

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Návrh eliminace tvarových vad výlisku z tenkého plechu

Design to Eliminate of Shape Defects of Stamping from
Thin Sheet

Student:

Bc. Martin Rejzek

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Rejzek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh eliminace tvarových vad výlisku z tenkého plechu**
Design to Eliminate of Shape Defects of Stamping from Thin Sheet
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Analýza stávající technologie
2. Tvarové defekty válcového výlisku
3. Návrh opatření k eliminaci vad tvaru
4. Konstrukční a technologické hodnocení

Seznam doporučené odborné literatury:

BOLJANOVIC, V. *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*. 1.st. ed. New York: Industrial Press, 2004. 219 p. ISBN 0-8311-3182-9
BAREŠ aj. *Lisování*. Praha: SNTL, 1971, 544 s.
KOTOUČ, J. *Nástroje pro tváření za studena*. Praha: ČVUT, 1978, 158 s.
HRUBÝ, J., PETRUŽELKA, J. *Výpočetní metody ve tváření*. 1.vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2002. 173 s.
MIELNIK, E.M. *Metalworking Science and Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1991

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.**

Konzultant diplomové práce: Ing. Jan Michálek


Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016





doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 5.5.2016



podpis studenta

Prohlášení o využití výsledků práce

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 5.5.2016



Podpis studenta

Lubina 232
Kopřivnice
PSČ 742 21

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

REJZEK, M. *Návrh eliminace tvarových vad výlisku z tenkého plechu: diplomová práce.* Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2016, 57 s. Vedoucí práce: Hrubý, J.

Diplomová práce se zabývá vadami výlisku z tenkého plechu ze sliny AMS 5599. V úvodní části diplomové práce je provedena analýza současné technologie stříhání s podrobným popisem jednotlivých nástrojů. Další část diplomové práce byla realizována na pracovišti společnosti Honeywell. Kde jsem měřil rozměry součásti v průběhu celého výrobního procesu. Měření potvrdilo předpoklad, že největší deformace je způsobená děrováním. Výsledky měření také prokázala, že na deformaci výlisku má vliv i technologie soustružení, protože deformuje stěnu výlisku. Na základě získaných dat byla navržena opatření k eliminaci tvarových změn tenkostěnného výlisku.

REJZEK, M. *Design to Eliminate of shape Defects of Stamping from Thin sheet: Diploma thesis.* Ostrava: VŠB-Technical University Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2016, 57 p. Thesis supervisor: Hrubý, J.

The thesis deals with defects of shape of sheet metal part from a thin sheet of alloy AMS 5599. In the introductory part of the thesis is an analysis of the current shearing technology with detailed descriptions of all tools. Another part of the thesis was implemented in the workplace at Honeywell company. I measured the dimensions of the components during the manufacturing process in the workplace. Measurements confirmed the assumption that the greatest deformation is caused by punching. The measurement results also showed that the deformation of the sheet metal part is caused by turning technologies that deforms the wall of the sheet metal part. In the last part of the thesis, I suggested some type of measures to eliminate change of the shape of the sheet metal wall from thin sheet based on data obtained from the measurement.

Obsah

Seznam použitého značení	- 8 -
1 Analýza současného stavu.....	- 10 -
1.1 Použitý materiál	- 11 -
1.2 Technologičnost konstrukce	- 12 -
1.3 Zhodnocení technologičnosti výlisku	- 13 -
1.4 Rozbor napjatosti a deformace při stříhání	- 14 -
1.5 Střížná síla.....	- 16 -
1.6 Popis současné technologie	- 17 -
1.7 Upnutí polotovaru v přípravku	- 18 -
1.8 Střížník.....	- 20 -
1.9 Uchycení střížníku	- 21 -
1.10 Střížnice	- 23 -
1.11 Přidržovač	- 24 -
1.12 Pružiny	- 25 -
1.13 Střížná vůle	- 26 -
1.14 Analýza střížné vůle u současného nástroje	- 28 -
1.15 Analýza procesu děrování v prostředí programu Simufact.forming.....	- 29 -
1.16 Matematická simulace	- 30 -
1.17 Materiál vzorku.....	- 32 -
1.18 Výsledky simulace v programu Simufact.forming	- 33 -
1.19 Vyhodnocení matematické simulace	- 35 -
2 Tvarové defekty válcového výlisku	- 35 -
2.1 Vyhodnocení naměřených hodnot po děrování	- 40 -
2.2 Ověření tvaru výlisku.....	- 41 -

2.3	Tepelné zpracování	- 43 -
2.4	Změna rozměru po soustružení	- 44 -
2.5	Vyhodnocení změn rozměrů vylisku v průběhu výroby	- 45 -
3	Návrh opatření k eliminaci vad tvaru	- 47 -
3.1	Soustružení:	- 47 -
3.2	Vliv přídržovače:	- 48 -
3.3	Vliv střížníku:	- 49 -
3.4	Zhodnocení výsledků metody konečných prvků	- 50 -
4	Konstrukční a technologické hodnocení	- 51 -
4.1	Soustružení:	- 51 -
4.2	Přídržovač:	- 52 -
4.3	Střížník:	- 52 -
5	Závěr	- 53 -
	Poděkování	- 54 -
	Použitá literatura	- 55 -

Seznam použitého značení

Značka	Název	Jednotka
A	Tažnost	[%]
F_S	Střížná síla	[N]
HRB	Tvrдость podle Brinella	[-]
HRC	Tvrдость podle Rockwella	[-]
R	zaoblení výlisku	[mm]
R_e	Smluvní mez kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti	[MPa]
h_s	Hloubka vniknutí střížné hrany	[mm]
s	Tloušťka materiálu	[mm]
r	poloměr ohybu	[mm]
z	Střížná mezera	[mm]
σ_1	Složka hlavního napětí	[MPa]
σ_3	Tlakové napětí	[MPa]
σ_i	Intenzita napětí	[MPa]
ε_i	Intenzita deformace	[-]
φ	Uhel sklonu střížníku	[°]
τ	Mez pevnosti ve stříhu	[MPa]

Úvod

Důležitým faktorem pro stabilní ekonomický růst současných společností je snaha o neustále zlepšování v oblasti kvality a jejího řízení. Podniky s fungujícím systémem řízení jakosti mají dlouhodobě lepší výsledky. Při správném zavedení systému jakosti, lze dosáhnout efektivnějších procesů a ve své podstatě také ke snížení nákladů a zvýšení produktivity. Je to dáno především rostoucím podílem napoprvé správně provedené práce a snížením počtu opravných prací. [1]

Tato diplomová práce bude zpracována ve spolupráci se společností Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o. se sídlem v Hlubočkách. Společnost se zabývá výrobou a opravou statických plechových a žárových dílu leteckých turbínových motorů z nerezavějících ocelí a speciálních hliníkových, niklových, kobaltových a titanových slitin. [2]

Cílem této práce bude snaha o návrh opatření vedoucímu k eliminaci deformace tvarového výlisku, ke které dochází při procesu děrování. Projev tvarových defektu při procesu děrování může být pouze důsledek uvolnění napětí, které je do výlisku vnášeno spolu s dalšími technologickými procesy. Míra vneseného napětí je ovlivněna celou řadou faktorů a procesních parametrů, které budou předmětem zkoumání.

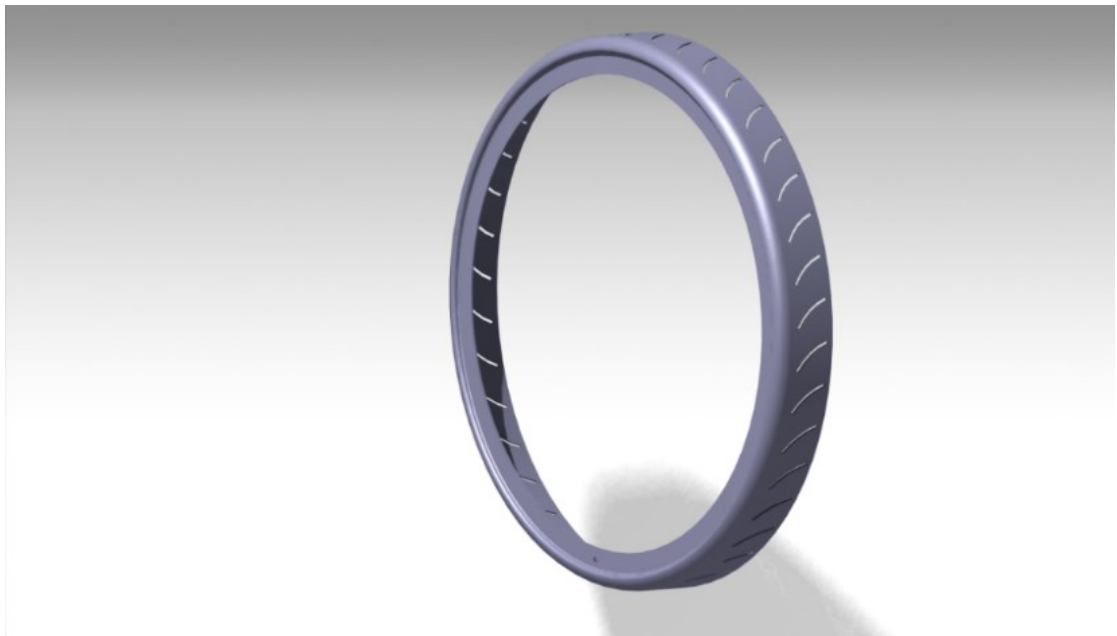


Obr. 1 Letadlo třídy business jet vybavené motory společnosti Honeywell [3]

1 Analýza současného stavu

Pro návrh vhodného technologického opatření, které povede k odstranění nežádoucí deformace tenkostěnného výlisku z niklové slitiny AMS 5599 zobrazeného na obrázku číslo 2. Je důležité pochopit problematiku procesu stříhání a na základě dosažených poznatků navrhnout patřičná technologická opatření. Z tohoto důvodu bude provedena analýza současné technologie stříhání, která způsobuje největší deformaci tenkostěnného výlisku.

V současné době je požadovaného tvaru výlisku dosažené dodatečnou operací na soustruzích. Při této operaci je výlisek upnutý na soustruhu do čelistí, které jsou vytočený na průměr vyžadovaný danou operací. Následným pohybem čelisti proti sobě je výlisek stahován do doby, než je dosaženo rozměru v tolerančním poli. Průvodka výlisku doporučuje stahovat dílec na horní toleranci.



Obr. 2 Model hotového výlisku

Návrh vhodného technologického opatření proti deformaci by vedlo k odstranění potřeby operace na soustruzích a v konečném důsledku by bylo dosaženo snížení výrobních nákladů spojených s výrobou výlisku.

1.1 Použitý materiál

Inconel 625

Materiál AMS 5596 je slitina typu Ni-Cr-Mo s přidavkem niobu, který ve spojení s molybdenem upevňuje matici kovu a tím zajišťuje vysokou pevnost bez nutnosti tepelného zpracování. Slitina vykazuje vynikající antikorozi v silně korozním prostředí, zejména vůči důlkové korozi (pittingu), štěrbinové korozi a vysokoteplotní oxidaci. Tato slitina má velice dobré mechanické vlastnosti, které si zachovává v širokém rozsahu teplot (od kryogenních teplot až do 1093 °C). Pro své typické vlastnosti nachází Inconel 625 své uplatnění v chemickém, leteckém a jaderném průmyslu. [4] [5]

Tvářitelnost:

Inconel 625 může být zpracován stejným způsobem jako standardní austenitické korozivzdorné oceli. Nicméně slitina vykazuje větší pevnost v porovnání s běžnými austenitickými korozivzdornými oceli, a proto i tvářecí síly k dosažení požadovaného tvaru jsou větší. Při tváření za studena dochází během procesu k výraznému zpevnování materiálu a často je proto nutné zařadit mezioperační žíhání. [4] [5]

Tab. 1 Chemické složení materiálu AMS 5599 [4]

Prvek	Ni	Cr	Mo	Ta	Fe	Co+Nb	Mn	Si
[%]	58	20 - 23	8-10	3,1-4,15	5	1	0,5	0,5

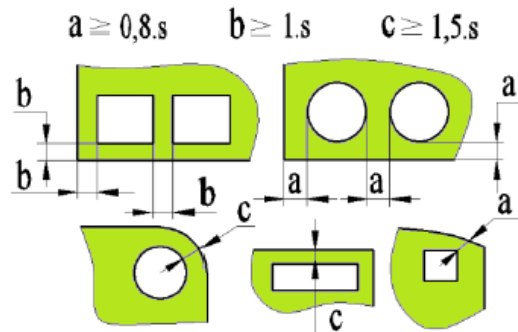
Tab. 2 Mechanické vlastnosti materiálu AMS 5599 [4]

Vlastnost	Re [MPa]	Rm [Mpa]	A [%]	HRB
Hodnota	907	465	45	B97

1.2 Technologičnost konstrukce

Jedním z hlavních předpokladů správného technologického postupu je vhodná volba technologičnosti konstrukce stříženého dílce. Geometrie výstřížku by měla být účelná a výrobně jednoduše dosažitelná. Proto je nutné při návrh tvaru výstřížku zohlednit faktory, které významně ovlivňují proces stříhání. V první řadě je nutné brát v úvahu, že v procesu stříhání se objevují jisté technologické nedokonalosti procesu (usmýknutí střížné plochy, jakost povrchu apod.), mechanické vlastnosti stříhaného materiálu, tloušťku materiálu a přesnost tolerance. V neposlední řadě je nutno zohlednit mechanicko-fyzikální vlastnosti pracovních ploch nástroje a možnosti výrobních zařízení. Některé ze zásadních zásad technologičnosti konstrukce, jsou uvedeny níže. [6]

- Vhodně volit rozměrové tolerance. Výstřížky menších rozměrů než 150 mm se vyrábějí v toleranci $IT\ 12$ až $IT\ 14$, u přesných stříhadel s vodicími sloupky v toleranci $IT\ 9$ až $IT\ 11$
- Nepředepisovat rovinnost výstřížků, která se vlivem ohybového momentu těžko dodrží. Případně předepisovat hodnoty jen nezbytně nutné.
- Upřednostňujeme kruhové otvory před nekruhovými, případně tvarovými, protože plynulé přechody oblouků do přímkové části výstřížků zvyšují náklady potřebné na nástroj a vyžadují uzavřený stříh s bočními a podélnými přepážkami.
- Správně volit vzdálenosti mezi otvory.
- Dodržovat možnosti stříhání otvorů malých rozměru.



Obr. 3 Rozložení otvoru výstřížku [7]

1.3 Zhodnocení technologičnosti výlisku

V rámci analýzy deformace tenkostěnného výlisku provedu zhodnocení současného stavu s ohledem na technologičnost konstrukce stříženého otvoru. Otvor je definován následujícími parametry:

$$\text{šířka} = 1_{+0}^{+0,02}$$

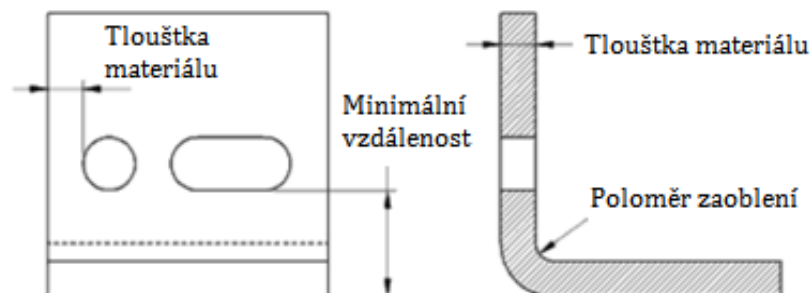
$$\text{délka} = 34,31_{+0}^{+0,05}$$

Jmenovité rozměry v mm		Toleranční stupně				
		IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13
		40 i	64 i	100 i	160 i	250 i
přes	do	Číselné hodnoty základních tolerancí ISO				
		μm		mm		
	3	25	40	60	0,10	0,14
3	6	30	48	75	0,12	0,18
6	10	36	58	90	0,15	0,22
10	18	43	70	110	0,18	0,27
18	30	52	84	130	0,21	0,33
30	50	62	100	160	0,25	0,39

Obr. 4 Tabulka tolerančních stupňů [8]

Tolerančního pole vystřihovaného otvoru odpovídá tolerančnímu stupni IT 9. Pro dosažení požadované přesnosti stříhaného otvoru, při konvenční metodě stříhání je nezbytné využít konstrukci nástroje s vodícími sloupky. Dalším technologickým požadavkem je upřednostňovat kruhové otvory s dostatečným zaoblením rohu výstřižku. Tato podmínka je splněna, protože geometrie otvoru v sobě nezahrnuje žádné ostré rohy. Konstrukčním opatřením je také dodržení minimální vzdálenost mezi jednotlivými otvory, která by měla odpovídat dle obrázku číslo $3b \geq 1 \cdot s$. Vzdálenost mezi otvory na obvodu výlisku je z tohoto hlediska vyhovující. Pro současnou technologii může být kritickým faktorem šířka stříženého otvoru. Odborná literatura uvádí, že průměr případně šířka otvoru není vhodné volit menší než tloušťku stříženého materiálu. V případě výlisku z materiálu AMS 5599 je šířka otvoru 1 mm a tloušťka materiálu 1,27 mm. A proto tato podmínka není dodržena.

