENA 25 C.

Mechanicko-pneumatický podavač slouží k podávání pásu plechu do nástroje při práci v automatickém režimu lisu. Podavač je vhodný zejména pro postupové nástroje a technologie zpracování pásu, které vyžadují přesnost podání, při poměrně vysokých rychlostech zpracovávaného pásu. Posuvný pohyb kleštiny je odvozen od kulisy, uchycené na výstředníkové hřídeli prostřednictvím pákového mechanismu. Střídavé sevření pásu posuvnou a pevnou kleštinou je prováděno pomocí pneumatických válců.

Plachtové kroužky jsou vyráběny ve sdruženém postupovém nástroji s nástřihem v pásu, který během jednoho zdvihu vykoná několik tvářecích operací různého druhu (stříhání, tažení, děrování, lemování). Pro názornost je na obr. 8 vyfocen nástroj pro výrobu kroužků Ø 40 mm.

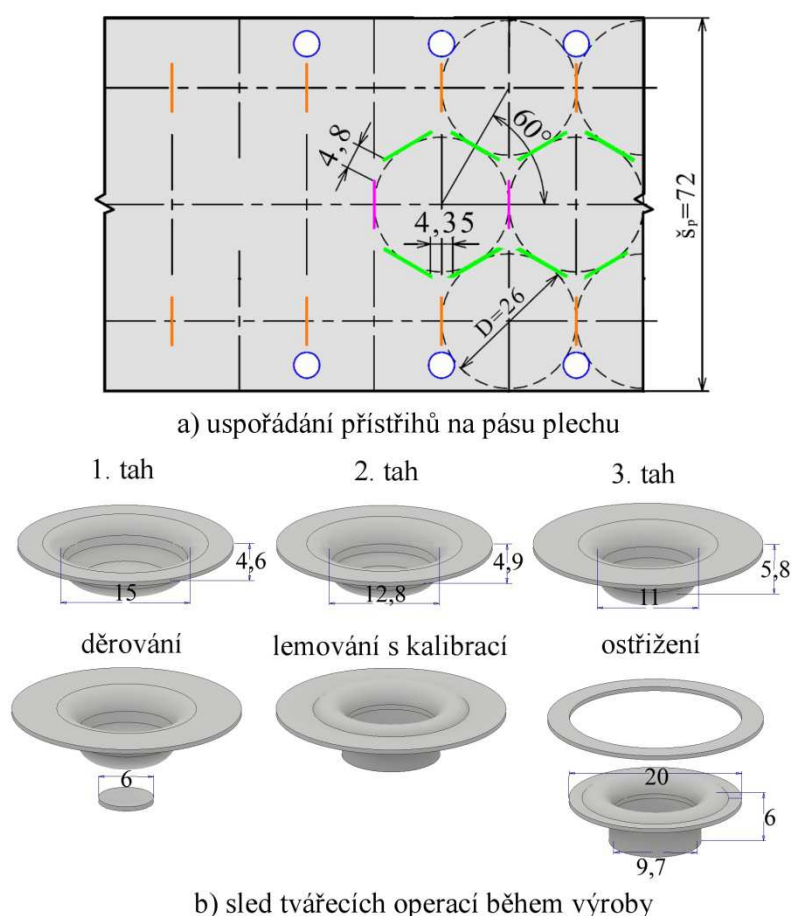


Obr. 8 Sdružený postupový nástroj pro výrobu plachtového kroužku Ø 40 mm.

U nástrojů s nástřihem v pásu může být uspořádání výtažků jednořadé či víceřadé. Přístřih je nástřihem před prvním tahem tak, že zůstává spojen s pásem můstky, které jej přenášejí mezi jednotlivými operacemi. Tah probíhá přímo z pásu materiálu, bez jeho zkrácení nebo podstatné změny tloušťky stěny. Konečný výrobek je v poslední operaci z pásu vystřižen.

Jak je vidět na obrázku 8, kroužky průměru 40 mm mají jednořadé uspořádání s dvojitým nástřihováním. V první operaci jsou vytvořeny otvory pro hledáčky, které slouží k ustavení plechu během dalších operací. Ve druhé a třetí operaci jsou zhotoveny nástřihy, které určují plochu přístřihu a tvoří můstky nesoucí polotovary. Díky dvojitému nástřihu nedochází k žádné změně rozměrů pásu během tváření. Ve čtvrtém a pátém kroku probíhá tažení kalíšku a kalibrace rozměrů. Následně je prostřiženo dno a v poslední výrobní operaci je ostřižen vnější obvod kroužku, který je tímto hotov.

Kroužky s průměrem 10 mm jsou vyráběny ze svitku plechu, který má šířku $s_p = 72$ mm. Jedná se o trojřadé uspořádání s nástřihem v pásu, jak je zobrazeno na obrázku 9 a). Jednotlivé přístřihy, které mají průměr $D_0 = 26$ mm, spolu těsně sousedí a navzájem jsou odděleny částečným nástřihem. U dvou vnějších řad je nástřih, který je na obr. 9 a) označen oranžově, vytvořen v prvním kroku. Délka tohoto nástřihu je 9 mm. Ve druhém kroku jsou vystřiženy otvory sloužící pro ustavení plechu pomocí hledáček při nadcházející střižné operaci. Tyto otvory jsou naznačeny na obr. 9 a) modře. Během třetího kroku jsou vytvořeny nástřihy délky 10 mm, které oddělují přístřihy ve střední řadě od přístřihů na krajích (značeno zeleně) a rovněž nástřih oddělující přístřihy střední řady mezi sebou (značeno fialově). Přístřihy jsou dále tvářeny v šesti operacích, jak naznačuje obrázek 9b).



Obr. 9 Postup výroby plachtového kroužku Ø 10 mm..

První tah je pozvolný, aby došlo k co nejmenšímu úběru materiálu z přístřihu. V nadcházejícím druhém a třetím tahu je postupně kalíšek tvarován a po třetí tažné operaci dosahuje průměru 11 mm a výšky 5,8 mm. V další operaci je do dna kalíšku vyděrován otvor průměru 6 mm, který je v nadcházejícím kroku lemován. Zároveň dochází ke kalibraci rozměrů a vytvoření prolisu v přírubě. V poslední výrobní operaci je kroužek vystřižen z pásu plechu a propadává do sběrné nádoby. Následně se kroužky omílají, aby došlo ke sražení ostřin a spolu s podložkami se balí a uskladňují.

Pro určení hospodárnosti výroby plechových dílců, je podstatným faktorem míra využití materiálu, který do procesu vstupuje. Aby bylo možné spočítat procentuální využití svitku, je třeba určit střední plochu vyráběné součásti.

Jeden ze způsobů jak určit plochu kroužku je pomocí povrchu modelu stanoveného programem Inventor 2017 (příloha 3). Jelikož program uvádí celkový povrch modelu, je plocha plachtového kroužku určena jako poloviční hodnota obsahu pláště modelu:

$$S_{kr} = \frac{S_{mod}}{2} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (1.1)$$

$$\text{kde: } S_{kr} - \text{střední plocha kroužku} \quad [\text{mm}^2]$$

$$S_{mod} - \text{povrch modelu} \quad [\text{mm}^2]$$

$$S_{kr} = \frac{853,54}{2} = 426,77 \text{ mm}^2$$

Druhou možností, jak určit střední plochu kroužku, je jeho rozdělení na jednoduché části a následné sečtení jejich ploch. Vzorce pro určení obsahu ploch jsou uvedeny v příloze 2. Rozměry se vztahují ke střední tloušťce materiálu:

Plochy příruby A_1 :

$$A_1 = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{kr}^2 - D_{kr1}^2)$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} \cdot (20^2 - 17^2) = 87,18 \text{ mm}^2$$

Plocha zaoblení přechodu příruby do prolisu A_2 :

$$A_2 = \pi \cdot [(D_{kr1} - 2 \cdot r_{kr1}) \cdot f_{kr1} + 2 \cdot r_{kr1} \cdot h_{kr1}]$$

$$A_2 = \pi \cdot [(17 - 2 \cdot 0,25) \cdot 0,21 + 2 \cdot 0,25 \cdot 0,09] = 10,93 \text{ mm}^2$$

Plochy prolisu A_3 :

$$A_3 = \pi \cdot [(D_{kr2} - 2 \cdot r_{kr2}) \cdot f_{kr2} - 2 \cdot r_{kr2} \cdot h_{kr2}] + \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot D_{kr2} \cdot r_{kr2} - 4 \cdot r_{kr2}^2)$$

$$A_3 = \pi \cdot [(16,61 - 2 \cdot 1,8) \cdot 1,49 - 2 \cdot 1,8 \cdot 0,62] + \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 13,9 \cdot 1,8 - 4 \cdot 1,8^2)$$

$$A_3 = 161,77 \text{ mm}^2$$

Plocha válcové části A_4 :

$$A_4 = \pi \cdot D_{kr3} \cdot h_{kr3} = \pi \cdot 10,3 \cdot 0,55 = 18,12 \text{ mm}^2$$

Plocha kuželové části A_5 :

$$A_5 = \frac{\pi}{2} \cdot f_{kr3} \cdot (D_{kr3} + D_{kr4}) = \frac{\pi}{2} \cdot 3,44 \cdot (10,3 + 10,18) = 114,02 \text{ mm}^2$$

Celková plocha

$$S_{kr} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5$$

$$S_{kr} = 87,18 + 10,93 + 161,77 + 18,12 + 114,02 = 392,02 \text{ mm}^2 \quad (1.2)$$

Pro další výpočet bude jako střední plocha kroužku uvažována hodnota určená vztahem (1.1) $S_{kr} = 426,8 \text{ mm}^2$.

Svitky jsou dodávány obvykle po několika kusech, připevněny k paletě pomocí ocelové stahovací pásky, buď s horizontální nebo vertikální orientací osy svitků. Jejich vnitřní průměr je 508 mm nebo 610 mm a maximální vnější průměr 1800 mm. [2] Rozměry svitku:

vnitřní průměr svitku $d_{sv} = 508 \text{ mm}$,

vnější průměr svitku $D_{sv} = 1000 \text{ mm}$.

Hmotnost svitku m_{sv} :

$$m_{sv} = \pi \cdot \frac{D_{sv}^2 - d_{sv}^2}{4} \cdot \rho \cdot 10^{-9} \text{ [kg]} \quad (1.3)$$

kde: ρ – měrná hmotnost oceli.

[kg/m³]

$$m_{sv} = \pi \cdot \frac{1000^2 - 508^2}{4} \cdot 72 \cdot 7850 \cdot 10^{-9} = 329,35 \text{ kg}$$

Rozvinutá délka svitku L_{sv} :

$$L_{sv} = \frac{m_{sv}}{\rho \cdot t_0 \cdot 10^{-9}} \text{ [mm]} \quad (1.4)$$

$$L_{sv} = \frac{329,35}{72 \cdot 0,5 \cdot 7850 \cdot 10^{-9}} = 1165428 \text{ mm}$$

Množství kusů vyrobených ze svitku n_v :

$$n_v = \frac{L_{sv} \cdot n_k}{k} \text{ [-]} \quad (1.5)$$

kde: n_k – počet výlisků v jenom kroku

[-]

$$n_v = \frac{1165428 \cdot 3}{26} = 134472 \text{ ks}$$

Součinitel využití materiálu η podle (2.11):

$$\eta = \frac{S_c}{S_p} \cdot 100 = \frac{n_v \cdot S_{kr}}{L_{sv} \cdot \rho} \cdot 100$$

$$\eta = \frac{134472 \cdot 426,8}{1165428 \cdot 72} \cdot 100 = 68,39\%$$

Přestože se jedná o kruhový dílec, u kterého je složitější dosáhnout vysokého využití materiálu u polotovaru v podobě pásu plechu, jsou v tomto případě zužitkovány více jak dvě třetiny plechu, který do procesu tváření vstupuje. Toho je docíleno částečně i tím, že je do dna výtažku prostřižen otvor, který se v zápětí lemuje, tudíž je využita i část materiálu dna pro navýšení kuželové oblasti kroužku.

Ve shrnutí je plachtový kroužek vyráběn a aplikován následujícími operacemi:

- nastřižení přístřihu na páse,
- postupné tažení kalíšku,
- děrování otvoru,
- lemování okrajů otvoru a kalibrace,
- ostřižení vnějšího obrysu,
- omílání,
- prostřižení plachty,
- zalisování kroužku.

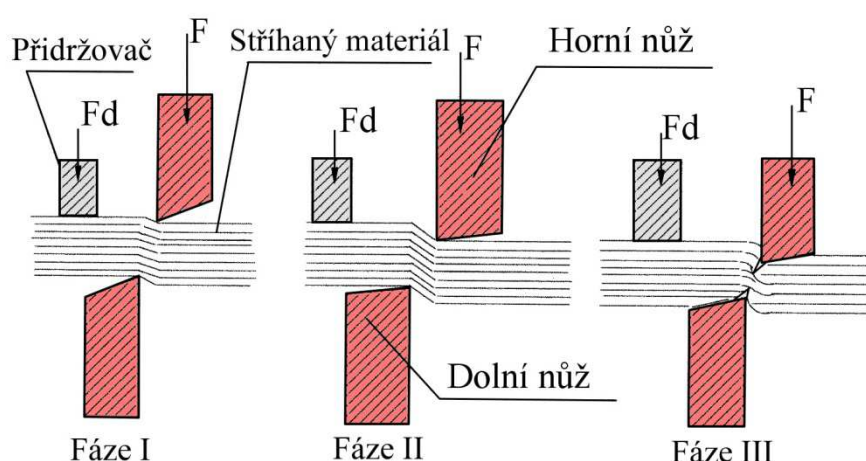
Z tohoto současného způsobu výroby a použití plachtových kroužků se zdá být pro optimalizaci výhodné, sloučit poslední dva kroky, tedy prostřižení plachty a zalisování plachtového kroužku, do jedné operace. Na tuto problematiku bude zaměřena literární řešerše a následně i experimentální část.

2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ [20], [11], [12], [4], [1]

Stříhání patří mezi základní způsoby dělení materiálu. Na rozdíl od ostatních tvářecích operací, je jeho cílem dosáhnout porušení materiálu. Stříhání může být rozděleno podle různých hledisek:

- na základě technologie: na plošné stříhání (zejména plechů a pásů) a objemové stříhání (dělení tyčí, trubek a profilů),
- dle teploty za jaké probíhá na stříhání: za studena a za tepla,
- dle konstrukčního provedení střížných nástrojů: na stříhání rovnoběžnými, kotoučovými nebo tvarovými noži,
- podle použití stříhané součásti: na výrobu polotovarů nebo vystřihování konečného výrobku.

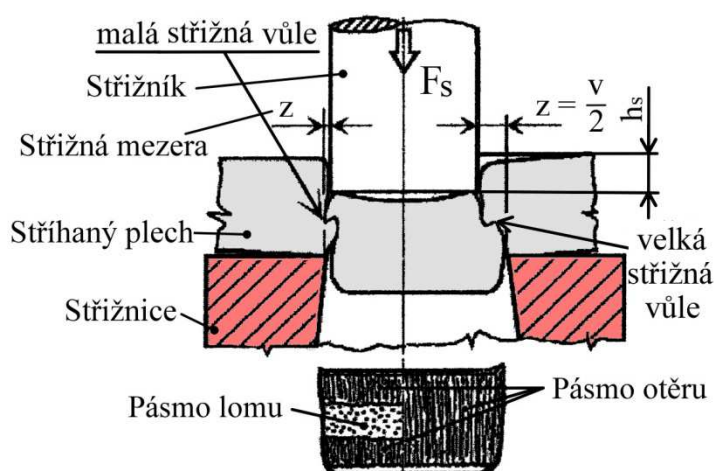
Během stříhání proti sobě působí dva protilehlé nože nebo střížné hrany, které jsou vůči sobě posunuty o střížnou mezeru a současně vnikají do materiálu. Celý průběh lze rozdělit do tří fází stříhu, jak je vidět na Obr. 10. V první fázi dosedá horní nůž na stříhaný



Obr. 10 Průběh stříhání [11].

materiál a vniká do něj v rámci pružných deformací. Není překročena mez pružnosti a hloubka vniknutí je 5 až 8 % tloušťky materiálu v závislosti na mechanických vlastnostech. Ve druhé fázi je působící napětí větší než mez kluzu σ_e a dochází k plastické deformaci. Horní nůž zasahuje do hloubky 10 až 25 % původní tloušťky, a to podle mechanických vlastností materiálu. Během třetí fáze je dosaženo meze pevnosti ve stříhu σ_s . Pod břity nožů vznikají trhliny, které se šíří a spojují, až dojde k odstřížení plechu. Velikost vniknutí nože do materiálu v okamžiku ustřížení může být různá. U křehkého a tvrdého materiálu dojde k náhlému ustřížení při vniknutí hrany $h_s \approx 0,1 \cdot t_0$, zatímco v případě houževnatého, měkkého materiálu se trhliny šíří pomaleji a k oddělení dojde až při hodnotě $h_s \approx 0,6 \cdot t_0$.

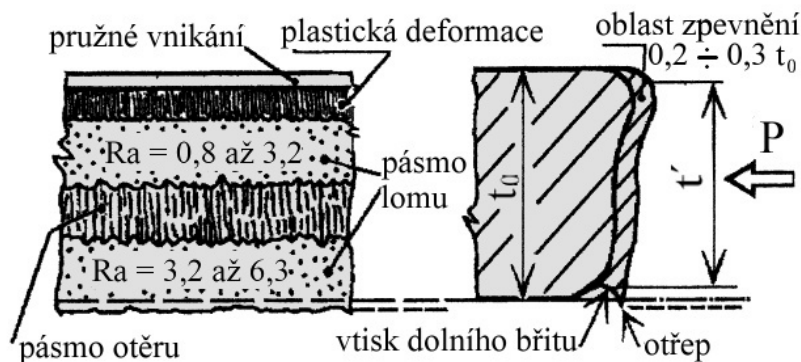
Střížný proces je provázen nežádoucí plastickou deformací, která je úzce spjata s kvalitou a přesností střížné plochy. Hlavními faktory, ovlivňujícími její jakost, jsou mechanické vlastnosti stříhaného materiálu, kvalita střížného nástroje, způsob stříhání a zejména velikost střížné mezery. Pokud je střížná vůle příliš velká, dojde na střížné ploše ke zvětšení pásma otěru, jak ukazuje Obr. 11. Obdobně je tomu i pokud je střížná vůle malá.



Obr. 11 Vliv střížné vůle na stříhání [14].

Pokud je střížná vůle zvolena správně, skládá se střížná plocha z oblasti od pružného vníkaní nástroje do materiálu, z oblasti plastické deformace, z pásma otěru a pásma lomu jak je vidět na Obr. 12. V okolí střížné plochy dochází k trvalé deformaci, se kterou úměrně narůstá zpevnění a nastává pokles tvárnosti materiálu.

Velikost mechanicky zpevněné vrstvy je závislá na vlastnostech, původní struktuře a tloušťce stříhaného materiálu, dále na velikosti střížné mezery a na stavu břitů funkčních částí. Zpevněná vrstva se pohybuje kolem 20 až 30 % tloušťky plechu.



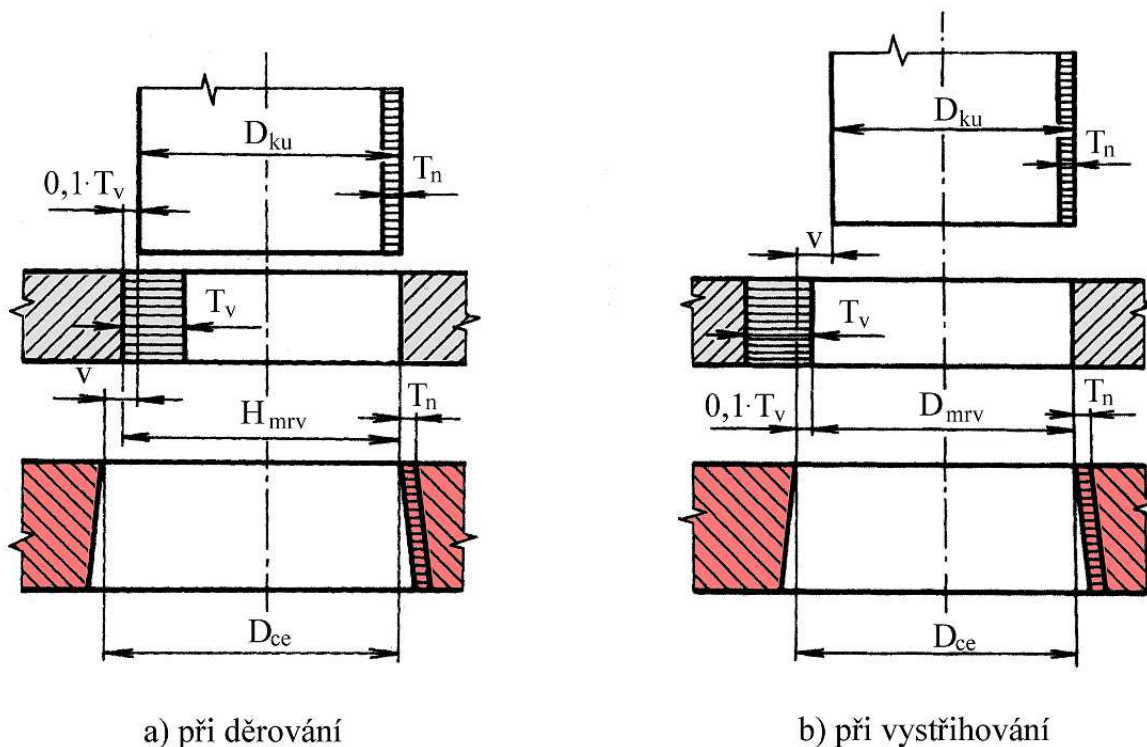
Obr. 12 Střížná plocha při optimální střížné vůli [14].

2.1 Střížná vůle [1], [20], [11], [3]

Střížná vůle γ mezi střížnými částmi nástroje je dána rozdílem mezi jmenovitým rozměrem střížníku a střížnice. Její velikost má přímý vliv na průběh stříhu a kvalitu střížné plochy, na velikost střížné síly a na trvanlivost břitů střížníku a střížnice. Střížná mezera γ je vzdálenost střížných hran (břitů) a odpovídá poloviční velikosti střížné vůle $z = \gamma/2$.

Pokud se jedná o operaci děrování, je střížná mezera realizována zvětšením rozměru střížnice (Obr. 13 a). Je-li cílem vytvoření přesného výstřížku, volí se střížná vůle na úkor střížnice (Obr. 13 b).

Optimální střížná vůle je dosaženo tehdy, když je získána požadovaná kvalita střížné plochy při vynaložení co nejmenší střížné síly. Potom je zaručeno, že vznikající trhliny se



Obr. 13 Rozložení tolerančních polí obrobku a nástroje [6].

setkají a nastane správné usmýknutí stříhané plochy. Velikost střížné vůle se nejčastěji pohybuje v intervalu 3 až 20 % tloušťky stříhaného materiálu. Dle Oehlera je možné stanovit střížnou vůli pro plechy do 3 mm následujícím vztahem:

$$z = \frac{v}{2} = 0,32 \cdot c \cdot t_0 \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

kde: c – součinitel závislý na stupni stříhu (0,005 až 0,025), [-]
 t_0 – tloušťka stříhaného plechu, [mm]
 τ_s – mez pevnosti ve stříhu. [MPa]

Pro plechy s tloušťkou větší než 3 mm:

$$z = \frac{v}{2} = 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot t_0 - 0,15) \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]} \quad (2.2)$$

Součinitel, závislý na stupni stříhu, ovlivňuje kvalitu střížné plochy a velikost střížné síly. Pokud je požadován kvalitní povrch, volí se součinitel 'c' co nejnižší. Pokud je požadavkem snížení střížné síly, volí se součinitel blízký horní hranici intervalu ve vzorci (2.1).

Střížná mezera musí mít stejnou velikost podél celé střížné křivky. Pokud tomu tak není, vznikají po obvodu ostřiny, povrchové vady a střížná plocha není kvalitní. Podobné závady vznikají rovněž při otupených břitech funkčních částí. Pokud je otupený břit na střížníku, dojde na vystřížené součásti ke znehodnocení střížné plochy. Otupí-li se střížnice, vzniká ostřina kolem děrovaného otvoru. Pokud jsou otupeny oba břity, vytvoří se ostřiny jak po obvodu výstřížku, tak u vzniklého otvoru.

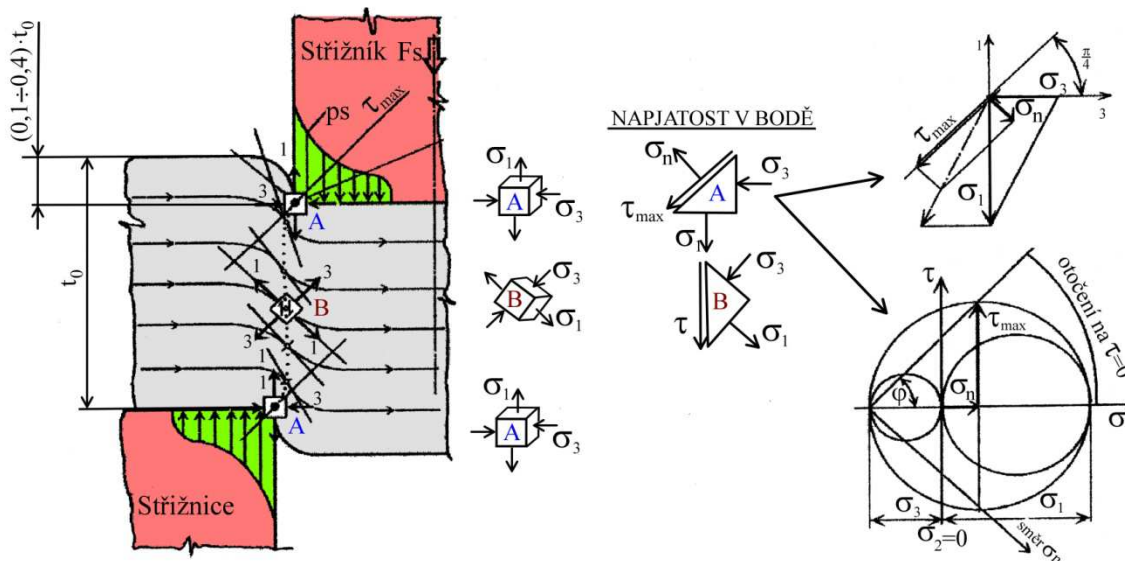
2.2 Napjatost a deformace při stříhání [11], [1]

U volného stříhání je uvažován rovinný stav deformace, kde z fyzikálních předpokladů plyne, že $\varepsilon_2 = 0$. Zkoumání napětí v okamžiku lomu prokázala, že prostřední napětí na břitu $\sigma_2 \approx 0$ a je tedy možné předpokládat také rovinný stav napjatosti, kde tlakové napětí $\sigma_3 \approx -\sigma_1/2$. K porušení soudržnosti materiálu musí přetvárný odpor ve střížné ploše dosáhnout meze pevnosti v tahu R_m . Po aplikaci do podmínky plasticity obdržíme vztah určující hodnotu meze pevnosti ve stříhu:

$$\tau_s = \sigma_1 = 0,77 \cdot R_m \text{ [MPa]} \quad (2.3)$$

Napětí ve stříhu je rovněž označováno jako deformační odpor ve stříhu nebo střížný odpor, který je popsán jako schopnost stříhaného materiálu bránit se proti oddělení. Závisí na mnoha činitelích, jako je rychlost stříhání, velikost tření, mazání, chlazení, míra otupení střížných hran nástroje a zejména na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu. S klesající tvárností a zvyšující se mezí pevnosti ve stříhu narůstá. Stejný efekt má vzrůstající rychlost stříhání. Naopak u větší tloušťky materiálu s delší křivkou stříhu se střížný odpor zmenšuje. Další snížení střížného odporu je možné zajistit například mazáním.

