

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie

Diplomová práce

Porovnání opotřebení nástroje pro vybrané tvary ostrých
designových hran

Autor: Bc. Pavel Rybka
Studijní obor: Výrobní a materiálové inženýrství
Vedoucí práce: Ing. František Tatíček Ph.D.

2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro **Bc. Pavla RYBKU**

Program: Strojní inženýrství

Obor: Výrobní a materiálové inženýrství

Název: Porovnání opotřebení nástroje pro vybrané tvary ostrých designových hran

Název anglicky: Comparison for tool wear for selected sharp shapes of the stamped part

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení s problematikou
2. Popis výroby vylisku
3. Popis způsobu vyhodnocování opotřebení nástrojů
4. Návrh experimentu a vyhodnocení naměřených dat
5. Závěrečné zhodnocení

Vedoucí diplomové práce: Ing. František Tatíček, Ph.D.

Konzultant:

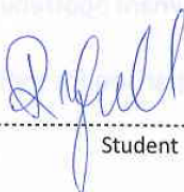
Datum zadání diplomové práce: 25. 4. 2016

Termín odevzdání diplomové práce: 12. 8. 2016

Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou nebo bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové nebo bakalářské práci.

Zadání diplomové práce převzal dne:



Student



Vedoucí ústavu





Děkan

V Praze

dne 24. 4. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

V Šumperku dne 11. 8. 2016

.....

Podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce Ing. Františkovi Tatíčkoví Ph.D. za odborné vedení, přínosné podněty, cenné rady a obětavou podporu. Současně děkuji také pracovníkům a kolegům ČVUT v Praze, konkrétně těm, kteří byli nápomocni při realizovaných měřeních a jejichž pomoc pro mě byla neocenitelná. Můj dík patří také zaměstnancům společnosti Škoda Auto, a. s., která zapůjčila potřebný nástroj a materiál. Opomenout nemohu s díkem ani svoji rodinu, která mě po dobu celého studia podporovala.

Anotace

Škola:	České vysoké učení technické v Praze, fakulta strojní
Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Vedoucí práce:	Ing. František Tatíček Ph.D.
Zadavatel:	Škoda Auto, a.s.
Autor:	Bc. Pavel Rybka
Název práce:	Porovnání opotřebení nástroje pro vybrané tvary ostrých designových hran
Rok vyhotovení:	2015/2016
Rozsah práce:	79 stran
Klíčová slova:	Lisování plechů, designová hrana, opotřebení lisovací formy, měření opotřebení
Anotace:	<p>Trendem v automobilovém průmyslu je snižování produkce skleníkových plynů. Jednou z možností je snižování hmotnosti karoserie. Avšak při výrobě výlisku je třeba řešit tuhost výlisku. Jednou z možných cest je vytváření ostrých designových hran na výliscích, která však klade větší nároky na lisovací nástroj. V diplomové práci se tak zabývám vlivem opotřebení tvářecího nástroje při lisování ostré designové hrany a metodikou jeho opotřebení. V práci jsou popsány metody měření funkční části nástroje, geometrie výlisku a způsob vyhodnocení.</p>

Annotation

University: Czech technical university in Prague, faculty of mechanical engineering

Department: Department of manufacturing technology

Supervisor: Ing. František Tatíček Ph.D.

Submitter: Škoda Auto, a.s.

Author: Bc. Pavel Rybka

Title: Comparison for tool wear for selected sharp shapes of the stamped part

Academic year: 2015/2016

Extent: 79 pages

Key words: Sheet metal pressing, sharp edge design, wear of the mechanical press form, wear

Annotation: Lowering of greenhouse gases is one of the current goals in automotive industry. One possible way is to lower the weight of the bodywork, which leads to the problem of the toughness of the pressed bodywork. Another possibility is to use sharp edges on the bodywork, yet this increases the demands on the pressing machine. The aim of this theses is to describe the influence of wear of the mechanical press form when the sharp edges are being created. I also discuss how to measure the wear of the tools, the methods for wear measurement of both working parts of press and geometry of bodyworks. Finally I describe the way how to interpret the results.