Při analýze tvarových deformací výlisku vlivem prostřihování otvoru je potřebné zohlednit předchozí operaci tažení. V tomto případě může docházet k deformaci výlisku v důsledku špatného umístění otvoru vůči ohýbané hraně dílce vzdálenost otvoru, by měla být minimálně $r + 2,5s$ (r – poloměr ohybu, s – tloušťka plechu). [9]



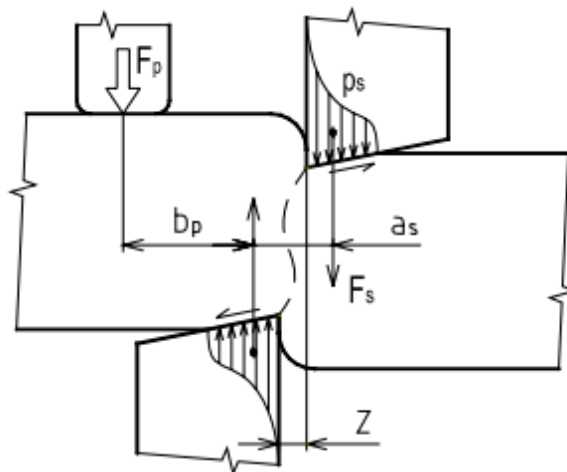
Obr. 5 Umístění otvoru vzhledem k radiusu [9]

1.4 Rozbor napjatosti a deformace při stříhání

U technologie volného stříhání lze stav deformace a napjatosti považovat přibližně za rovinný. A na základě podmínek deformace a jejich následného dosazení je možné vyjádřit vztah pro střížné napětí, které je definované vztahem: [10]

$$\tau_s = \sigma_1 = 0,77 \cdot R_m$$

Při volném stříhání obr. 6 se vytváří mezi nástroji střížná mezera z . Vlivem působení dvojice střížných sil F_s na rameni a_s vzniká silový moment, který je uveden do rovnovážného stavu působením síly přidržovače F_p na rameni b_p . Pro kvalitu stříhu je důležité, aby střížné síly byly v rovnováze. V případě, že není použit přidržovač, může u větších střížných mezer dojít ke vklínění a přetočení plechu mezi střížnými noži. [10]



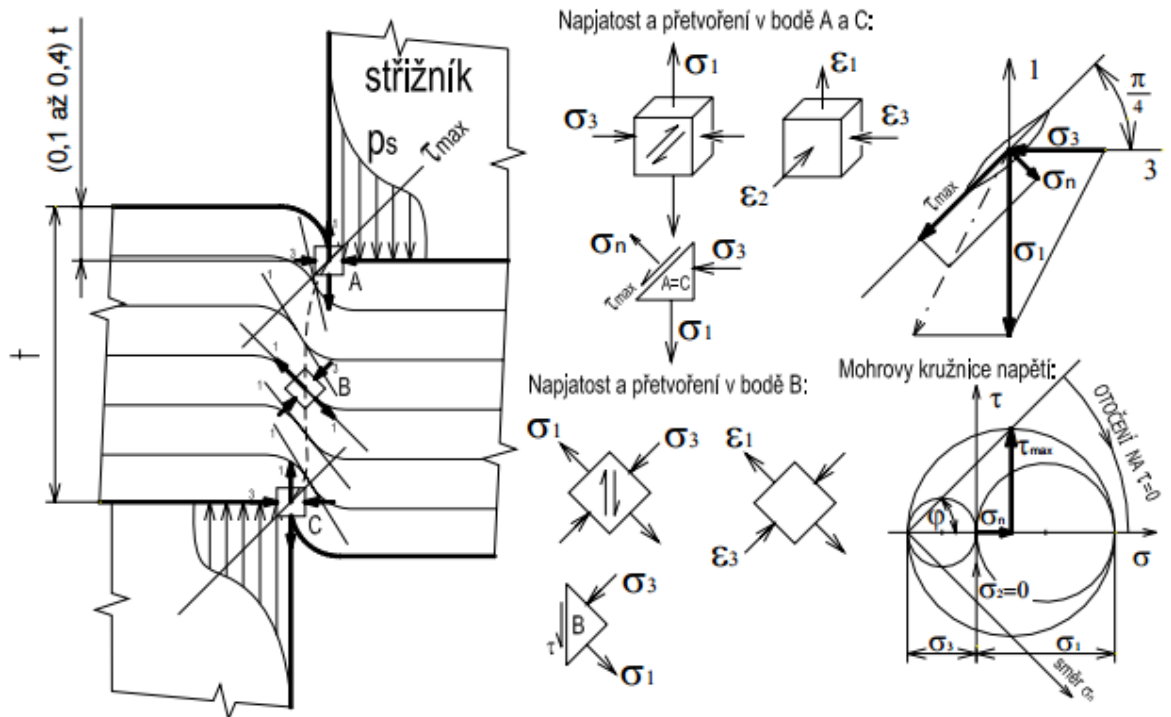
Obr. 6 Schéma volného stříhání [10]

U metod vystřihování a děrování, kdy profil nože vytváří uzavřenou křivku je ohybový moment navenek v rovnováze. Vlivem ohybového momentu může dojít k trvalému přetvoření v pružně sevřené střížné ploše při protlačování výstřížku. Z tohoto důvodu je nutné navýšit střížnou sílu o hodnotu tření, která působí proti protlačování výstřížku. Materiál mezi střížnými hranami je současně natahován a vytlačován do stran a tím uvolňuje prostor pro vnikající břity. Podélné vrstvy, znázorněné jako vrstevnice viditelně změnily své zakřivení a současně dochází ke snížení tloušťky plechů mezi břity. [10]

Z obr. 7 je patrné, že v bodě A, který leží na hraně střížníku i střížnice, působí největší tahové napětí σ_1 . Z praktických experimentů vyplývá, že hlavní tlakové napětí je rovno přibližně polovině σ_1 a platí zde že $\sigma_3 = -(\sigma_1/2)$. A v počáteční fázi stříhu bude platit, že:

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \frac{3}{2} \sigma_3$$

Při volném stříhání plechů větších tloušťek platí, že $\sigma_2 = 0$, a lze tedy tento stav napjatosti označit za rovinný. V případě uzavřeného stříhání není střední napětí v bodě A rovno nule a napjatost v tomto bodě je prostorová. [10]

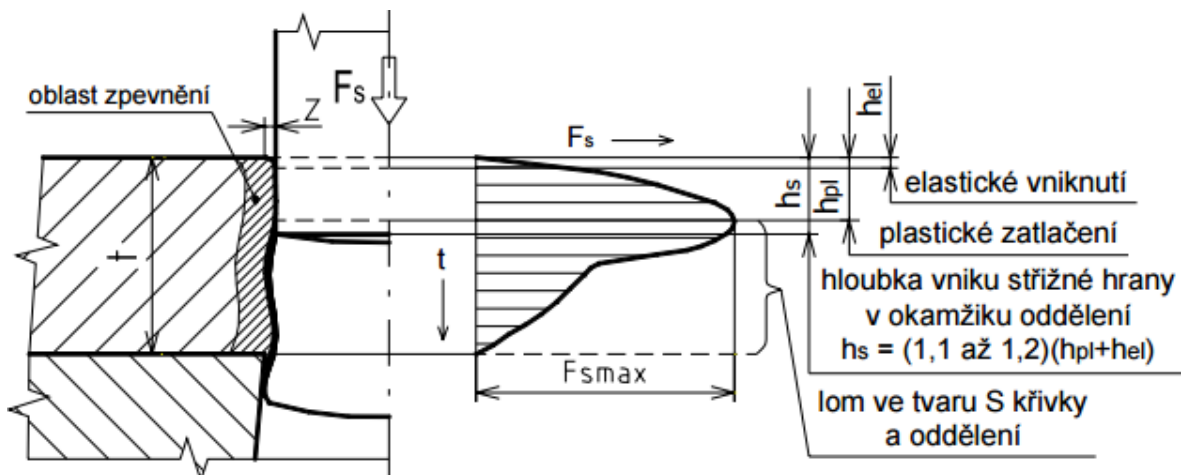


Obr. 7 Schéma napjatosti a přetvoření při uzavřeném stříhání [10]

Směrem ke středu střížné plochy dochází v oblasti bodu B ke změně poměru hlavních napětí σ_1 a σ_3 . Bod B leží přibližně uprostřed, kde platí, že napětí $\sigma_1 = -\sigma_3$ a napětí $\sigma_n = 0$ tím jsou splněny podmínky prostého smyku. V důsledku změny orientace křivosti vrstevnic stříhaného materiálu dochází i ke změně orientace, která vede k natáčení roviny τ_{max} . Natočení této roviny vede ke vzniku typické „S“ křivky. [10]

1.5 Střížná síla

Klasický průběh střížné síly je zobrazený na obr. 8. V počáteční fázi během stříhání dochází k vnikání břitu do materiálu, který je postupně pěchován. V další fázi dochází k plastickému přetvoření, jehož vlivem se střížná plocha neustále zmenšuje vlivem místního zpevnění materiálu (přibližně 20 až 30 % tloušťky materiálu), s rostoucím zpevněním materiálu roste i jeho odpor proti vnikání břitu a dochází k postupnému nárůstu síly až do dosažení maximální hodnoty. V důsledku vyčerpání plasticity materiálu dochází ke vzniku počátečních trhlin, tato fáze je charakterizována plynulým poklesem síly až do hloubky h_s . V tomto okamžiku dochází ke kompletnímu porušení materiálu lomem tvaru „S“ křivky následně dochází k oddělení výstřížku, který je doprovázený výrazným poklesem síly. [6][10]



Obr. 8 Průběh střížné práce a střížného procesu [10]

Výsledný tvar křivky střížné síly je ovlivněn geometrií nástroje a mechanickými vlastnostmi stříhaného materiálu. Obecně platí, že houževnaté materiály dosahují v průběhu stříhání vyššího zpevnění, které má za následek nárůst střížného odporu a střížné síly. Zpevňování materiálu probíhá od překročení meze kluzu a stoupa až do okamžiku dosažení meze pevnosti kdy je zpevnění maximální. U křehkých materiálů dochází k inicializaci trhlin již krátce po vniknutí střížníku. [6]

V praxi dochází vlivem střížné mezery mezi střížníkem a střížnicí ke vzniku kombinovaného namáhání, protože při skutečném procesu nepůsobí síly v jedné rovině ale střížná síla F_s se rozkládá na složku třecí a normálovou. Vlivem kombinovaného napětí je nutné uvažovanou střížnou sílu zvětšit asi o 20 až 50 %. [6]

1.6 Popis současné technologie

Stroj LEK 160

Excentrické lisy řady LEK jsou určeny na stříhání, děrování, ohýbání protlačování a kalibrování, mimo to nacházejí praktické využití při ostříhování výkovku. Jsou proto vhodné pro zařazení do automatizovaných tvářecích pracovišť s průmyslovými roboty a manipulátory, ale i pro obsluhu ručně vkládající polotovary do nástroje. [11]

Technické parametry stroje LEK 160:

- jmenovitá síla 1 600 kN
- pracovní dráha 5,3 mm
- počet zdvihů berana 50/min
- využitelné zdvihy 32/min
- zdvih berana 25–160 mm
- vyložení 355 mm
- výška sevření 455 mm
- přestavění beranu 100 mm
- upínací plocha berana 710 x 425 mm
- upínací plocha stolu 1 000 x 740 mm
- výkon elektromotoru 11 kW



Obr. 9 Lis LEK 160 [12]

1.7 Upnutí polotovaru v přípravku

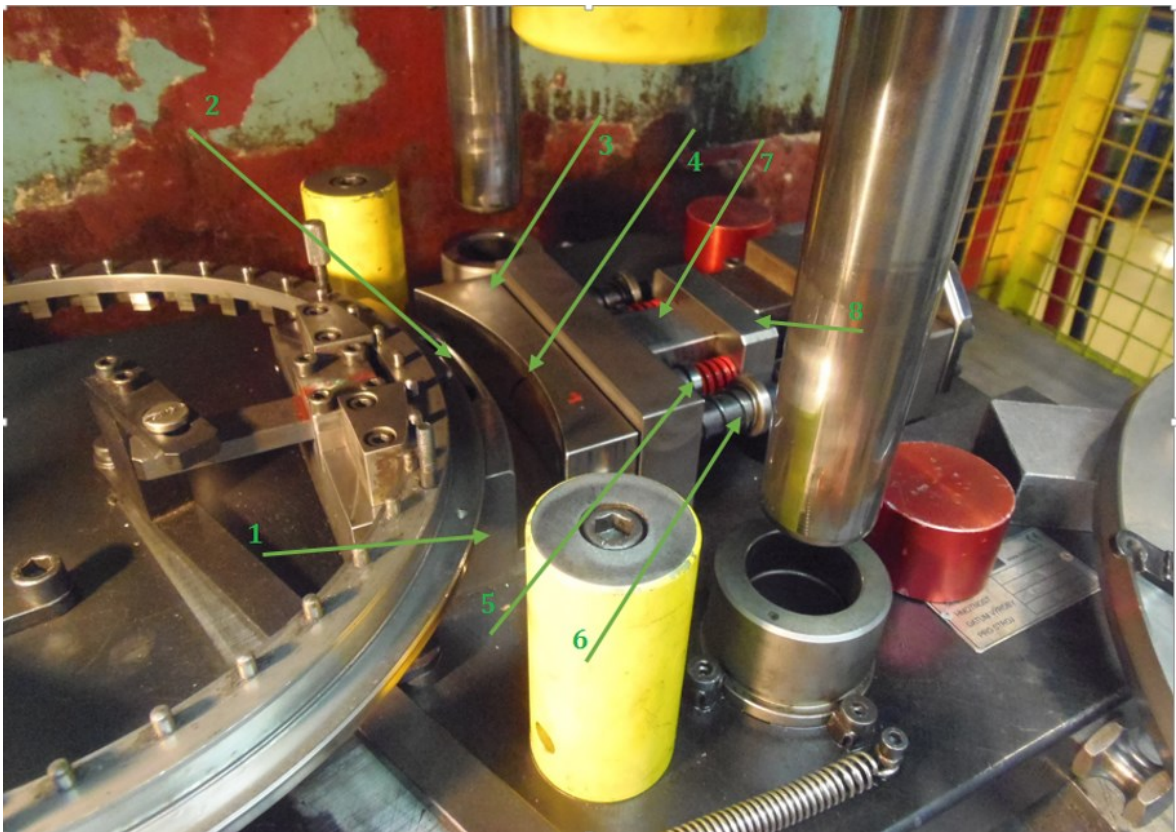
Polotovar je umístěný v přípravku ve vodorovné poloze s osou rovnoběžnou se směrem pohybu beranu. Otvor je umístěný ve stěně výlisku kolmo na směr pohybu beranu. Z tohoto důvodu je provedená transformace vertikálního pohybu beranu na horizontální pohyb střižníku pomocí dvou šikmých kostek (2,3), které jsou znázorněné na obrázku číslo 10.

Přesné ustavení polotovaru v přípravku je zajištěno pomocí polohovacího čepu nalisovaného v unášeči, polohovací čep prochází otvorem o průměru 4 mm ve vodorovném lemu a brání nežádoucímu pootočení výlisku v přípravku. Pro vyšší stabilitu celého procesu je polotovar přitlačován k unášeči pomocí přitlačného dílce (5). Po správném upnutí v přípravku je do stěny výlisku postupně prostřiháváno 40 otvorů, které jsou rozmístěné rovnoměrně po celém obvodu. Posunutí o 9° je realizováno pomocí posuvníku (4), který posouvá kolíky umístěné v unášeči.