Během děrování a vystřihování je uzavřená střížná křivka tvořena obrysem nože. Střížná mezera 'z' mezi střížníkem a střížnicí, společně s polohou působíště svislých složek střížné síly, tvoří ohybový moment, který se navenek jeví jako vyvážený. Ovšem u malých výstřížků, které jsou vyrobeny z plechu větších tloušťek, může ohybový moment způsobit nežádoucí plastické deformace. Střížná síla je navýšena účinkem tření v místě pružně svírané střížné plochy při protlačování výstřížku. Materiál, nacházející se mezi střížnými hranami, uvolňuje místo vnikajícím břitům, přičemž je natahován za současného vytlačování do stran. Rovnoběžné vrstvy materiálu se prodlužují a do značné míry mění svoji křivost. Břity se k sobě postupně přibližují a zmenšují tloušťku plechu.



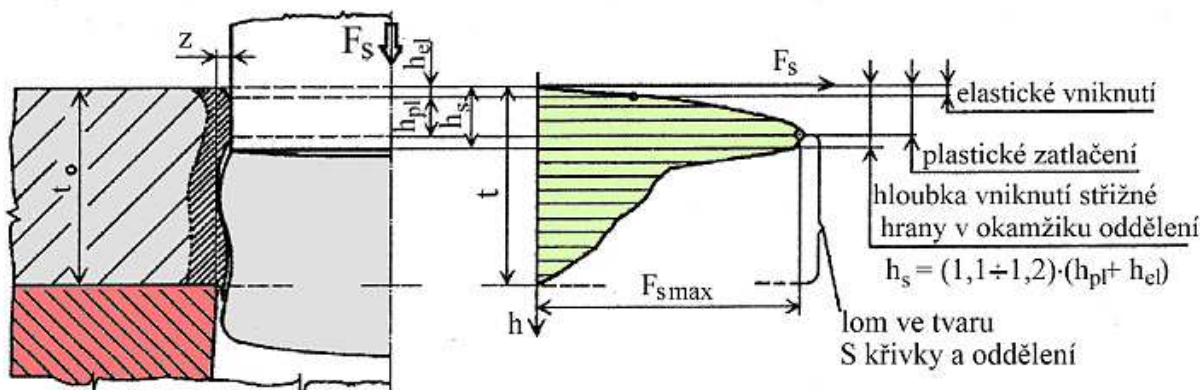
Obr. 14 Rozbor napjatosti při uzavřeném stříhání [14].

V těsné blízkosti střížných hran střížníku a střížnice (body A) je prostorový stav deformace. Hlavní tahové napětí σ_1 , které je určeno vztahem (2.3), dosahuje v bodě A svého maxima. Hlavní tlakové napětí σ_3 zde má velikost přibližně poloviny σ_1 . Vektorovým součtem složek hlavních napětí v bodě A (Obr. 14) je zjištěno, že kolmo k rovině největšího smykového napětí účinkuje tahová normální složka σ_n , která rozevírá trhliny a kladně tak působí k jejich šíření. Působením změny orientace křivosti vrstevnic směrem od střížné hrany do středu plechu nastává změna natočení roviny τ_{max} . To má za důsledek vytvoření střížné plochy ve tvaru písmene „S“. Uprostřed tloušťky v bodě B působí čistý smyk a platí, že $\sigma_1 = |\sigma_3|$, $\sigma_2 = 0$.

2.3 Střížná síla a práce [11], [3], [23]

Pro stříhání je nutné, kromě vlastního stříhacího nástroje, mít správně zvolený lis. Během celého procesu nesmí být nikdy překročena jmenovitá síla lisu, jinak by hrozilo nebezpečí poškození stroje. Z tohoto důvodu je nezbytné znát velikost a průběh střížné síly.

Křehké materiály s malým rozdílem mezi mezí pevnosti a mezí kluzu jsou ustříženy již při malém proniknutí střížného nástroje do stříhaného materiálu. U měkkých materiálů, které mají výraznější rozdíl mezi mezí kluzu a pevností, nejprve střížník částečně pronikne do stříhaného materiálu a až následně dojde k jeho oddělení. Střížný odpor v průběhu střížného procesu vzrůstá díky zpevňování od meze kluzu až po mez pevnosti.



Obr. 15 Průběh střížného procesu a střížné síly [11].

Typickou závislost velikosti sřížné síly na hloubce vniknutí sřížníku zobrazuje Obr. 15. Po krátkém pružném vniknutí břitu h_{el} , kdy dochází k napěchování kovu, nacházejícího se pod břitem, nastává plastická deformace h_{pl} . Přesto, že dochází ke zmenšení sřížné plochy, se vlivem lokálního zpevnění projevuje plynulý nárůst síly. Jakmile se začnou tvořit první trhliny, dojde k mírnému a pozvolnému poklesu sřížné síly, dokud není dosaženo hloubky vniknutí h_s . Pak dochází k úplnému porušení lomem ve tvaru křivky „S“ po kterém následuje oddělení výsřížku a pokles sřížné síly, který je zapříčiněn vzájemným otěrem vytvořených ploch.

Sřížná síla pro děrování a vystřihování se určí na základě geometrických podmínek dle Obr. 15, známého obvodu sříhu a meze pevnosti ve sříhu (rov 2.3):

$$F_s = n_s \cdot L \cdot (t_0 - h_s) \cdot \tau_s = (1 \div 1,3) \cdot L \cdot (t_0 - h_s) \cdot 0,77 \cdot R_m \quad [N] \quad (2.4)$$

kde: n_s – zvyšující koeficient zahrnující účinek vnějších podmínek

při sříhání, jako nerovnoměrnost napjatosti, tloušťky

plechu a zejména zhoršení jakosti sřížných hran,

[-]

L – délka křivky sříhu,

[mm]

h_s – hloubka vniknutí sřížné hrany v okamžiku oddělení.

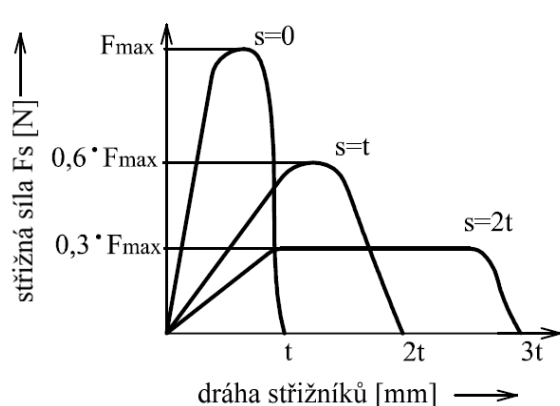
[mm]

Tento vzorec je v případě děrování použitelný, je-li poměr průměru sřížníku minimálně roven tloušťce sříhaného materiálu $d / t_0 \geq 1$. V případech, kdy je tloušťka větší než průměr sřížníku, dochází k výraznému zvýšení napětí ve sříhu a vztah dle rovnice 2.4 není platný.

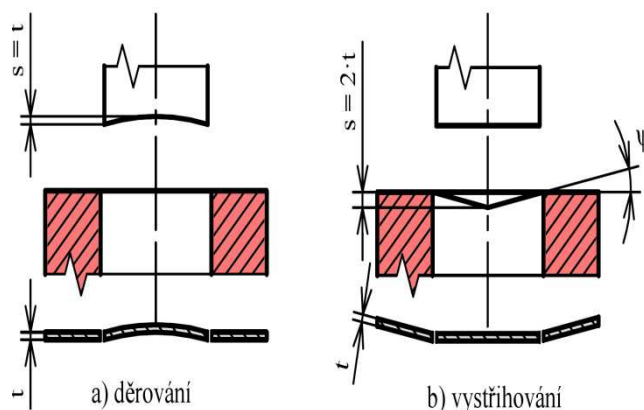
Na velikost sřížné síly a kvalitu sřížné plochy má značný vliv míra otupení sřížných hran nástroje. Otupení je spojeno se třením mezi sřížnou hranou a materiálem. Čím větší bude tření, vyšší měrný tlak na sřížné hraně nebo horší kvalita materiálu, tím dříve nastane nepřijatelné otupení sřížných hran. Kvůli snížení tření se například odstraňují okraje z povrchů materiálů, které se vytvořily. Jako mezní hodnota přípustného poloměru otupení břitu je brána desetina tloušťky plechu.

Velikost sřížné síly lze zmenšit úpravou sřížných břítů. V zásadě se jedná o dva způsoby:

- Zkosení sřížných břítů sřížníku nebo sřížnice, které způsobí pokles maximální sřížné síly díky zešíkmení sřížných hran. To má za následek postupný průběh sříhu. Zkosení může být realizováno jak na sřížníku, tak na sřížnici. V případě děrování se volí rovná sřížnice a zkosený sřížník, aby nedocházelo k deformaci součásti, ale odpadu. U vystřihování má sřížník rovné čelo, takže výsřížek je rovný, zatímco se deformuje pás působením zkosené sřížnice. Oba případy jsou zobrazeny na Obr. 16 a pokles sřížné síly na Obr. 17. Pokud má křivka sříhu složitější tvar, zkosení hran se nepoužívá.



Obr. 17 Snížení sřížné síly zkosením sřížných břítů [8].

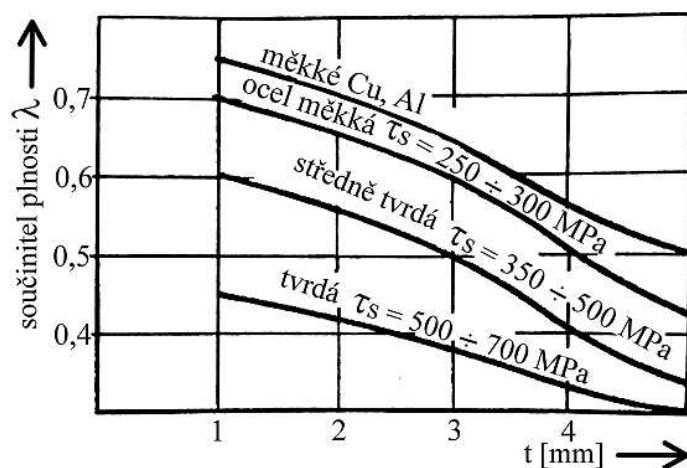


Obr. 16 Příklad zkosení sřížných břítů [8].

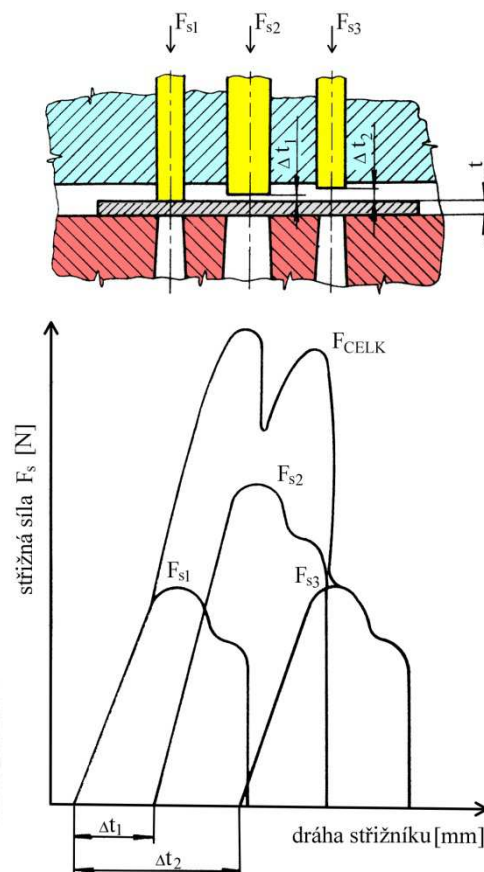
- Různá délka střížníků způsobí pokles střížné síly během prostřihování či děrování více nástroji. Tak nedochází ke stříhu všech obrysů současně, ale stříh je rozložen na delší dráhu pohybu beranu lisu (obr. 19).

Potřebná střížná práce 'A' při stříhání rovnoběžnými střížnými hranami je přímo úměrná střížné síle a součiniteli plnosti 'λ'. Současně je rovna obsahu plochy pod křivkou střížné síly viz Obr. 15. Součinitel plnosti diagramu $F_s - h$ pro běžnou velikost střížné vůle je pro vybrané materiály určen grafem, který je vidět na Obr. 19. Velikost střížné práce se výpočtem stanoví podle následujícího vzorce:

$$A = \lambda \cdot F_{s, \max} \cdot t \quad [J] \quad (2.5)$$



Obr. 19 Graf pro určení součinitele plnosti [14].



Obr. 18 Snížení střížné síly střížníky různé délky [8].

V případě malé střížné vůle se součinitel plnosti zvětšuje. Z důvodu určité tolerance tloušťky stříhaného materiálu a jeho pevnosti, je třeba brát v úvahu jistou rezervu potřebné práce, která činí až 10%.

2.4 Stírací a protlačovací síla [8], [13]

Během stříhání uzavřeného obrysu ulpí výstřížek či odpad, díky vzniklé pružné deformaci, na vnější ploše střížníku nebo střížnice. Aby byl setřen, je třeba na něj působit jistou silou. Velikost této síly je závislá na druhu a tloušťce stříhaného materiálu, na složitosti tvaru a velikosti výstřížku, na působení maziva a rozměru střížné vůle. U jednoho jednoduchého střížníku bude stírací síla menší, než v případě více střížníků, umístěných blízko u sebe. Při stříhání běžných ocelí je stírací síla zhruba 10 % střížné síly. Empirický vztah pro určení stírací síly, kde součinitel stírání 'k_{su}' je v tabulce 4:

$$F_{st} = F_s \cdot k_{su} \quad [N] \quad (2.6)$$

kde: k_{su} – součinitel stírání. [-]

Obdobně je tomu při protlačování výstřížku skrz střížnici, kde rovněž působí pružné deformace. Tato protlačovací síla je podobné povahy jako stírací a určuje se následovně:

$$F_{pr} = F_s \cdot k_{pe} \quad [N] \quad (2.7)$$

kde: k_{pe} – součinitel protlačení. [-]

Tab. 4 Hodnoty součinitele stírání a protlačování [23].

Materiál	Součinitel	
	k_{su} [-]	k_{pe} [-]
Ocel (t = 1 až 5 mm)	0,02 až 0,16	0,005 až 0,08
Mosaz	0,06 až 0,07	0,04
Slitiny hliníku	0,09	0,02 až 0,04

2.5 Těžiště střížných sil [3], [23], [20]

Střížné nástroje jsou k beranu lisu nejčastěji upevněny pomocí stopek. U postupových a sdužených nástrojů, kde dochází k několika tvářecím operacím současně, je vyžadováno, aby výslednice působících sil byla v ose lisu, tedy v místě, kde se nachází stopka. Kdyby tomu tak nebylo, vznikaly by klopné momenty, jež způsobují nepřesnost výroby a nadměrné opotřebení nástroje a stroje.

Působíště výslednice sil je možné zjistit výpočtem, graficky nebo pomocí programu. V případě jednoduchých tvarů střížného obrysu je jeho délka přímo úměrná velikosti střížné síly. U grafické metody určení těžiště se používá vláknový polygon, jak je vyobrazeno na obr. 20 a). Při výpočtové metodě (obráz. 20 b) se vychází z rovnováhy momentů působících sil k vybrané přímce (obvykle osa x nebo y). Dle vzorců (2.8) a (2.9) pak lze určit těžiště ve směru osy x a obdobně je tomu pro osu y (2.10):

$$F_x \cdot X = F_1 \cdot c + F_2 \cdot a + F_3 \cdot b + \dots + F_n \cdot z \quad [\text{N}] \quad (2.8)$$

$$\text{kde: } F_x - \text{suma střížných sil (} F_x = F_1 + F_2 + F_3 \text{)}, \quad [\text{N}]$$

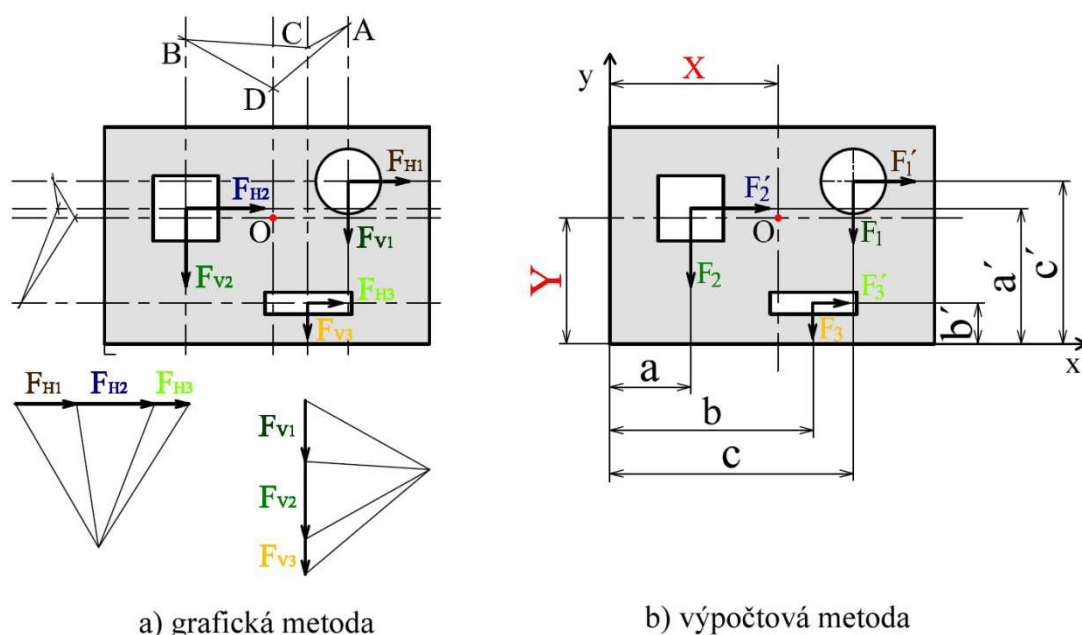
$$X - \text{vzdálenost těžiště ve směru osy x,} \quad [\text{mm}]$$

$$a_x, b_x, c_x - \text{souřadnice sil } F_2, F_3, F_1 \text{ ve směru osy x.} \quad [\text{mm}]$$

Z toho plyne:

$$X = \frac{F_1 \cdot c + F_2 \cdot a + F_3 \cdot b + \dots + F_n \cdot z}{F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n} \quad [\text{mm}] \quad (2.9)$$

$$Y = \frac{F_1' \cdot c' + F_2' \cdot a' + F_3' \cdot b' + \dots + F_n' \cdot z'}{F_1' + F_2' + F_3' + \dots + F_n'} \quad [\text{mm}] \quad (2.10)$$



Obr. 20 Těžiště střížných sil [20].

2.6 Nástřihový plán [3], [14], [20]

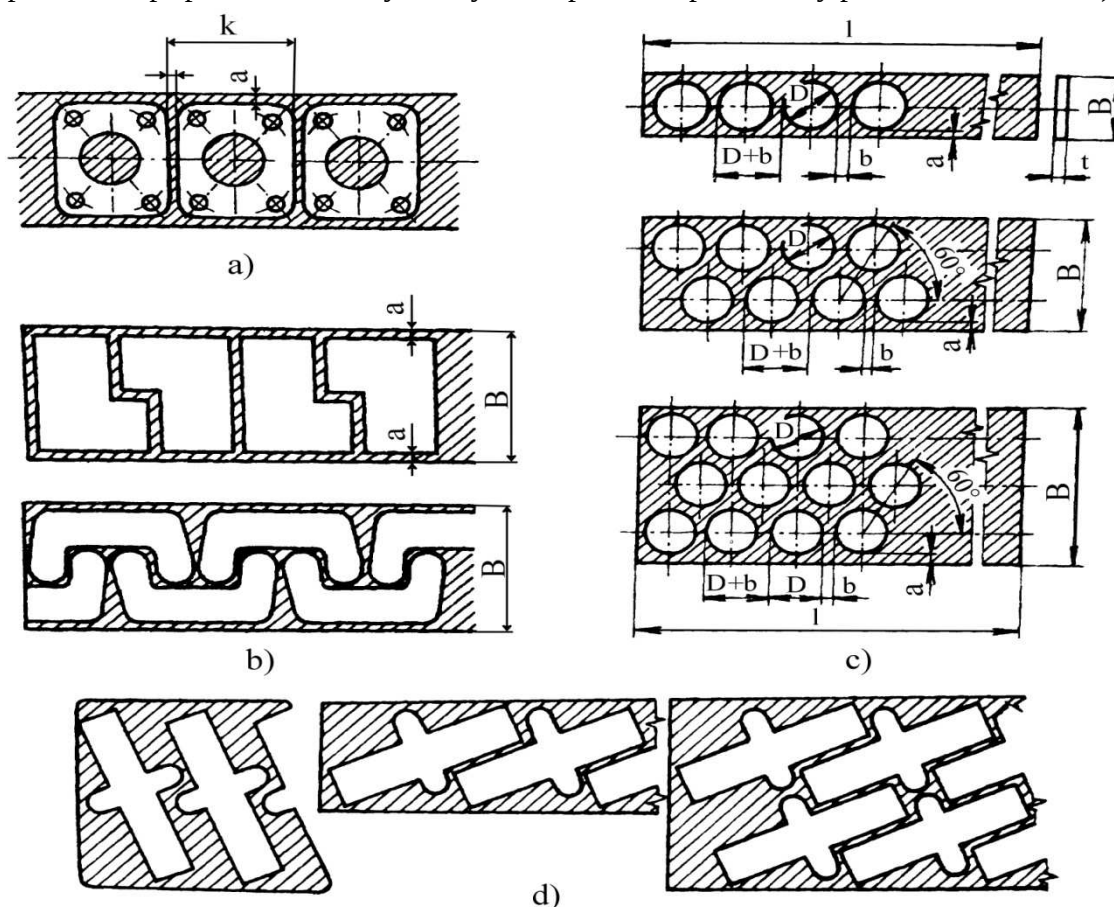
Z důvodu dobré hospodárnosti výroby musí být polotovary ve formě tabulí, pásů nebo svitků využit v maximální možné míře. Toho je docíleno vhodným rozmístěním stříhaných dílů na výchozím polotovaru. Co nejmenší spotřeba materiálu při lisování patří mezi hlavní atributy technicko-ekonomického hodnocení, protože z celkové ceny výrobku činí náklady na materiál 60 až 80 %.

Většinou je navrženo několik variant uspořádání výstřižků na polotovaru, které se vyhodnotí a je z nich zvoleno optimální rozmístění s nejvyšším využitím materiálu.

Nástřihový plán je třeba správně zvolit zvláště v případě velkosériové a hromadné výroby, kde jsou používány složité nástroje s vysokou cenou. Rozložení a orientace výstřižků na polotovaru jsou dány:

- rozměry a tvarem výstřižku (tvar je vhodné upravit tak, aby mohly být výstřižky kladeny vedle sebe nebo za sebou s co možná nejmenším odpadem),
- směrem vláken materiálu,
- způsobem umístění do tvářecího stroje,
- kvalitou a tloušťkou materiálu (u menších tlouštěk materiálu lze docílit zvýšení tuhosti a pevnosti v ohybu výstřižku prolisem či žebry).

Rozměry polotovaru a rozložení výstřižků je dáno jejich tvarem a rozměry viz obr. 21 a). U komplikovanějších tvarů mohou být výstřižky rozloženy optimálně s ohledem na lepší využití výchozího materiálu obr. 21 b). Pokud jde o malosériovou výrobu, bývá nejčastěji užito uspořádání jednořadé, zatímco při velkém počtu vyráběných kusů se volí dvou i víceřadé uspořádání. To ovlivňuje míru využití materiálu, jako v případě lisování kruhové součásti viz obrázky 21 c), kde je pro jednu řadu využití asi 57 %, pro dvě řady 65 % a v posledním případě 67,4 %. Výstřižky lze uspořádat i podle šířky polotovaru obr. 21 d).



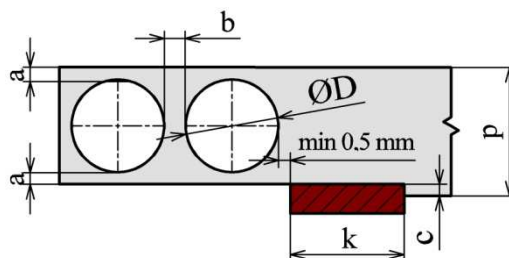
Obr. 21 Nástřihový plán - uspořádání výstřižků [6].

Hospodárnost nástřihového plánu charakterizuje součinitel využití materiálu, který je v následujícím vzorci:

$$\eta = \frac{S_c}{S_p} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (2.11)$$

kde: S_c – celková plocha všech součástí, [mm²]
 S_p – plocha polotovaru. [mm²]

Kvůli dodržení dostatečné kvality výstřižku a zajištění bezproblémového posouvání odpadu v postupovém stříhadle, je nezbytné dodržet určitou mezeru mezi jednotlivými výstřižky. Tato mezeru se nazývá můstek a závisí především na tloušťce plechu, jeho šířce a tvaru výstřižku. Také musí být dodržena minimální vzdálenost mezi výstřižkem a okrajem plechu viz obr. 22. Hodnoty můstku pro kruhový obrys jsou uvedeny v tabulce 5.



Obr. 22 Volba kroku a šířka pásu [8].

Tab. 5 Šíře odpadu při děrování [3].

Tloušťka plechu [mm]	Šířka pásu [mm]											
	do 15		15 až 50		50 až 100		100 až 200		200 až 300		nad 300	
	Rozměr a, b [mm]											
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
0,1 až 0,9	1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	2	3				
1	1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	2	3,8	2,5	5,2	3	6,6
1,3	1,1	1,4	1,6	2	2,1	2,5	3,1	3,8	4	5,3	5	6,7
1,5	1,2	1,5	1,7	2,2	2,2	2,7	3,2	4	4,3	5,4	5,4	6,8
1,8	1,4	1,8	1,8	2,2	2,3	2,8	3,3	4,2	4,4	5,6	5,5	7
2	1,5	2	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,5	4,5	5,8	5,7	7,2
2,2	1,6	2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,6	4,5	4,6	6	5,8	7,3
2,5	1,7	2,2	2,3	2,8	2,7	3,4	3,7	4,7	4,7	6	5,8	7,4
2,8	1,8	2,2	2,4	3	2,8	3,5	3,8	4,7	5	6,2	6	7,5
3	2	2,5	2,5	3	3	3,7	4	5	5	6,3	6,2	7,7
3,5			2,7	3,5	3,2	4	4,2	5,2	5,2	6,5	6,3	8
4			3	3,8	3,5	4,3	4,5	5,6	5,6	6,8	6,5	8,2
4,5			3,2	4	3,7	4,6	4,7	5,8	5,7	7,2	6,8	8,7
5			3,5	4,2	4	5	5	6,2	6	7,7	7	9,2

Šířka okraje 'c_o', která má být ostřížena, musí být dostatečně velká, protože při posouvání pásů plní funkci dorazu. Její velikost udává tabulka 6. Délka kroku je dána délkou výstřižku, v případě kruhu jeho průměrem, a šířkou přepážky 'b' jak udává následující vzorec:

$$k = D + b \quad \text{[mm]} \quad (2.12)$$

kde: D – průměr výstřižku, [mm]
 b – velikost můstku. [mm]

Šířka pásu $\acute{s}_p$ je určena součtem průměru výstřižku, dvojnásobkem šířky okraje plechu $\acute{a}$ a šířkou okraje pro ostřížení $\acute{c}_o$:

$$p = D + 2 \cdot a + c_o \quad [\text{mm}] \quad (2.13)$$

kde: a – šířka okraje plechu, [mm]

c_o – šířka okraje pro ostřížení. [mm]

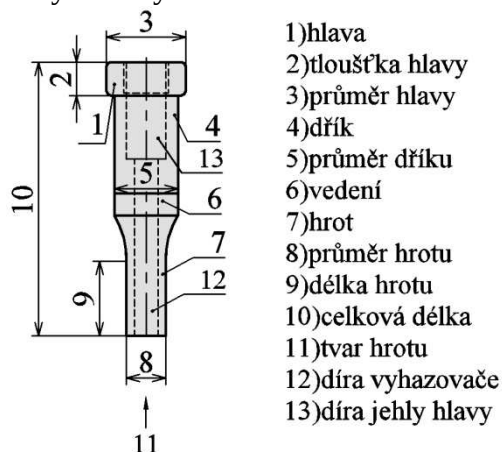
Tab. 6 Šířka okraje pásu pro ostřížení c_o [3].