Obsah

1.	Úvod.....	9
2.	Faktory ovlivňující proces tváření.....	13
2.1	Princip plastické deformace.....	13
2.1.1	Fyzikální povaha a mechanismus plastické deformace	13
2.1.2	Deformace v tvářeném tělese.....	13
2.2	Tvařitelnost.....	15
2.2.1	Vliv součinitele plastické anizotropie.....	16
2.2.2	Vliv exponentu deformačního zpevnění	16
2.3	Způsoby výroby výlisku	17
2.3.1	Stříhání plechu	17
2.3.2	Tažení plechu – výroba výlisku	19
2.3.3	Ohyb plechu	21
2.4	Vady výlisků.....	23
3.	Lisovací nástroj	28
3.1	Popis lisovacího nástroje	28
3.2	Konstrukce nástroje	29
3.2.1	Spodní část nástroje	31
3.2.2	Horní část nástroje	34
4.	Způsoby měření tvarových ploch.....	37
4.1	Charakteristika měření souřadnicovými systémy.....	38
4.1.1	Měřicí dotyková hlava	38
4.1.2	Kontaktní skenovací hlava.....	39
4.1.3	Snímací systémy - bezdotykové	40
4.1.4	Bodové měření ve 2D	42
4.1.5	Skenovací měření ve 3D	42

4.1.6	Konturograf.....	43
5.	Metodika opotřebení ostrých designových hran	45
5.1	Příprava.....	45
5.1.1	Příprava nástroje	45
5.1.2	Příprava přístříhu	45
5.1.3	Založení přístříhu, výroba výlisku	46
5.1.4	Příprava nástroje pro měření.....	46
5.2	Analýza měření hodnot.....	48
5.2.1	Měření hodnot konturografem	50
5.2.2	Měření hodnot skenovacím dotykovým měřením ve 3D.....	53
6.	Analýza měření hodnot nástroje.....	55
6.1	Analýza opotřebení tažníku D	55
6.2	Analýza opotřebení tažníku S.....	58
7.	Analýza naměřených hodnot výlisků	60
7.1	Analýza opotřebení výlisků řady D	60
7.2	Analýza opotřebení výlisků řady S.....	65
7.3	Analýza povrchových změn	69
8.	Závěr.....	70
9.	Použité zdroje a literatura.....	72
10.	Seznam obrázků	77
11.	Seznam příloh na CD	79

1. Úvod

Od doby konstrukce prvních automobilů, které byly vyráběny v 19. století, se mnohé změnilo. V této době byly požadavky na konstrukci automobilu zcela odlišné, než je tomu dnes. Hlavním cílem bylo převézt člověka z bodu A do bodů B. Bezpečnostní prvky jako jsou airbagy nebo bezpečnostní pásy do výbavy těchto automobilů nejen že nepatřily, ale zcela chyběly. První automobil, který si nechal 29. ledna 1886 patentovat Karl Benz, nebyl vůbec podobný stylu dnešních automobilů. Tento automobil měl pouze tři kola a poháněl ho spalovací motor. Automobilový průmysl a technologie všeobecně od této doby udělaly obrovský pokrok.

Současné materiály a technologie výroby umožňují vyrobit automobily, které dříve vyrobit nešly. Zhruba před 100 až 120 lety si člověk s palety automobilů moc vybírat nemohl. Výrobců automobilů bylo málo a vyráběná auta si byla více méně podobná. Dnes je ale situace o poznání lepší. Na trhu je celá řada výrobců automobilů, kteří se snaží zaujmout zájemce o nový automobil. Trh je doslova přesycen celou řadou nejrůznějších automobilů, které mají za úkol přilákat co nejvíce možných kupujících. Z tohoto důvodu má každá automobilka ve své výrobní řadě hned několik zcela odlišných automobilů, které se liší nejen výkonnostními parametry a výslednou cenou, ale i svým designem.

Na konstrukci automobilů má tak vliv celá řada dalších faktorů, které následně ovlivňují konečný design automobilu. Mezi tyto hlavní faktory patří:

- **Výsledná cena:** Cena automobilu je vzhledem ke konkurenci v dnešním automobilovém průmyslu jedním z klíčových faktorů. Snížit cenu znamená v prvním kroku snížit náklady na výrobu. Výrobní stroje a technologie s nimi spojené taktéž. Z tohoto důvodu se snaží výrobci unifikovat komponenty, sjednotit komplementaci různých druhů automobilů na jedné výrobní lince, využít časovou kapacitu na maximum atd.
- **Hmotnosti automobilů:** V současné době je kladen velký důraz na snižování hmotnosti v automobilovém průmyslu. Hlavním důvodem je snižování spotřeby pohonných, s čímž souvisí hmotnost vozu a množství výfukových plynů. Čím bude automobil lehčí, tím bude možnost, při zachování stejného spalovacího motoru, dosahovat nižší spotřeby paliva, plnění emisních norem a lepší agility vozu jako celku. Snížit hmotnost můžeme dvěma způsoby, a to snižováním tloušťky materiálu nebo využít