Obr. 10 Upnutí polotovaru v přípravku na lise LEK 160

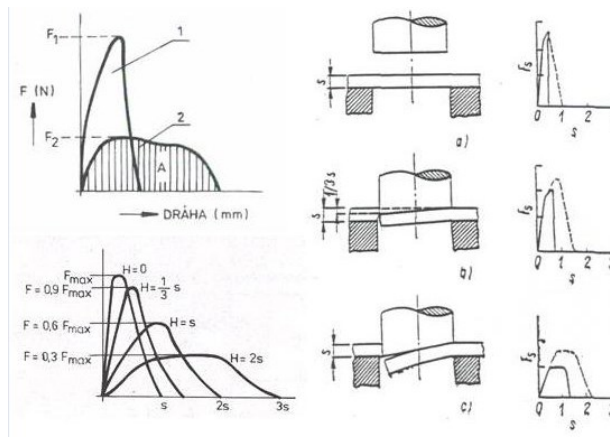
Jednotlivé komponenty střížného nástroje realizující operaci děrování jsou znázorněny na obrázku 11. Hlavní část přípravku tvoří lože, které je na obrázku označené číslem 1. Lože představuje důležitou část přípravku, která slouží k zajištění vzájemné polohy jednotlivých dílů střížného nástroje. Tyto komponenty jsou s ložem pevně spojeny pomocí šroubů. Ložem procházejí otvory s úzkou tolerancí a slouží tak jako vedení jednotlivých částí. Pod číslem 2, je znázorněná střížná matrice upevněná k loži pomocí dvou šroubů. Dalším dílem střížného nástroje je stírací deska položka číslo 3, která plní funkci přidržovače a je uchycena na vodících sloupcích pomocí šroubu umístěných radiálně vůči ose sloupku. Ve stírací desce je zhotoven otvor sloužící k vedení střížníku. Pohyb celé sestavy je realizovaný pomocí patky, která je pevně spojena pomocí šroubového spoje s jezdcem, a přes tlačné pružiny působí na tlačné čepy, které přisouvají stírací desku směrem k polotovaru. Po dosažení kontaktu polotovaru se stírací deskou se vlivem stlačování pružin zvyšuje tlak přítlaku, protože jezdec spojený se střížníkem pomocí kotevní desky pokračuje do konečné polohy.



Obr. 11 1 – lože, 2 – střížnice, 3 – přidržovač, 4 – vodící otvor pro střížník, 5 – tlačný čep, 6 – vodící sloupek, 7 – jezdec, 8 – patka

1.8 Střížník

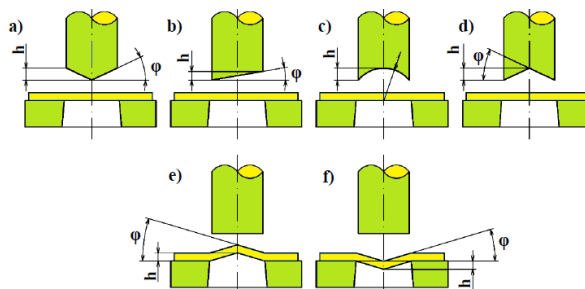
Střížná síla je významně ovlivněna konstrukčním provedením střížného nástroje a má přímý vliv na jeho opotřebení. Vhodnou úpravou střížných břitů, lze snížit maximální střížnou sílu, a zároveň dosáhnout nižší míry deformace v okolí stříhu. Stříhání nástroji s šikmými břity umožňuje postupné oddělování materiálu při nižší střížné síle. Literatura uvádí, že takto upravený nástroj může snížit požadavky na maximální střížnou sílu vyvíjenou lisem až o 30 až 40 % v porovnání s nástroji s rovným břity. [13]



Obr. 12 Porovnání průběhu střížné síly při stříhání rovnými a šikmými noži [13]

Bez ohledu na konstrukční provedení břitu střížníku, musí střížný nástroj splňovat celou řadu technologických i pevnostních podmínek, mezi které patří například – tuhost, kolmé upevnění, odolnost proti stíracím a bočním silám. [14]

- Pro materiály do tloušťky $s \leq 3$ mm: $\varphi = 5^\circ$
- Pro materiály o tloušťce $s > 3$ mm: $\varphi = (5 \text{ až } 8)^\circ$, φ – úhel zkosení $[\circ]$

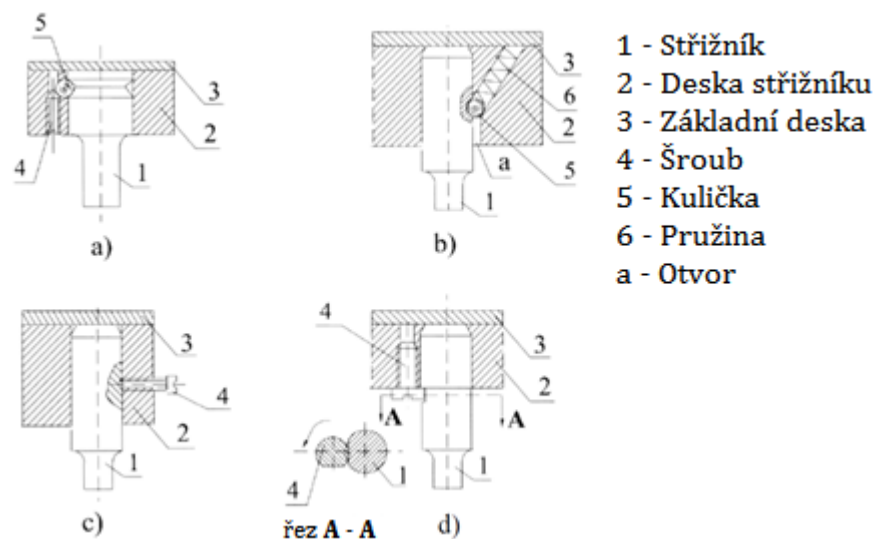


Obr. 13 Úpravy střížníku a střížnice [14]

1.9 Uchycení střížníku

Vzhledem k vysokému namáhání střížníku dochází k jeho postupnému otupování, a proto musí být navržený tak, aby bylo možné nástroj snadno vyjmout a vyměnit. Na obrázku 14 jsou znázorněné čtyři metody upínání střížníku do nástroje, které zajišťují rychlou výměnu střížníku. [15]

- Upevnění pomocí kuličky a šroubu. Tento typ zajištění střížníku se používá u komplexních matic.
- Zajištění pomocí kuličky přitlačovanou pružinou případně šroubem. Tento způsob upínání střížníku je používán u děrovacích nástrojů určených pro výrobu otvoru o průměru $d = 3$ až 30 mm. A tloušťka materiálu je maximálně 3 mm. Tato varianta je vhodná v případě, že je střížník nutno často měnit z důvodu opotřebení.
- Upnutí střížníku pomocí šroubu je využíváno pro jednoduché tvary, kdy je střížník připevněn přímo k beranu lisu. Tato varianta je určena pro výrobu otvoru o průměru 20 až 60 mm.
- Upevnění se speciální tvarovou hlavou šroubu. Je-li šroub otočený o 90 stupňů je střížník uvolněn.

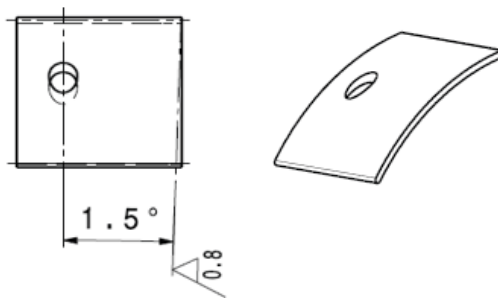


Obr. 14 typy střížníků podle způsobu uchycení [15]

V některých případech může být z ekonomického hlediska volit střížníky vyrobené z několika částí. Takovéto provedení je vhodné pro nástroje větších rozměrů nebo složitou geometrií nástroje. [15]

Současný Střížník

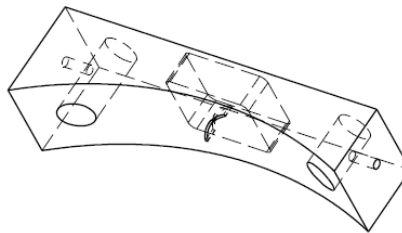
V současné době je střížník vyrobený z oceli dle ČSN 19 581 (Poldi Super Diamant) hlavními legujícími prvky jsou chrom, molybden, wolfram a vanad. Tento materiál se vyznačuje vysokou tvrdostí a odolností proti opotřebení (tvrdost střížníku po kalení by měla být 62 - 64 HRC), a proto se jedná o vhodný materiál na výrobu střížného nástroje. Čelo nástroje je broušené pod úhlem $1,5^\circ$, geometrie čela nástroje je znázorněna na obrázku číslo 15. Pracovní úhel nástroje se v průběhu děrování mění v závislosti na aktuální hloubce a poloze na obvodu stříženého materiálu. Upnutí střížníku v kotevní desce je realizováno pomocí kombinace kolíku a šroubu, tato kombinace zajišťuje přesné upnutí a snadnou výměnu nástroje. Snadné vyjmutí nástroje je výhodné zejména z důvodu častého broušení čela nástroje, které je vystavené nadměrnému opotřebení vzhledem k vysoké pevnosti stříhaného materiálu a malé střížné vůli. [16]



Obr. 15 Současný střížník

Stírací deska

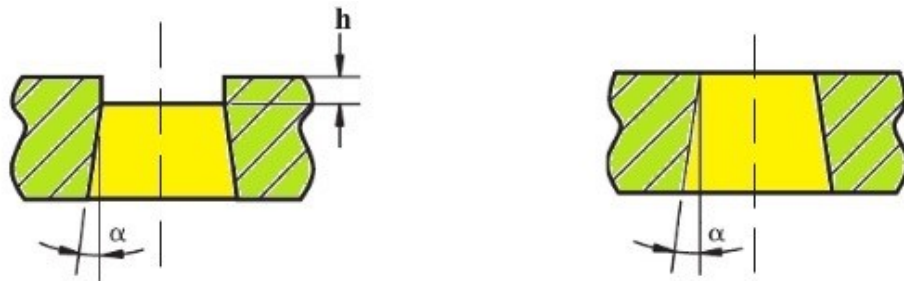
Přidržovač je nezbytnou součástí střížného nástroje. Současné konstrukční provedení dovoluje používat přidržovač jako stírací desku, která současně slouží jako vodící element střížníku. Materiál přidržovače je Manganová ocel dle ČSN 19 312 (Stabil). Ocel se vyznačuje rozměrovou stálostí při kalení a je vhodná pro výrobu lisovacích nástrojů. [16]



Obr. 16 Stírací deska

1.10 Střížnice

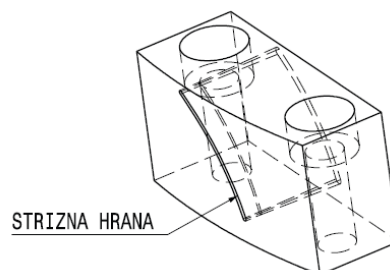
V závislosti na účelu a požadované přesnosti výstřížku, jsou střížnice vyráběny v různých konstrukčních variantách. Na obrázku číslo 17 jsou zobrazeny dva nejčastěji používané profily střížnice. Pro výstřížky s komplikovaným obvodem a vysokými požadavky na přesnost je doporučeno používat střížnici s kuželovým profilem a válcovou fazetkou, zobrazena na obrázku 17 jako varianta a). Nevýhodou této varianty je poměrně složitá výroba nástroje a s tím související vyšší finanční nároky na výrobu. Výška fazety h musí být větší než tloušťka stříhaného materiálu. A velikost uhlu zkosení α se uvádí nejčastěji od 3 do 5° v závislosti na tloušťce materiálu. Druhou variantou je střížnice s kuželovým profilem zobrazena na obr 17 jako varianta b), která je vhodná pro výrobu malých dílů s menší přesností. [15]



Obr. 17 nejčastější provedení střížnice [15]

Současná střížnice

V současnosti je ve společnosti Honeywell používána střížnice s kuželovým profilem a válcovou fazetkou z materiálu dle ČSN 19 732, kde výška fazetky $h = 5$ mm míra zkosení střížnice $\alpha = 1,5^\circ$ a velikost střížné mezery je 0,04 mm

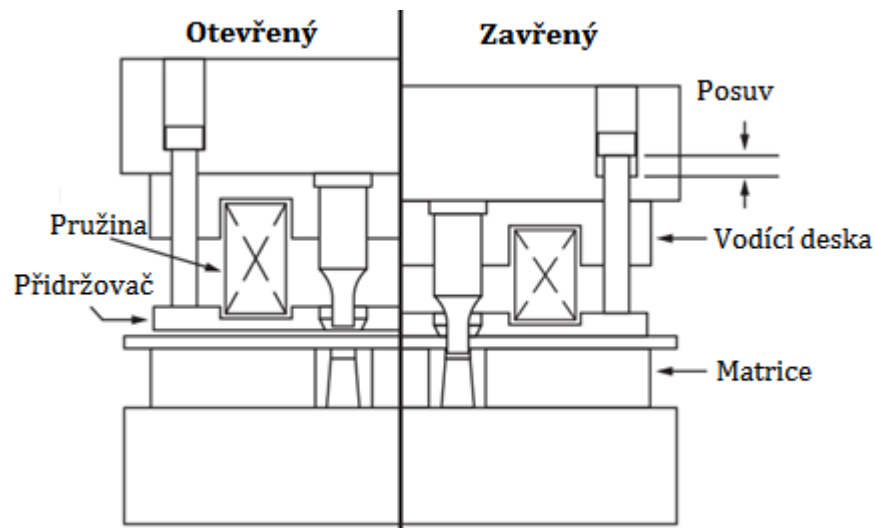


Obr. 18 Současná střížnice

1.11 Přidržovač

Na proces stříhání a na výslednou kvalitu střížné plochy má pozitivní vliv použití přidržovače. Přidržovač působí proti ohýbání okrajů stříhaného materiálu a při správné aplikaci dosahujeme v místě stříhu zlepšeného stavu napjatosti, neboť mimo tahovou složku napjatosti působí v okolí stříhu také složka tlaková. [13]

Důležitým faktorem při snaze dosáhnout požadované přidržovací síly je správná volba tlačných pružin. Velikost síly přidržovače a následná volba tlačných pružin, které umožní vyvinout požadovaný tlak na střížený materiál se, odvíjí od velikosti střížné síly. V současné době je pro výpočet střížné síly uváděno několik vzorců založených na empirických zkušenostech. V posledních letech se také vedle klasických výpočetních metod ve vysoké míře využívá simulačních softwarů, jejichž výpočty jsou založeny na metodě konečných prvků. Ve výpočtu je třeba zohlednit geometrii střížného nástroje, délka křivky stříhu, tloušťku stříhaného plechu a pevnost materiálu ve smyku. [17]



Obr. 19 Jedná z možností provedení přidržovače [17]

Výsledná síla přidržovače by tedy měla odpovídat vztahu:

Přidržovací síla = Střížná síla · 0,10 až 0,15.

V závislosti na konstrukčním řešení přidržovače se může výsledná síla přidržovače mírně lišit od teoretických hodnot, a proto je vždy vhodné výslednou sílu přidržovače odladit dle skutečného procesu přímo na pracovišti. [17]

1.12 Pružiny

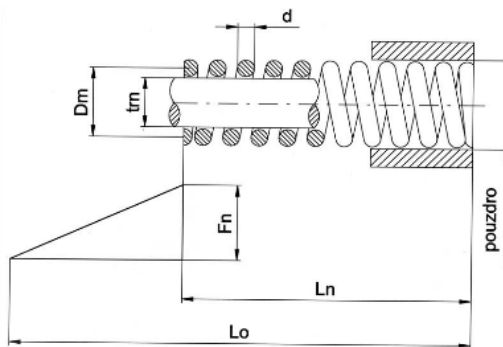
Jak bylo uvedeno výše nezbytnou součástí přidržovače, jsou pružiny. V praxi lze používat pružiny vysokotlaké případně pružiny nízkotlaké. S přihlédnutím na konstrukční řešení nástroje se doporučuje používat více pružin nízkotlakých. Důvodem proč je při konstrukci nástroje uvažovat o využití většího množství nízkotlakých pružin je snížení tlaku na jednotlivé pružiny a rovnoměrnější rozložení přidržovací síly. Konstrukce přípravku by také měla umožňovat působení pružin v blízkosti místa stříhu. [17]

Ve střižném nástroji využívaném ve společnosti Honeywell je přítlak realizován pomocí 2 pružin společnosti Alcomex, jejichž funkční parametry jsou uvedeny v tabulce číslo 3.