Materiál	Tloušťka plechu t_0 [mm]	Šířka pásu $\acute{s}_p$ [mm]		
		do 10	10 až 80	nad 80
Ocel	do 0,9	1·t	1,5·t	2,5·t
Měď	1 až 1,5	1·t	2·t	2,5·t
Bronz	nad 1,5	1·t	1,2·t	1,5·t
Hliník	nad 1,5	1,2·t	1,5·t	2·t

2.7 Střížníky [9], [20]

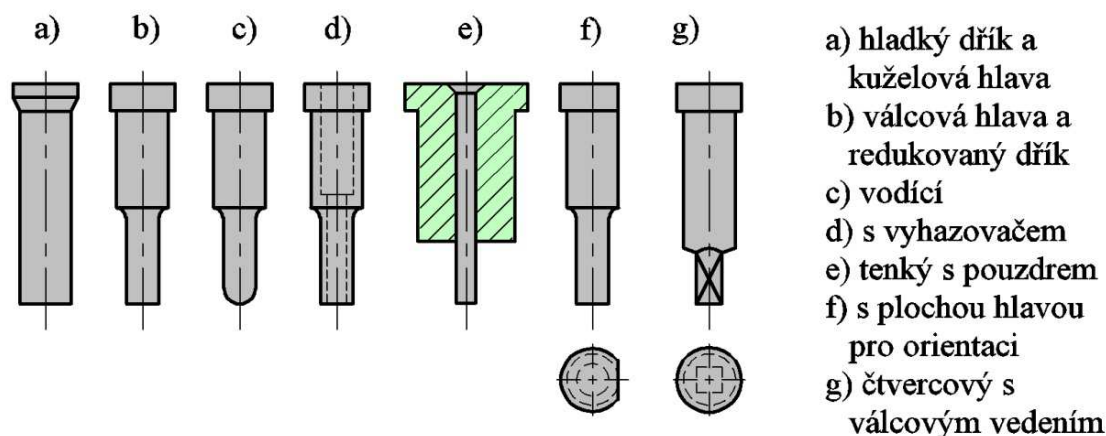
Střížníky jsou nejvíce namáhané funkční části stříhadel. Podle velikosti výrobní série se vyrábějí z nástrojové oceli nebo slinutého karbidu. Jsou čtyři druhy střížníků:

1. plný střížník - je určen k vytvoření konkrétního tvarového výstřižku,
2. děrovací střížník - používá se k výrobě děr a jeho koncová část je vedena v matrici,
3. vodící střížník - má zaoblený konec, který projde dříve vytvořeným otvorem v polotovaru a přesně jej ustaví vůči matrici,
4. střížník s vyhazovačem - mechanicky odděluje výstřižek od konce střížníku, aby při zpětném pohybu nedošlo ke změně tolerance vytvořené dutiny.



Obr. 23 Hlavní části střížníku [20].

Dále mohou být střížníky celistvé nebo se v případě velkých či malých rozměrů používají dělené konstrukce s činnou a nosnou částí. Celistvé jsou buď s hladkým nebo redukováným dřikem, viz obrázek 24. Existuje celá řada střížníků normalizovaných tvarů a rozměrů, takže se jejich výroba nemusí objednávat na zakázku. Střížník má obvykle několik částí, jak je uvedeno na obr. 23.



Obr. 24 Střížníky [20].

Střížníky jsou působícími silami namáhány na tlak, vzpěr, ohyb a otěr. Proto se kontroluje na otlacení. Je-li kontaktní napětí větší než 200 MPa, podkládá se střížník kalenou podložkou, která zabráni otlacení střížníku na upínací desku. Výpočet kontaktního napětí střížníku:

$$\sigma_{kns} = \frac{F_s}{S_{ku}} \quad [\text{MPa}] \quad (2.14)$$

kde: F_s – střížná síla, [N]
 S_{ku} – plocha průřezu střížníku. [mm²]

U delších střížníků hrozí ztráta vzpěrné stability, proto se provádí kontrola na kritickou délku střížníku. Pokud by byla skutečná délka větší než kritická, musela by být upravena konstrukce nástroje. Bezpečnější jsou střížníky vedené pomocí vodící desky, která zabraňuje jeho vybočení. Kritická délka se pro nevedený střížník spočítá dle (2.15), pro vedený (2.16).

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{k_b \cdot F_s}} \quad [\text{mm}] \quad (2.15)$$

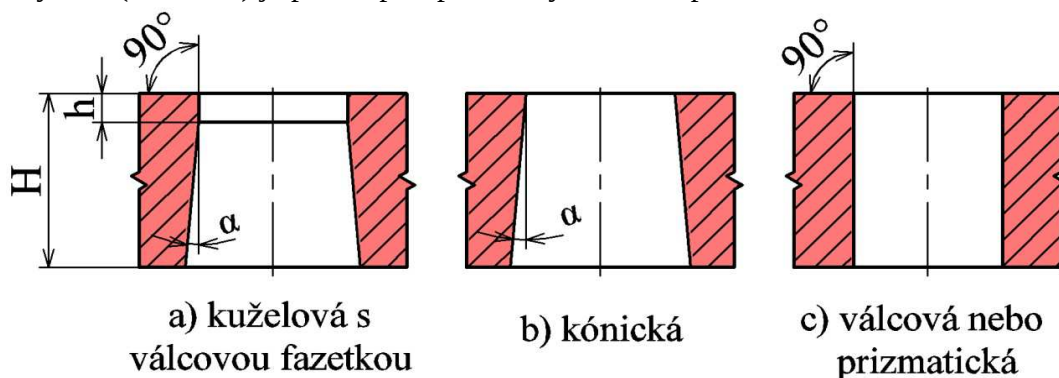
$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{k_b \cdot F_s}} \quad [\text{mm}] \quad (2.16)$$

kde: E – modul pružnosti, [MPa]
 I – osový moment setrvačnosti, [mm⁴]
 k_b – součinitel bezpečnosti. [-]

2.8 Střížnice [3], [20], [23]

Střížnice je čtvercová, obdélníková či kruhová deska s tloušťkou nejčastěji 18 až 30 mm, která je vyrobena z tepelně zpracované nástrojové oceli. V případě jednoduchých tvarů výstřížků je střížnice celistvá. U rozměrných výstřížků a složitých tvarů jsou střížnice skládané z více částí. Díky tomu je jejich výroba jednodušší, přesnější a jednotlivé části se při tepelném zpracování méně deformují. Skládané střížnice se používají v sériové a hromadné výrobě. Třetí možností jsou vložkované, střížnice u kterých dochází k úspoře nástrojové oceli a zvyšuje se životnost nástroje díky možnosti vytvoření předpětí při zalisování.

Jsou tři tvary střížných hran. Kuželová střížnice s válcovou fazetkou (obr. 25 a) se hodí pro výstřížky z tenkých plechů s velkými požadavky na přesnost. Výška fazetky pro plech do tloušťky 0,5 mm je $h = 3$ až 5 mm. Úhel kuželovitosti je 3 až 5 °. Kónický tvar (obr. 25 b) je pro malé výstřížky větších tlouštěk se střední přesností, kde úhel kuželovitosti je do 1°. Válcový tvar (obr. 25 c) je použit při aplikaci vyhazovače pro rozměrné součásti.



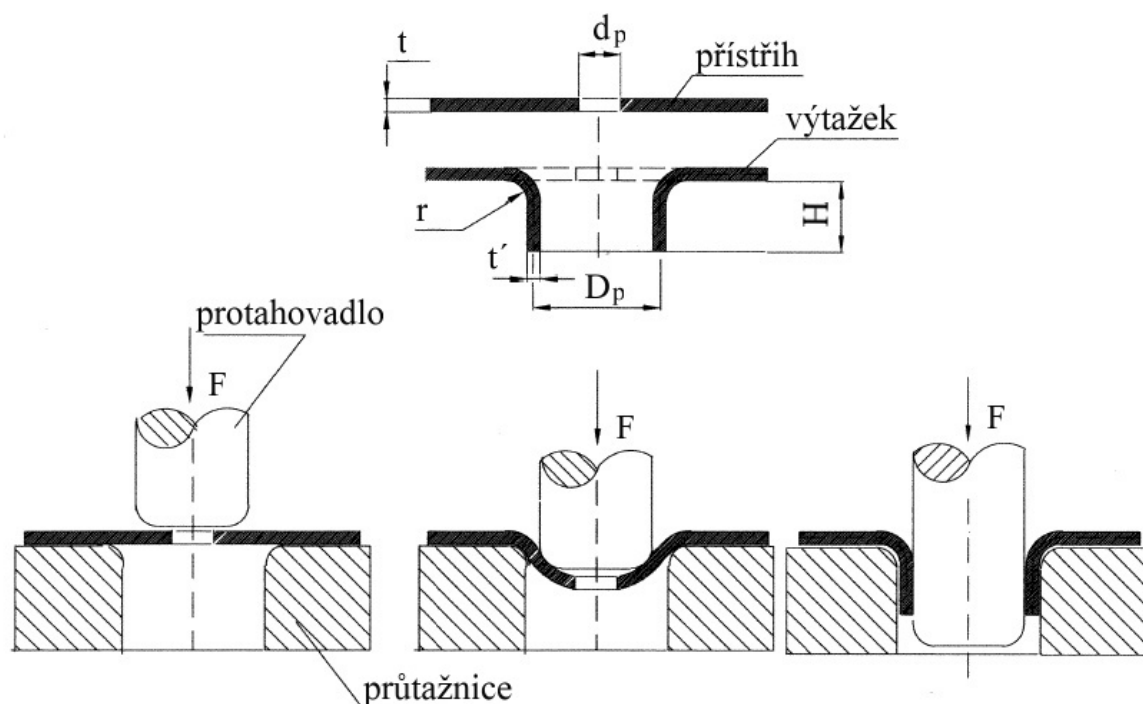
Obr. 25 Tvary střížných hran střížnic [6].

Pro výpočet se střížnice uvažuje jako rovinná celistvá deska, která je namáhána ohybem a tlak je rovnoměrně rozložen po celém obvodu. Pak předběžný odhad výšky dle Oehlera:

$$H_s = \sqrt[3]{F_{s,max}} \quad [\text{mm}] \quad (2.17)$$

3 TECHNOLOGIE LEMOVÁNÍ [4], [21]

Lemování slouží k vytvoření otevřeného nebo uzavřeného lemu po obvodě plechového dílce. Protaháním otvoru je vytvořen uzavřený lem v podobě válcové stěny na výtažku, rovném plechu nebo trubce, který může být následně opatřen závitem. Nástrojem je protahovadlo, které se podobá nástrojům používaným při běžném tažení. Během protahování dochází nejprve k ohýbání materiálu kolem poloměru průtažnice r_{pr} a následnému vtahování materiálu z oblasti otvoru, nikoli přístřihu jako u tažení. Postup je zobrazen na obrázku 26. Kov je v průběhu procesu namáhán pouze tahem. Protahování lze provádět beze změny tloušťky na okraji lemu nebo s jejím ztenčením.



Obr. 26 Fáze procesu lemování [11].

Před vlastním protahováním musí být v materiálu vytvořen otvor. Kvalita plochy otvoru má zásadní vliv na nadcházející operaci. Plocha by měla být hladká bez zátrhů a otřepů, které by ovlivňovali vznik trhlin. Střední otvor při protahování d_p se nejčastěji zhotovuje vrtáním nebo prostřížením a jeho velikost se v případě protahování bez ztenčení stěny určí následujícím vztahem:

$$d_p = \sqrt{D_p^2 - 4 \cdot D_p \cdot H} \quad [\text{mm}] \quad (3.1)$$

kde: d_p – střední otvor při protahování, [mm]

D_p – střední průměr protaženého otvoru, [mm]

H – výška válcové stěny. [mm]

Maximální teoretické výšky válcové stěny by se dosáhlo, při nulové velikosti prostříženého otvoru, pak by platilo $H = D_p / 4$. Je-li požadována větší výška válce, musí nastat ztenčení výchozího materiálu a velikost otvoru bude dána:

$$d_p = \sqrt{D_p^2 - 4 \cdot D_p \cdot H \cdot \frac{t'}{t_0}} \quad [\text{mm}] \quad (3.2)$$

kde: t' – tloušťka ztenčené stěny, [mm]

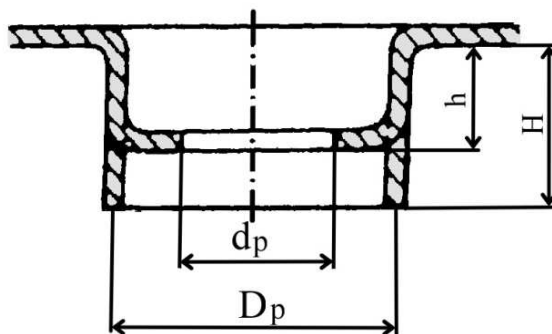
Změna tloušťky stěny lze určit:

$$t' = t_0 \cdot \sqrt{\frac{d_p}{D_p}} \quad [\text{mm}] \quad (3.3)$$

Maximální výška válcové stěny 'H', dosažitelná v jedné tvářecí operaci, je dána velikostí redukce při protahování, kdy nedojde ke vzniku trhlin po obvodě a vypočítá se:

$$H = \frac{1}{4} \cdot D_p \cdot \left(1 - \frac{d_p^2}{D_p^2}\right) \quad [\text{mm}] \quad (3.4)$$

Protahováním může být například zvětšena výška dílu se širokou přírubou, jak ukazuje obrázek 27. Nejprve je materiál tažen do tvaru misky běžným tažením. Následně se do dna výtažku vyděruje otvor potřebných rozměrů. V poslední operaci se pomocí protahovadla zvětší výška protažením otvoru ve dně. Tento proces může být zaimplementován ve sdruženém postupovém nástroji



Obr. 27 Kombinace tažení a protahování [21].

Vztahy, které byly uvedeny pro určení průměru středního otvoru před protahováním, jsou zjednodušeny, protože nepočítají se zaoblením průtažnice 'r_{pr}' viz obr. 26. Zaoblení průtažnice se u materiálu o tloušťce t₀ < 2 mm volí 4 až 5 násobek tloušťky. Zpřesňující výpočet pro určení průměru středního otvoru:

$$d_p = D_p - (2 \cdot H - 0,86 \cdot r_{pr} - 1,43 \cdot t_0) \quad [\text{mm}] \quad (3.5)$$

Určení výšky lemu s přihlédnutím k zaoblení průtažnice:

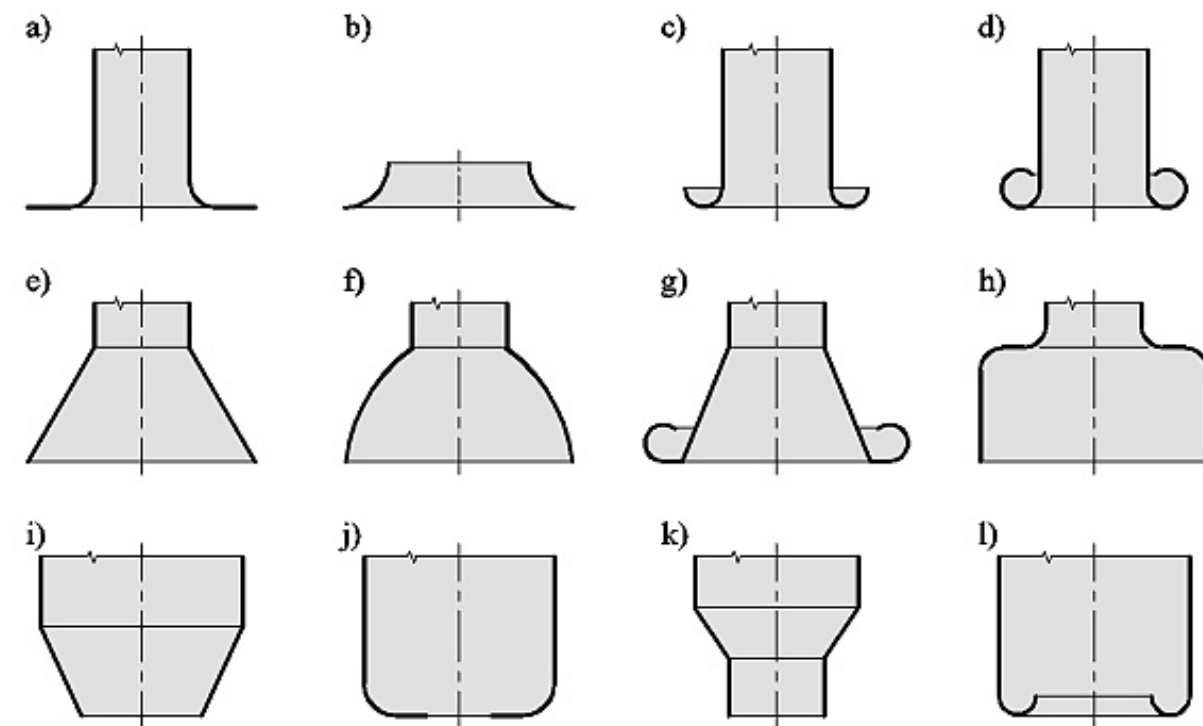
$$H = \frac{D_p - d_p}{2} + 0,43 \cdot r_{pr} + 0,715 \cdot t_0 \quad [\text{mm}] \quad (3.6)$$

Protahovací síla je ovlivněna především vlastnostmi materiálu, tvarem čela protahovadla a protahovací mezerou. Síla potřebná k vytvoření lemu se stanoví podle rovnice:

$$F_{\text{prot}} = 1,1 \cdot \pi \cdot t_0 \cdot R_m \cdot (D_p - d_p) \quad [\text{mm}] \quad (3.7)$$

4 ROZŠÍŘOVÁNÍ OSOVĚ SYMETRICKÝCH DÍLCŮ [21], [24]

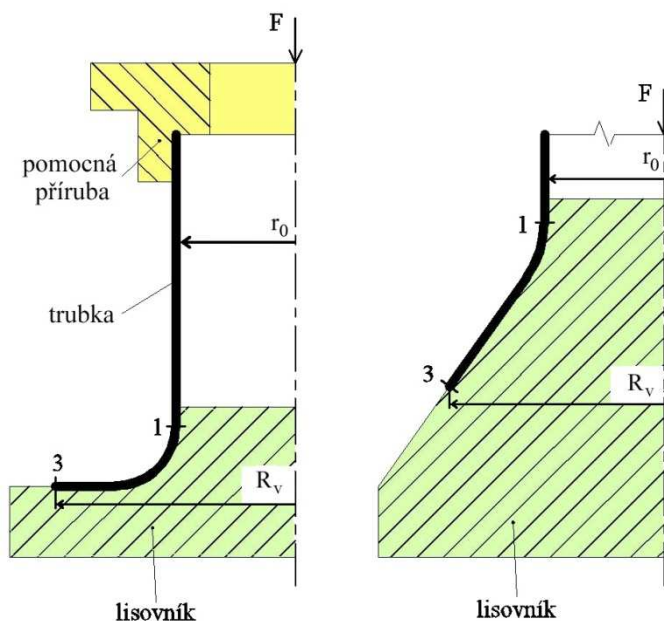
Technologie rozšiřování poskytují možnost zvětšit volný konec v radiálním směru u polotovárů, jako jsou trubky, trouby větších průměrů nebo prstence. Rozšiřováním často dochází k tažení různých druhů nádob, které byly zhotoveny normálním tažením a je zapotřebí zvětšit průměr v některé z jejich částí. Rovněž slouží k výrobě lemů nebo kuželového, osazeného či vybouleného zakončení, jak je naznačeno na obrázku 28.



Obr. 28 Příklady zakončení trubek [21].

K rozšiřování dochází působením tlakové síly, která je vyvozena beranem lisu a přenáší se přírubou na trubku. Ta se postupně nasouvá na lisovník, jak uvádí obrázek 29. Tvar lisovníku odpovídá požadované geometrii rozšiřovaného konce. Přetvoření nastává mezi body 1 až 3, kde se nachází ohnisko deformace.

Možnosti výroby součástí z požadovaného materiálu, zvolenou tvářecí technologií, za daných procesních podmínek, aniž by došlo ke vzniku defektů, vyjadřuje takzvaná technologická tvařitelnost. Při rozšiřování je technologická tvařitelnost limitována vytvořením trhlin v oblasti maximálního průměru, kde je současně minimální tloušťka stěny. Hodnotí se pomocí koeficientu rozšiřování k_r' .



Obr. 29 Nákres rozšiřování trubky [21].

Koeficient rozšiřování:

$$k_r = \frac{r_0}{R_v} [-] \quad (4.1)$$

kde: r_0 – výchozí poloměr součásti,
 R_v – konečný poloměr součásti.

[mm]
[mm]

Výpočty mají za cíl stanovit potřebné síly s užitím celkového deformačního odporu σ_d v bodě 1, kde je působiště síly F , která je přenesena stěnou trubky jak ukazuje obrázek 29. Deformační odpor je zde roven odporu proti ohybu a kontaktnímu tření v součtu s odporem proti rozšiřování. Komplikace mohou být způsobeny různě tvarovanými lisovníky nebo použitím přidržovače.

Deformační prostor, neboli ohnisko deformace, je umístěn mezi body 1 až 3. Základní složkou σ_d je radiální napětí σ_r , které je určeno mezi body 2 a 3. V půdorysném průmětu má tato oblast tvar mezikružší, jak je vidět na obrázku 30 a). V této zóně je předpokládán dvouosý stav napjatosti materiálu.

4.1 Rozšiřování konce do ploché příruby [21]

Pracovní schéma nástroje na obrázku 30 obsahuje přidržovač, který zabraňuje nadzdvihnutí příruby od lisovníku. V zóně 1 až 2, která je dána poloměry r_s a r , dochází k ohybu trubky. Hlavní část ohniska deformace leží mezi body 2 až 3 a určují ji poloměry r a R_v .

Zjednodušující předpoklady stanovení radiálního napětí a jeho přírůstku k celkovému deformačnímu odporu σ_d :

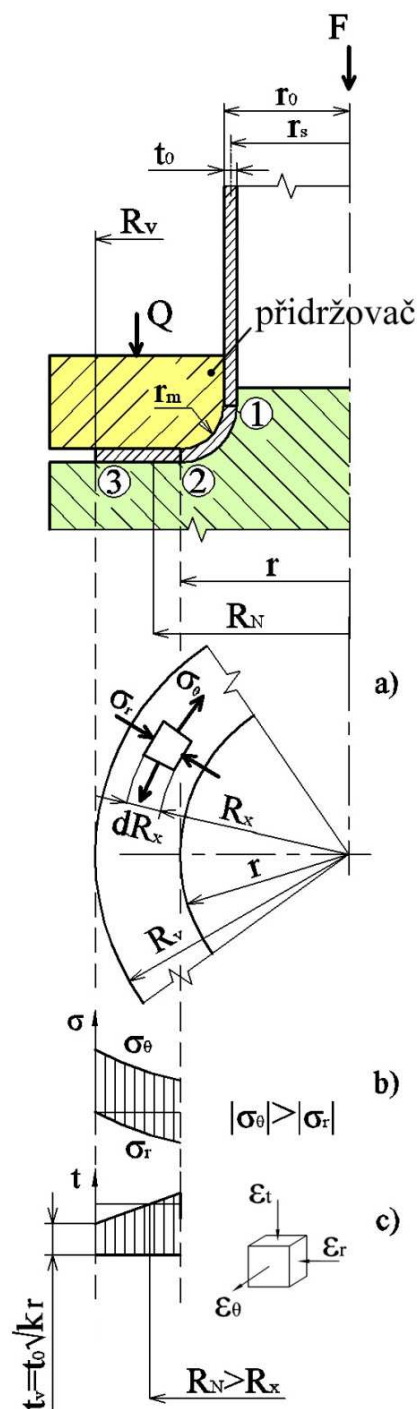
- o v zóně ohybu se uvažuje ostrý ohyb ideálně plastického materiálu, který doposud nebyl zpevněn,
- o mezi body 2 až 3 je použit model rovnováhy elementu se zanedbáním tření a zpevnění materiálu,
- o tloušťka stěny je během procesu uvažována jako konstantní,
- o je užitá Treskova podmínka plasticity .

Při hodnocení deformačního odporu, způsobeného silou F , je stěžejní radiální napětí σ_r , které je řešeno z podmínky plasticity a pomocí rovnováhy elementu v prostoru ležícím mezi body 2 až 3.

V porovnání s běžným tažením mají napětí σ_r a σ_θ , působící na vybraný element, rozdílný charakter viz obrázek 30 a).

Treskova podmínka plasticity:

$$\sigma_\theta - \sigma_r = R_e \quad (4.2)$$



Obr. 30 Vytváření ploché příruby [21].

Řešením této rovnice s pomocí rovnováhy elementu při okrajových podmínkách v bodě 3, kde platí $R_x = R_v$ a $\sigma_r = 0$, jsou získány obecné vztahy:

$$\sigma_r = -\sigma_k \cdot \ln\left(\frac{R_v}{R_x}\right) \quad [\text{MPa}] \quad (4.3)$$

$$\sigma_\theta = \sigma_k \cdot \left[1 - \ln\left(\frac{R_v}{R_x}\right)\right] \quad [\text{MPa}] \quad (4.4)$$

Průběhy radiálního napětí ' σ_r ' a obvodového napětí ' σ_θ ' jsou vidět na obrázku 30 b). Jak plyne z rovnice (5.3), maximální napětí ' σ_r ' se nachází v bodě 2 na poloměru $R_x = r$. Jde o napětí při zidealizovaných podmínkách, uvedených výše. Pokud místo Treskovy podmínky plasticity aplikujeme podmínku HMH, je nutné použít korekční koeficient $\beta = 1,1$ a rovnice (5.3) dostane následující tvar pro maximální hodnotu radiálního napětí:

$$(\sigma_r)_{\max}^* = 1,1 \cdot \sigma_k \cdot \ln\left(\frac{R_v}{r}\right) \quad [\text{MPa}] \quad (4.5)$$

Obvodové napětí ' σ_θ ', které má tahový charakter, dosahuje svého maxima na poloměru ' R_v ', kde současně nastává největší ztenčení stěny. Mění se skutečná tloušťka stěny je naznačena na obrázku 30 c). Zároveň je zde vyznačen poloměr ' R_N ', kde je tloušťka stěny rovna počáteční hodnotě ' t_0 '. Tloušťka se směrem k poloměru ' R_v ' zmenšuje.

Postup rozšiřování je započat ohybem, který je následně vyrovnán. Dále dochází k rozšiřování příruby. Rostoucí radiální napětí je zvětšováno třením v oblasti poloměru zaoblení a třením pod přidržovačem. Požadovaná síla ' F ' se postupně zvyšuje spolu s narůstajícími odpory v radiálním směru.

Pokud je uvažována jednotková šířka elementárního pásu, je možné příspěvek napětí při ohýbání ' $(\sigma_o)_I$ ' a následném vyrovnání ' $(\sigma_o)_{II}$ ' napsat stejným výrazem. Součet těchto ohybových napětí je vyjádřen následovně:

$$(\sigma_o)_I + (\sigma_o)_{II} = \frac{2 \cdot \sigma_k \cdot t_0}{4 \cdot r_m} \quad [\text{MPa}] \quad (4.6)$$

kde: $(\sigma_o)_I$ – ohybové napětí, [MPa]
 $(\sigma_o)_{II}$ – napětí při vyrovnání, [MPa]
 t_0 – počáteční tloušťka stěny, [mm]
 r_m – poloměr ohybu. [mm]

Při ohybu kolem vnitřního poloměru trubky ' r_m ' dochází k pásovému tření. Účinek tření je symbolicky vyjádřen hodnotou ' $\sigma_{\mu\alpha}$ ' a je funkcí koeficientu tření ' μ_f ' a úhlu opásání ' α '. Podle Eulera lze zapsat $\sigma_{\mu\alpha} = e^{\mu\alpha}$.

Tření působí rovněž pod přidržovačem, kde je dvojice stykových ploch určena prstencem s vnitřním poloměrem ' r ' a vnějším poloměrem ' R_v '. Napětí ' σ_{fp} ' uvažuje stykové tření, které působí na střed tloušťky příruby a je určeno vztahem:

$$\sigma_{fp} = 2 \cdot (\mu_{f1} + \mu_{f2}) \cdot \frac{R_v - r}{t_0} \cdot \sigma_z \quad [\text{MPa}] \quad (4.7)$$

kde: σ_z – normálový tlak pod přidržovačem. [MPa]

4.2 Celkový deformační odpor a potřebná síla

Během rozšiřování příruby se zvětšuje velikost celkového deformačního odporu ' $(\sigma_d)_c$ '. Ten je vyjádřen součtem jednotlivých složek, a to radiálním napětím ' $(\sigma_r)_{\max}^*$ ', třecím

odporem v místě přidržovače σ_{fp} , odporem během ohybu $(\sigma_o)_I$ a následného vyrovnání $(\sigma_o)_{II}$ kolem poloměru r_m a příspěvkem od pásového tření $\sigma_{\mu\alpha}$ viz následující rovnice:

$$(\sigma_d)_c = (\sigma_r)_{\max}^* + \sigma_{fp} + (\sigma_o)_I + (\sigma_o)_{II} + \sigma_{\mu\alpha} \text{ [MPa]} \quad (4.8)$$

Mezi deformačním odporem a vnější silou F platí rovnice:

$$(\sigma_d)_c = \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot r_s \cdot t_0} \text{ [MPa]} \quad (4.9)$$

kde: r_s – střední poloměr trubky. [mm]

Z důvodu napěchování stěny trubky v místě zaoblení lisovníku, je mezera mezi přidržovačem a lisovníkem úplně vyplněna. To má za následek vliv pásového tření na první čtyři členy rovnice (5.8), která dostane tvar:

$$(\sigma_d)_c = [(\sigma_r)_{\max}^* + \sigma_{fp} + (\sigma_o)_I + (\sigma_o)_{II}] \cdot e^{\mu\alpha} \text{ [MPa]} \quad (4.10)$$

Pro stanovení potřebné síly je využita rovnovážná rovnice (5.9) a rovnice (5.10), kde jsou vyjádřeny jednotlivé členy:

$$F = 2 \cdot \pi \cdot r_s \cdot t_0 \left[1,1 \cdot \sigma_k \cdot \ln\left(\frac{R_V}{r}\right) + \frac{\sigma_k \cdot t_0}{2 \cdot r_m} + 2 \cdot (\mu_1 + \mu_2) \cdot \frac{R_V - r}{t_0} \cdot \sigma_z \right] \cdot e^{\mu\alpha} \text{ [N]} \quad (4.11)$$

Pokud má být dosaženo zpřesnění výsledku potřebné síly během rozšiřování, nestačí při výpočtu radiálního napětí uvažovat pouze mez kluzu, ale je třeba ji nahradit střední hodnotou přirozeného deformačního napětí v ohnisku deformace. Přirozené deformační napětí je vnitřní odpor vůči zatížení vnějšími silami, kdy vznikne první plastická deformace za daných podmínek a charakterizuje vlastnosti materiálu s přihlédnutím k jeho zpevnění. Toto napětí je možné stanovit výpočtem například lineární aproximací. Je-li použita lineární jednopřímková aproximace, tak se střední přirozené deformační napětí stanoví takto:

$$(\bar{\sigma})_{str} = \sigma_{ke} + \frac{\bar{D}}{2} \cdot \left(\frac{R_V - r}{r} \right) \text{ [MPa]} \quad (4.12)$$

kde: σ_{ke} – extrapolovaná mez kluzu, [MPa]

$\bar{D}$ – modul zpevnění. [MPa]

Hodnoty extrapolované meze kluzu σ_{ke} a modulu zpevnění $\bar{D}$ určují následující vztahy:

$$\sigma_{ke} = \frac{1 - n}{1 + n} \cdot K \cdot n^n \text{ [MPa]} \quad (4.13)$$

$$\bar{D} = \frac{2}{1 + n} \cdot K \cdot n^n \text{ [MPa]} \quad (4.14)$$

kde: K – materiálová konstanta, [MPa]

n – exponent zpevnění. [-]

Při řešení analýzy deformace, vycházíme z předpokladů, že jde o dvou osou napjatost a jsou známa napětí σ_r a σ_θ , jejichž poměr je v oblasti ohniska deformace konstantní viz obrázek 30 b).

Díky takovým zjednodušením, lze užít Lévy Misesovy rovnice plastického tečení a následným použitím zákona konstantního objemu dostaneme:

$$\varphi_n \equiv \varphi_t = \ln\left(\frac{t_0}{t_x}\right) \quad [-] \quad (4.15)$$

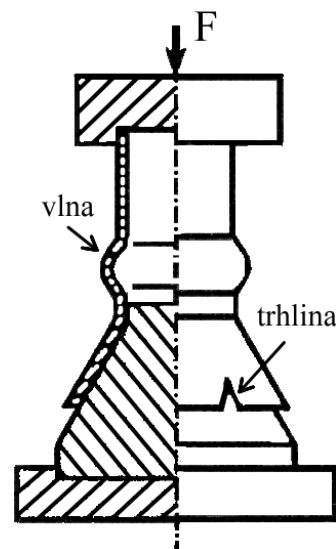
$$\varphi_\theta = \ln\left(\frac{R_x}{t_x}\right) \quad [-] \quad (4.16)$$

$$t_V = t_0 \cdot \sqrt{\frac{r_s}{R_V}} \cong t_0 \cdot \sqrt{k_r} \quad [\text{mm}] \quad (4.17)$$

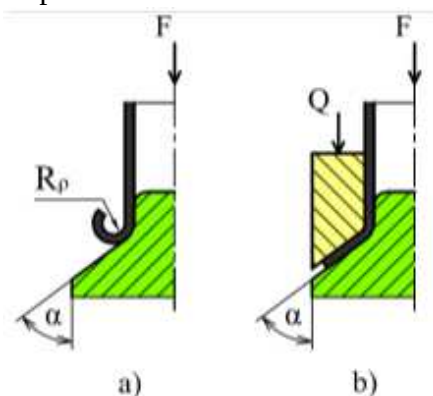
4.3 Vznik poruch při rozšiřování

V průběhu tvářecího procesu mohou vzniknout vady, které způsobí znehodnocení celého výrobku. Nejčastějším typem defektů jsou:

- Vytvoření trhliny na hraně součásti s největším poloměrem R_v viz obrázek 31. Na vznik trhliny má nepříznivý vliv špatná kvalita povrchu hrany. Se zhoršující se drsností roste pravděpodobnost vzniku trhliny. Dále je rozhodujícím faktorem velikost ztenčení stěny, koeficient rozšíření k_r nebo intenzita zpevnění materiálu v této kritické oblasti. Podstatný vliv má rovněž jednoosé obvodové napětí, které má tahový charakter a orientace vláken materiálu.
- Vznik zpětného zakroužení nastává tehdy, když dojde ke zvednutí stěny trubky od kuželového trnu (obr. 32 a). Hlavním faktorem, který způsobí odchýlení trubky od trnu je sklon kužele. Tento úhel ovlivňuje velikost změny deformace a napětí v meridiálním směru. S větším úhlem narůstají deformační možnosti, ale zároveň i deformační odpor. Optimální hodnota sklonu kužele je 10° až 30° . Při úhlu větším než 55° hrozí nebezpečí vzniku zpětného zakroužení, kterému lze zabránit použitím přidržovače (obrázek 32 b). V některých případech může být zakroužení konce trubky žádoucí.
- Ztráta vzpěrné stability, která je na obrázku 31 znázorněna příčnou vlnou, vzniká v místě maximálního deformačního odporu. Tomu odpovídá bod 1 v ohnisku deformace.
- Nepravidelnost hrany na konci rozšiřované trubky, která je zapříčiněna velkým třením v důsledku nerovnoměrného mazání stykových ploch lisovnicku a součásti.



Obr. 31 Defekty u kuželového zakončení [21].



Obr. 32 Zpětné zakroužení konce trubky [21].

5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Jak bylo v kapitole 1.1 zmíněno, práce se zabývá návrhem nástroje pro zalisování kroužku. Pro zefektivnění a zrychlení jeho použití by bylo výhodné sloučit operace děrování plachty a rozšiřování kroužku do jednoho kroku, kde by jako střížný nástroj fungoval kroužek spolu s lisovníkem.

Plachtový kroužek, který je na obr.33, je rotačně symetrický díl s přírubou, jehož vnější průměr je 20 mm, výška 6,05 mm a tloušťka stěny je 0,5 mm. Součást je zhotovena ze žárově pozinkovaného ocelového plechu DX51, který má dle materiálového listu pevnost $R_m = 400 \text{ MPa}$ a tažnost $A_{80} = 31 \%$.

Během výroby kroužku jsou aplikovány technologie, jež byly popsány v kapitole 1.1. Plachtový kroužek společně s plachtovou podložkou slouží pro vyztužení otvorů převážně v autoplachtách.

K tomu je potřeba navrhnout odpovídající nástroj, který se bude sestávat z dílu sloužícího jako střížnice a lisovník zároveň a dílu, který zajistí polohu kroužku vůči střížnici, aniž by bránil kroužku v jeho následném zakroužení.



Obr. 33 Plachtový kroužek.

5.1 Vstupní data

V rámci studie stříhání a zalisování daného plechového dílce je nutné zaměřit se na vzhled a geometrii hrany, která vzniká při lemování prostříženého otvoru během procesu výroby. Tato hrana bude mít společně s protikusem funkci střížného nástroje. Je vhodné také ověřit materiálová data, která jsou uváděna dodavatelem plechu.

5.1.1 Studie vzhledu hrany kroužku

Pro zjištění vzhledu hrany kroužku, která má sloužit k prostřížení plachty, bylo provedeno snímání rozříznutých vzorků za pomoci stereomikroskopu SSM-3E vybaveného USB kamerou. Sestava, na které měření probíhalo, je zachycena na obrázku 34 a) a ustavení vzorku při snímání je znázorněno na obr. 34 b).



a) sestava stereomikroskopu s PC



b) ustavení vzorku

Obr. 34 Stereomikroskop SSM-3E

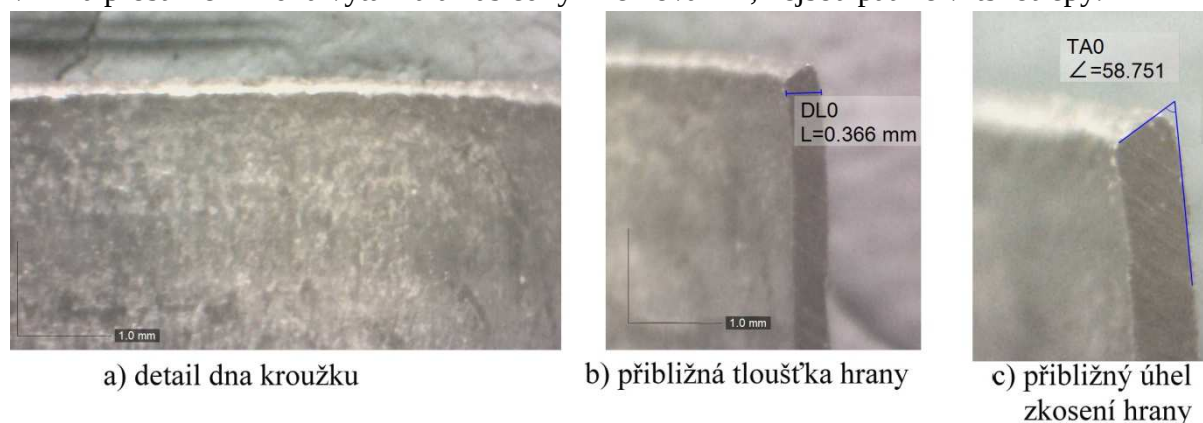
Výrobce tohoto zařízení je Schut Geometrical Metrology a technické specifikace mikroskopu jsou uvedeny v tabulce 13.

Tab. 7 Stereomikroskop SSM-3E [22].

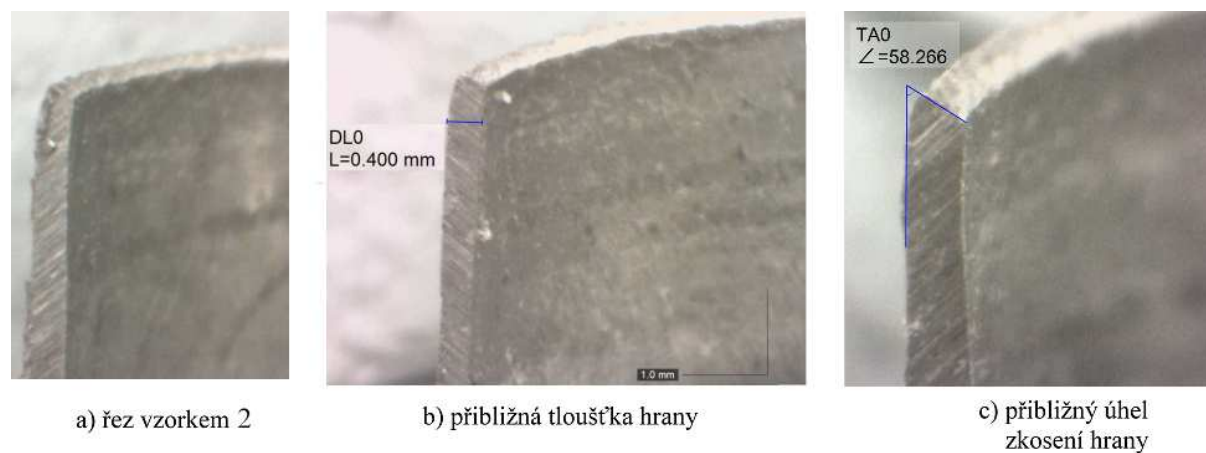
Rozsah plynulého zvětšení	Zvětšení s příslušenstvím	Pracovní vzdálenost
[-]	[-]	[mm]
10 až 40x	5 až 160x	60 až 110

Vzorky byly rozříznuty pomocí řezačky na přípravu metalografických výbrusů tak, aby nedošlo k deformaci zkoumané hrany. Jak je vidět na obrázku 34b), ustavení vzorku pod objektivem mikroskopu bylo provedeno pomocí měkké gumy, aby bylo možné kroužek snadno napolohovat podle potřeby.

Na obrázku 35 a 36 jsou zachyceny detailní pohledy kroužků v řezu. Na hraně, která vzniká prostřížením dna výtažku a následným lemováním, nejsou patrné větší otřepty.



Obr. 35 Snímky hrany kroužku 1 v řezu.



Obr. 36 Snímky hrany kroužku 2 a 3 v řezu.

Pro představu je na obr. 35 a) a b) zobrazeno měřítko pořízených fotografií, kdy byly kroužky zvětšeny 53,5 krát. Toto měřítko již neplatí pro obr. 35 c), kde je detail poněkud větší. Pomocí stereomikroskopu bylo možné přibližně odhadnout i tloušťku stěny kroužku a určit úhel zkosení hrany vzhledem ke vnějšímu plášti kuželové části. Zobrazené hodnoty jsou pouze orientační, jelikož nebylo možné zcela přesně odlišit hranu, od které byl daný rozměr kótován.

5.1.2 Určení tloušťky stěny

Skenování proběhlo ve firmě MCAE Systems na přístroji ATOS Core 80 (obr. 37) od společnosti GOM. Jedná se o bezkontaktní optický prostorový skener s automatickým polohovacím stolem, který je určen pro měření malých až středně velkých dílů. Tento přístroj slouží zejména pro inspekci a kontrolu kvality stávajících dílů, ale je vhodný i pro vývoj nových součástí pomocí reverzního inženýrství. Technické specifikace tohoto zařízení jsou určeny v tabulce 8.

Tab. 8 ATOS Core 80.

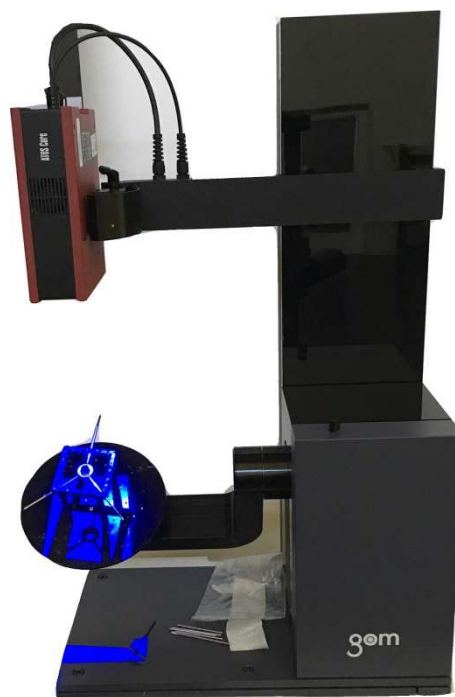
Měřicí prostor	Pracovní vzdálenost	Rozteč bodů	Rozměry sondy	Váha
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]
80 x 60	170	0,05	206x205x64	2,1

Kroužek byl podroben snímání za účelem zjištění tloušťky jeho stěny. Před vlastním skenováním byl kroužek upnut pomocí tří stavěcích čepů do již naskenovaného rámečku. Tento rámeček má na sobě orientační body, které mají své originální identifikační čísla a jejich poloha je určena na tisíciný milimetru.



Obr. 38 Promítání světelných pruhů pro určení povrchu kroužku.

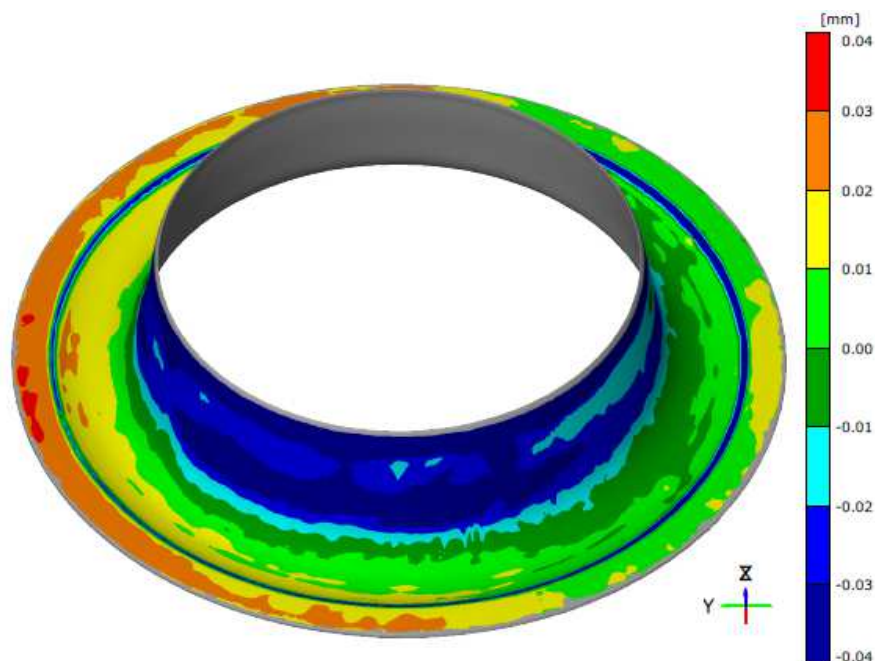
Při porovnání plachtového kroužku Ø 40 mm (obr. 39), který je vyráběný z plechu tloušťky $t_0 = 0,4$ mm a jehož způsob výroby je popsán v kapitole 1.1, s kroužkem Ø 10 mm (obr. 40), z plechu $t_0 = 0,5$ mm, je na první pohled patrné, že u druhého z uvedených dochází k většímu ztenčení plechu. Na obou obrazcích je nastavena stejná barevná škála odchylky od nominální tloušťky a to $\pm 0,04$ mm.



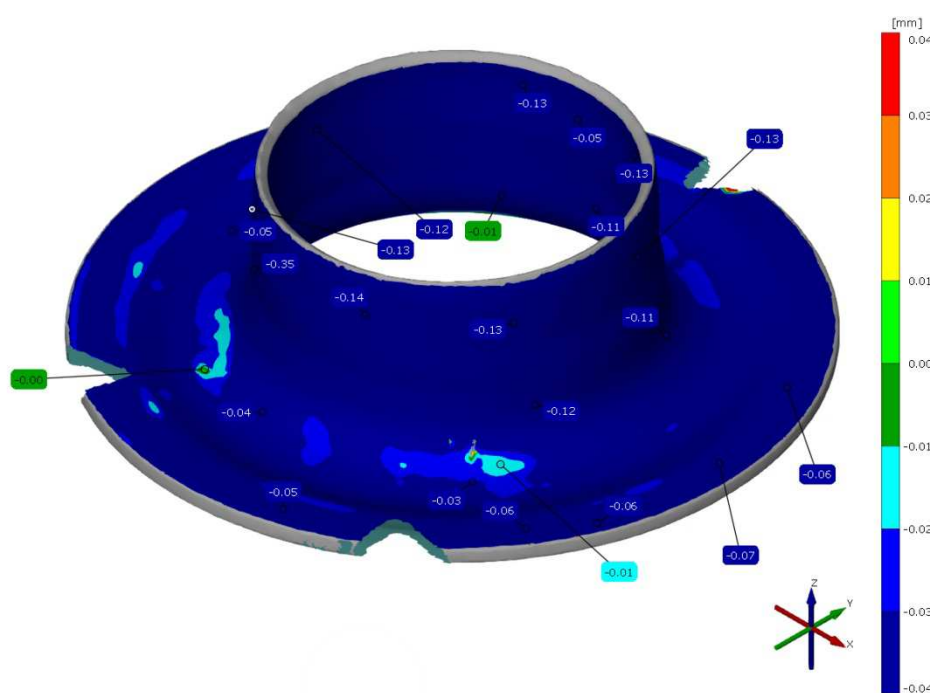
Obr. 37 Skenování kroužku systémem ATOS.

Před procesem skenování je vhodné, v případě lesklých dílů, nanést na povrch měřené součásti vrstvu barvy pomocí stříkací pistole. Ta zabrání odlesku promítaných paprsků světla a zajistí kvalitu získaných dat. Pokud by byla nanesená barva ve větší vrstvě, došlo by ke zkreslení výsledku měření.

Nejprve byl kroužek naskenován z jedné strany, kdy byl po obvod rozdělen na 8 dílů. Automatický otáčecí stůl napoložoval kroužek do předdefinovaných pozic, ve kterých probíhalo promítání rovnoběžných pruhů (obr. 38) na povrch kroužku a současně jejich snímání pomocí dvou objektivů s rozlišením 2 megapixely. Po otočení kroužku pro snímání z druhé strany, jsou oba skeny vzájemně propojeny díky známým polohám orientačních bodů a vzniká virtuální obraz povrchu kroužku ve formátu STL.



Obr. 39 Odchylka od jmenovité tloušťky $t_0 = 0,4$ mm kroužku $\varnothing 40$.

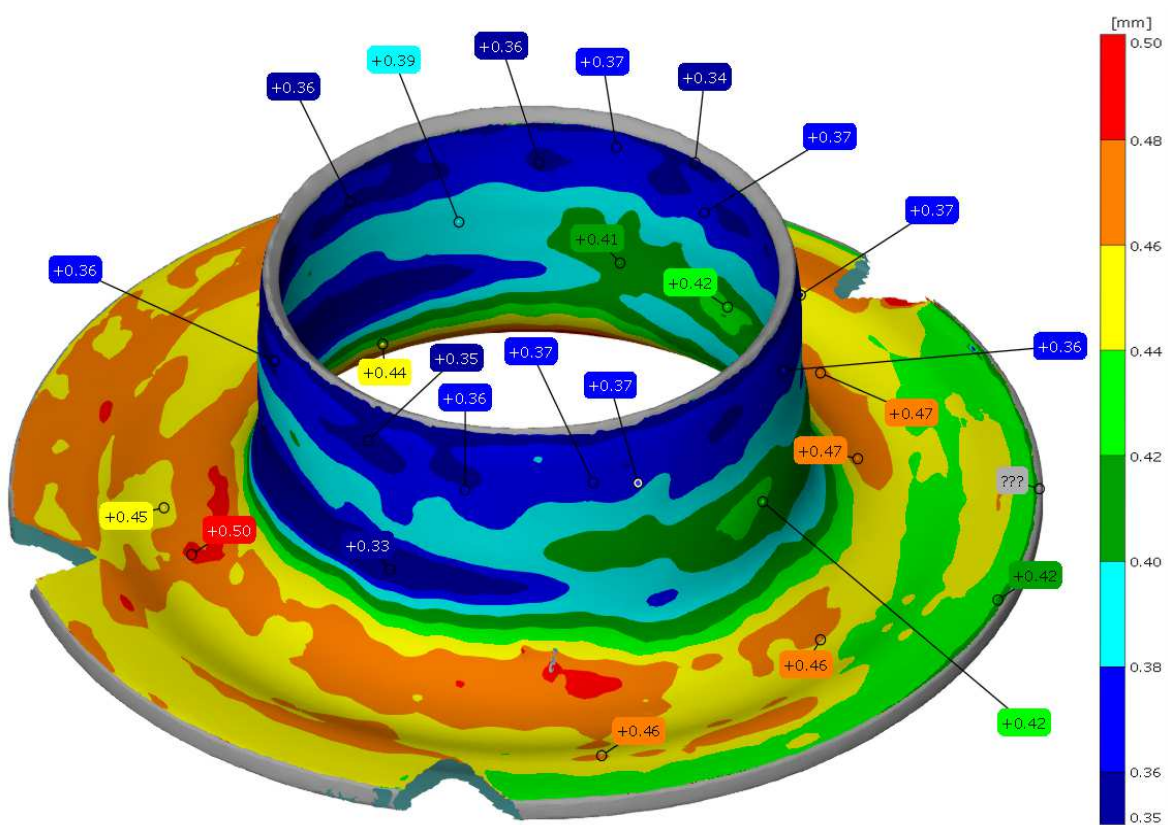


Obr. 40 Odchylka od jmenovité tloušťky $t_0 = 0,5$ mm kroužku $\varnothing 10$.

Jak bylo popsáno v kapitole 3, protahování otvoru o průměru d_p může probíhat jak se ztenčení stěny, tak i bez něj. Pokud je výchozí průměr vystřiženého otvoru $d_p = 6$ mm a požadovaný střední průměr po protažení $D_p = 9,18$ mm lze teoretická změna tloušťky stěny určit dle vztahu (3.3)

$$t' = t_0 \cdot \sqrt{\frac{d_p}{D_p}} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{6}{9,18}} = 0,404 \text{ mm}$$

Pro jasnější představu o tloušťce stěny v okolí hrany kroužku jsou na obrázku 41 zobrazeny hodnoty naměřené pomocí systému ATOS.



Obr. 41 Hodnoty tloušťky v okolí volného konce kroužku.

Hodnota tloušťky se v těsné blízkosti hrany pohybuje v rozmezí $t' = 0,34$ až $0,37$ mm co odpovídá hodnotě změřené pomocí stereomikroskopu.

5.1.3 Tahová zkouška

Podle normy ČSN EN ISO 6892 je provedena tahová zkouška, jejíž cílem je zjištění mechanických vlastností materiálu DX51, ze kterého jsou plachtové kroužky vyráběny. Ze základních mechanických vlastností je třeba zjistit hlavně mez pevnosti v tahu R_m , smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ a tažnost A_{80} zkoumaného materiálu.

Zkouška byla provedena na hydraulickém zkušebním stroji ZD40 od firmy HBM (obr. 42), který se nachází v laboratoři Odboru technologie tváření kovů a plastů na FSI VUT V Brně. Tento lis je vybaven vestavěným délkovým snímačem polohy příčnicku a snímačem síly, takže umožňuje provádět tlakové, tahové a ohybové zkoušky materiálů. Technické parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 9 a dále v příloze 4. Průběh zkoušky je zaznamenán řídicí jednotkou EDC 60 a vyhodnocen pomocí programu M-TEST v 1.7.



Obr. 42 Zkušební stroj ZD40.