Tab. 3 Parametry tlačné pružiny D2650 [18]

Tlačná pružina D2650				
d	Dm	Lo	Ln	c
2	12,50	22,50	11,70	23,93

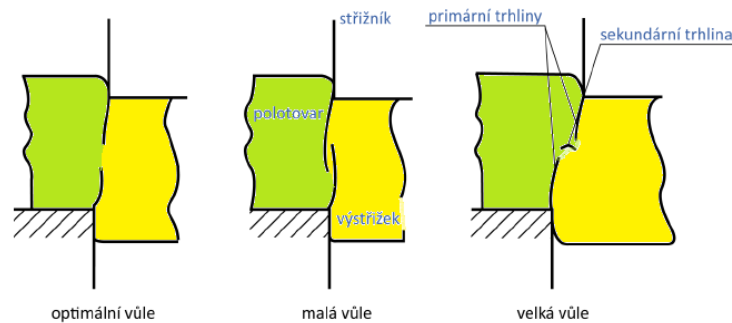
- d = tloušťka drátu
- Dm = střední průměr pružiny
- Lo = délka pružiny ve volném stavu
- Ln = přípustné stlačení
- F_n = síla vyvinuta pružinou
- c = tuhost pružiny (N/mm)



Obr. 20 Schéma tlačné pružiny [18]

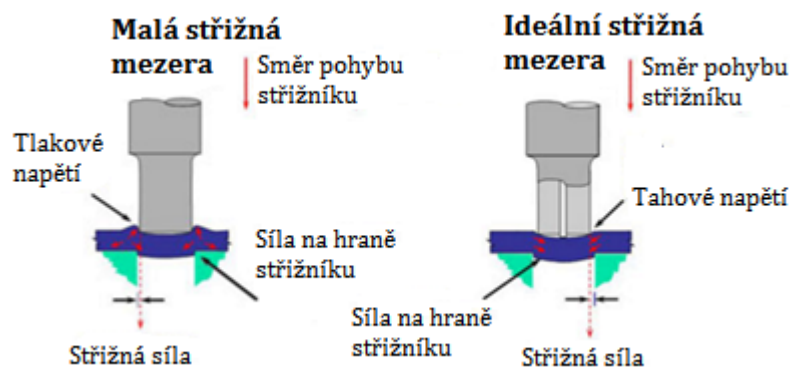
1.13 Střižná vůle

Optimalizace střižné vůle nástroje je jedním z nejdůležitějších faktorů vedoucí k dosažení požadované kvality stříhu. Pro stanovení ideální střižné vůle musíme zohlednit několik faktorů, které zasahují do procesu stříhání. Použití nástroje s velkou střižnou vůlí má za následek velké otřepy a špatnou kvalitu střižné plochy. V opačném případě, že je použitý nástroj s úzkou střižnou mezerou, dochází ke snížení životnosti nástroje. Obecně lze říct, že pro materiály s pevností v tahu nad 414 MPa, bude vhodné použít vůli větší než 10 % tloušťky materiálu na každé straně. S rostoucí pevností materiálu může střižná vůle dosahovat i 20 % tloušťky materiálu. Po dosažení hodnoty pevnosti v tahu 1034 MPa by vůle měla být snížena téměř na 5 % tloušťky materiálu na každé straně. [19]



Obr. 21 Vliv střižné vůle na tvorbu střižné plochy [20]

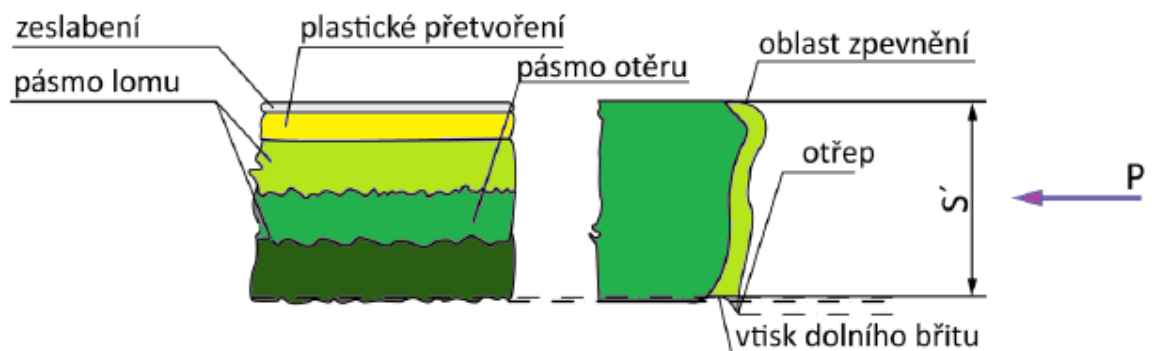
Další z faktorů, který má přímý vliv na kvalitu stříhu je rozměr prostřihovaného otvoru. V případě, že je velikost otvoru menší než tloušťka materiálu měla by být volena větší střižná mezera. Tento rozdíl je důsledkem větší komprese, která vzniká při průniku střižníku do materiálu. [19]



Obr. 22 Vliv střižné vůle na rozložení napětí [19]

Střížná plocha je charakterizována 4 pásmy: [14]

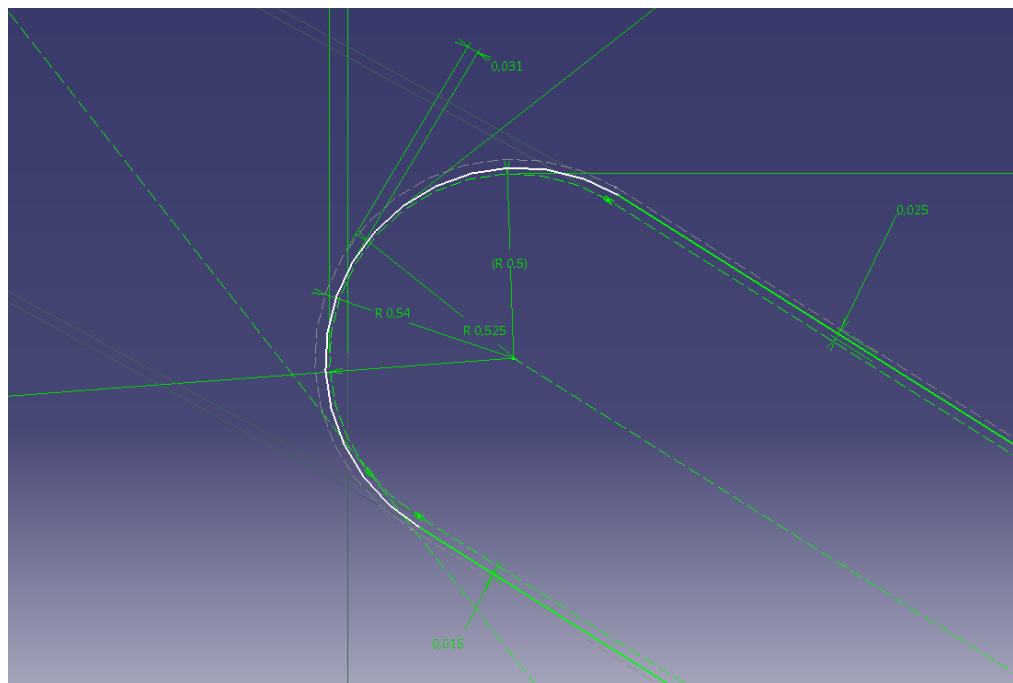
1. Zaoblení vstupní hrany materiálu
 - V počáteční fázi dochází k pronikání střížníku do materiálu a dochází k první deformaci stříženého materiálu mezi střížníkem a střížnicí. Velikost stavu napjatosti v této fázi nepřekročí mez kluzu.
2. Zatlačení nože do vzniku trhliny
 - V další fázi je střížník je vtlačován hlouběji do materiálu a na konci této oblasti dosahuje hodnoty odpovídající mezi pevnosti materiálu ve smyku. Tato plocha je charakterizována lesklou a hladkou částí střížní plochy.
3. Vlastní střížná plocha
 - Tato oblast zaujímá největší část střížné plochy. Vlivem šíření mikrotrhlin následuje oddělení stříženého materiálu. A následně dochází k vytvoření pásma otěru vlivem průchodu střížníku stříženým plechem.
4. Zatlačení spodního nože
 - V důsledku stlačování materiálu střížníkem dochází k lokálnímu zpevnění materiálu. Rozložení zpevnění v okolí stříhu se může lišit v závislosti na rychlosti nástroje.



Obr. 23 Kvalita střížné plochy [21]

1.14 Analýza střížné vůle u současného nástroje

V předchozích bodech byly podrobné probrané konstrukční parametry střížníku a střížnice a jejich vliv na kvalitu střížné plochy a rozložení stavu napjatosti v oblasti vniknutí nástroje do materiálu. Stejně jako vliv geometrie jednotlivých komponentů střížného nástroje je pro proces děrování důležitá jejich vzájemná poloha, která zajišťuje dodržení technologických parametru procesu děrování. Na základě dlouholetých zkušeností byly jednotlivé parametry optimalizované přímo na pracovišti v závislosti na dosažených výsledcích. Z těchto důvodů se můžou skutečné rozměry střížného nástroje mírně lišit od výsledku získané, jako výsledek různých teoretických výpočtů. Jedním z těchto parametrů je velikost střížné mezery pro materiál AMS 5599 tloušťky 1,27 mm. Například velikost střížníku by měla odpovídat rozměru požadovaného rozměru otvoru, ale na základě dosažených poznatků je v současné době střížník vyráběný o 0,05 mm větší než nominální hodnota otvoru. Zmíněné zvětšení střížníku je důsledkem následné deformace plechu, kdy dochází ke smrštění prostřihovaného otvoru. Dalším prvkem, který je na základě empirických zkušeností odladěný je velikost střížné mezery, která je pouze 0,015 mm přepočteno na procenta je střížná mezera jen 1,2 % tloušťky materiálu. V rohu nástroje je šířka střížné mezery nepatrně větší a dosahuje hodnoty 0,031 mm. Jednotlivé rozměry jsou znázorněné na obrázku 24.



Obr. 24 Velikost střížné mezery

1.15 Analýza procesu děrování v prostředí programu Simufact.forming

Stále častěji jsou v řadě technických oborů uplatňovány výpočetní softwary. Výpočty jednotlivých simulačních programů jsou založené na metodě konečných prvků (FEM), nebo pracují s metodou konečných objemů (FEV). Obě tyto metody jsou určeny k početnímu řešení stavu napjatosti, míře deformace, rozložení teplotních polí a dalších parametrů. To jsou hlavní důvody, proč se výpočetní programy staly v současné době nedílnou součástí mnoha konstrukčních pracovišť zabývajících se vývojem tvářecích nástrojů. Simulace nabízí technickému pracovníkovi všestranný náhled na danou problematiku a vede k detailnímu rozboru jednotlivých kritérií. V průběhu návrhu nástroje můžeme měnit různé parametry a blíže zkoumat jejich vliv na okolí, případně na celou součást.



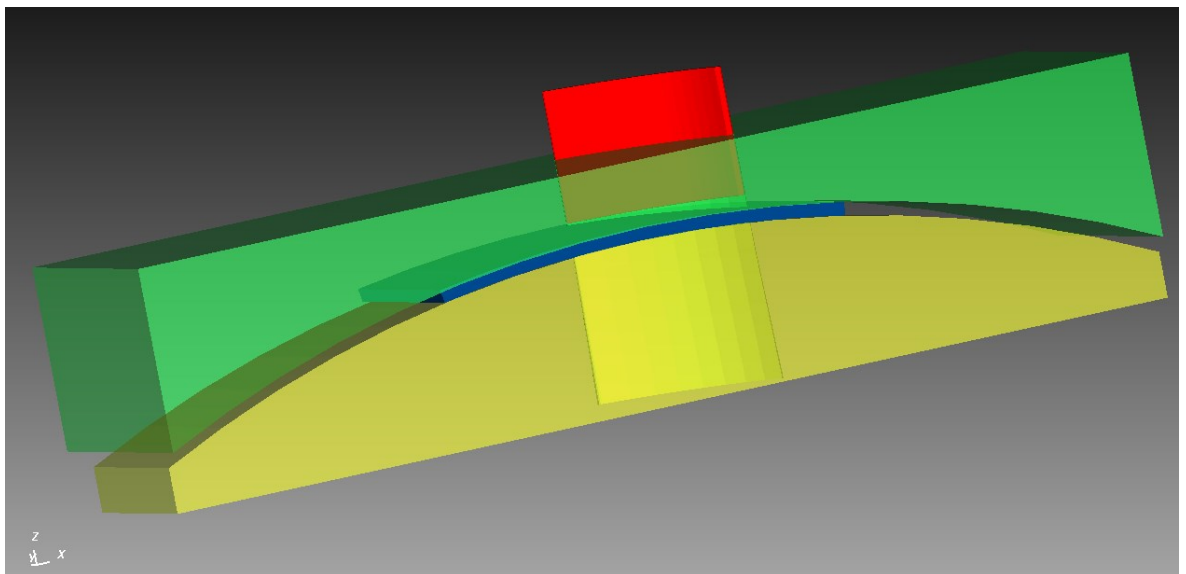
Obr. 25 Součást po děrování

Matematická simulace procesu děrování otvoru byla realizována pomocí softwaru Simufact.forming 12.0. Cílem analýzy bylo zjistit rozložení napjatosti a velikost deformace vzniklé v závislosti na tvaru střižného nástroje v místě stříhu a na základě získaných informací se pokusit navrhnout řešení, které by mělo za následek snížení nebo odstranění tvarové deformace výlisku z materiálu AMS 5599. V rámci spolupráce se společností Honeywell mi byla poskytnuta výkresová dokumentace dílčích komponentů střižného nástroje, geometrii a jednotlivé technické parametry byly v rámci diplomové práce porovnány s obecně uváděnými informacemi v literatuře. Výsledky této analýzy jsou uvedeny na předchozích listech.

1.16 Matematická simulace

Před zahájením matematické simulace musely být funkční části zařízení překresleny z 2D prostředí do 3D modelů. Jednotlivé 3D modely části střížného nástroje byly vytvořeny v prostředí programu Catia V5R21 společnosti Dassault systemes. Komponenty byly následně převedené do neutrálního formátu *.STEP, který je z hlediska zachování přesnosti geometrie výhodnější než formát *.stl. V tomto formátu byly komponenty importovány do prostředí programu Simufact.forming, kde byly následně přiřazeny k jednotlivým větvím ve stromě procesu.

Významným vliv na stabilitu a přesnost výsledného simulačního procesu má volba typu sítě. Pro původně importovaný dílec byla zvolena síť Overlay Hex s typem elementu Hexahedral. Velikost dílčích prvků sítě byla zvolena 0,6 mm, i přes nízkou velikost elementu nebylo v rámci programu Simufact.forming možné provést kvalitní tvorbu sítě z důvodu složité geometrie výlisku, na které se objevují příliš nízké poloměry zaoblení v přechodech mezi jednotlivými plochami. Problém s příliš malým zaoblením výlisku byl řešen rozdělením dílce na jednotlivé segmenty, kdy pro řešenou problematiku je důležité analyzovat rozložení stavu napjatosti v místě stříhu. Za tímto účelem byl vytvořen malý segment dílce reprezentující část stěny výlisku po zaoblení $R = 8,38$ mm. Sestava střížného nástroje v programu Simufact.forming je znázorněna na obrázku číslo 26.



Obr. 26 Sestava střížného nástroje v prostředí program Simufact.forming

Při přípravě okrajových podmínek simulace operace děrování. Vedle komplikací spojenými se zasíťováním malých radiusů na výlisku. Byl zjištěný další problém související s přiřazením materiálu k polotovaru. V databázi materiálu softwaru lze k výlisku přiřadit Inconel 625, který odpovídá značení AMS 9955, ale materiálová data jako mez pevnosti případně křivky přetvárného odporu jsou definována v rozmezí teplot 800 až 1200 °C. Tento problém byl řešen v rámci spolupráce s firmou Honeywell poskytnutím materiálových dat získaných z materiálové knihovny programu PAM-STAMP tento software je určený pro matematickou simulaci plošného tváření. Při záměru importovat získané data do databáze programu Simufact.forming se vyskytl problém s kompatibilitou dat, podrobné informace k materiálu nebylo možné v prostředí programu otevřít. V rámci simulace byla zvažována možnost definovat nový datový soubor pro databázi softwaru Simufact.forming z dat programu PAM-STAMP. Po otevření souboru s materiálovými daty v textovém editoru byla zjištěna zcela rozdílná logika zápisu. V programu PAM-STAMP jsou uvedeny konstanty, které jsou použity ve výpočtech založených na Krupkowskioho zákonech. Pro výpočet jsou zde uvedeny i nezbytné informace o míře anizotropie a limitní podmínky plastické deformace umožňující programu predikci vzniku trhlin a poškození materiálu. [22]

$$\text{Krupkowskioho zákon zní } \sigma = k(\varepsilon_o + \varepsilon_p)^n$$

Kde k, n = koeficient zpevnění

ε_o = Maximální míra pružné deformace

ε_p = Relativní plastická deformace

Z výše uvedených důvodů nebylo možné využít pro simulaci podklady dodané společností Honeywell z databáze PAMP-STAMP. Na základě těchto limitujících podmínek, bylo nutno přistoupit k alternativnímu řešení a využít z databáze materiálu austenitickou antikorozi ocel X10CrNiTi19-9. Jak bylo uvedeno v kapitole věnované slitině Inconel 625 její vlastnosti jsou do značné míry podobné právě austenitickým ocelím. Astenická ocel byla vybrána na základě mechanických vlastností.

Protože v rámci simulací nejsou v maximální míře dodrženy některé z okrajových podmínek, bude výsledek simulace sloužit pouze jako ilustrační.

1.17 Materiál vzorku

Jako výchozí materiál pro simulaci v prostředí programu Simufact.forming byla z databáze materiálů zvolena ocel dle DIN 1.4541. V rámci evropského značení EN X6CrNiTi18-10. Materiál patří do skupiny chrom niklových austenitických ocelí. Charakteristickou vlastností materiálu je sklon k vysokému stupni zpevnění při tažení stejně jako v případě materiálu AMS 5599. Austenitické oceli prokazují vynikající odolnost proti korozi, mimo jiné je ocel EN X6CrNiTi18-10 vhodná pro práci při vysokých teplotách (850 °C). V porovnání s ostatními austenitickými ocelmi je materiál stabilizován proti mezikrystalové korozi prostřednictvím titanu (tvorba karbonitridů titanu), namísto snižování množství uhlíku ve struktuře. Přítomnost karbonitridů ve struktuře negativně ovlivňuje obrobiteľnost materiálu a v důsledku nedodržení doporučených řezných parametrů může dojít ke vzniku deformačního martenzitu, který zvýší pevnost, ale zároveň způsobí pokles tažnosti. Z důvodů dobré žárupevnosti je materiál vhodný zejména pro aplikaci při teplotách 300 °C a více. [23]

- Materiál nalézá uplatnění v následujících oblastech průmyslu:
- Automobilový průmysl
- Stavebnictví
- Chemický průmysl
- Potravinářský a nápojový průmysl
- Letecký průmysl

Tab. 4 Mechanické vlastnosti materiálu X6CrNiTi18-10 [24]

Mechanické vlastnosti X6CrNiTi18-10				
Vlastnost	Rm [MPa]	Re [MPa]	A [%]	HRB
Hodnota	520-720	220	40	B97

Tab. 5 Chemické složení materiálu X6CrNiTi18-10 [24]

Chemické složení X6CrNiTi18-10						
Prvek	Ni	Cr	Ti	C	Si	P
[%]	9-12	17 - 19	0,70	0,08	max 1,0	max 0.045

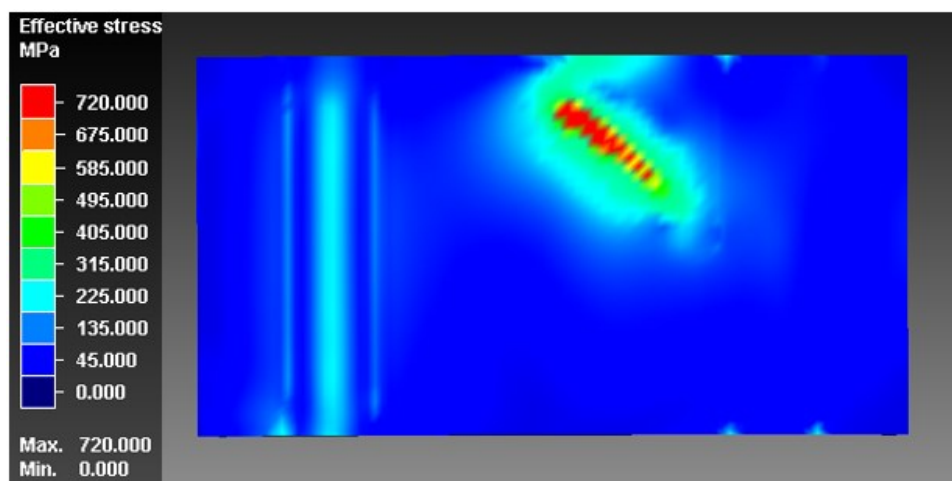
1.18 Výsledky simulace v programu Simufact.forming

V rámci matematické simulace byly posuzovány dva parametry, kterým mohou mít vliv na tvarovou deformaci výlisku.

Efektivní napětí:

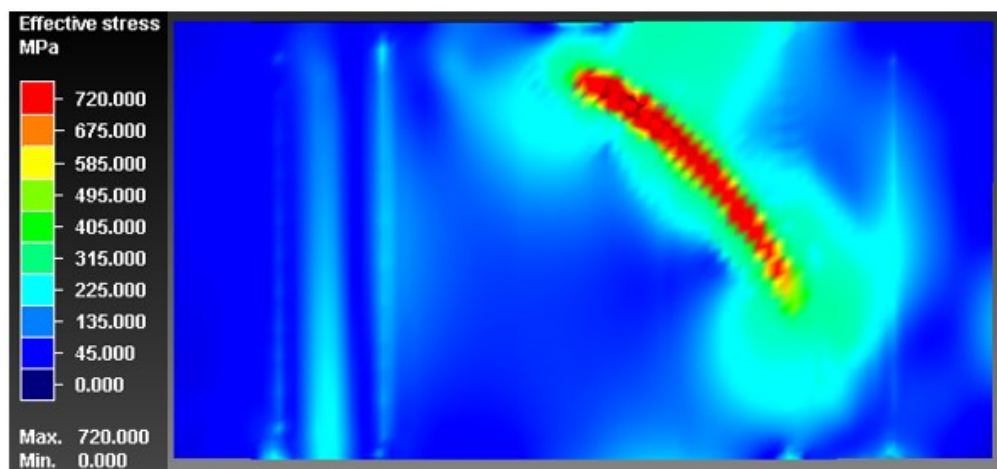
Prvním sledovaným parametrem je míra efektivního napětí v místě stříhu, které je znázorněné na obr. 27 v hloubce 0,33 mm. Na obrázku č. 28 je zobrazena míra napětí v hloubce 1,33 mm.

Hodnoty dosažené při vniknutí střížníku do hloubky 0,33 mm



Obr. 27 Dosažené hodnoty efektivního napětí v programu Simufact.forming

Hodnoty dosažené při vniknutí střížníku do hloubky 1,33 mm

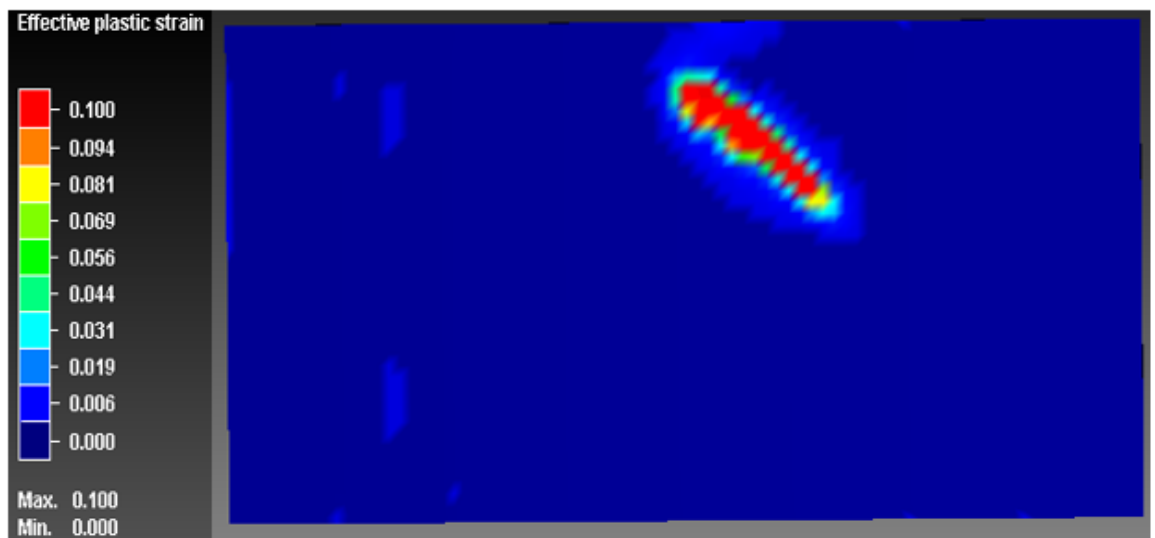


Obr. 28 Dosažené hodnoty efektivního napětí v programu Simufact.forming

Druhým sledovaným parametrem v rámci matematické simulace je míra efektivní plastické deformace a její rozložení v místě stříhu v hloubce 0,33 mm a 1,33 mm, dosažené hodnoty jsou znázorněné na obrázku číslo 29 a 30.

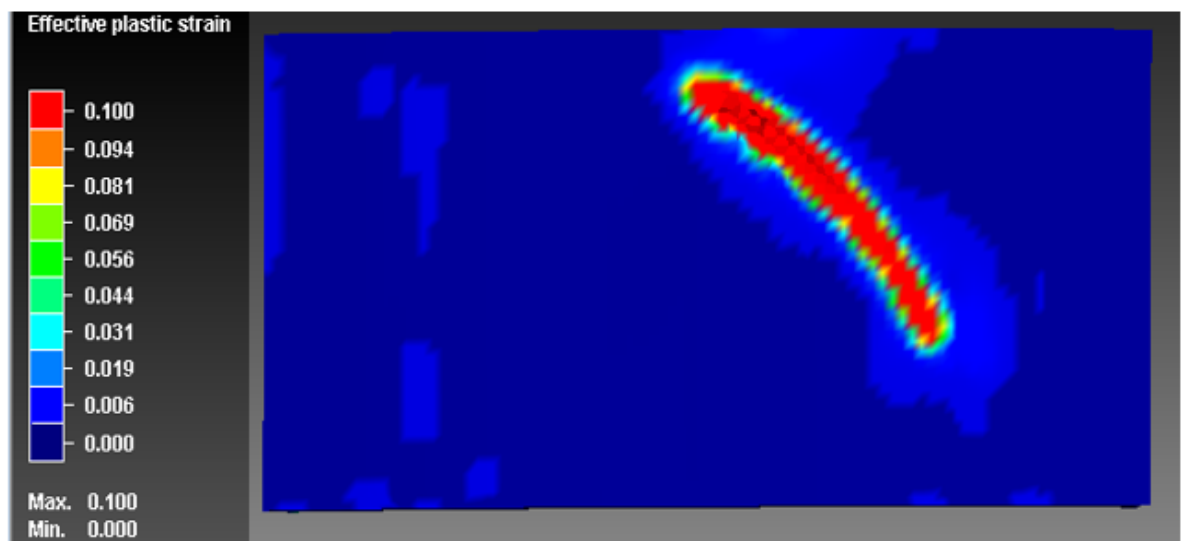
Efektivní plastická deformace ε_i :

Hodnoty dosažené při vniknutí střížníku do hloubky 0,33 mm



Obr. 29 Dosažené hodnoty plastické deformace v programu Simufact.forming

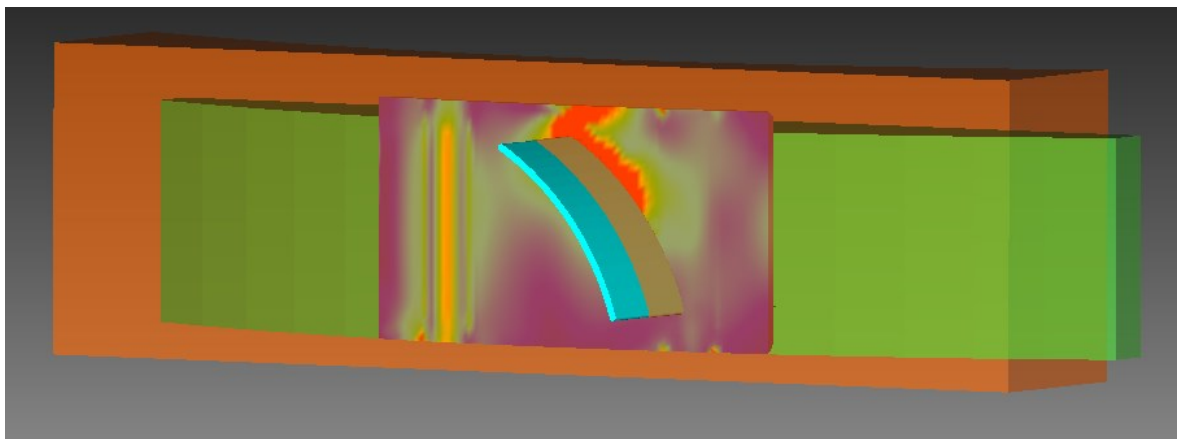
Hodnoty dosažené při vniknutí střížníku do hloubky 1,33 mm



Obr. 30 Dosažené hodnoty plastické deformace v programu Simufact.forming

1.19 Vyhodnocení matematické simulace

Na základě matematické simulace v prostředí programu Simufact.forming, která měla z důvodu použití náhradního materiálu X6CrNiTi18 10 pouze orientační hodnotu o možném rozložení efektivního napětí a míře efektivní deformace v oblasti stříhu. Při analýze procesu stříhání bylo zjištěno, že v případě vnikání střížníku do materiálu dochází k šíření koncentrovaného napětí směrem k okraji dílce. V případě skutečného výlisku k okraji zaoblené hrany, která brání dalšímu šíření. Míra napětí dosahuje u materiálu X6CrNiTi18 10 hodnoty 315 MPa, tato hodnota přesahuje mez kluzu daného materiálu a dochází proto k nepatrnému zpevnění materiálu ve směru působení sil. Zpevnění materiálu lze podložit i hodnotou efektivní plastické deformace, která dosahuje hodnoty 0,02. Zjištěna míra plastické deformace v místě stříhu je nízká, ale vlivem vyššího počtu otvoru na obvodu dílce, může být faktor stavu napjatosti považován za jeden z důvodů změny tvaru výlisku. Všechny získané data jsou uvedené v tabulce číslo 6. Na obrázku č. 31 je červeně znázorněna oblast, ve které byla překročena mez kluzu materiálu.