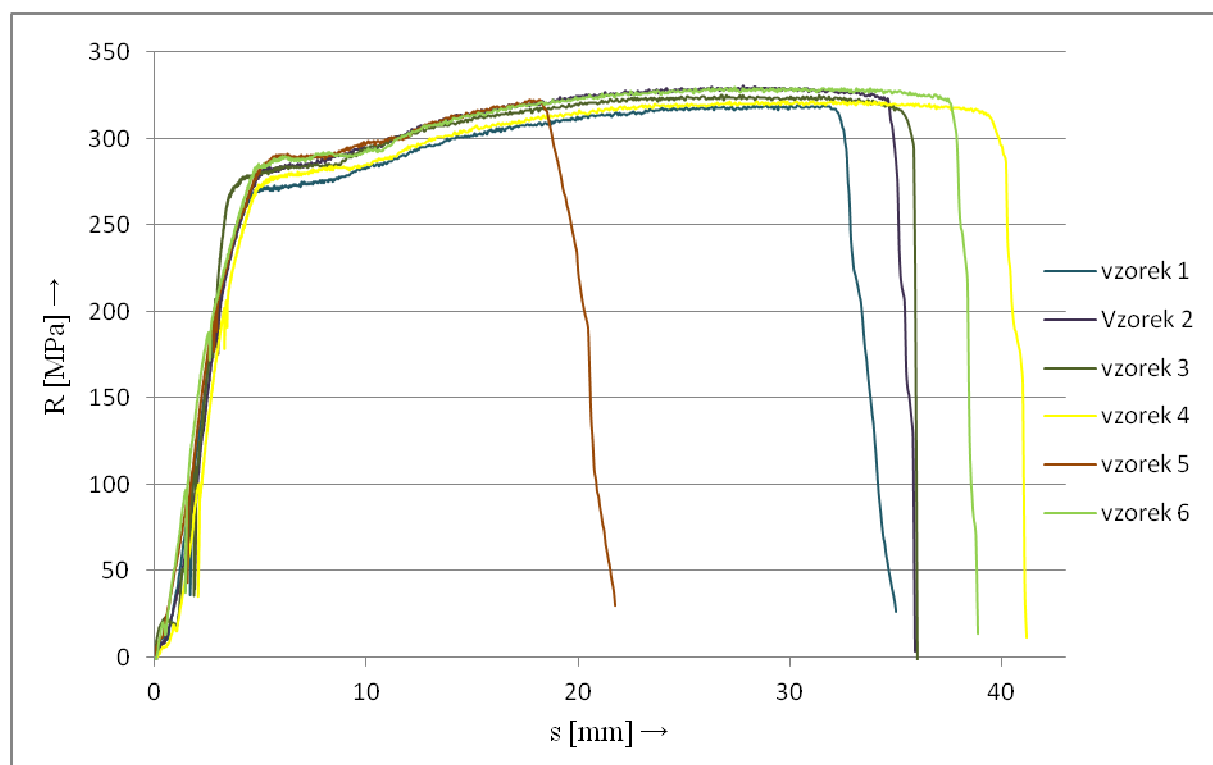
Tab. 9 Technické parametry lisu.

Měřicí rozsah síly	Chyba měření síly	Měřicí rozsah dráhy	Chyba měření dráhy
[kN]	[%]	[mm]	[mm]
8 až 400	±1	0 až 280	±0,01

Protože se jedná o výrobky z tenkého plechu, jsou zkušební tělesa vyrobena jako nepoměrné tyče o měřené délce $L_0 = 80$ mm. Zkušební tělesa v podobě pásků, byla vystřižena pomocí pákových nůžek z části plechu svitku, který má šířku 65 mm.

Šířka zhotovených pásků se pohybuje v rozmezí 24,8 až 25,7 mm a jejich celková délka činí zhruba 270 mm. Přibližně ve středu délky každého vzorku je dvěma ryskami, které byly provedeny lihovým popisovačem, vyznačena měřená oblast délky 80 mm.

Předtím, než začne na vzorek působit zatěžující síla, dochází k vymezování vůlí a usazování zkoušeného plechu v čelistech stroje. Na začátku závislosti na obrázku 43, je patrné snížení působícího napětí, které je způsobeno pokluzem materiálu v čelistech lisu. Další výrazný pokles napětí nastává v okamžiku, kdy dojde ke změně rychlosti pohybu příčnicku z nabíhací fáze na rychlost zatěžující. V této chvíli lis na okamžik zastaví a popojede zpět, aby šlo dobře odlišit etapu nabíhání od zatěžování. Tuto část grafu je třeba od zbylé eliminovat, aby nedošlo ke zkreslení výsledků. Dále je pásek plynule zatěžován napětím 'R', které je v průběhu měření zaznamenáváno v závislosti na prodloužení původní délky 's', viz obr. 43. Tahová zkouška končí v okamžiku přetržení zkušební tělesa, kdy prudce poklesne napětí a zkušební stroj se automaticky zastaví.



Obr. 43 Původní závislost napětí na prodloužení.

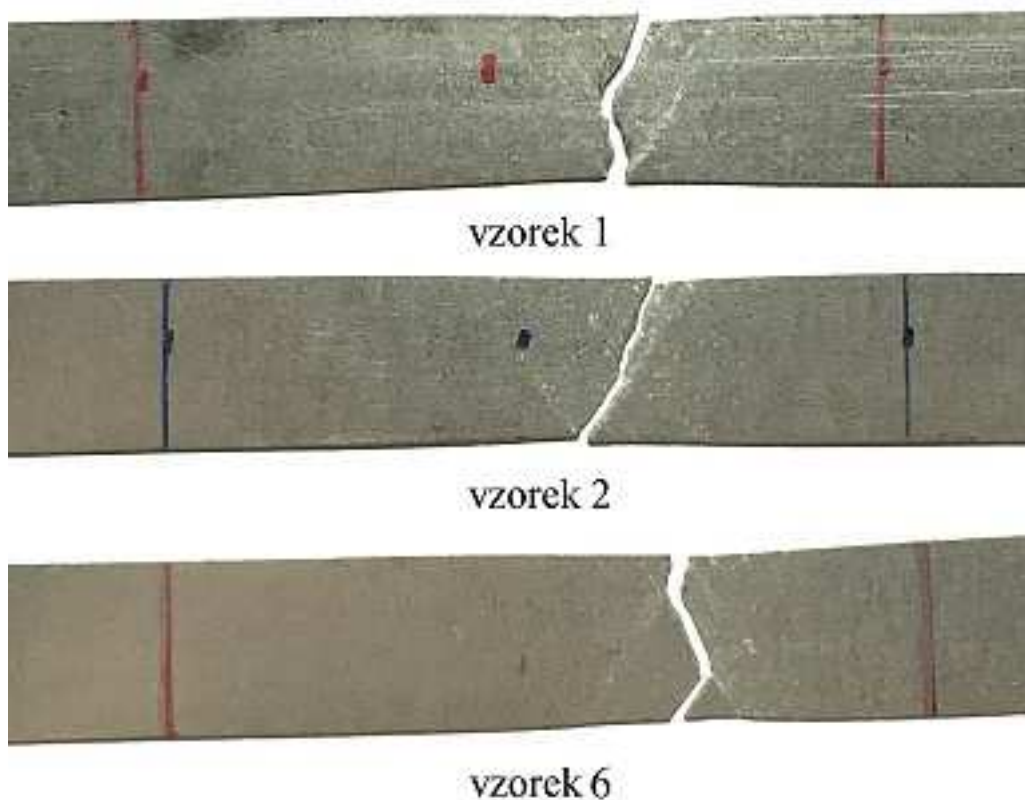
Celkem bylo připraveno 6 zkušebních těles, jejichž naměřené hodnoty jsou v tabulce 10. U třech vzorků číslo 3, 4 a 5 došlo k přetržení mimo rysky, takže jsou jejich naměřené

hodnoty neprůkazné a dále nebudou brány v potaz. Z naměřených hodnot vzorků 1, 2 a 6, je vytvořen průměr a vynesena závislost smluvního napětí na poměrném přetvoření, která je na obrázku 45.

Tab. 10 Naměřené hodnoty tahových zkoušek.

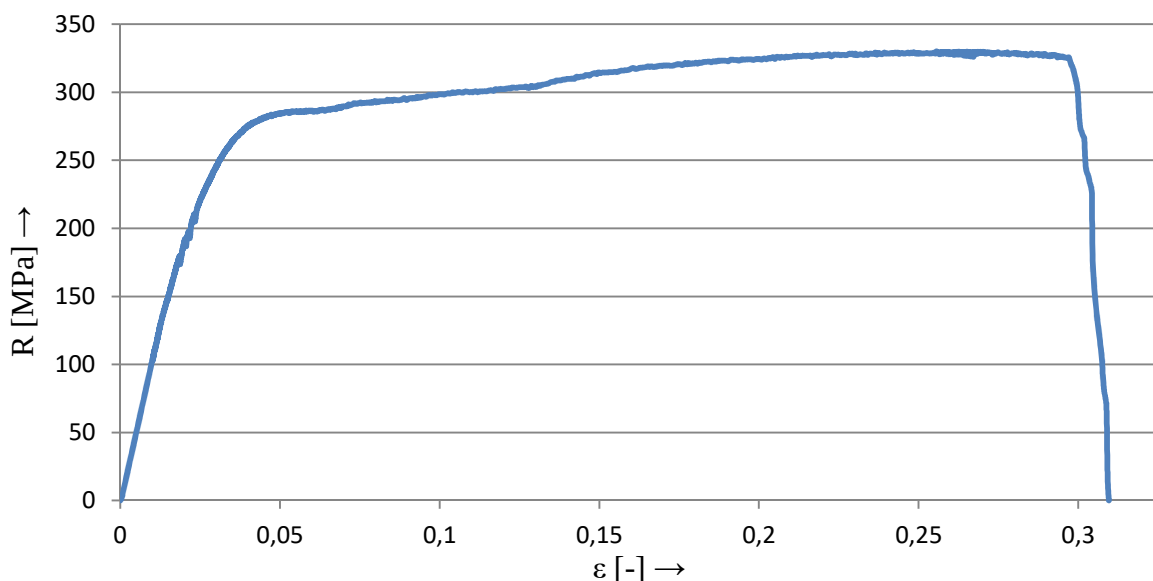
Vzorek	Šířka	Plocha průřezu	Maximální síla	Smluvní mez kluzu	Mez pevnosti	Tažnost	Rychlost zatěžování
	b [mm]	S_0 [mm ²]	F_m [N]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A_{80} [%]	V_{t1} [MPa/s]
1	25,4	12,7	4213,2	264,35	331,75	23,13	9,8
2	25,00	12,50	4147,20	279,10	331,78	23,13	9,86
3	24,80	12,40	4100,00	274,55	330,65	20,00	9,75
4	25,70	12,85	4109,60	263,47	319,81	6,88	9,48
5	24,60	12,30	4081,20	272,94	331,80	16,25	10,06
6	25,50	12,75	4203,60	275,11	329,69	25,00	10,1
Průměr	25,3	12,65	4188	272,85	331,07	23,75	9,92

Jak je vidět na obrázku 44, kde je zachycen detail místa porušení vyhodnocovaných vzorků, tvar porušení se mezi jednotlivými zkouškami liší. U vzorku číslo 2, kde se porušení šíří v rovině maximálních smykových napětí skloněných zhruba pod úhlem 45° vzhledem k působícímu tahovému napětí, je naměřena menší potřebná síla pro přetržení, než ve zbylých dvou případech.



Obr. 44 Detail přetržení zkušebních vzorků.

Z naměřených hodnot vzorků 1, 2 a 6, je vytvořen průměr hodnot na posledním řádku tabulky 10. Z tohoto průměru je vynesena závislost smluvního napětí 'R' na poměrném přetvoření ' ϵ ', která je na obrázku 45.

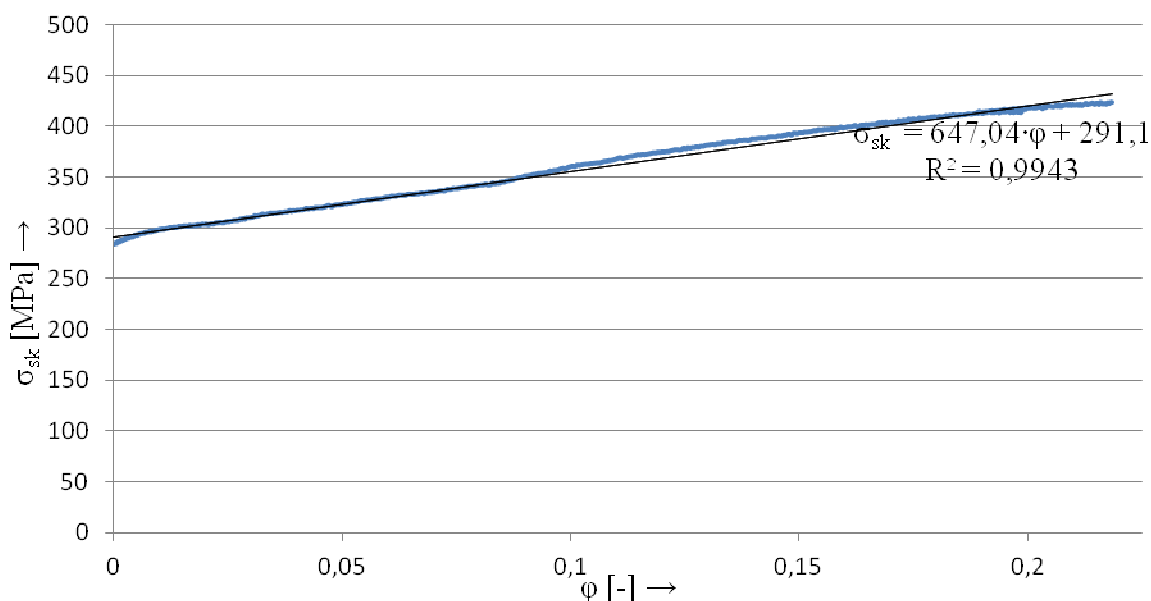


Obr. 45 Smluvní diagram napětí - deformace.

Pro možnost numerické simulace je třeba smluvní diagram $R - \varepsilon$ převést na tahový diagram II. druhu, který má závislost skutečného působícího napětí ' σ_{sk} ' na logaritmickém přetvoření ' φ ' (obr. 46). K přepočtu mezi smluvním a skutečným napětím a poměrnou a logaritmickou deformací slouží vztahy (6.1), (6.2):

$$\sigma_{sk} = R \cdot (1 + \varepsilon) \text{ [MPa]} \quad (5.1)$$

$$\varphi = \ln(1 + \varepsilon) \text{ [-]} \quad (5.2)$$

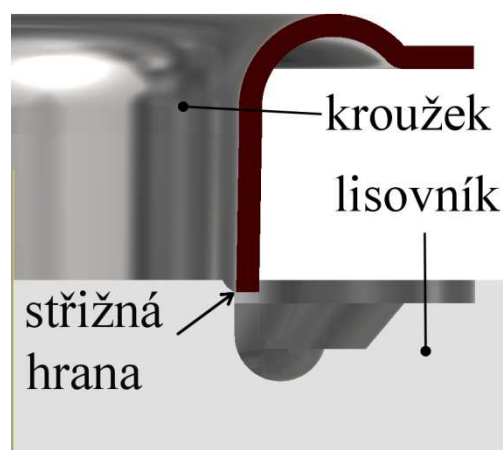


Obr. 46 Diagram skutečného napětí na logaritmické deformaci.

Hodnoty meze pevnosti a tažnosti, které byly vyhodnoceny ze tří vzorků podrobených tahové zkoušce, se liší od hodnot uváděných v materiálovém listu (příloha 1). V případě meze pevnosti byla naměřená hodnota menší o 17 %, u tažnosti byla odchylka 23 % v porovnání s hodnotami uvedenými v atestu od dodavatele plechu. I přes rozdíl mezi deklarovanými a naměřenými hodnotami tyto leží v intervalu určeném technickými dodacími podmínkami dle ČSN EN 10346.

5.2 Návrh nástroje

Při návrhu nástroje se vychází ze skutečnosti, že stříh plachty provádí kroužek společně s lisovníkem, jak naznačuje obr. 47. Tento nástroj má sloučit operaci děrování plachty a rozšiřování volného konce plachtového kroužku, kdy dojde k jeho zakroužení. Kroužek, jak již bylo zmíněno, je vyráběn technologiemi plošného tváření, takže jsou jeho rozměry určeny kalibračním nástrojem při procesu výroby. Čelo lisovníku má malý náběh v podobě rádiusu, kvůli vycentrování kroužku.



Obr. 47 Vzájemná pozice lisovníku a kroužku při stříhání.

5.2.1 Stříhání

Jelikož jsou zároveň stříhány dvě vrstvy autoplachty, což je tkanina zalitá měkčeným PVC, která má tloušťku 0,5 mm a gramáž 600 g/m², je střížná vůle určena dle [1] pro textil do tloušťky 3 mm následovně:

$$v = (0,02 \text{ až } 0,04) \cdot t = 0,04 \cdot 1 = 0,04 \text{ mm}$$

Střížná mezera dle (2.1) odpovídá poloviční hodnotě střížné vůle:

$$z = \frac{v}{2} = \frac{0,04}{2} = 0,02 \text{ mm}$$

Mez pevnosti dle zdroje [25] se pohybuje v rozmezí $R_m = 14$ až 80 MPa. Pro určení meze pevnosti ve stříhu dle (2.3) volím hodnotu $R_m = 65$ MPa. Za délku křivky stříhu je uvažován vnitřní obvod plachtového kroužku $L = \pi \cdot 9,68 = 30,41$ mm. Při děrování není počítáno s hloubkou vniknutí střížné hrany do plachty v okamžiku ustřížení a zvyšující koeficient je zvolen $n = 1,3$. Velikost střížné síly je pak určena vztahem (2.4):

$$F_s = n_s \cdot L \cdot t \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 30,41 \cdot 1 \cdot 0,77 \cdot 65 = 1978,62 \text{ N}$$

Práce, kterou je potřeba vykonat při stříhání, je dána vztahem (2.5). Protože součinitel plnosti pro nekovové materiály není na obr. 18 vyznačen, volím $\lambda = 0,8$ a práci lze spočítat:

$$A = \lambda \cdot F_{s,\max} \cdot t = 0,8 \cdot 1978,62 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 1,583 \text{ J}$$

Stříh bude realizován střížníkem v podobě lisovníku a střížnicí, kterou tvoří kroužek. Rozměry vnitřního průměru kroužku se pohybují v určitém rozmezí, takže rozměry střížníku budou vztaheny k nejmenšímu dosažitelnému průměru kroužku. Střížník bude zmenšen o velikost střížné vůle. Protože jsou kroužky umisťovány na plachtě s přesností jednotek milimetrů, materiál plachty je poddajný a střížná plocha je zakryta plachtovým kroužkem a podložkou, takže není vidět, nevyžaduje se tolerance prostříženého otvoru.

Určení jmenovitého rozměru střížnice podle kapitoly 2.1:

$$D_{ce} = (d_{kr}) + T_{nce} \text{ [mm]} \quad (5.3)$$

kde: d_{kr} – vnitřní průměr kroužku, [mm]

T_{nce} – tolerance střížnice [mm]

$$D_{ce} = (9,68) + 0,07 = 9,68^{+0,07} \text{ mm}$$

Určení jmenovitého rozměru střížníku podle kapitoly 2.1:

$$D_{ku} = (d_{kr} - v) - T_{nku} \text{ [mm]} \quad (5.4)$$

kde: T_{nku} – tolerance střížníku [mm]

$$D_{ku} = (9,68 - 0,04) - 0,015 = 9,64_{-0,015} \text{ mm}$$

Výpočet kritického napětí a síly při působení osového tlaku na jeho hranu, při kterém by došlo ke zborcení stěny kroužku. Pokud je uvažováno kritické napětí podle Timoshenka [19], musí být splněna podmínka středně dlouhé trubky, jež je dána vztahem:

$$1,72 \cdot \sqrt{\frac{t_0}{r_s}} < \frac{l_{ku}}{r_s} < 2,38 \cdot \sqrt{\frac{r_s}{t_0}} \quad [-] \quad (5.5)$$

kde: l_{ku} – délka kuželové části kroužku [mm]

$$1,72 \cdot \sqrt{\frac{0,5}{5,09}} < \frac{4}{5,09} < 2,38 \cdot \sqrt{\frac{5,09}{0,5}}$$

$$0,539 < 0,7858 < 7,594$$

Kritické napětí a síla, která by byla potřeba ke ztrátě stability plachtového kroužku, je určena vztahy:

$$\sigma_{cr} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{E}{\sqrt{1-\mu^2}} \cdot \frac{t_0}{r_s} \quad [\text{MPa}] \quad (5.6)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{210000}{\sqrt{1-0,3^2}} \cdot \frac{0,5}{5,09} = 12485,05 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \sigma_{cr} \cdot S_{cr} = \sigma_{cr} \cdot (2 \cdot \pi \cdot r_s \cdot t_0) \quad [\text{N}] \quad (5.7)$$

kde: S_{cr} – kritický průřez [mm²]

$$F_{cr} = 12485,05 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 5,09 \cdot 0,5) = 199644,7 \text{ N}$$

5.2.2 Rozšiřování

Během návrhu lisovníku a zejména poloměru zaoblení, na kterém závisí rádius r_m , jenž je zobrazen na obr 48, byla brána v potaz výška kuželové části kroužku, a vycházelo se z naměřených rozměrů zalisovaného kroužku pomocí průbojníku. Hodnota zaoblení byla zvolena 1 mm, od které se odvíjí i konečný poloměr rozšířeného kroužku $R_v = 6,82 \text{ mm}$. Nyní lze stanovit koeficient rozšiřování podle vztahu (4.1):

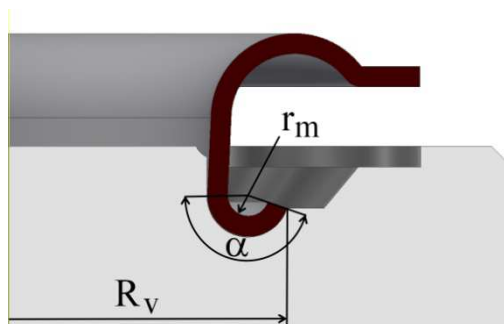
$$k_r = \frac{r_0}{R_v} = \frac{4,84}{6,82} = 0,7097$$

Je-li uvažována místo meze kluzu R_e smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$, lze stanovit maximální hodnotu radiálního napětí podle (4.5):

$$(\sigma_r)_{\max}^* = 1,1 \cdot R_{p0,2} \cdot \ln\left(\frac{R_v}{r}\right) = 1,1 \cdot 272,85 \cdot \ln\left(\frac{6,82}{5,82}\right) = 47,589 \text{ MPa}$$

Při vstupu hrany kroužku do oblasti rádiusu dochází k ohybu, ten se však nevyrovnává, protože není použit přidržovač, a zakroužení části kroužku je žádoucí. Proto je třeba vztah (4.6) upravit na poloviční hodnotu:

$$(\sigma_o)_I = \frac{R_{p0,2} \cdot t_0}{4 \cdot r_m} = \frac{272,85 \cdot 0,5}{4 \cdot 0,5} = 68,213 \text{ MPa}$$



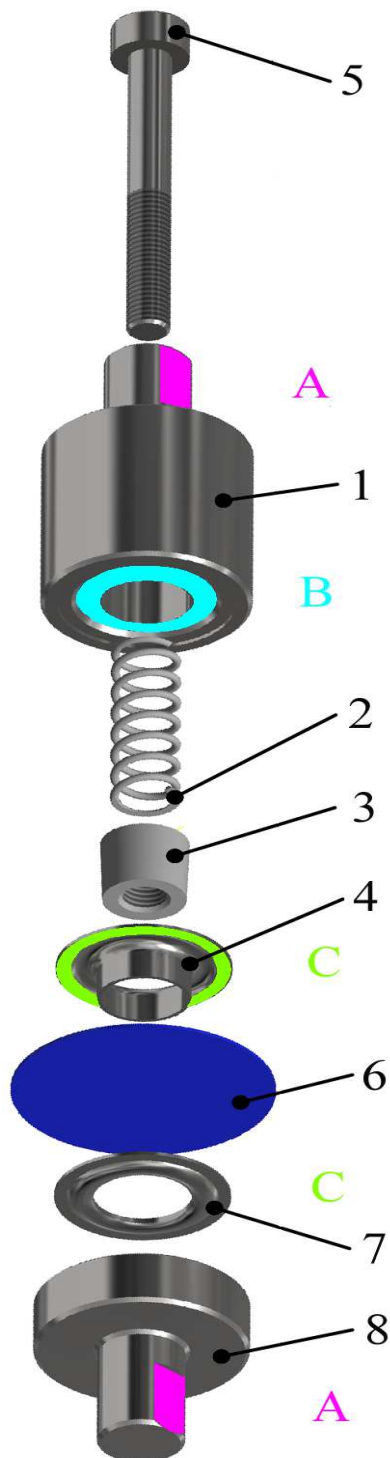
Obr. 48 Kroužek v průběhu rozšiřování.

Protože není použito přidržovače, je již možné z vypočtených hodnot s přihlédnutím ke tření na kontaktní ploše (úhlem opásání $\alpha = 162^\circ = 0,9 \pi \text{ rad}$) určit potřebnou tvářecí sílu dle (4.11):

$$F = 2 \cdot \pi \cdot r_s \cdot t_0 \cdot \left[1,1 \cdot R_p 0,2 \cdot \ln \left(\frac{R_V}{r} \right) + \frac{R_p 0,2 \cdot t_0}{4 \cdot r_m} \right] \cdot e^{\mu \alpha}$$

$$F = 2 \cdot \pi \cdot 5,09 \cdot 0,5 \cdot [47,589 + 68,213] \cdot e^{0,15 \cdot 0,9 \cdot \pi} = 2829,92 \text{ N}$$

5.2.3 Princip nástroje



Obr. 49 Nástroj pro zalisování plachtových kroužků.

Nástroj pro děrování plachty a současné zalisování kroužku (obr.49) je složen ze dvou částí. Ty jsou proti sobě ustaveny v ručním lisu a jsou vycentrovány pomocí šroubů, které tlačí na upínací plochy (A). Horní část nástroje se skládá z držáku kroužku s dutinou (1), ve které je vložena pružina (2). Ta slouží k zasunutí trnu (3) při rozšiřování plachtového kroužku (4). Trn je dotažen šroubem (5) tak, aby při nasazení kroužku na kuželovou plochu trnu byla jistá vzdálenost mezi kroužkem a dosedací plochou (B) držáku kroužku. Plachtový kroužek během pohybu horní části směrem dolů drží na trnu do okamžiku, než dojde ke kontaktu mezi čelem trnu a plachtou (6). Pokračujícím sjížděním horní části nástroje postupně dochází ke stlačování pružiny, zajíždění trnu do dutiny držáku a zmenšování vzdálenosti mezi kroužkem a držákem kroužku, až je kroužek setřen z trnu. Zvyšující se tlaková síla je přenášena kroužkem na plachtu, pod kterou se nachází lisovník (7). Na čele lisovníku je vybrání, které případně vycentruje kroužek vůči střížné hraně. Mezi hranou kroužku a střížnou hranou lisovníku je střížná mezera, která umožní prostřížení plachty. Dalším pohybem horní části nástroje se hrana kroužku dostává do oblasti rádiusu lisovníku, kde dochází k jejímu rozšiřování. Důsledkem toho je, že dojde k zakroužení hrany kroužku, která se začne pohybovat proti horní části nástroje. Jakmile hrana kroužku dorazí k plachtové podložce (8), dojde ke stlačení prolisu podložky a k sevření plachty mezi protilehlými plochami (C) kroužku a podložky. Zalisování je zdárně ukončeno, pokud nedochází k pootáčení kroužku nebo podložky vůči plachtě, když je s kroužkem otáčeno.

5.2.4 Návrh lisu

Protože k prostrižení plachty a rozšíření konce plachtového kroužku není potřeba příliš velká síla, je pro navržený nástroj zvolen ruční kolenopákový lis 11F viz obr. 50, který je vyráběn firmou SCHMIDT.

Tab. 11 Základní technické údaje lisu 11F.

Jmenovitá síla	Pracovní zdvih	Max. hmotnost nástroje	Úhel otočení	Hmotnost
[kN]	[mm]	[kg]	[°]	[kg]
12	0 až 40	2	110	23



Základní technické údaje tohoto lisu jsou uvedeny v tabulce 11 a rozměry společně s dalšími lisy tohoto typu uvádí příloha 4. Jedná se o stolní mechanický lis, který dosahuje maximální síly na konci zdvihu až těsně před úplným natažením. Díky honovanému otvoru a broušenému beranu je zaručena dlouhá životnost stroje a přesné vedení. Síly až 12 kN je dosaženo pod beranem lisu, při působení na páku silou 200 N. Výhodou je také, že otvor v beranu lisu je průměru 10 mm s uložením H7 a otvor ve stolu s uložením H9, takže je možné navržené nástroje upnout bez použití přípravků.

Obr. 50 Kolenopákový lis 11F.

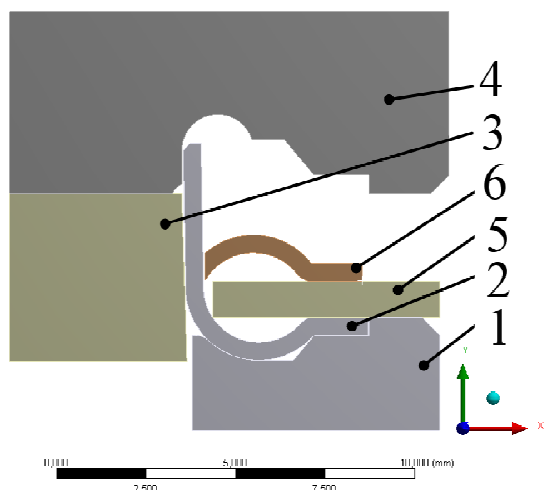
5.3 Analýza přetvoření lisovaného dílce numerickou simulací

Pro napětí-ověřovací analýzu plachtového kroužku při procesu zalisování, byl využit software pro počítání metodou konečných prvků (MKP). Principem MKP je rozdělení tvarově komplikovaného tělesa na konečný počet geometricky jednoduchých objektů, definovaných rozměrů, které jsou navzájem spojeny. Jejich deformací jsou pak stanoveny jednotlivé veličiny jako přetvoření, napětí, posuvy geometrie apod.

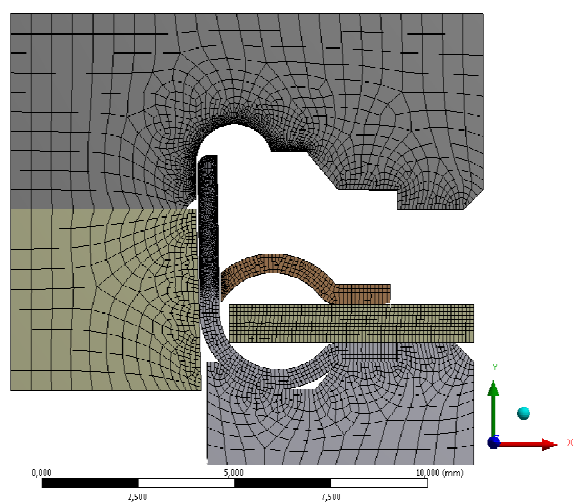
Pro numerickou simulaci byl použit program ANSYS Workbench 2016. Jedná se o multifyzikální software, který umožňuje simulovat poměrně jednoduché kvazistatické úlohy, ale i mnohem náročnější děje jako je vedení tepla nebo proudění kapalin v zadaném prostoru.

Vzhledem k rotační symetrii úlohy byla využita 2D axisymetrická analýza s osou rotace shodnou s osami kroužku, lisovníku a držáku kroužku. Výpočet byl proveden v modulu STATIC STRUCTURAL vzhledem k tomu, že proces je uvažován jako kvazistatický.

Geometrický model použitý při simulaci je uvažován jako axisymetrický. Je vyobrazen na obr. 51 a) a skládá se z následujících částí. Držák kroužku (1) přenáší tlakovou sílu na



a) geometrický model



b) síť prvků

Obr. 51 Popis geometrického modelu a zobrazení síť konečných prvků.

bilinéární materiálový model. Tento krok spočívá v proložení plastické části křivky lineární funkcí, která je popsána rovnicí $\sigma_{sk} = 647,04 \cdot \varphi + 291,1$ a má koeficientem spolehlivosti $R^2 = 0,9943$. Materiál plachty byl vybrán z databáze programu. Pokud nedochází k prostřížení plachty, tak by jeho přibližné určení nemělo příliš ovlivnit výsledek celé simulace.

Zatížení je způsobeno pohybem držáku kroužku společně s plachtovým kroužkem, zobrazeným na obrázku 52 modře, ve směru shora dolů. Celková hodnota posuvu je 2,6 mm. Lisovník je brán jako pevně zafixovaný. Stejně tak je uvažován i vnější okraj plachty, aby bylo možné simulaci spočítat. Na obr. 52 je fixace dílů zaznačena červeně.

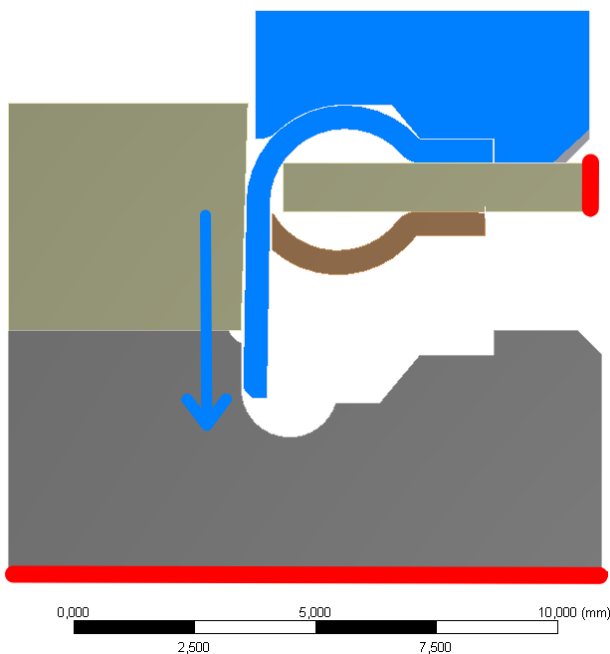
plachtový kroužek (2), jenž je pomocí trnu (3) veden na lisovník (4). Během působení tlakové síly dojde k zakroužení kroužku a sevření plachty (5) mezi kroužkem a plachtovou podložkou (6).

Simulace byla provedena zjednodušeně, kdy není uvažováno prostřížení materiálu plachty ani přetvoření kroužku, ke kterému dochází při jeho výrobě. Pro úplnou simulaci by bylo nutné určit celou historii zatěžování a deformování materiálu při všech výrobních operacích a rovněž analyzovat vlastnosti materiálu plachty.

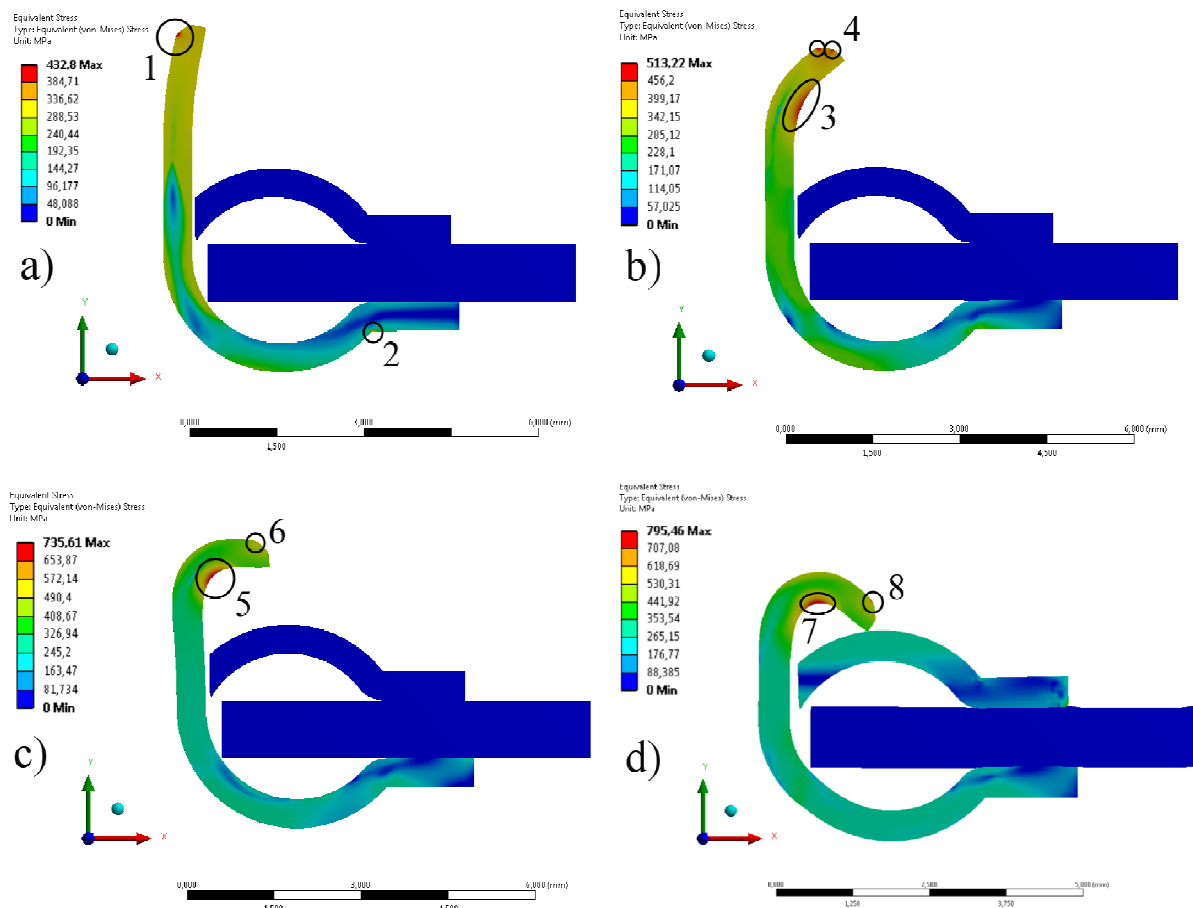
Pro popis geometrie byly použity 2D čtyřúhelníkové prvky. Síť znázorněná na obr. 51 b), byla lokálně zjemněna pro kvalitnější určení deformace v oblasti, kde se očekávalo největší přetvoření materiálu.

Standardní velikost elementu byla zvolena 0,1 mm. Tomu odpovídá ve větší míře oblast nástrojů a místo kontaktu nástroj-polotovar. V oblasti zjemněné sítě kroužku, která je patrná z obrázku 51 b), je velikost elementů 0,02 mm.

Materiálový model plachtového kroužku byl zadán dle získaných dat z tahové zkoušky. Křivka znázorněná v grafu na obrázku 46, ze které vychází materiálový model plechu kroužku při simulaci, se velmi blíží lineární závislosti. Pro účely numerické simulace, je z důvodu stability křivky dobré, použít

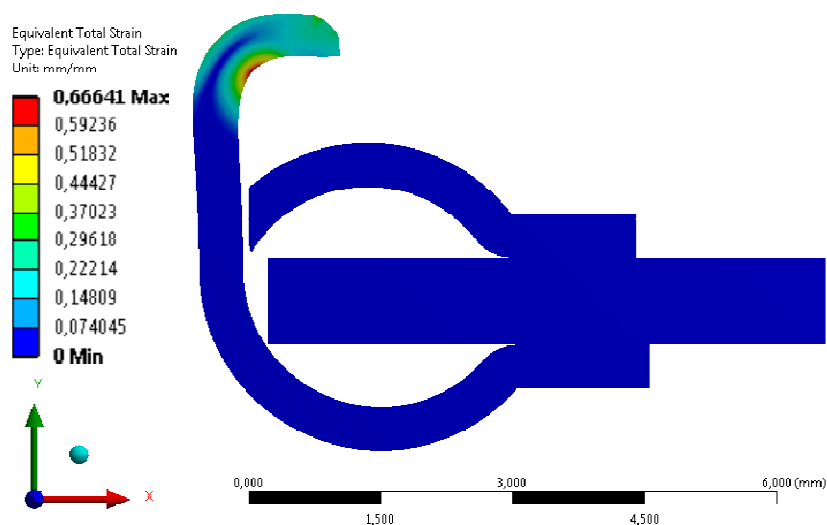


Obr. 52 Zatížení nástroje.

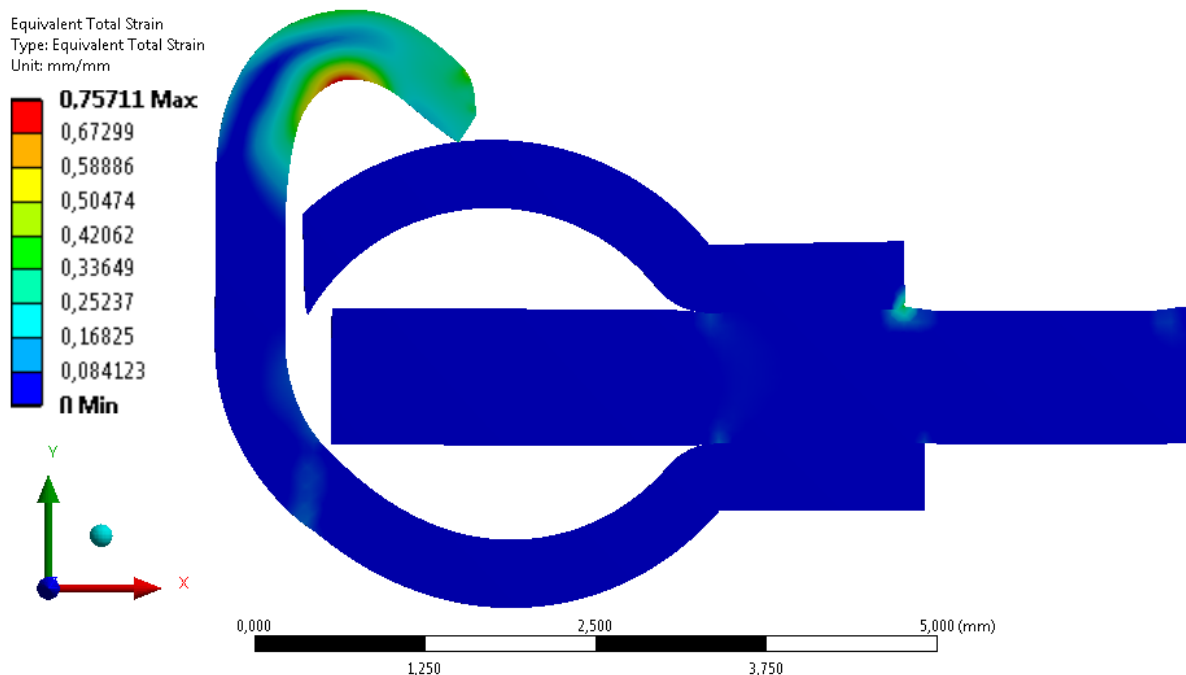


Obr. 53 Postupný růběh napětí podle hypotézi HMH.

Přetvoření kroužku v okamžiku dosažení dna rádiusu. Na obrázku 53 je znázorně postup zakružování kroužku ve čtyřech etapách. Na začátku procesu (obr 53 a) dojde ke kontaktu mezi kroužkem a lisovníkem v bodě 1. Další posuvem držáku kroužku se tlaková síla přenáší přes stěnu kroužku, a ten se v držáku opře o bod 2. Postupným posouváním se začíná kroužek zakružovat (obr 53 b) a největšího napětí je dosaženo v místě kontaktu s lisovníkem (body 4) a rovněž na vnitřním poloměru ohybu r_m' . Protože hodnota napětí je 513 MPa, což výrazně převyšuje mez kluzu, je již dosaženo plastické deformace. Jakmile se hrana kroužku začne pohybovat proti směru pohybu držáku (obr 53 c), napětí v bodě 6 už výrazně neroste, ale zvětší se napětí působící v oblasti vnitřního ohybu (5). Když dojde ke kontaktu mezi hranou kroužku a plachtovou podložkou (obr 53 d), je bod 8 přitlačen na stěnu lisovníku, materiál se již nemá kam posouvat a v oblasti 7 je dosaženo maximální hodnoty napětí 795,46 MPa.



Obr. 54 Přetvoření kroužku v okamžiku dosažení dna rádiusu.

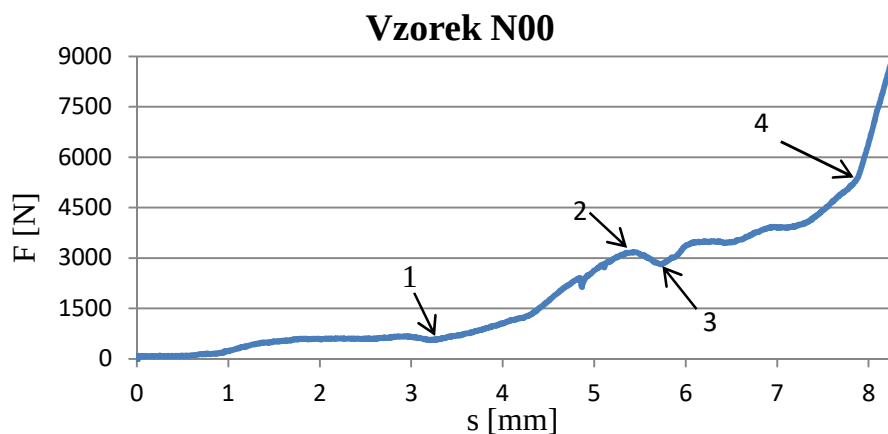


Obr. 55 Přetvoření kroužku na konci procesu zalisování.

Na obr. 54 je znázorněno přetvoření kroužku v okamžiku, kdy jeho hrana dosáhne nejnižšího bodu zaoblení lisovnicku. Z vnější strany působí na materiál kroužku tlakové napětí vyvozené od lisovnicku. Proto se materiál musí tvářet směrem k vnitřnímu poloměru ohybu, kde dochází k největšímu přetvoření na konci procesu (obr. 55).

5.4 Experimentální ověření průbojníku

Ověření nástrojů bylo prováděno na hydraulickém stroji ZD40 viz obr. 42 a tabulka 9 stejně jako tahová zkouška. Nejprve byl pro porovnání ověřen průbojník (obr. 56), který slouží k zalisování plachtových kroužků s předpřipraveným otvorem v plachtě. Tento nástroj je vyráběn firmou Franz Miederhoff oHG. Sestava skládající se ze spodního dílu průbojníku, plachtového kroužku, plachty s otvorem, plachtové podložky a horního dílu průbojníku byla umístěna pod beran zkušebního stroje. Celkem bylo provedeno 5 měření, kde u prvního vzorku N00 nebyla umístěna mezi plachtový kroužek a podložku plachta. Tento pokus sloužil k odhadnutí potřebné tvářecí síly pro zakroužení kroužku.

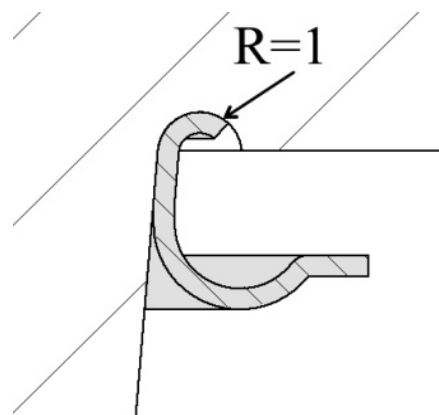


Obr. 56 Vzorek N00.



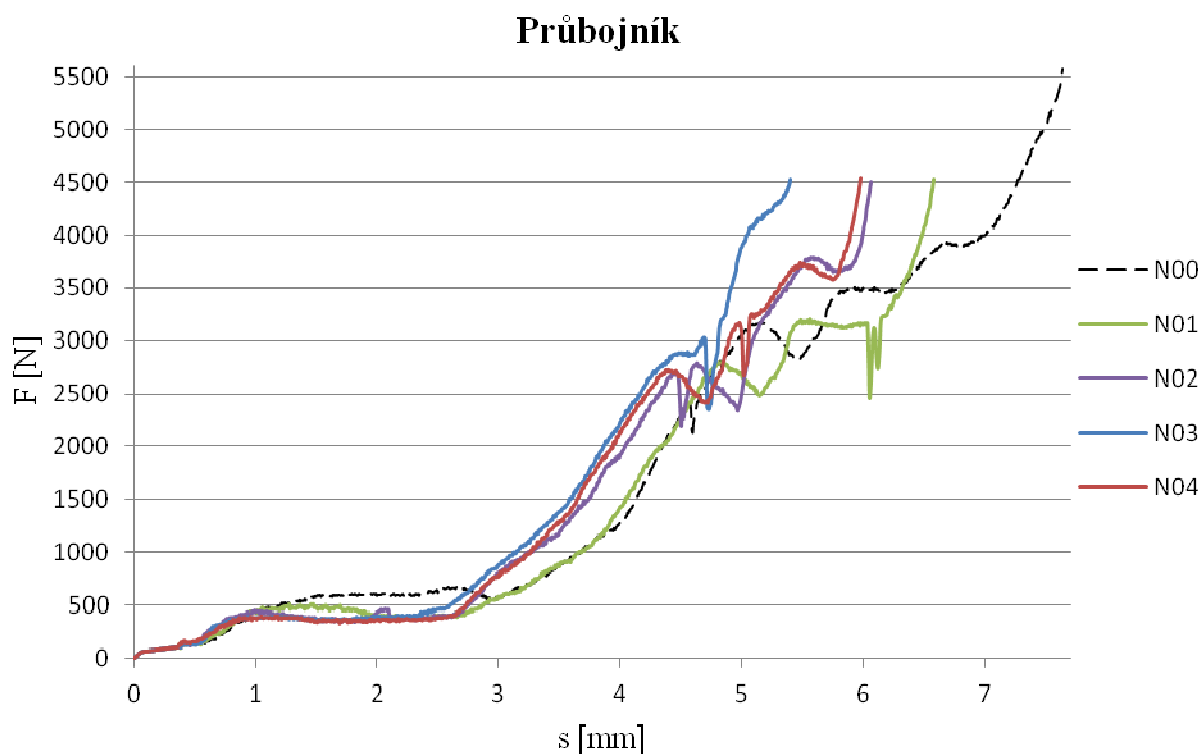
Obr. 57 Průbojník.

Stroj byl nastaven tak, aby při dosažení síly 9 kN vypnul a odlehčil vzorek. Průběh závislosti zatěžující síly na dráze je na obrázku 57, kde mezi počátkem a znázorněným bodem 1 dochází k pozvolnému rozšíření kroužku na kuželové části horního dílu průbojníku, a tedy ke kalibraci průměru. Mezi body 1 a 2 se postupně materiál kroužku dostává do oblasti zaoblení v průbojníku a nastává jeho zakružování. Lokálního maxima v bodě 2 je nejspíš dosaženo v okamžiku, kdy hrana kroužku dosáhne konce rádiusu a odlepí se od stěny průbojníku. Schéma situace těsně před dosažením lokálního extrému je znázorněna na obr. 58. Ve chvíli, kdy dojde ke kontaktu mezi již zakrouženou hranou kroužku a plachtovou podložkou (bod 3), se dále navyšuje tvářecí síla, než je podložka úplně přitlačena k povrchu kroužku (bod 4). V tomto okamžiku již síla narůstá takřka lineárně a dochází k pěchování kroužku s podložkou.



Obr. 58 Schéma zakroužení.

Následující měření proběhla při umístění plachty mezi kroužek a podložku. To má za následek změnu tvaru grafu mezi body 3 a 4 uvedenými na obr. 57. Výsledky měření jsou v souhrnném grafu na obrázku 59, kde je zahrnut pro srovnání i vzorek bez plachty N00.



Obr. 59 Souhrnný graf průběhu síly na dráze vzorků N00 až N04.

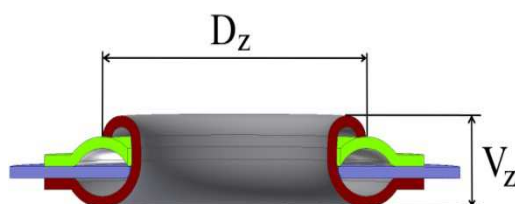
U vzorků N01 až N04 byla síla potřebná k dostatečnému zalisování stanovena na 4500 N. Nad touto hodnotou již závislost síly na dráze rostla téměř lineárně, a proto není v grafu na obr. 59 znázorněna. Hodnoty naměřené u jednotlivých vzorků, jsou shrnuty v tabulce 12, kde je jako lokální extrém brán bod 2 z obr. 57.

Tab. 12 Hodnoty vzorků zalisovaných pomocí průbojníku.

Vzorek	Lokální extrém		Výška	Vnější průměr zakrouženého prstence
	s [mm]	F [N]	v_z [mm]	D_z [mm]
N00	5,14	3169,6	2,78	13,85
N01	4,80	2793,2	3,65	13,56
N02	4,47	2699,2	3,77	13,71
N03	4,69	3028,4	4,42	13,66
N04	4,37	2727,6	3,74	13,70

Ilustrativní příklad, jak by měl vypadat zalisovaný kroužek, je naznačen na obr. 60. Při zalisování vzorku N00 a N01 byla během sestavování jednotlivých dílů umístěna plachtová podložka obráceně. To má za následek, že při zalisování nedochází k deformaci prolisu podložky, která působí jako pružný člen, jenž přitlačuje podložku a kroužek k sobě, a svírá tak plachtu.

O faktu, že byl vzorek N01 špatně zalisován, svědčí to, že dochází k prokluzu mezi kroužkem a podložkou při působení poměrně malé síly. Hodnota síly při lokálním extrému, kdy zakružovaná hrana opouští oblast rádiusu průbojníku, u vzorku N03 převyšuje hodnoty dosažené u ostatních vzorků. Stejně tomu je u konečné výšky toho dílu. Příčinou je nadbytečná podložka mezi kroužkem a plachtou, která se sem dostala nepozorností.



Obr. 60 Zalísovaný kroužek

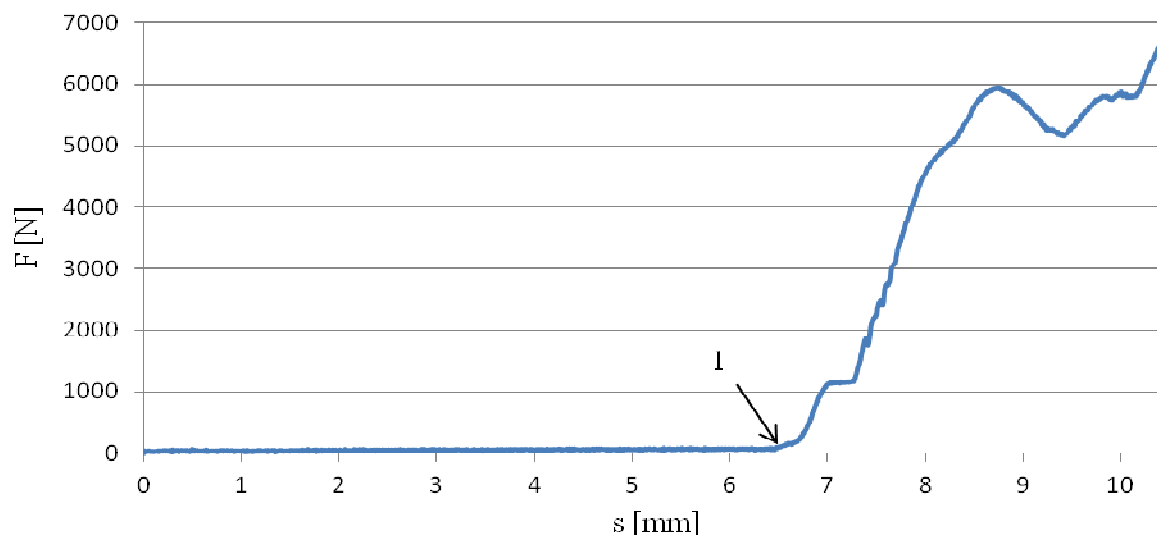
5.5 Ověření prototypu nástroje

Testování prototypu navrhovaného nástroje, který je zobrazen na obr. 61, probíhalo obdobným způsobem jako při zkoušení průbojníku. Pro horní a spodní díl musela být připravena pouzdra, aby se zvýšila stabilita při působení síly lisu. Po ustavení lisovnicku s pouzdem byla do lisovnicku vložena plachtová podložka. Následně se na lisovnick položí plachta ve dvou vrstvách. Pro usnadnění manipulace byly připraveny výstřižky z plachty, tentokrát však bez předpřipraveného otvoru. Poté byl na plachtu umístěn držák kroužku s kroužkem nasazeným na trnu. Před zahájením lisování bylo potřeba vůči sobě lisovnick a držák kroužku vzájemně vystředit. Maximální tlaková síla, při které bylo nastaveno zastavení stroje, byla 7 kN.

U vzorku P1 zkouška probíhala bez použití plachty, takže v diagramu závislosti síla - dráha na obrázku 62 není zobrazen stříh materiálu plachty.



Obr. 61. Sestava prototypového nástroje.