Obr. 31 Sestava v prostředí Simufact.forming

Tab. 6 Hodnoty získané metodou konečných prvků

Získané hodnoty na základě matematické simulace		
Parametr	hloubka 0,33 mm	hloubka 1,33 mm
Napětí	315 MPa	345 MPa
Deformace	0.02	0,022

2 Tvarové defekty válcového výlisku

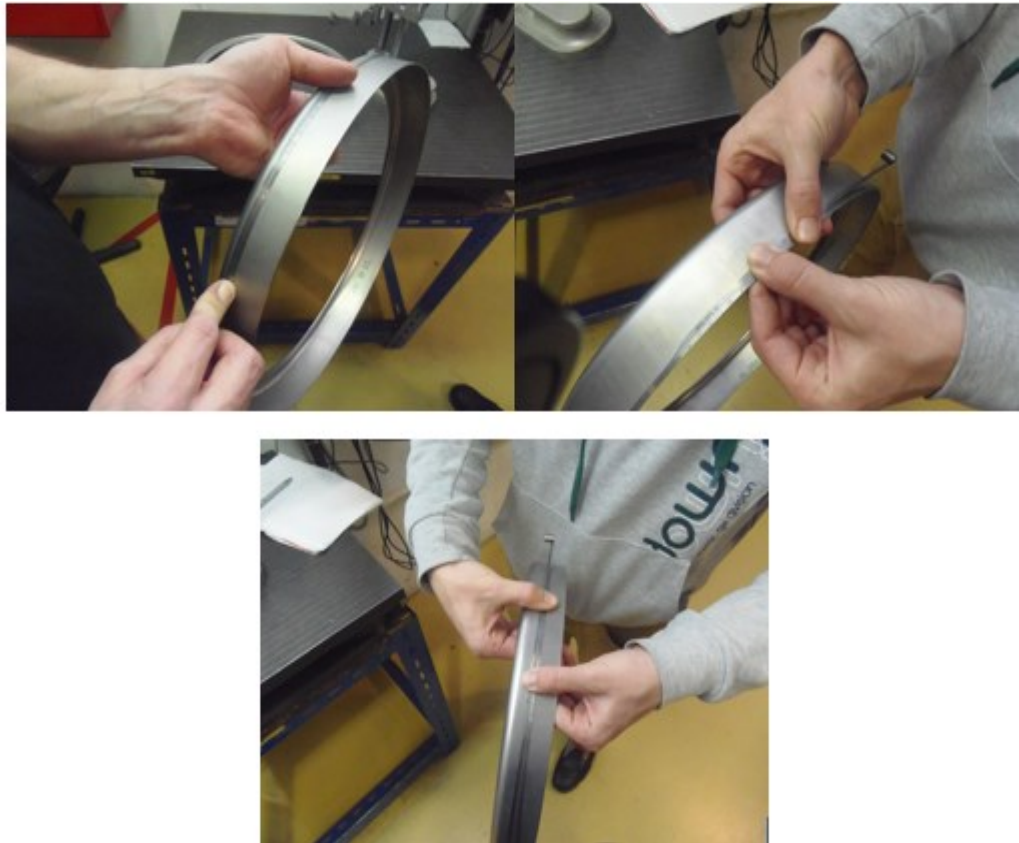
Součástí řešené problematiky bylo měření výlisku přímo na pracovišti společnosti Honeywell. Data z měření byla použita k bližší analýze tvarových defektů výlisku. V rámci diplomové práce byla uskutečněna dvě měření na dvou výrobních dávkách z důvodu zajištění vyšší vypovídající hodnoty naměřených dat. Vyšší počet měření nám může odhalit, zda změna rozměru vnějšího průměru výlisku je ryze náhodná, případně zda deformace výlisku je u všech měřených dílců podobná. Vyrobená součást prochází v průběhu své výroby celou řadou technologií včetně tepelného zpracování, a proto už v průběhu výroby může docházet k deformaci prvotního výlisku. Na stupni deformace se podílí také samotný materiál, protože už jednotlivé materiálové šarže se od sebe mohou lišit.

V rámci kontroly vnějšího průměru dílce o jmenovitém rozměru 376,3 mm je součást měřena před samotným děrováním a následně byla provedena kontrola finálního průměru výrobku po prostřihování otvorů. Měření součásti bylo realizováno pomocí ocelového pásma pro měření obvodů a průměru v anglické literatuře označované jako PI Tape s rozsahem 2–24 palců přesnost používaného měřidla byla 0,001" (0.03 mm). Jak bylo zmíněno v úvodu práce Honeywell je americkou společností a v rámci podniku používá výkresovou dokumentaci převážně kotovanou v palcích. Z těchto důvodů byly všechny získané hodnoty naměřeny v palcích. Pro lepší přehlednost naměřených rozměrů byly všechny naměřené hodnoty převedeny na mm.



Obr. 32 Pi Tape [25]

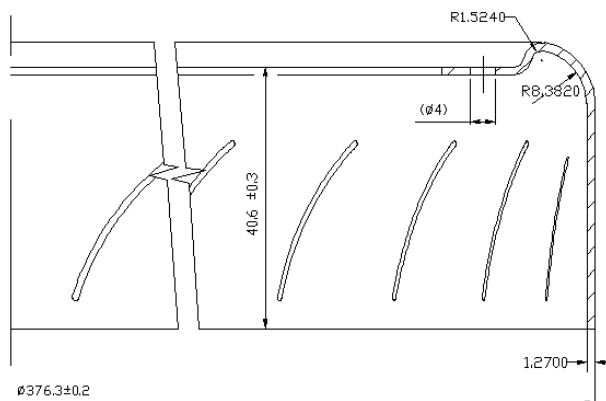
Výlisek byl proměřován celkově ve třech místech. Prvním měřeným místem byl spodní okraj dílce, následně bylo provedeno měření ve středu výlisku a nakonec byl měřený rozměr pod zaoblením. Jednotlivé pozice pro měření jsou znázorněné na obrázku č. 33.



Obr. 33 Jednotlivé pozice měření

Naměřené hodnoty získané v jednotlivých místech jsou uvedené v tabulce č. 7 a 9. V tabulce jsou data z měření 5 kusů z každé výrobní dávky. V případě prvního měření proběhla také kontrola závislosti mezi počtem otvorů na obvodu a mírou deformace výlisku. Hodnoty získané po vystřížení 20 a 40 otvorů jsou zapsány v tabulce číslo 8. Rozměry jsou v tabulce zapsané v palcích i milimetrech, vedle naměřené hodnoty je uvedena velikost odchylky od jmenovitého rozměru výlisku a tato hodnota je barevně označena v závislosti na poloze v tolerančním poli. U každého dílce je v posledním řádku s označením ZR-změna rozměru zaznamenána změna průměru dílce v jednotlivých polohách před a po děrování.

V horní toleranci – V dolní toleranci – Mimo toleranci – Před prostřihováním



Obr. 34 Kontrolovaný rozměr dílce

Tab. 7 Naměřené hodnoty první dávky

	Průměr u okraje		Průměr ve středu			Průměr u radiusu		
[Palce]	[mm]	Odchylka [mm]	[Palce]	[mm]	Odchylka [mm]	[Palce]	[mm]	Odchylka [mm]
I.								
14,798	375,869	-0,431	14,803	375,996	-0,304			
14,817	376,352	0,052	14,810	376,174	-0,126			
ZR	0,483			0,178				
II.								
14,799	375,895	-0,405	14,802	375,971	-0,329	14,795	375,793	-0,507
14,816	376,326	0,026	14,810	376,174	-0,126	14,796	375,818	-0,482
ZR	0,432			0,203			0,025	
III.								
14,800	375,920	-0,380	14,802	375,971	-0,329	14,793	375,742	-0,558
14,820	376,428	0,128	14,810	376,174	-0,126	14,795	375,793	-0,507
ZR	0,508			0,203			0,051	
IV.								
14,798	375,869	-0,431	14,802	375,971	-0,329	14,796	375,818	-0,482
14,820	376,428	0,128	14,811	376,199	-0,101	14,797	375,844	-0,456
ZR	0,559			0,229			0,025	
V.								
14,800	375,920	-0,380	14,801	375,945	-0,355	14,795	375,793	-0,507
14,819	376,403	0,103	14,810	376,174	-0,126	14,795	375,793	-0,507
ZR	0,483			0,229			0,000	

ZR – Změna rozměru po prostřihávání

V horní toleranci – V dolní toleranci – Mimo toleranci – Před prostřihováním

Tab. 8 Změna rozměru po 20 a 40 otvorech

Průměr u okraje			Průměr ve středu			Průměr u radiusu		
[Palce]	[mm]	Odchylka [mm]	[Palce]	[mm]	Odchylka [mm]	[Palce]	[mm]	Odchylka [mm]
IV.								
14,797	375,844	-0,456	14,802	375,971	-0,329	14,795	375,793	-0,507
14,810	376,174	-0,126	14,807	376,098	-0,202	14,797	375,844	-0,456
14,818	376,377	0,077	14,810	376,174	-0,126	14,798	375,869	-0,431

Tab. 9 Naměřené hodnoty druhé dávky

	Průměr u okraje		Průměr ve středu			Průměr u radiusu		
[Palce]	[mm]	Odchylka [mm]	[Palce]	[mm]	Odchylka [mm]	[Palce]	[mm]	Odchylka [mm]
I.								
14,802	375,971	-0,329	14,805	376,047	-0,253	14,791	375,691	-0,609
14,823	376,504	0,204	14,812	376,225	-0,075	14,802	375,971	-0,329
ZR	0,533			0,178		0,279		
II.								
14,801	375,945	-0,355	14,805	376,047	-0,253	14,790	375,666	-0,634
14,823	376,504	0,204	14,812	376,225	-0,075	14,802	375,971	-0,329
ZR	0,559			0,178			0,305	
III.								
14,802	375,971	-0,329	14,805	376,047	-0,253	14,797	375,844	-0,456
14,823	376,504	0,204	14,812	376,225	-0,075	14,802	375,971	-0,329
ZR	0,533			0,178			0,127	
IV.								
14,800	375,920	-0,380	14,804	376,022	-0,278	14,797	375,844	-0,456
14,821	376,453	0,153	14,814	376,276	-0,024	14,801	375,945	-0,355
ZR	0,533			0,254			0,102	
V.								
14,802	375,971	-0,329	14,804	376,022	-0,278	14,792	375,717	-0,583
14,825	376,555	0,255	14,816	376,326	0,026	14,804	376,022	-0,278
ZR	0,584			0,305			0,305	

ZR – Změna rozměru po prostřihávání

2.1 Vyhodnocení naměřených hodnot po děrování

Na základě obou měření bylo zjištěno, že rozměr dílce je stabilní a v průběhu celého procesu není rozdíl mezi jednotlivými výlisky větší než 0,1 mm v oblasti dolní hrany, která je po stříhání zasažena největší deformací. Míra deformace v těchto místech dosahuje přibližně 0,5 mm. Všechny získané hodnoty naznačují vypouklý (soudečkovitý) tvar výlisku, kdy největšího rozměru je dosaženo ve středu výlisku a nejmenšího rozměru je dosaženo u přechodu mezi měřenou plochou a radiusem. V důsledku děrování se tvar výlisku mění a postupně dochází k jeho „rozevírání“.

Předmětem dalšího měření bylo zjištění existence závislosti mezi počtem otvorů na obvodu výlisku a míře jeho deformace. Proto bylo na jednu výlisku vyrobeno 20 otvorů, po kterých byl výlisek proměřen. Po proměření byl dílec umístěn zpět do přípravku, a bylo vyrobeno zbývajících 20 otvorů. Hodnota změny rozměru po děrování prvních 20 otvorů odpovídá přibližně 60 % celkové deformace výlisku ve všech měřených místech. Z výsledku měření lze vyvodit závěr, že mezi počtem otvorů na obvodu dílce a velikosti deformace existuje závislost. Z důvodu časové náročnosti měření přímo ve výrobě není možné zkoumat podrobněji závislost počtu otvorů na míře deformace na všech vyráběných dílcích

Tab. 10 Změna rozměru první a druhé výrobní dávky všechny hodnoty jsou uvedeny v [mm]

	I.	II.	III.
1. měření	0,493	0,208	0,025
2. měření	0,549	0,218	0,224
Rozdíl	0,056	0,01	0,199

Tab. 11 změna rozměru po zhotovení 20 a 40 otvorů v [mm]

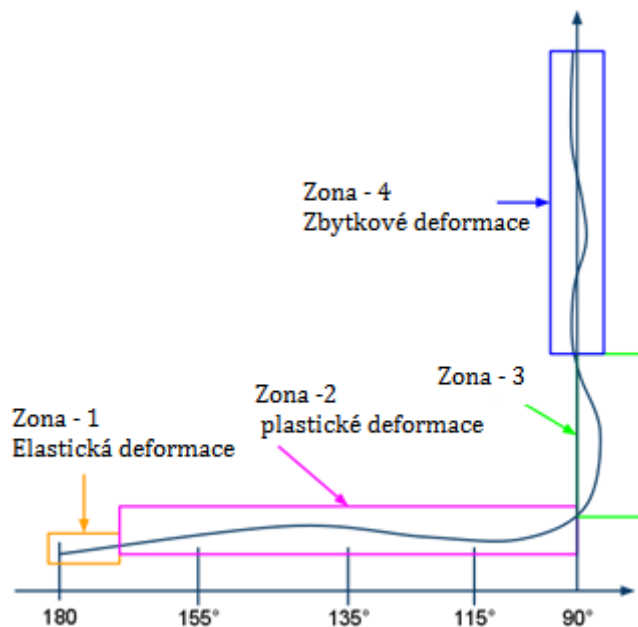
	I.	II.	III.
20. otvorů	0,330	0,127	0,051
40. otvorů	0,533	0,203	0,076
Rozdíl	62 %	63 %	0,67 %

2.2 Ověření tvaru výlisku

Pro ověření soudečkovitého tvaru výlisku, bylo na závěr druhého měření provedeno porovnávání profilu výlisku se šablonou na dílenském mikrometru. Profil výlisku byl kontrolován na 2 dílcích před a po děrování. Výsledky těchto měření potvrdily změnu profilu lisovaného dílce. Při podrobnějším zkoumání profilu výlisku, byla zjištěna odchylka od předpokládaného soudečkovitého tvaru. Skutečný tvar prostřihané plochy lisovaného dílce před děrováním byl vlnitý. Následné porovnání výlisku se šablonou po prostřizení požadovaného počtu otvorů ukázalo, že došlo ke snížení vlnitosti dílce, ale došlo k otevření výlisku a ztrátě válcovitosti. Změna tvaru výlisku je zachycena na obrázku číslo 36.

Snížení vlnitosti dílce je pravděpodobně způsobeno působením přidržovače, který přitlačuje stříženou stěnu výlisku ke střížnici a tím dochází k protažení zvlněných vláken výlisku. Po odstranění tlaku přidržovače dochází z důvodů nerovnoměrnému působení napjatosti ve stěně výlisku k odpružení.

Zvlnění stěny dílce může být způsobeno již v počáteční fázi výroby tažením výlisku. Vznik zvlnění výlisku může důsledkem odpružení, které je charakterizováno existencí několika pásem, s různou velikostí napětí. Rozložení pásem je znázorněno na obrázku 26. [24]



Obr. 35 Zvlnění výlisku vlivem lisování [26]

Na této stránce jsou znázorněné snímky pořízené pomocí dílenského mikroskopu. Na obrázku je patrné zvlnění stěny výlisku a následné částečné srovnání.



Obr. 36 Zvlnění výlisku

2.3 Tepelné zpracování

První měření v rámci celého výrobního procesu bylo uskutečněno před tepelným zpracováním, které následuje po operaci tažení. Měření dílců bylo provedeno ve třech místech znázorněných na obrázku č. 37. Získané hodnoty dokazují, že výlisek před tepelným zpracováním není zvlněný a největší průměr je v bodě A. Směrem k radiusu se průměr výlisku plynule zmenšuje. Další měření proběhlo po tepelném zpracování dílce. Na naměřených datech je patrné, že dochází pouze k malým rozměrovým změnám. Všechny naměřené hodnoty jsou uvedené v tabulce 12.