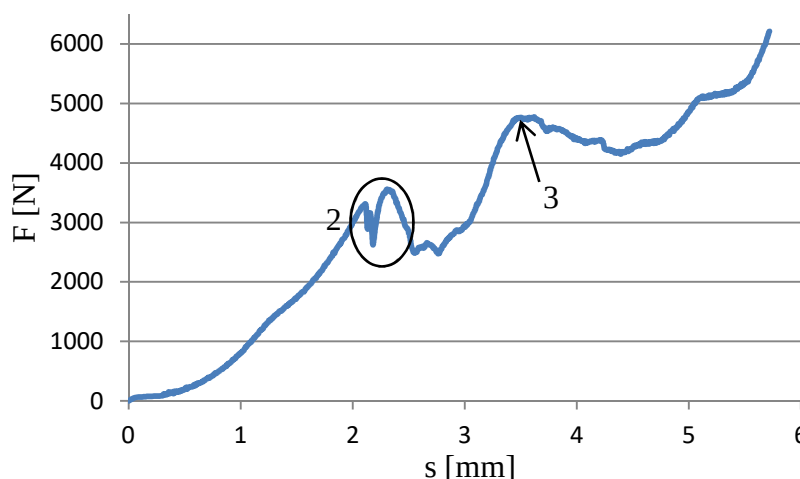
Obr. 62 Průběh zatěžující síly u vzorku P1.

Mezi počátkem a bodem 1 je nárůst zatěžující síly velmi pozvolný. Nejprve dochází k vymezení prostoru mezi beranem lisu a čelem pouzdra držáku kroužku. Následně je trn držící kroužek zasunován do dutiny držáku kroužku a pružina je stlačována. Jakmile kroužek dosedne na plochu držáku, dojde k jeho uvolnění z trnu a díky náběhu na lisovníku je vůči němu vystředěn. Na obr. 62 je právě dosaženo bodu 1, kde doposud nebyla překročena síla 95 N. Tato část grafu nebude u dalších vzorků vykreslena, takže počátek bude posunut do bodu 1.

Mimo kontrolní vzorek P1 byla síla potřebná k zalisování plachtových kroužků určena 6200 N. Nad touto hranicí již síla v závislosti na dráze rostla takřka lineárně a z tohoto důvodu není v grafech na obr. 63 až 66 znázorněna.



a) detail vzorku



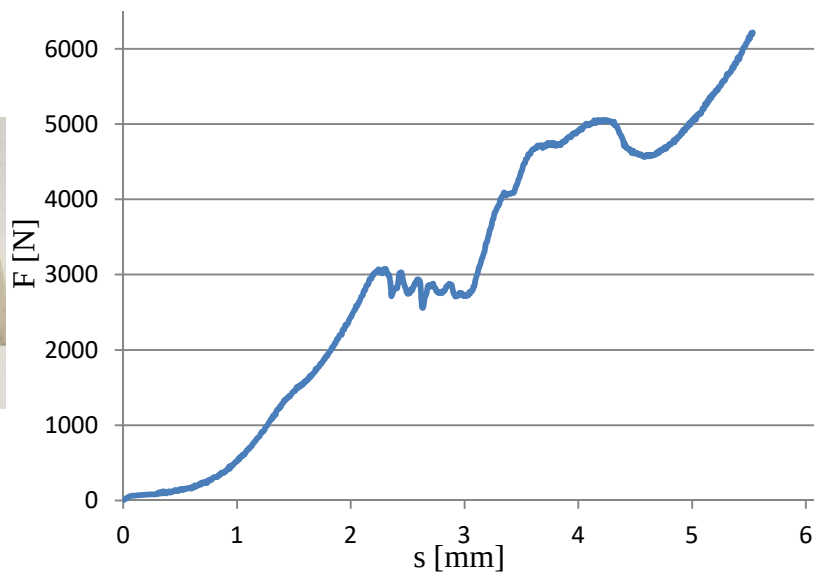
b) průběh zatěžující síly

Obr. 63 Vzorek P2.

Na obr. 63 je znázorněna oblast stříhu 2. Díky tomu, že se jedná o PVC s vlákny a materiál je stříhán ve dvou vrstvách, má průběh síly takovýto tvar. Po překonání střížného odporu dojde ke snížení zatěžující síly a dále ke kalibraci průměru kroužku před vstupem hrany kroužku do oblasti zaoblení lisovníku. Dále je průběh závislosti obdobný jako při zalisování kroužku pomocí průbojníku. Pro porovnání nástrojů je třeba zjistit hodnoty lokálního maxima v bodě 3, kde hrana kroužku dosáhne konce rádiusu lisovníku.



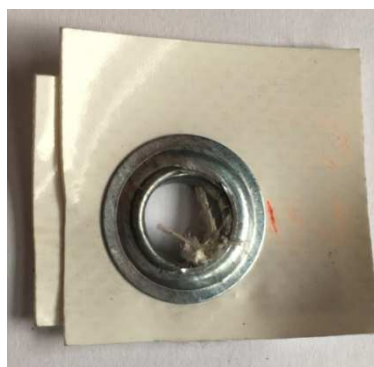
a) detail vzorku



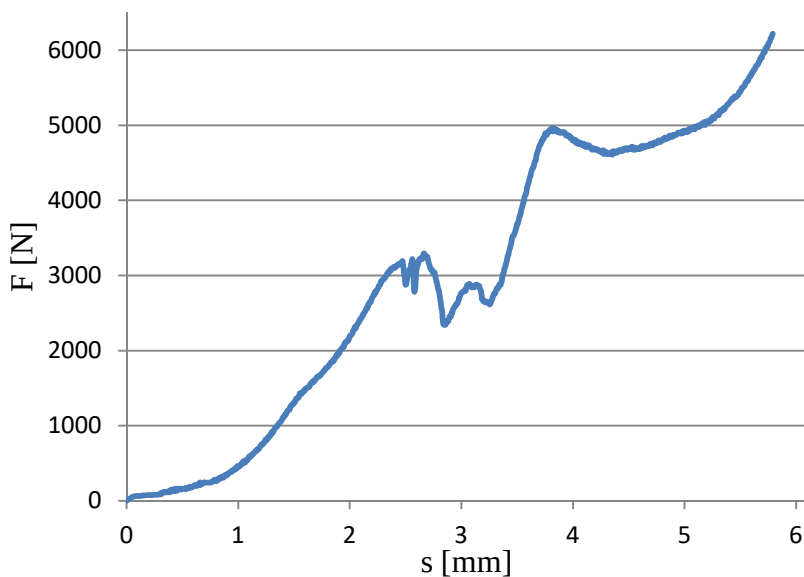
b) průběh zatěžující síly

Obr. 64 Vzorek P3.

Při zalisování vzorku P3 (obr. 64) se zakružovaný konec kroužku nedostal zcela pod úroveň podložky, což mělo za následek nepříznivou deformaci kroužku. Proto zalisování tohoto vzorku nelze považovat za správně provedené.



a) detail vzorku



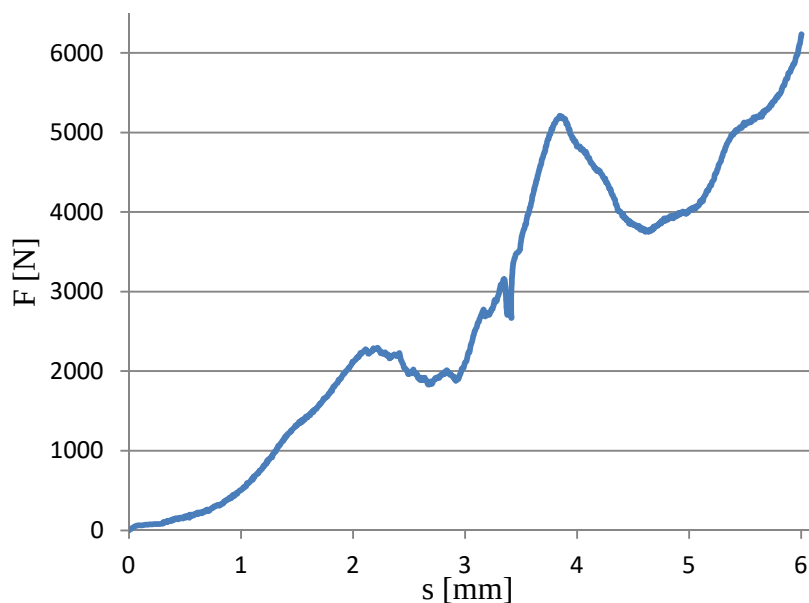
b) průběh zatěžující síly

Obr. 65 Vzorek P4.

Otřepy plachty u vzorku P4 (obr. 65) naznačují, že už během procesu stříhu nebyla střížná hrana kroužku vůči lisovníku správně ustavena. To mělo vliv i na další průběh zakružování. Příčinou pravděpodobně bylo špatné založení lisovníku a držáku kroužku pod beranem lisu, takže byly výrazně nesouosé.



a) detail vzorku



b) průběh zatěžující síly

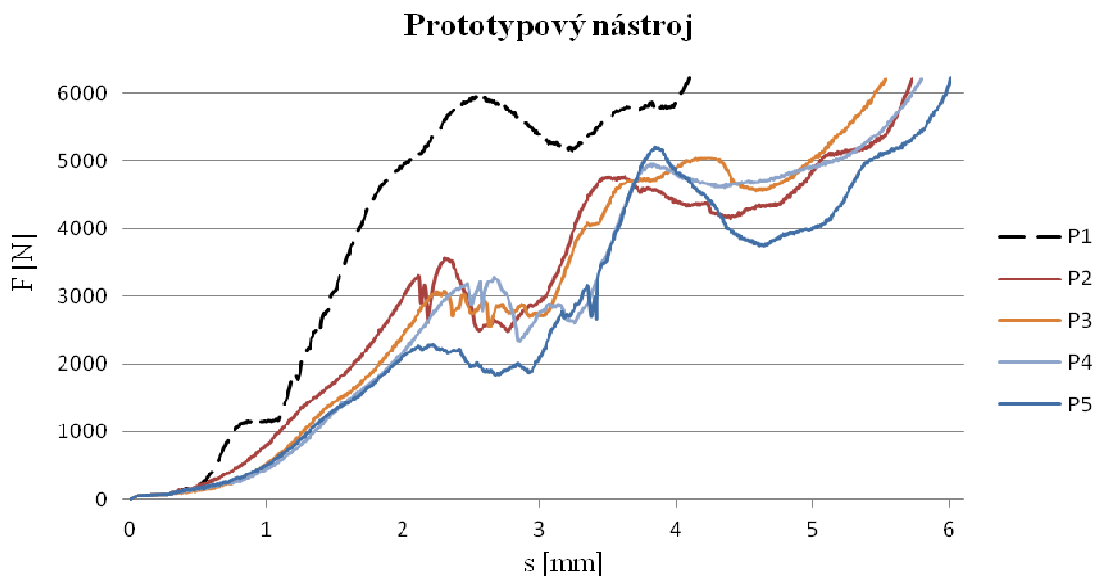
Obr. 66 Vzorek P5.

Vzorek P5, který je zobrazen na obr. 66, se vzhledem nejvíce přiblížil ověřovacím vzorkům zhotovených pomocí průbojníku s předděrovaným otvorem v plachtě.

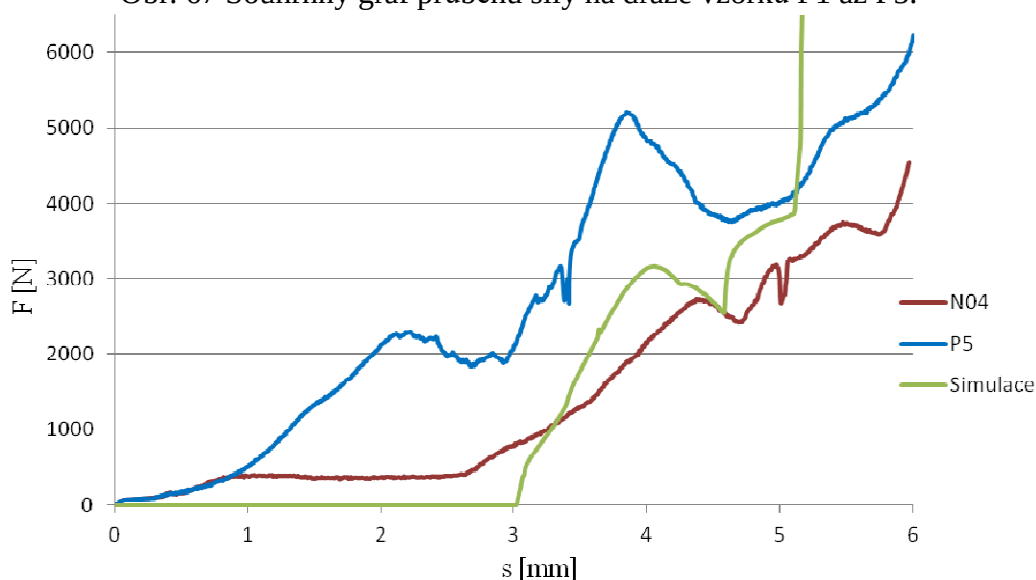
Tab. 13 Hodnoty vzorků zalísovaných pomocí prototypového nástroje.

Vzorek	Střih plachty		Lokální extrém		Výška	Vnější průměr zakrouženého prstence
	s [mm]	F [N]	s [mm]	F [N]	v_z [mm]	D_z [mm]
P1	-	-	2,555	5962,4	3,38	12,72
P2	2,306	3555,2	3,62	4768,4	3,63	13
P3	2,293	3075,6	4,141	5050,4	3,84	12,88
P4	2,666	3291,6	3,813	4956,4	3,89	-
P5	2,219	2294,8	3,846	5210,4	3,81	12,87

Zjištěné hodnoty u vzorků P1 až P5 jsou shrnuty v tabulce 13, kde jsou zaznamenány jak maximální hodnoty dosažené při střihu plachty, tak hodnoty lokálního extrému viz bod 3 z obr. 63. Souhrnný graf vzorků je na obrázku 67.



Obr. 67 Souhrnný graf průběhu síly na dráze vzorků P1 až P5.



Obr. 68 Srovnání průběhu síly při použití průbojníku a navrženého nástroje.

Na obrázku 68 je zobrazen rozdíl při zakružování kroužku za pomoci průbojníku (N04), navrhovaného nástroje (P5) a průběh, který byl určen numerickou simulací. Nárůst síly při použití průbojníku je podstatně pozvolnější a také síla potřebná k zakroužení plachtového kroužku je výrazně nižší, než v případě prototypového nástroje. Rozdíl je pravděpodobně způsoben menším úhlem sklonu kužele, lepší jakostí povrchu a příznivějším rádiusem u průbojníku. Při porovnání průběhu síly určenou simulací je patrná značná podobnost s prototypovým nástrojem.

Tab. 14 Srovnání vypočtených, změřených a odsimulovaných výsledků sil.

	Střížná síla: F_s [N].	Síla pro zakroužení: F [N]
Teoreticky spočítaná	1978,62	2829,92
Numerická simulace	-	3174,1
Průbojník	-	2727,6
Prototypový nástroj	2294,8	5210,4

6 ZÁVĚRY

Cílem diplomové práce bylo navrhnout nástroj pro zalisování plachtového kroužku průměru 10 mm, který slouží k vyztužení otvoru vytvořeného v autoplachtě. Jedná se o kalíšek bez dna, který má přírubu s prolisem a je vyráběn z ocelového plechu DX51 tloušťky 0,5 mm. Součást je vyráběna technologií postupového tažení z pásu plechu na excentrickém lisu LENA 25 C.

Navrhovaný nástroj má sloučit operaci děrování otvoru do plachty s následným rozšířením konce kroužku. Na tuto problematiku byla zaměřena literární studie, která se zabývá také vznikem hrany kroužku při lemování otvoru v postupovém nástroji.

Protože se hrana kroužku přímo účastní procesu vystřížení otvoru v plachtě, byla provedena studie vzhledu hrany rozříznutého kroužku k určení její geometrie. Pozorování proběhlo pomocí stereomikroskopu SSM 3-E, které zjistilo, že se na hraně kroužku nachází úkos a nastává ztenčení tloušťky materiálu během výroby. Pro detailní analýzu tloušťky stěny kroužku proběhlo jeho naskenování pomocí přístroje ATOS Core 80. Bylo zjištěno, že hodnota tloušťky stěny v těsné blízkosti hrany se pohybuje v intervalu 0,34 až 0,37 mm.

Pro určení mechanických vlastností materiálu byla provedena tahová zkouška nepoměrných tyčí na zkušebním stroji ZD40. Bylo zjištěno, že mez pevnosti a tažnost se liší od hodnot uvedených v materiálovém atestu dodavatele, ale odpovídají hodnotám dle technických dodacích podmínek.

Při návrhu nástroje byl proces zalisování kroužku rozdělen na stříhání plachty a rozšiřování volného konce. Během stříhu má kroužek funkci střižnice a střižníkem je lisovník. Pro děrování plachty byla spočítána střižná síla o velikosti $F_s = 1978 \text{ N}$ a síla nutná k rozšíření konce kroužku $F = 2830 \text{ N}$. Vzhledem k velikosti sil byl zvolen pro zalisování ruční kolenopákový lis 11F od firmy SCHMIDT.

Byla provedena analýza přetvoření lisovaného dílce pomocí numerické simulace v programu ANSYS. Bylo zjištěno, že k největšímu přetvoření dochází na vnitřním poloměru, kde je hrana zakružována.

Bylo provedeno experimentální ověření navrženého nástroje na zkušebním stroji ZD40. To bylo porovnáno s běžně používaným průbojníkem, u kterého je potřeba v plachtě předpřipravit otvor. Srovnání průběhu zatěžující síly na dráze je na obr. 68, kde je vidět rovněž průběh určený simulací. Srovnání dosažených a vypočtených hodnot je shrnuto v tabulce 14.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010, (6), 72-76 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
2. ALFUN: Produkty: ocel [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://alfun.cz/ocel>
3. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL, 1983.
4. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. New York: Industrial Press, c2004, 219 s. ISBN 08-311-3182-9.
5. BŘEZINA, Richard. *Speciální technologie. Technologie tváření: Návod do cvičení*. Ostrava: VŠB, 1987, 218 s.
6. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
7. ČSN EN 10143. *Ocelové plechy a pásy kontinuálně pokovené - Mezní úchytky rozměrů a tolerance tvaru*. Praha: NORTECH, 2006.
8. ČSN EN 10346. *Kontinuálně žárově ponorem povlakované ocelové ploché výrobky - Technické dodací podmínky*. Praha: Český normalizační institut, 2009.
9. ČSN ISO 8695. *Tvářecí nástroje - Střížníky - Přehled a terminologie*. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví., 2011, 12 s. ČSN ISO 8695.
10. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-802-1447-479.
11. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
12. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2*. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-718-3244-8.
13. KOTOUČ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Luděk MÁDLE. *Tvářecí nástroje*. Praha: České vysoké učení technické, 1993, 349 s. ISBN 80-010-1003-1.
14. LENFELD, Petr. *Technologie plošného tváření - stříhání* [online]. Liberec [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
15. *Nástroje pro zalisování* [online]. [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: <https://www.miederhoff.de/cz/produkte/handwerkzeuge/>
16. *North Sails Gabel Platinum Aero Series Wave New School Curve 140* [online]. [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: http://www.htsboarderdivision.com/product_info.php?manufacturers_id=&products_id=464&osCsid=de55fbdd97171cb6dff8b07a5b15536c
17. *Plachtové kroužky* [online]. [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: https://www.miederhoff.de/cz/produkte/oesen_scheiben/

18. PROCHÁZKA, Martin. *Analýza ztráty stability termoplastových trubek* [online]. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, 2016 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/63006>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav stavební mechaniky. Vedoucí práce Roman Gratza.
19. ŘASA, Jaroslav, Jindřich KAFKA a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 4: návrhy nástrojů, přípravků a měřidel : zásady montáže*. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 2003. ISBN 80-718-3284-7.
20. SAMEK, Radko, Zdeněk LIDMILA a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. *Speciální technologie tváření. Část II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 155 s. : obr., čb. fot., grafy, tabulky ; 30 cm. ISBN 9788021444065.
21. *Schut Geometrical Metrology: Products, microscopes* [online]. 2016 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.schut.com/CatalogOnline/en/mobile/index.html#p=409>
22. ŠPAČEK, Jindřich a Ladislav ŽÁK. *Speciální technologie I a II: návody do cvičení - část: plošné tváření*. Praha: VUT Brno, 1991. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-0259-8.
23. TIŠNOVSKÝ, Miroslav. *Hluboké tažení plechu na lisech*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990. Knižnice technických aktualit. ISBN 80-030-0221-4.
24. *Vlastnosti: Polyvinylchlorid (PVC): Materiály podľa druhu* [online]. MatNet Slovakia, 2006 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.matnet.sav.sk/data/files/798.pdf>
25. *Zařízení pro aplikaci plachtových kroužků* [online]. [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: https://www.miederhoff.de/cz/produkte/maschinen__maschinenwerkzeuge/

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Popis	Jednotka
A	střížná práce	J
a	šířka okraje plechu	mm
A ₈₀	tažnost	%
A _i	obsah ploch jednotlivých částí kroužku	mm ²
a _x , b _x , c _x	souřadnice sil ve směru osy x	mm
b	šířka přepážky	mm
c	součinitel závislý na stupni stříhu	-
c _o	šířka okraje pro ostřížení	mm
D	průměr výstřížku	mm
d _{kr}	vnitřní průměr kroužku	mm
D _{kri}	průměr plochy kroužku	mm
d _p	střední otvor při protahování	mm
D _p	střední průměr protaženého otvoru	mm
d _{sv}	vnitřní průměr svitku	mm
D _{sv}	vnější průměr svitku	mm
$\bar{D}$	modul zpevnění	MPa
E	Modul pružnosti	MPa
F	tlaková síla	N
f _{kri}	příčný rozměr plochy kroužku	mm
F _{pr}	protlačovací síla	N
F _s	střížná síla	N
F _{st}	stírací síla	N
F _x	suma střížných sil	N
h	výška fazetky	mm
H	výška válcové stěny	mm
h _{el}	hloubka pružného vniknutí břitů	mm
h _{kri}	výška plochy kroužku	mm
h _{pl}	hloubka plastického vniknutí břitů	mm
h _s	hloubka vniknutí břitů při stříhu	mm
H _s	výška střížnice	mm
I	osový moment setrvačnosti	mm ⁴
k	délka kroku	mm
K	materiálová konstanta	Mpa
k _b	součinitel bezpečnosti	-
k _{pe}	součinitel protlačování	-
k _r	koeficient rozšiřování	-
k _{su}	součinitel stírání	-
L	délka křivky stříhu	mm
l _{ku}	délka kuželové části kroužku	mm
L _{sv}	rozvinutá délka svitku	mm
m _{sv}	hmotnost svitku	kg
n	exponent zpevnění	-
n _k	počet výlisků v jenom kroku	-
n _s	zvyšující koeficient stříhu	-
n _v	Množství kusů vyrobených ze svitku	-
r	poloměr na konci rádiusu	mm
R	zatěžovací napětí	MPa

r_0	výchozí poloměr součásti	mm
R_e	Mez kluzu	MPa
r_{kri}	rádius plochy kroužku	mm
r_m	vnitřní poloměr ohybu	mm
R_m	Mez pevnosti v tahu	MPa
R_N	poloměr neutrální tloušťky	mm
r_{pr}	zaoblením průtažnice	mm
r_s	poloměr středního vlákna	mm
R_v	konečný poloměr součásti	mm
R_x	obecný poloměr	mm
s	prodloužení původní délky	mm
S_c	celková plocha všech součástí	mm ²
S_{cr}	kritický průřez	mm ²
S_{kr}	střední plocha kroužku	mm ²
S_{ku}	plocha průřezu střižníku	mm ²
S_{mod}	povrch modelu	mm ²
S_p	plocha polotovaru	mm ²
$š_p$	šířka pásu	mm
t'	tloušťka ztenčené stěny	mm
t_0	tloušťka materiálu	mm
T_{nce}	tolerance střižnice	mm
T_{nku}	tolerance střižní	mm
v	Střižná vůle	mm
X	vzdálenost těžiště ve směru osy x	mm
z	Střižná mezera	mm
α	úhel opásání	rad
β	korekční koeficient podmínky plasticity	-
ε	poměrné přetvoření	-
η	součinitel využití materiálu	-
λ	součiniteli plnosti	-
μ	Poissonovo číslo	-
μ_f	koeficient tření	-
ρ	měrná hmotnost oceli	kg/m ³
$(\sigma_d)_c$	celkový deformační odpor	MPa
$(\sigma_o)_{I,II}$	napětí při ohýbání, vyrovnání	MPa
$(\bar{\sigma})_{str}$	střední hodnota přirozeného deformačního napětí	MPa
σ_1	tahové napětí	MPa
σ_2	prostřední napětí	MPa
σ_3	tlakové napětí	MPa
σ_d	deformační odporu	MPa
σ_{fp}	napětí pod přidržovačem	MPa
σ_{ke}	extrapolovaná mez kluzu	MPa
σ_{kns}	kontaktního napětí střižníku	MPa
σ_n	normálná složka napětí	MPa
σ_r	radiální napětí	MPa
σ_z	normálový tlak přidržovače	MPa
σ_θ	obvodové napětí	MPa
$\sigma_{\mu\alpha}$	účinek pásového tření	-
τ_s	mez pevnosti ve stříhu	MPa

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Plachtové kroužky a jejich aplikace [18], [15], [16].	10
Obr. 2 Plachtový kroužek s podložkou.	11
Obr. 3 Ruční nástroje na plachtové kroužky.	11
Obr. 4 Základní rozměry.	11
Obr. 5 Zařízení pro aplikaci plachtových kroužků [7].	12
Obr. 6 Excentrický lis LENA 25 C.	13
Obr. 7 Příslušenství lisu LENA 25 C.	14
Obr. 8 Sdružený postupový nástroj pro výrobu plachtového kroužku Ø 40 mm.	14
Obr. 9 Postup výroby plachtového kroužku Ø 10 mm.	15
Obr. 10 Průběh stříhání [11].	18
Obr. 11 Vliv střížné vůle na stříhání [14].	18
Obr. 12 Střížná plocha při optimální střížné vůli [14].	19
Obr. 13 Rozložení tolerančních polí obrobku a nástroje [6].	19
Obr. 14 Rozbor napjatosti při uzavřeném stříhání [14].	21
Obr. 15 Průběh střížného procesu a střížné síly [11].	21
Obr. 16 Příklad zkosení střížných břitů [8].	22
Obr. 17 Snížení střížné síly zkosením střížných břitů [8].	22
Obr. 18 Snížení střížné síly střížníky různé délky [8].	23
Obr. 19 Graf pro určení součinitele plnosti [14].	23
Obr. 20 Těžiště střížných sil [20].	24
Obr. 21 Nástřihový plán - uspořádání výstřižků [6].	25
Obr. 22 Volba kroku a šířka pásu [8].	26
Obr. 23 Hlavní části střížníku [20].	27
Obr. 24 Střížníky [20].	27
Obr. 25 Tvary střížných hran střížnic [6].	28
Obr. 26 Fáze procesu lemování [11].	29
Obr. 27 Kombinace tažení a protahování [21].	30
Obr. 28 Příklady zakončení trubek [21].	31
Obr. 29 Návrh rozšiřování trubky [21].	31
Obr. 30 Vytváření ploché příruby [21].	32
Obr. 31 Defekty u kuželového zakončení [21].	35
Obr. 32 Zpětné zakroužení konce trubky [21].	35
Obr. 33 Plachtový kroužek.	36
Obr. 34 Stereomikroskop SSM-3E.	36
Obr. 35 Snímky hrany kroužku 1 v řezu.	37
Obr. 36 Snímky hrany kroužku 2 a 3 v řezu.	37
Obr. 37 Skenování kroužku systémem ATOS.	38
Obr. 38 Promítání světelných pruhů pro určení povrchu kroužku.	38
Obr. 39 Odchylka od jmenovité tloušťky $t_0 = 0,4$ mm kroužku Ø 40.	39
Obr. 40 Odchylka od jmenovité tloušťky $t_0 = 0,5$ mm kroužku Ø 10.	39
Obr. 41 Hodnoty tloušťky v okolí volného konce kroužku.	40
Obr. 42 Zkušební stroj ZD40.	40
Obr. 43 Původní závislost napětí na prodloužení.	41

Obr. 44 Detail přetržení zkušebních vzorků	42
Obr. 45 Smluvní diagram napětí - deformace.	43
Obr. 46 Diagram skutečného napětí na logaritmické deformaci.	43
Obr. 47 Vzájemná pozice lisovníku a kroužku při stříhání.	44
Obr. 48 Kroužek v průběhu rozšiřování.	45
Obr. 49 Nástroj pro zalisování plachtových kroužků.	46
Obr. 50 Kolenopákový lis 11F.	47
Obr. 51 Popis geometrického modelu a zobrazení sítě konečných prvků.	48
Obr. 52 Zatížení nástroje.	48
Obr. 53 Postupný růběh napětí podle hypotézi HMM.	49
Obr. 54 Přetvoření kroužku v okamžiku dosažení dna rádiusu.	49
Obr. 55 Přetvoření kroužku na konci procesu zalisování.	50
Obr. 56 Vzorek N00.	50
Obr. 57 Průbojník.	50
Obr. 59 Souhrnný graf průběhu síly na dráze vzorků N00 až N04.	51
Obr. 58 Schéma zakroužení.	51
Obr. 60 Zalisovaný kroužek	52
Obr. 61. Sestava prototypového nástroje.	52
Obr. 63 Vzorek P2.	53
Obr. 62 Průběh zatěžující síly u vzorku P1.	53
Obr. 64 Vzorek P3.	54
Obr. 65 Vzorek P4.	54
Obr. 66 Vzorek P5.	55
Obr. 67 Souhrnný graf průběhu síly na dráze vzorků P1 až P5.	56
Obr. 68 Srovnání průběhu síly při použití průbojníku a navrženého nástroje.	56

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Mechanické vlastnosti materiálu [8].	12
Tab. 2 Chemické složení oceli [8].	12
Tab. 3 Technické parametry lisu LENA 25 C.	13
Tab. 4 Hodnoty součinitele stírání a protlačování [23].	24
Tab. 5 Šíře odpadu při děrování [3].	26
Tab. 6 Šířka okraje pásu pro ostřížení c_0 [3].	27
Tab. 7 Stereomikroskop SSM-3E [22].	37
Tab. 8 ATOS Core 80.	38
Tab. 9 Technické parametry lisu.	41
Tab. 10 Naměřené hodnoty tahových zkoušek.	42
Tab. 11 Základní technické údaje lisu 11F.	47
Tab. 12 Hodnoty vzorků zalisovaných pomocí průbojníku.	52
Tab. 13 Hodnoty vzorků zalisovaných pomocí prototypového nástroje.	55
Tab. 14 Srovnání vypočtených, změřených a odsimulovaných výsledků sil.	56

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Materiálový atest od firmy ALFUN.
- Příloha 2 Technické specifikace lisu LENA 25 C a jeho příslušenství.
- Příloha 3 Vlastnosti modelu a vzorce pro výpočet základních ploch [24].
- Příloha 4 Hydraulický zkušební stroj ZD40.

SEZNAM VÝKRESŮ

Sestava	DP-145417-N00
Kroužek	DP-145417-KR
Lisovník	DP-145417-N01
Držák kroužku	DP-145417-N02

ALFUN

Dodavatel:

ALFUN a.s.
Zahradní 1610/40
79201 BRUNTÁL

ÍČ: 25828649 DIČ: CZ25828649
Společnost zapsaná v OR KS Ostrava, oddíl B, vložka
2732

Kontaktní osoba odběratele:

Hudeček Josef
FAX: +420-541 232 892

ZKUŠEBNÍ ZPRÁVA 2.2 (EN10204) OPIS
TEST REPORT 2.2 (EN 10204) COPY

Interní kód atestu / Internal certificate code : AT16101830 Výrobce / Producer : ArcelorMittal Flat Carbon Europe S.A.
Země původu / Country of origin : ES
Zákazník / Customer : **H + D kovo, s.r.o. (Hlavní Lelekovice, 664 31)**
Číslo objednávky / Order number : 2161131
Číslo dodacího listu / Packing list number : DL161036734
Zhotovil / Issued by : Truhlíková Markéta Dne / Date : 18.10.2016

Atest:AT16101830

Opis atestu (Copy of inspection cert.)

Tavba (Heat No.) Datum zhotovení (Date)

506748 13.02.2016

Chemické složení [%] (Chemical composition [%])

C	Si	Mn	S	P	Al	N2	Cu	Ti
0,045	0,006	0,203	0,008	0,014		-	-	0,00

Mechanické hodnoty (Mechanical properties)

Rm [MPa]	Re [MPa]	Rp 02 [MPa]	A%	A(80%)	Zk.lám.(ST)	ZN/3
400	330	-		31,0	-	-

Vlastnosti materiálu dle EN 10142, EN 10143, EN 10346

Charakteristika materiálu / Material characteristics

Jakost / Grade, Rozměry[mm] / Dimension[mm]

DX51D+Z275MAC 0.4x65

Popis materiálu / Material specification: ID 508 mm OD cca 770 mm tolerance šířky: +/-0,2 mm osa svítu vertikálně
palety na výměnu při osobním odběru

Tuto kontrolu dokumentu vystavil ALFUN a.s. k dodacímu listu č.: DL161036734, jednoznačným údajem pro přiřazení je č. tavby: 506748. Postupy v QMS zaručují spojitost mezi originálem dokumentu a dodaným výrobkem. / This copy of an inspection document was issued by ALFUN a.s. as the attachment to the delivery note n.: DL161036734, with its definite and unequivocal data for the assignment to the melting n.: 506748. Instructions in the QMS guarantee the connection between the original document and delivered product

Za správnost údajů odpovídá / Person responsible for the accuracy of data above:	Truhlíková Markéta	Podpis / Signature ALFUN ALFUN A.S. ZAHRADNÍ 40 792 01 BRUNTÁL, CZ ÍČ: 25828649 DIČ: CZ25828649
--	--------------------	--

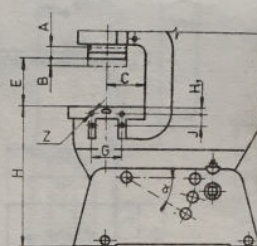
5.1. Pracovné a technické parametre.

Veľkosť lisu		10	25	40	Roamer
Prevedenie		0		0	
Menovitá sila lisu		100	25	400	kN
Menovitá pracovná dráha			5	6	mm
Počet zdvihov		trvalý chod	76/155	70/142	1/min.
		jednotlivý zdvih	76/-	70/-	
Maximálna odobratá práca	trvalý chod	pomalobeh	320	600	J
		rýchlobeh	200	350	
	jednotlivý zdvih	pomalobeh	630	1250	
		rýchlobeh	-	-	
Využitelný počet jednotlivých zdvihov		pomalobeh	35	30	1/min
		rýchlobeh	-	-	
Elektromotor		výkon	1,5/2,2	2,2/3	kW
		otáčky	720/1450	725/1460	
Napätie		pripojovacie +	3x380		V
		riadiace	110		
		osvetľovacie	24		
Kmitočet			50		Hz
Tlakový vzduch	prevádzkový tlak		0,6		MPa
	pracovný tlak		0,45	0,48	
	pripojka		G1/2"		
	spotreba vzduchu ***	základné prevedenie	0,002	0,004	m ³ /zdvih
		zvláštne prevedenie **	-	-	
Brzdá dráha		uhol dobehu			°
pri základnom prevedení		dobehový čas			ms
Maximálna hlučnosť s typickou technológiou			90	90	dB

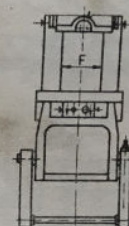
*Normálne prevedenie.
 **Zvláštne prevedenie.
 ***Pri tlaku 0,1MPa a teplote 20°C.

5.2. Pracovné a upínacie možnosti lisu.

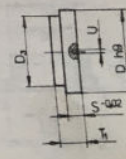
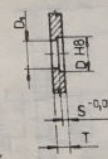
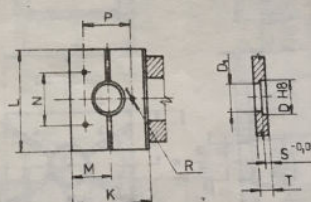
Veľkosť lisu	Číslo	10	25	40	Roamer
Menovitá sila lisu		100	250	400	
Staviteľnosť zdvíhu	A		12-40	16-40	
Staviteľnosť barana	B		50	60	
Výšlenie	C		225	265	
Zovretie	E		275	305	
Priechod	F		250	300	
Výška stola	H		800	800	
Naklopenie stola	OK		30	30	
Stôl	dĺžka	L	560	660	
	šírka	K	450	530	
	hrúbka	T	65	80	
		D	180	225	
		D ₁	160	200	
		E	36	45	
		H	225	265	
		H	290	300	
		P	270	260	
		E	M16	M20	
		G	170	170	
		H ₁	40	40	
		Z	60	60	
		Z	M12	M12	
Stolová vložka	I ₃		158	198	
	T ₁		63	73	
	U		M10	M10	

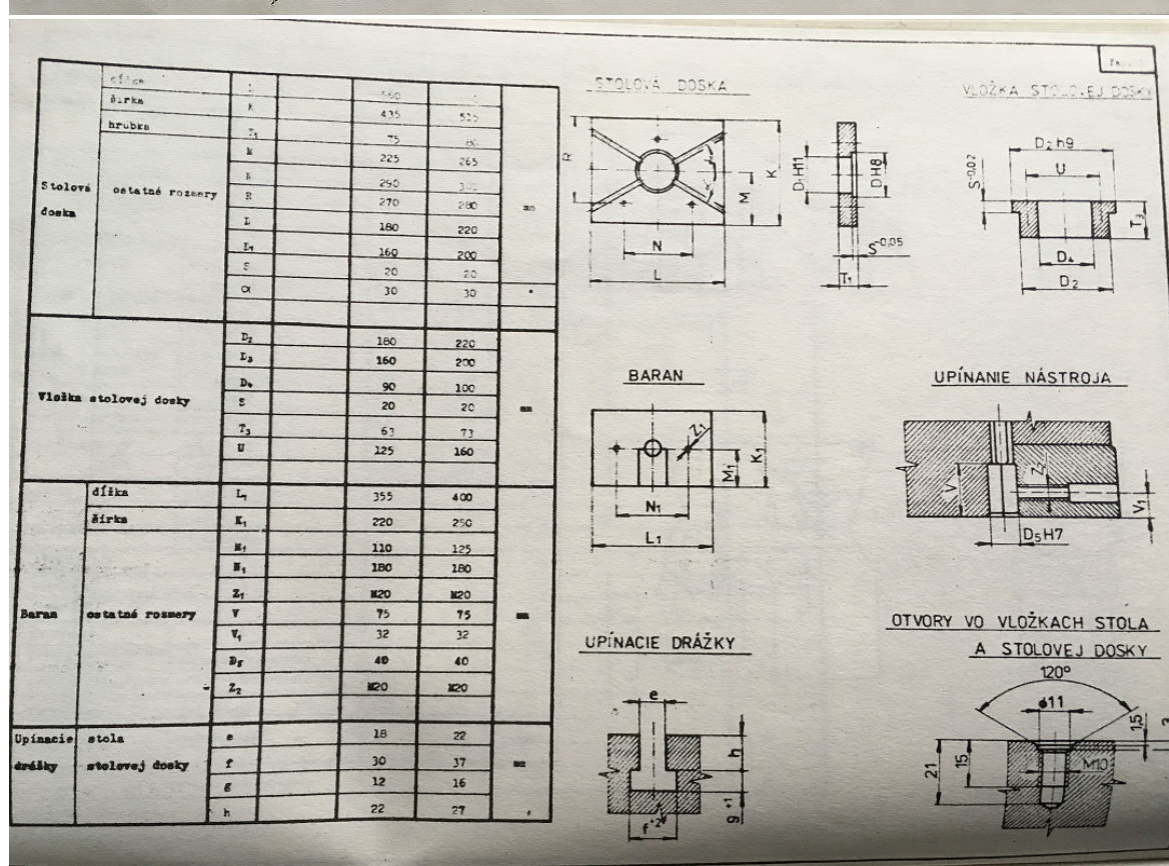
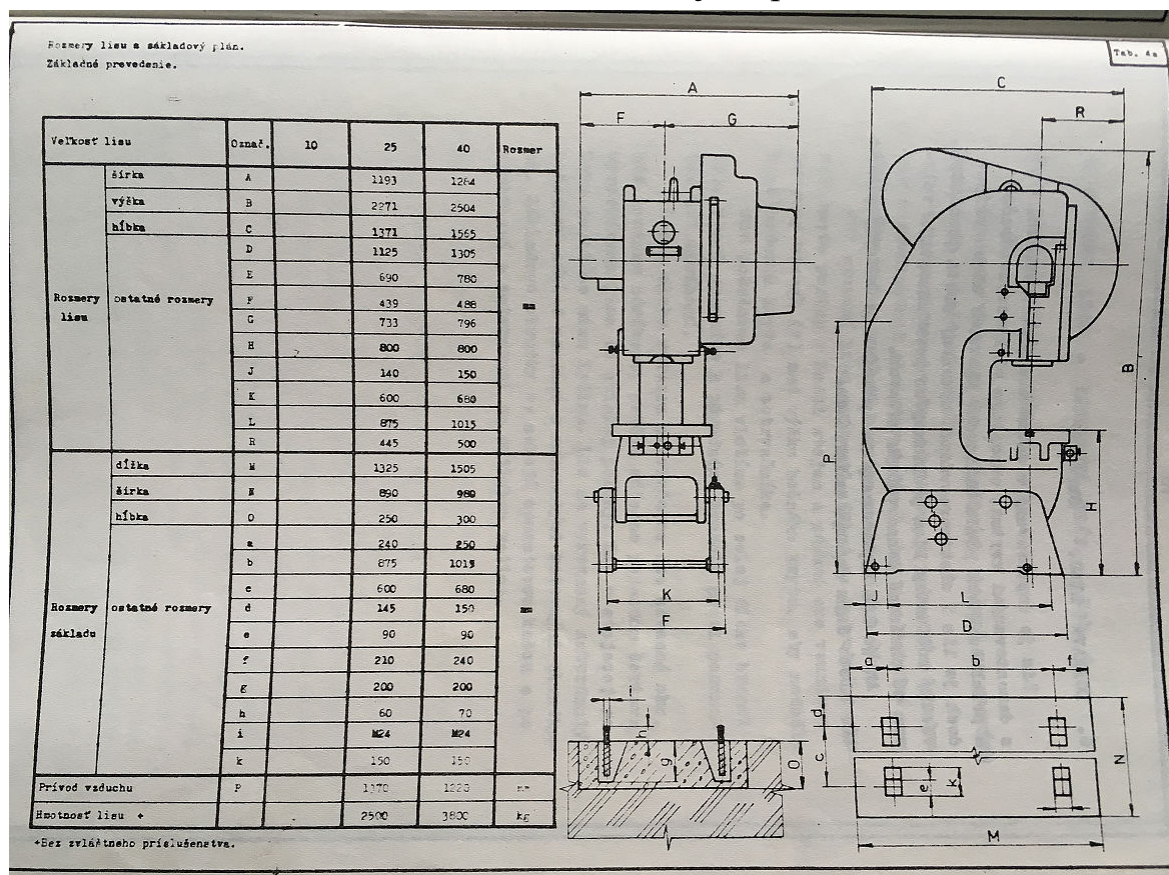


STÔL



STOLOVÁ VLOŽKA





4. TECHNICKÉ ÚDAJE ODVIJÁKA

	QOPD 100	QOPD 250	QOPD 400
max. šířka zvitku mm	100	250	400
max. vonk.Ø zvitku mm	1050	1050	1050
max. vnút.Ø zvitku mm	600	600	600
min. vnút.Ø zvitku mm	250	250	350
rýchlost odvíjania			
na vnút.Ø zvitku m/min	33	33	33
max.hmotnosť zvitku kg	2x150	2x300	2x500
výkon el. motora kW	2x0,25	2x0,55	2x0,75
hmotnosť stroja kg	250	350	780
rozmery: dĺžka mm	1167	1167	1217
	972	1300	1668
	1383	1383	1383

4. TECHNICKÉ ÚDAJE PODAČA

		QPKP 100	QPKP 160	QPKP 250
max. šířka pásu	mm		160	250
max. prierez pásu	mm ²		230	550
max. hrúbka pásu	mm		4	5
min. hrúbka pásu	mm		1	1
max. počet zdvihov	1/min		160	150
max. dĺžka kroku	mm		160	250
max. nepresnosť podania do 16 m/min	mm		± 0,05	± 0,05
max. rýchlosť podania	m/min		25	37,5
spotreba vzduchu	l/zdvih		0,3	0,33
výška pásu nad stolom	mm		80 - 180	133-158

Příloha č.3 Vlastnosti modelu a vzorce pro výpočet základních ploch [24] 1/1



Obecné Souhrn Projekt Stav Uživatelské Uložit Fyzikální

Tělesa

Součást Aktualizovat

Materiál Schránka

Ocel, měkká

Hustota Požadovaná přesnost

7,850 g/cm³ Nizká

Obecné vlastnosti

Hmotnost 0,001 kg (Relativní chr) X 0,000 mm (Relativní c)

Povrch 853,547 mm² (Relat) Y 1,796 mm (Relativní c)

Objem 163,121 mm³ (Relat) Z 0,000 mm (Relativní c)

Vlastnosti setrvačnosti

Hlavní Globální Těžiště

Hlavní momenty

I1 0,035 kg mm²; I2 0,062 kg mm²; I3 0,035 kg mm²

Rotace na hlavní

Rx 0,00 deg (Relat) Ry 0,00 deg (Relat) Rz 0,00 deg (Relat)

rotační tvar	plocha
	$A = \frac{\pi}{4} d^2$ kolo
	$A = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_1^2)$ prstenec
	$A = \pi \cdot d \cdot h$ válec
	$A = \frac{\pi}{4} d \cdot \sqrt{d^2 + 4h^2} = \frac{\pi}{4} d \cdot f$ rotační kužel
	$A = \frac{\pi}{4} (d + d_1) \sqrt{(d - d_1)^2 + 4h^2} = \frac{\pi}{2} f (d + d_1)$ kornatý kužel
	$A = \pi d^2$ koule
	$A = \frac{\pi}{2} d^2$ polokoule
	$A = \pi \cdot d \cdot h = \pi (r^2 + h^2)$ kulová úseč
	$A = \pi [4r_2^2 h^2 + (r_2^2 - r_1^2 - h^2) 2] = \pi d \cdot h$ kulová vrstva
	$A = \frac{\pi}{2} (\pi d r + 4r^2)$ konkávní prstenec (čtvrtina)
	$A = \frac{\pi}{2} (\pi d r - 4r^2)$ konvexní prstenec (čtvrtina)
	$A = \pi [(d - 2r) f + 2r \cdot h]$ konkávní prstenec
	$A = \pi [(d + 2r) f - 2r \cdot h]$ konvexní prstenec

Příloha č.1 Hydraulický zkušební stroj ZD40 /400kN/

Stroj umožňuje provádět tahové, tlakové a ohybové zkoušky materiálů do 400 kN s řízením rychlosti zatěžování a programovým zpracováním zkoušek. Je vybaven vestavěným inkrementálním délkovým snímačem polohy příčnicku s rozlišením 0,01 mm a snímačem síly s řídicí jednotkou EDC 60.

Řídicí jednotka EDC 60 je vysoce precizní elektronické zařízení speciálně konstruované pro řízení servo-hydraulických zkušebních strojů. Je vyráběna speciálně pro aplikace řízení zkušebních strojů a využívají ji přední evropští výrobci universálních zkušebních strojů. Jednotka je opatřena programem pro zkoušky kovů s možností provádět zkoušky bez PC u jednoduchých aplikací bez použití průtahoměru.

Technické parametry:

- Výrobce: HBM /SRN/
- Měřicí rozsah: 8 ÷ 400 kN
- Chyba měření síly: 1/100 jmenovitého rozsahu síly, tj. $\pm 1 \%$ odpovídá třídě přesnosti 1
- Měřicí rozsah měření dráhy: 0 ÷ 280 mm
- Chyba měření dráhy: $\pm 0,01$ mm
- sériové rozhraní RS 232 pro komunikaci s nadřazeným PC
- COM1 pro PC s FIFO s maximální rychlostí 115 KB
- inkrementální vstup pro napojení snímače dráhy

Počítač je vybaven programem M-TEST v.1.7 pro tahovou, tlakovou a ohybovou zkoušku kovových materiálů dle EN 10001-2 s vyhodnocením výsledků, grafickým zpracováním.



Řídicí jednotka EDC 60

Kolenopákové lisy SCHMIDT®

Velká síla na konci zdvihu, kde na tom záleží

Potřebujete velkou sílu na konci zdvihu pro procesy tváření materiálu? Pak jsou kolenopákové lisy SCHMIDT® správná volba.

Vlastnosti

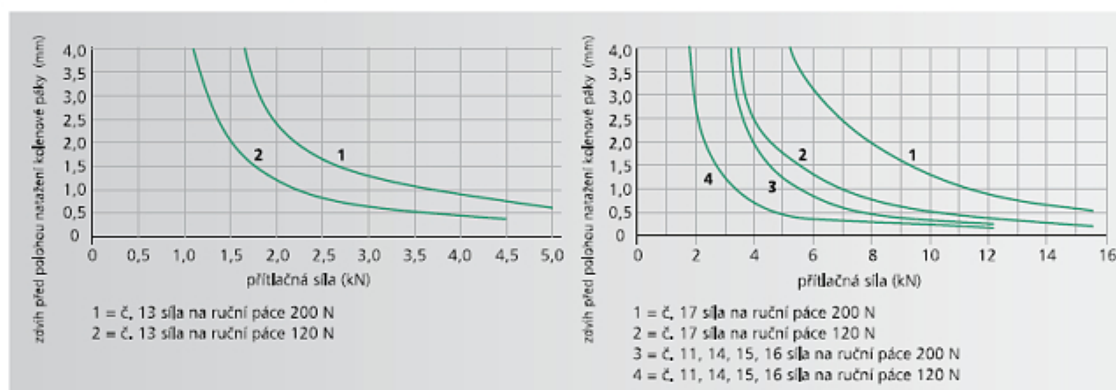
- Velká síla na konci zdvihu (viz graf dole)
- Honovaný otvor a broušený beran zaručují dlouhou životnost a přesné vedení



Typ lisu 13RFZ



Typ lisu 11/14-17R



Pozor: Maximální síla se dosáhne až těsně před polohou natažení

Od 5 kN do 15 kN

Typ lisu		13 13F	13R 13RF	11 11F	11R 11RF	15 15F	15R 15RF	14 14F	14R 14RF	16 16F	16R 16RF	17 17F
Typ lisovací hlavy		13 - 40 13F - 35	13R - 40 13RF - 35	11 - 45 11F - 35	11R - 45 11RF - 35	11R - 45 11F - 35	11R - 45 11RF - 35	11 - 60 11F - 50	11R - 60 11RF - 50	11 - 60 11F - 50	11R - 60 11RF - 50	11 - 20 11F - 20
Jmenovitá síla	kN	5	5	12	12	12	12	12	12	12	12	15
Pracovní zdvih	A mm	25 - 40 25 - 35	40 35	0 - 45 0 - 35	20 - 45 20 - 35	0 - 45 0 - 35	20 - 45 20 - 35	60 50	24 - 60 24 - 50	60 50	24 - 60 24 - 50	0 - 20 0 - 20
Vyložení	C mm	65	65	86	86	86	86	86	86	86	86	86
Výška lisovací hlavy	S mm	385 400	385 400	520 540	520 540	520 540	520 540	500 520	500 520	500 520	500 520	620 640
Otvor beranu	Ø mm	10H7	10H7	10H7	10H7	10H7	10H7	10H7	10H7	10H7	10H7	10H7
Ruční páka vlevo		o		o		o		o		o		
Úhel otočení		95°	95°	110°	110°	110°	110°	125°	125°	125°	125°	90°
Max. hmotnost horního nástroje ³ standardní / zesílená pružina	kg	1,2/3,5 1,5/3	1,2/3,5 1,5/3	2/4,5 2,5/6	2/4 2/6	2/4,5 2,5/6	2/4 2/6	1,5/2,5 2/5	1,5/2,5 1,3/4	1,5/2,5 2/5	1,5/2,5 1,5/4	2,5/- 2,5/-
Blokování zpětného zdvihu¹⁾												
Blokovací poloha 1	mm před DMB		13,5		12		12		14		14	
Blokovací poloha 2	mm před DMB		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5	
Přesnost uvolnění	mm		0,03		0,03		0,03		0,04		0,04	
Pracovní výška ⁴⁾	F											
Stojan č. 13	mm	65 - 180 40 - 155	65 - 180 40 - 155									
Stojan č. 3	mm			80 - 210 55 - 190	80 - 210 55 - 190			90 - 220 65 - 195	90 - 220 65 - 195			70 - 200 60 - 185
Stojan č. 2	mm					110 - 350 80 - 325	110 - 350 80 - 325			120 - 360 90 - 335	120 - 360 90 - 335	
Stojan č. 2-600 Ø	mm			200 - 585 175 - 560	200 - 585 175 - 560	200 - 585 175 - 560	200 - 585 175 - 560	210 - 595 185 - 570	210 - 595 185 - 570	210 - 595 185 - 570	210 - 595 185 - 570	200 - 585 175 - 560
Stojan č. 2-1000 Ø	mm			330 - 1020 305 - 1000	330 - 1020 305 - 1000	330 - 1020 305 - 1000	330 - 1020 305 - 1000	340 - 1030 315 - 1010	340 - 1030 315 - 1010	340 - 1030 315 - 1010	340 - 1030 315 - 1010	330 - 1020 305 - 1000
Hmotnost	ca. kg	12	12	23	24	29	29	24	24	29	29	23
Příslušenství												
Mechanické počítadlo		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Adaptér vyložení (celkové vyložení) 111 mm, 131 mm				o	o	o	o	o	o	o	o	o
Dodatečná deska stolu vhodná k úpravě vyložení		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Dorazový upínací kus ⁵⁾		o	o	•	•	•	•	o	o	o	o	•

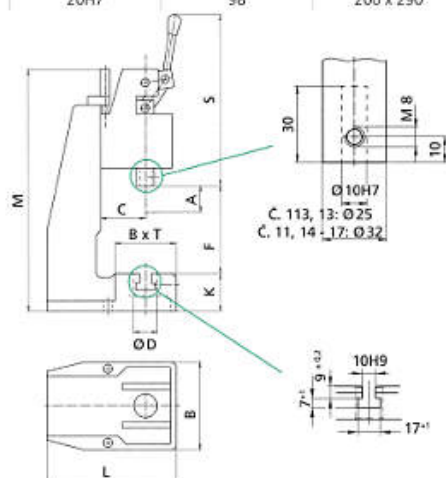
Přehled stojanů	Typ lisu	Výška stojanu M (mm)	Velikost stolu B B x T (mm)	Otvor stolu D (Ø mm)	Výška stolu K (mm)	Odstavná plocha B x L (mm)
Č. 13	13	475	110 x 80	20H7	46	110 x 185
Č. 3	11, 14, 17	540	150 x 110	20H7	60	150 x 260
Č. 2	15, 16	700	185 x 110	20H7	60	185 x 280
Č. 2-600	11, 14, 15, 16, 17	974	200 x 160	20H7	98	200 x 290
Č. 2-1000	11, 14, 15, 16, 17	1410	200 x 160	20H7	98	200 x 290

Volitelné varianty

- série bez příplatku o varianta s příplatkem
- ¹⁾ Úprava blokovací polohy možná na požádání
- ²⁾ Zkrácení zdvihu o 10 mm u varianty za příplatek
- ³⁾ Hmotnost byla stanovena v poloze ruční páky 45° dopředu (orientační hodnoty)
- ⁴⁾ Typické hodnoty; mohou se lišit kvůli tolerancím při odlévání a výrobě ± 3 mm

Speciální provedení

- Poniklované provedení za příplatek, stojany lisů, odlitky a deska stolu chemicky poniklovány, ocelové části kalené na tmavo, hliníkové části eloxovány, broušené části lesklé
- Speciální nátěr v barvách RAL
- Speciální otvory stolu a speciální otvory beranu na požádání



Vyžádejte si prosím podrobné rozměrové výkresy.
CAD data naleznete ke stažení na stránkách www.schmidttechnology.de