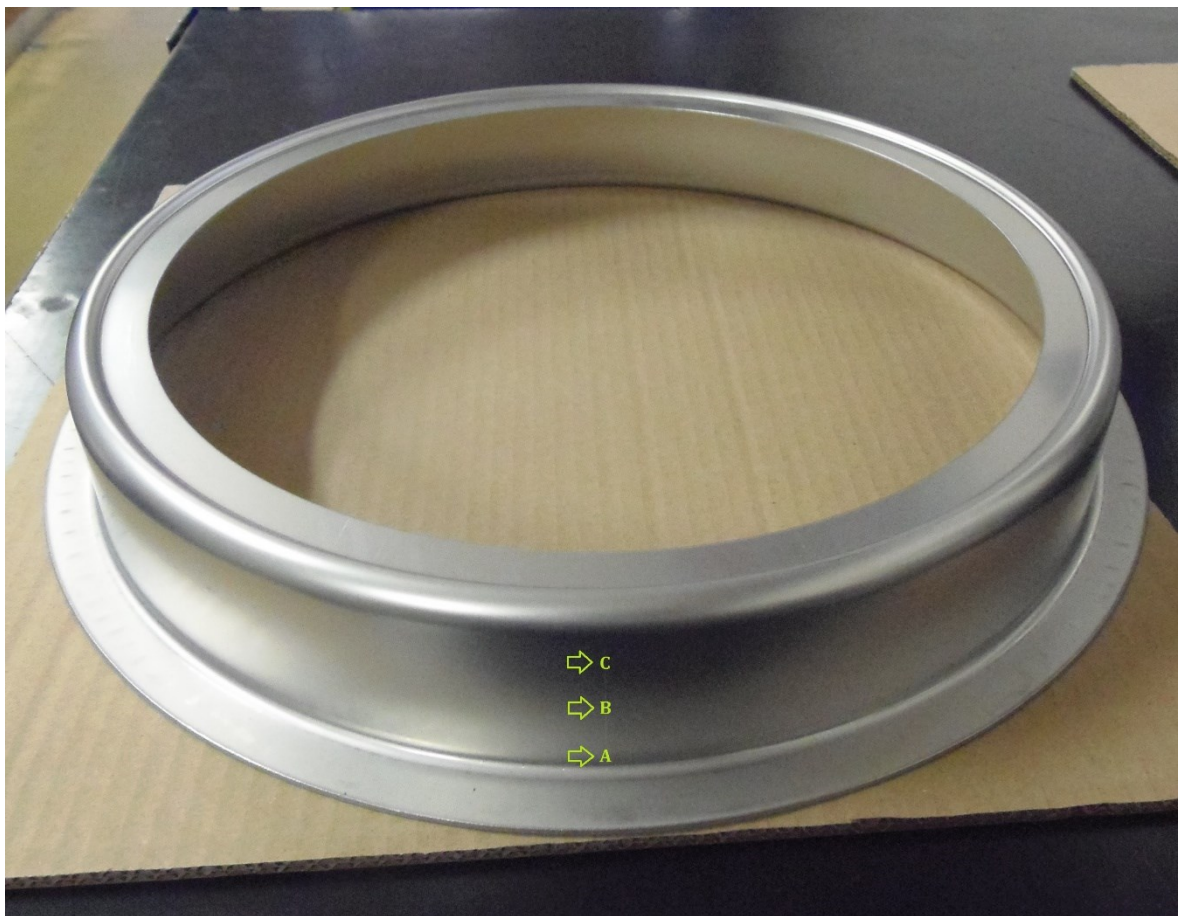
Tab. 12 Naměřené hodnoty třetí dávky po tepelném zpracování

[Palce]	Průměr u okraje		Průměr ve středu			Průměr u radiusu		
	[mm]	Odchylka [mm]	[Palce]	[mm]	Odchylka [mm]	[Palce]	[mm]	Odchylka [mm]
I.								
14,808	376,123	-0,177	14,804	376,022	-0,278	14,798	375,869	-0,431
14,810	376,174	-0,126	14,802	375,971	-0,329	14,795	375,793	-0,507
ZR	-0,051			-0,051			-0,076	
II.								
14,811	376,199	-0,101	14,801	375,945	-0,355	14,799	375,869	-0,431
14,808	376,123	-0,177	14,799	375,895	-0,405	14,796	375,818	-0,482
ZR	-0,076			-0,051			-0,051	
III.								
14,808	376,123	-0,177	14,800	375,920	-0,380	14,797	375,796	-0,456
14,811	376,199	-0,101	14,800	375,920	-0,380	14,796	375,818	-0,482
ZR	0,076			0,000			-0,025	
IV.								
14,810	376,174	-0,126	14,802	375,971	-0,329	14,798	375,869	-0,431
14,808	376,123	-0,177	14,802	375,971	-0,329	14,796	375,818	-0,482
ZR	-0,051			0,000			-0,051	
V.								
14,814	376,276	-0,024	14,801	375,945	-0,355	14,792	375,895	-0,405
14,809	376,149	-0,151	14,801	375,945	-0,355	14,804	375,818	-0,482
ZR	-0,127			0,000			-0,076	

ZR – Změna rozměru po tepelném zpracování

2.4 Změna rozměru po soustružení

Poslední operací před zahájením děrování je technologie soustružení. V rámci této operace je vylisek zbavený lemů, který je zobrazený na obrázku číslo 37, následně je vylisek zkrácený na předepsanou délku. Stejně jako u předchozích operací je měření realizováno ve třech místech na obvodu vylisku. Jednotlivé polohy měření jsou znázorněny na obrázku č. 37. Všechny získané hodnoty jsou uvedeny v tabulce číslo 13. Výsledky měření naznačují, že při této operaci dochází k výrazné změně rozměrů vylisku. Deformace způsobené při soustružení vedou pravděpodobně k jeho zvlnění. Největší deformace byla zaznamenána stejně jako u předchozích operací u okraje vylisku (na obrázku bod A), kdy průměrná změna rozměru je - 0,2 mm. Ve střední části vyráběného dílce dochází ke zvětšení průměru o 0,1 mm. Pouze nepatrná deformace průměru vylisku byla naměřena v bodě C, kde došlo ke zvětšení průměru pouze o 0,02 mm.



Obr. 37 pozice měření

Tab. 13 Změna rozměru v důsledku opracování na soustruhu

[Palce]	Průměr u okraje		Průměr ve středu			Průměr u radiusu		
	[mm]	Odchylka [mm]	[Palce]	[mm]	Odchylka [mm]	[Palce]	[mm]	Odchylka [mm]
I.								
14,810	376,174	0,126	14,802	375,971	0,329	14,795	375,793	0,507
14,801	375,945	0,355	14,804	376,022	0,278	14,797	375,844	0,456
ZR	-0,229			0,051			0,051	
II.								
14,808	376,123	0,177	14,799	375,895	0,405	14,796	375,818	0,482
14,801	375,945	0,355	14,804	376,022	0,278	14,796	375,818	0,482
ZR	-0,178			0,127			0,000	
III.								
14,811	376,199	0,101	14,800	375,920	0,380	14,796	375,818	0,482
14,800	345,920	0,380	14,804	376,022	0,278	14,800	375,920	0,380
ZR	-0,279			0,102			0,102	
IV.								
14,808	376,123	0,177	14,802	375,971	0,329	14,796	375,818	0,482
14,802	345,971	0,329	14,803	375,996	0,304	14,795	375,793	0,507
ZR	-0,152			0,025			-0,025	
V.								
14,809	376,149	0,151	14,801	375,945	0,355	14,804	375,818	0,482
14,801	375,945	0,355	14,805	376,047	0,253	14,795	375,793	0,507
ZR	-0,203			0,102			-0,025	

ZR – Změna rozměru po soustružení

2.5 Vyhodnocení změn rozměrů vylisku v průběhu výroby

Ve druhém bodě diplomové práce jsme provedli analýzu tvarových defektů vylisku v průběhu celého výrobního procesu. V rámci těchto měření byl vylisek proměřován ve třech místech znázorněných na obr. 37. Měření v průběhu výroby nám přiblížila, jak se v průběhu výroby mění rozměry dílce v jednotlivých oblastech. Nejvíce deformovanou oblastí je okraj

výlisku (bod A), kde dochází v rámci všech operací k největší deformaci. Největší změna rozměru je zaznamenána po procesu děrování, kdy u obou měření bylo naměřeno zvětšení průměru o 0,5 mm. V provozu bylo také provedeno měření na dílci, který měl po obvodu vystřižených pouze polovinu otvorů (byl vyráběný každý druhý otvor), na takto vyrobeném výlisku se projevila změna rozměru o 60 % z celkové deformace, kdy 100 % deformace bylo dosaženo po výrobě zbývajících otvorů. Tato měření potvrdila souvislost mezi tvarovou deformací výlisku a počtem otvorů na obvodě.

V rámci podrobnějšího zkoumání dílce, byla uskutečněna kontrola profilu výlisku, při které bylo zaznamenáno zvlnění stěny dílce, ještě před zahájením děrování. Takto zvlněný profil může být jednou z příčin deformace výlisku, neboť při děrování dochází pravděpodobně vlivem přidržovače k jeho rovnání, a změnám v rozložení napjatosti ve stěnách výlisku. Pro eliminaci zvlnění výlisku bylo nutné sledovat výrobu dílce napříč všemi operacemi, které se podílejí na jeho deformaci. Změny průměru výlisku jsou zaznamenány v tabulce číslo 14, ze které je patrné, že vlivem tepelného zpracování jsou změny rozměru výlisku zanedbatelné. Mnohem zajímavější jsou informace získané v rámci proměřování výlisku po soustružení, kdy dochází k námi hledanému zvlnění profilu výlisku. Vlivem zpracování na soustružích dochází ke zmenšení průměru u okraje výlisku (bodě A), a ke zvětšení výlisku v jeho středu (bodě B).

Dosažené výsledky lze shrnout následovně:

- Závislost deformace výlisku na počtu otvorů
- Největší deformace je naměřená po děrování výlisku
- Zvlnění profilu výlisku v důsledku soustružení
- Nepatrné změny rozměru vlivem tepelného zpracování

Tab. 14 Změna rozměru výlisku v průběhu výroby všechny rozměry jsou v [mm]

Operace	Průměr u okraje		Průměr ve středu		Průměr u radiusu	
	průměr	ZR	průměr	ZR	průměr	ZR
Lisování	376,179		375,961		375,869	
Žihání	376,154	0,076	345,940	0,020	375,816	0,056
Soustružení	375,945	0,208	376,022	0,081	375,834	0,041
Stříhání I.	376,387	0,493	376,179	0,208	375,812	0,025
Stříhání II.	376,504	0,549	376,255	0,218	375,976	0,224

3 Návrh opatření k eliminaci vad tvaru

Při návrhu opatření k eliminaci vad tvaru vylisku budeme vycházet především z předešlých měření, a pokusíme se zaměřit na technologie vnášející do vylisku největší míru deformace. V našem případě bude vhodné podrobit důkladnější analýze technologii stříhání a soustružení, v rámci kterých dochází k největší míře deformace vylisku. Jednotlivá opatření by měla být navrhována s přihlédnutím na snadné konstrukční provedení a finančně nenáročné provedení, z důvodu rentability výrobního procesu. Před zahájením jakýchkoliv zásahu do stávající technologie, nebo před výrobou nových střížných nástrojů je nutné pokusit se potvrdit nebo vyvrátit vliv jednotlivé faktory na celkovou deformaci. Pro naše potřeby bude tedy nutné ověřit vliv následujících prvků.

- Technologie soustružení
- Vliv přídržovače
- Vliv střížníku

Ověření může proběhnout v rámci výroby dočasným zastoupením výše zmíněných technologii jiným způsobem výroby. V následujících bodech se pokusím navrhnout možné varianty ověření vlivu jednotlivých faktorů.

3.1 Soustružení:

Ověření vlivu technologie soustružení, při které dochází ke zvlnění vylisku, jak naznačují měření, může mít vysoký podíl na celkové deformaci dílce po děrování. Konstrukce přípravku neumožňuje změnu sledu operací. Předmětem této změny by byla výroba otvorů ještě před zvlněním vylisku, a následně by bylo provedeno soustružení spodního lemu vylisku na požadovaný průměr. V případě, že dojde k deformaci vylisku vlivem střížníku, mohl by být vylisek stočený na předepsaný průměr v rámci soustružení lemu. V důsledku této změny by se dílec dostal na soustružnické pracoviště pouze jednou. V případě, že se prokáže negativní vliv zvlnění vylisku na jeho deformaci. Je možné přistoupit k jeho rovnání již při soustružení lemu, případně navrhnout vhodný přípravek, který by zabránil jeho zvlnění. V krajním případě lze technologii soustružení nahradit jinou technologií např. vodním paprskem nebo laserem, jedná se o technologie běžně používané ve společnosti Honeywell.

V předchozím bodě jsme se zaměřili především na deformace vnášené do výlisku prostřednictvím zpracování na soustruhu. Naměřené hodnoty naznačují, že při soustružení dochází k deformaci výlisku o maximální velikosti změny rozměru 0,2 mm. Změny rozměru výlisku jsou mnohem výraznější při prostřihování otvorů v přípravku, kdy změna průměru výlisku u jeho spodního okraje dosahuje až 0,5 mm. V následujících dvou bodech se pokusím zaměřit na analýzu vlivu přídržovače a střížníku. Oba nástroje jsou z hlediska kvality dílce velice významné a jejich vliv nelze opomenout.

3.2 Vliv přídržovače:

Podrobnější rozbor přídržovače, který zároveň slouží, jako stírací deska byl provedený v kapitole 1.11 na straně 24. Jednou z možností jak ověřit míru deformace způsobenou přídržovačem je umístění výlisku do přípravku, který nebude vybavený střížníkem v rámci kontroly vlivu přídržovače se provede „naprázdno“ zhotovení 40 otvorů na obvodu výlisku. Působením tlaku přídržovače by na základě měření a pozorování tvaru výlisku mělo dojít k částečnému narovnání stěny dílce a ztrátě válcovitosti. Změna rozměru způsobená přídržovačem nebude dosahovat hodnot, jaké jsou dosažené ve skutečném provozu, neboť samotný přídržovač nedokáže vyvinout stejnou sílu na stěnu výlisku jako střížník při průniku materiálem. V případě potvrzení vlivu přídržovače na deformaci výlisku, bude nezbytné přistoupit ke konstrukčním změnám přídržovače. Úpravy používaného přídržovače mohou souviset s:

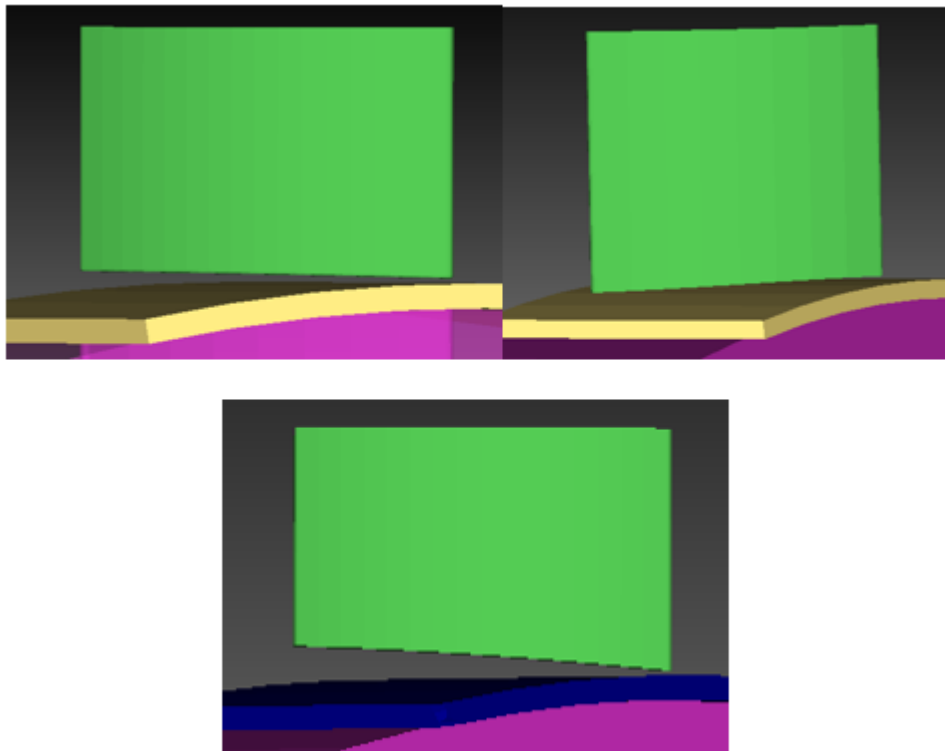
- Použití zkoseného přídržovače
- Použití šikmého přídržovače

Pokud bude používán zkosený přídržovač, bude docházet k deformaci výlisku vlivem přídržovače pouze v okolí stříhu. Zkosený přídržovač má také pozitivní dopad na kvalitu střížné plochy v důsledku změny stavu napjatosti v okolí stříhu.

Druhá varianta sebou přináší kompletní změnu přípravku, neboť při výrobě šikmého přídržovače musí projít kompletní změnou střížnice i základní deska ve které je střížnice upevněna. Uhel, pod kterým by měl být přídržovač zešikmený, musí odpovídat změně rozměru po stříhání, která je přibližně 0,5 mm.

3.3 Vliv střížníku:

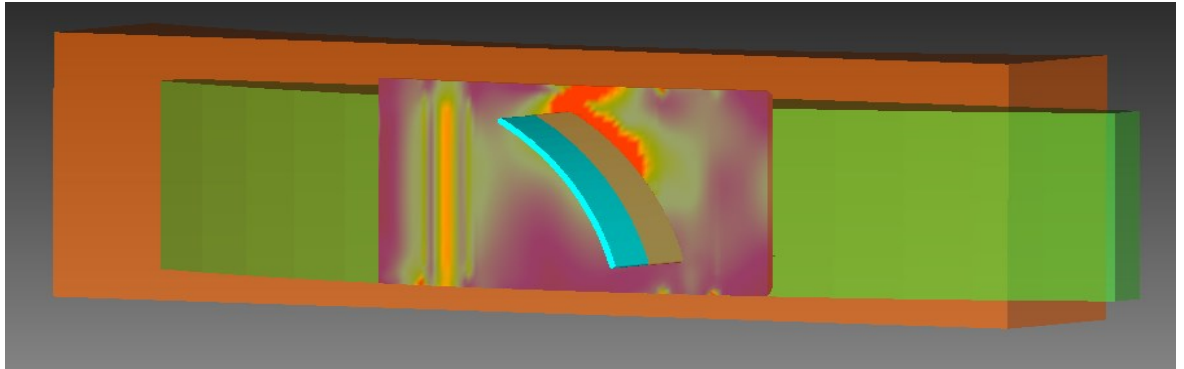
Posledním analyzovaným nástrojem bude v rámci operace děrování střížník. Geometrie střížníku má přímý vliv na rozložení napjatosti v místě stříhu, a nevhodná geometrie může způsobit deformaci výlisku. V rámci analýzy deformace tenkostěnného výlisku byla provedena matematická simulace procesu děrování s materiálem dle EN X6CrNiTi18-10. Z tohoto důvodu má simulace pouze informační charakter o rozložení napětí v okolí střížníku. Simulace naznačila, že při použití původního střížníku dochází k šíření napětí směrem k okrajům výlisku. Velikost napětí šířícího se od střížníku k okraji dílce překračuje hodnotu meze kluzu, a pravděpodobně vede ke zpevňování materiálu v dané oblasti. Ověření této skutečnosti lze provést na základě zkoušky tvrdosti v oblasti nad děrovaným otvorem. Při návrhu opatření proti působení napětí způsobené střížníkem jsem v prostředí programu Simufact.forming vyzkoušel různé konstrukční provedení střížníku, u všech variant docházelo k šíření napětí mimo oblast působení střížníku. Výsledky jednotlivých simulací jsou na následujících obrázcích. Červená oblast znázorňuje místa, kde došlo k překročení meze kluzu, která je pro použitý materiál 267 MPa



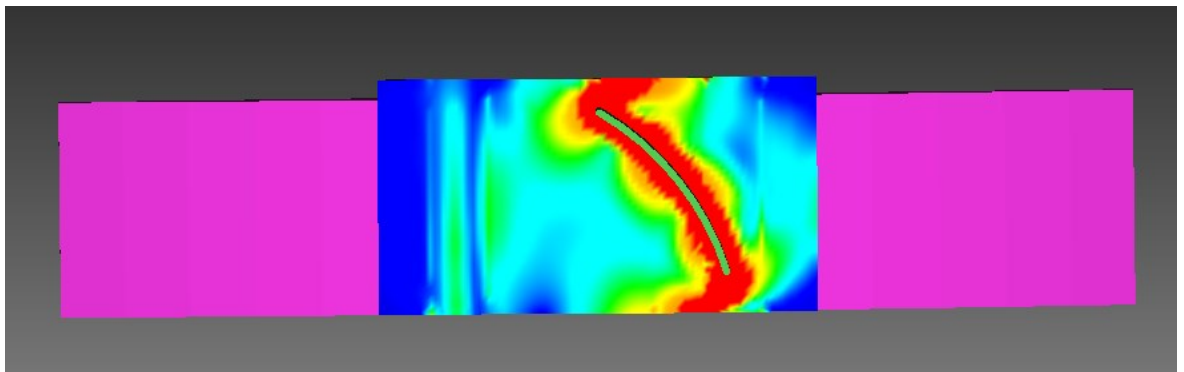
Obr. 38 Typy střížníku ověřené metodou konečných prvků

3.4 Zhodnocení výsledků metody konečných prvků

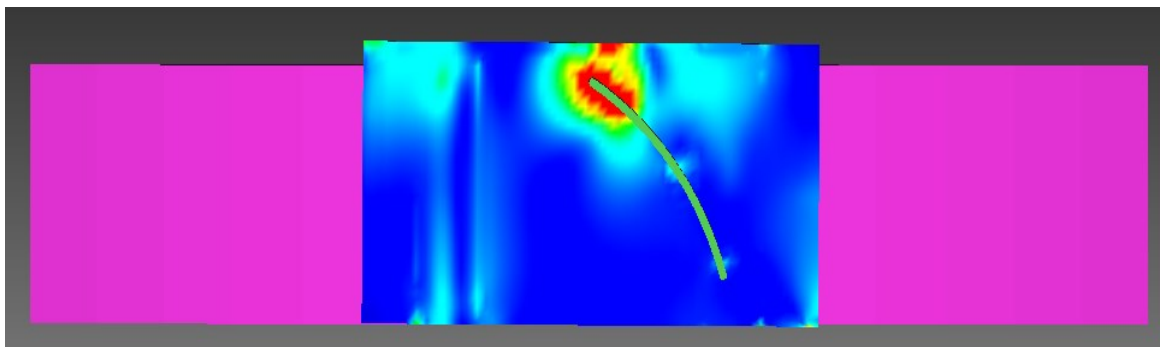
Nejlépeších výsledků bylo v simulaci dosaženo při použití střížníku s uhlím zkosení 8° , který při stejné hloubce průniku materiálem prokazoval nejmenší hodnotu napětí. Při hlubším vniknutí střížníku do materiálu, už ale docházelo ke stejnému jevu jako u předchozích variant.



Obr. 39 Rozložení napětí v důsledku vnikání střížníku se zkosením $1,5^\circ$



Obr. 40 Rozložení napětí v důsledku vnikání střížníku kopírující tvar stěny



Obr. 41 Rozložení napětí v důsledku vnikání střížníku se zkosením 8°

4 Konstrukční a technologické hodnocení

V předchozí kapitole jsem se věnoval návrhům a opatřením, jejímž cílem je eliminovat deformaci výlisku. Všechna opatření byla navržena s cílem zabránit změnám tvaru výlisku. V praxi je ale také nutné zohlednit konstrukční a technologické provedení jednotlivých variant a zaměřit se na jejich ekonomický přínos při zavádění do výroby. Dále je nutné zohlednit, že na deformaci výlisku se podílejí všechny technologie, kterým je dílec během své výroby vystaven. Každá technologie vnáší do vyráběné součásti jistou míru napětí, které se po celou dobu výroby shromažďuje ve stěnách výlisku. Při průniku střížníku materiálem dochází k uvolňování napětí, které vede ke změnám tvaru výlisku. Proto je nutné se dívat na celý proces výroby jako na celek, kdy ani při správné geometrii střížníku nejsme v důsledku vnesených napětí ve výlisku schopní předejít tvarovým změnám dílce. Pro dosažení minimálních změn výlisku je nezbytné zavádět nápravná opatření, již v počátcích výroby. V rámci nápravných opatření jsem nastínil tři oblasti, kterým je nutno věnovat zvýšenou pozornost. V několika bodech se pokusím zhodnotit pozitivní i negativní dopad jednotlivých opatření.

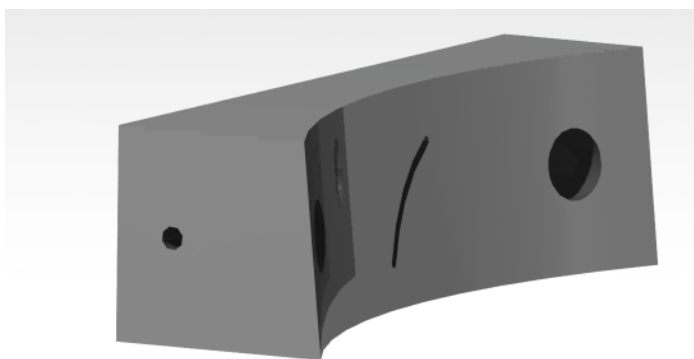
4.1 Soustružení:

Naměřené hodnoty naznačují, že ke zvlnění výlisku dochází při opracování na soustružích. V kombinaci s působením přidržovače dochází k opětovnému rovnání stěny výlisku, která se následně rozevívá a výlisek ztrácí válcovitost. Z technologického hlediska je vhodné provádět soustružení výlisku, až po jeho děrování. Další možnosti jak eliminovat změnu tvaru výlisku je odstranění kombinace obou technologií. První možností je vyřezávat otvory laserem případně ořezávat lem výlisku vodním paprskem. Poslední variantou je optimalizovat technologii soustružení, případně navrhnout přípravek, který by bránil zvlnění výlisku.

- Děrovat výlisek před soustružením
- Nekombinovat soustružení a stříhání
- Návrh přípravku eliminující zvlnění výlisku

4.2 Přidržovač:

Přidržovač má při procese stříhání velký význam, především s ohledem na rozložení napětí v oblasti stříhu. Ze simulace uskutečněné v prostředí programu Simufact.forming je patrné šíření napětí z oblasti stříhu ke kraji výlisku. Změny stavu napjatosti je v praxi dosahováno použitím přidržovačů s vtlačenou hranou případně zkosených přidržovačů. V našem případě je geometrie otvoru příliš komplikovaná pro výrobu zkoseného přidržovače a použití přidržovače s vtlačenou hranou není také možné z důvodu znehodnocení povrchu výlisku. Další variantou je použití přidržovače s uhlím odpružení výlisku. Taková to změna je ekonomicky příliš náročná kvůli nákladům na výrobu nového přípravku.



Obr. 42 Šikmý přidržovač

4.3 Střížník:

Poslední analyzovanou částí střížného nástroje byl střížník. Matematická simulace naznačuje závislost mezi tvarem střížníku a deformací výlisku. Dochází k šíření napětí z oblasti stříhu k okraji výlisku. V této oblasti dochází pravděpodobně k nepatrnému zpevnění materiálu, které může souviset se změnou rozměru výlisku. V matematické simulaci byly použité tři různé střížníky. Výsledky simulace mě vedou k závěru, že za šířením napětí z místa stříhu je geometrie stříženého otvoru, neboť u všech typu střížníku, lze pozorovat stejný trend v šíření napětí. Mírné zlepšení bylo zaznamenáno u varianty se zkosením střížníku o 8° . Takto velký uhel se v odborné literatuře pro tloušťku materiálu menší než 3 mm nedoporučuje.

5 Závěr

V diplomové práci jsem se zabýval deformací tenkostěnného výlisku z materiálu AMS 5599, na základě získaných dat jsem se pokusil navrhnout vhodná technologická opatření.

Začátek této práce je věnován posouzení technologičnosti konstrukce a jeho vlivu na případnou deformaci výlisku. V následující části jsem provedl obecný rozbor stavu napjatosti v místě stříhu.

V rámci této práce jsem provedl rešerši jednotlivých komponentů střížného nástroje (střížník, střížnice, přidržovač). Získané teoretické poznatky jsem porovnal se skutečnými parametry jednotlivých nástrojů.

Pro ověření rozložení stavu napjatosti v okolí střížníku, byla provedená matematická simulace v programu Simufact.forming, protože se v databázi nenachází materiálová data pro Inconel 625 byla výsledná simulace provedena s alternativním materiálem a její výsledek měl pouze orientační charakter. Výsledky matematické simulace prokazují šíření napětí směrem od stříženého otvoru směrem k okraji výlisku.

Při analýze skutečného procesu bylo provedeno měření dílců na pracoviště společnosti Honeywell před děrováním a bezprostředně po něm. Naměřené hodnoty dokazují změnu rozměru v důsledku stříhání o 0,5 mm. Zároveň byla prokázána závislost míry deformace výlisku na počtu vystřížených otvorů.

Analýza profilu stěny výlisku vyvrátila domněnku o soudečkovitém tvaru výlisku. Pozorovaný profil výlisku vykazoval už před děrováním známky zvlnění. A další měření se zaměřila na kontrolu tvaru výlisku v průběhu výroby. Bylo zjištěno, že vlivem tepelného zpracování dochází jen k nepatrné změně rozměru. Mnohem významnější je změna rozměru v důsledku soustružení, kdy dochází ke zmenšení průměru výlisku na jeho okraji a zvětšení průměru ve střední části výlisku.

V závěrečné části práce jsem se zabýval metodami, které by mohly vést k odstranění změn rozměrů výlisku v důsledku stříhání. Pro optimalizaci výrobní technologie je nutné odhalit hlavní příčinu deformace výlisku, s největší pravděpodobností se jedná o kombinaci několika na sobě nezávislých faktorů např. šíření deformace v důsledku vnikání střížníku a rovnání zvlněného profilu výlisku v důsledku působení síly přidržovače.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat prof. Jiřímu Hrubému, CSc. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl v rámci konzultací. Dále bych chtěl poděkovat všem zúčastněným zaměstnancům společnosti Honeywell za ochotu při měření dílců na pracovišti, především potom Ing. Janu Michálkovi za poskytnutí cenných informací a pomoc při měření a sbírání dat. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni, za podporu během celého studia.

Použitá literatura

- [1] Management Mania. *Řízení kvality*. [online]. 1.5.2016 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/rizeni-kvality>
- [2] Honeywell. *Práce v Honeywellu*. [online]. 1.5.2016 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://honeywell.jobs.cz/prace-v-honeywellu/olomouc/cz/?brand=g2&exportRCM=82037103&trackingBrand=unknown&rs=186&ep>
- [3] Future of Transport. *FoTcP MAGAZINE articles*. [online]. 1.5.2016 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.fotcp.com/fot/honeywell-chosen-for-business-jet-engines-and-electronics/>
- [4] Alloys. *Specialmetals*. [online]. 1.5.2016 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.specialmetals.com/assets/documents/alloys/inconel/inconel-alloy-625.pdf>
- [5] Materiály. *Bibus Metals*. [online]. 6.5.2016 [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.bibusmetals.cz/materialy/nikl-niklove-slitiny/inconelr-alloys/inconelr-alloy-625/>
- [6] Ing. František Tatíček, Ing. Tomáš Pilvousek. Akademie tváření: Stříhání. *mmspektrum*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
- [7] BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
- [8] Normy ČSN. *Ústav konstruování*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: http://old.uk.fme.vutbr.cz/indexbae9.html?akce=1&sekce=csn&ln=cs&norma_id=7
- [9] Design Guidelines. *Sheetmetal*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://sheetmetal.me/design-guidelines/>

- [10] FOREJT, Milan. *Teorie tváření a nástroje*. Brno: VUT, 1991. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0294-6.
- [11] Lisy. *ZTS VVÚ KOŠICE a.s.* [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.ztsvvu.eu/?id=80&ni=108>
- [12] Stroje. *Kovonet*. [online]. 3.5.2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.kovonet.cz/index.php?kategorie=870&type=detail&sub=z&ID=111262>
- [13] Technologie plošného tváření – stříhání. *Katedry strojírenské technologie Technické univerzity v Liberci*. [online]. 3.5.2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
- [14] LANGER, Zdeněk a Josef NOVOTNÝ. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. Praha: SNTL, 1980. ISBN 04-234-80.
- [15] BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. New York: Industrial Press, c2004. ISBN 0831131829.
- [16] NÁSTROJOVÉ OCELI. *Tumlikovo*. [online]. 3.5.2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/materialy/nastrojovematerialy/legovane-nastrojove-oceli/>
- [17] Choosing the Proper Die Springs. *Daytonlamina*. [online]. 3.5.2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.daytonlamina.com/node/1279>
- [18] Katalog. *Alcomex*. [online]. 3.5.2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.alcomex.cz/katalog/>
- [19] Stamping. *The fabricator*. [online]. 4.5.2016 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/stamping/getting-the-most-from-your-cutting-punches-part-i>
- [20] BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983. ISBN 04-229-83.

[21] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

[22] EUROPEAN SAFETY AND RELIABILITY CONFERENCE, ESREL 2013 a EDITORS R. D. J. M. STEENBERGEN .. [ET AL.]. *Safety, Reliability and Risk Management Esrel 2013*. Boca Raton [etc.]: CRC Pr I Llc, 2013. ISBN 9781138001237.

[23] Specifikace nerezových ocelí. *Armat*. [online]. 4.5.2016 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.armat.cz/pdf/specifikace-nerezovych-oceli-chemicke-slozeni.pdf>

[24] Product Brochures. *STAHLKONTOR HAHN*. [online]. 4.5.2016 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: http://www.s-k-h.com/media/de/Service/Werkstoffblaetter_englisch/Edelstahlrohre/1.4541_engl.pdf

[25] Ocelová měřítka. *mb calibr*. [online]. 4.5.2016 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.mbcaltibr.cz/prodej-produkt-3025-schwenk-ocelove-pasmo-pro-mereni-obvodu-a-prumeru.html>

[26] Tooling terminology. *Sheetmetal*. [online]. 4.5.2016 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://sheetmetal.me/tooling-terminology/spring-back/>