materiály s nižší hustotou, než má ocel. V případě snižování tloušťky materiálu je nutné dodržet požadavky na pasivní bezpečnost, která se docílí za pomoci ostrých designových hran na výliscích. Druhou možností je využití slitin hliníku, kompozitů, plastů, sendvičových plechů atd. U těchto plechů je, ale hlavním problémem jejich tvařitelnost, spojování, degradace, produktivita při výrobě, výrobní náklady a samotná cena.

- Design: Je jedním z klíčových faktorů, které rozhodují o úspěchu či neúspěchu daného automobilu na trhu. Dříve byly designové křivky automobilů hodně zaoblované a záměrně docházelo k úpravě designu, a to z důvodu problematiky při výrobě.

V minulosti se karosérie automobilů vyráběla ručně. Stanovené rozměrové tolerance, které známe dnes, byly v této době o několik řádů vyšší. Docházelo i k tomu, že pravý blatník byl přibližně o půl centimetru delší než blatník levý. Bylo o poznání náročnější pak celý automobil složit tak, aby vypadal jako celek kompaktně. Dnešní výroba automobilů se v mnohém změnila. Do výrobního procesu vstoupila celá řada aspektů ovlivňujících výsledný výrobek. Jedním z hlavních aspektů je ten, že se jednotlivé díly již nevyrábí ručně. Lidskou práci nahradily ve velké míře stroje a papír s tužkou nahradily numerické simulace. Stroje zajistily zvýšení přesnosti ve výrobě a numerické simulace eliminaci možných defektů ve výrobě. Bez těchto aspektů je nemožné vytvořit design automobilů, který známe dnes.

Současný design automobilů je tvořen ve velké míře tzv. ostrými designovými hranami. Tyto designové prvky nejsou jednoduše vyrobitelné, a to ani za předpokladu moderních technologií (stroje a numerické simulace), kterými v současné době automobilový průmysl disponuje.

Ostré designové prvky tzv. ostré hrany, tudíž plní nejen funkci designu, ale i funkci zpevnění daného výlisku. Tyto designové prvky jsou, ale obtížně vyrobitelné z důvodů vysokých nároků na výslednou kvalitu jednotlivých dílů karoserie automobilu. Jedním z úskalí výroby ostrých designových hran karoserií automobilů je poměrně rychlé opotřebování tvářecího nástroje.

Tvářecí nástroj má tvar ostrých designových křivek, které se lisují na daném dílu karoserie. Ostré designové křivky jsou charakterizovány tvarem písmena V s minimálním rámusem nebo až téměř nulovým rádiusem. Velikost rádiusu designových hran je převážně dán tloušťkou a materiálem konkrétního plechu. Tloušťka plechu se v automobilovém

průmyslu pohybuje okolo 0,7 mm. Vše je závislé na materiálu výlisku a postupu lisovacích operací.

Pokud má použitý materiál, nižší tloušťku, má tak horší tvařitelnost při lisování, kdy dochází častěji k vzniku trhlin. Snížením tloušťky se snižuje i tuhost materiálu. Zvýšení tuhosti materiálu se docílí vytvořením ostré hrany, a proto musí být odpovídajícím způsobem upraven i tvářecí nástroj tzn. vytvoření odpovídající hrany v tvářecím nástroji, ale s malým rádiusem oproti jiným jeho částem, které se díky tomu více zatíží a následkem toho se i rychleji opotřebí. Použitý materiál se při tažení přes ostrou hranu smýká, a proto i tato skutečnost může mít za následek rychlejší opotřebení tvářecího nástroje.

Jak jsem se již výše zmiňoval, velkým problémem je nadměrné opotřebování tvářecího nástroje. S opotřebováváním tvářecího nástroje klesá kvalita výlisků a s tím je spojen i následný problém při komplementaci dílů, které na sebe navazují. Typickým příkladem je ostrá designová hrana, která začíná na předním blatníku a dále pokračuje přes přední dveře, zadní dveře a končí na zadní části blatníku automobilu.

V případě, že dojde k nadměrnému opotřebení tvářecího nástroje a proces lisování pokračuje, tak následně dochází u těchto výlisků k nedodržení stanovených rozměrových tolerancí a poškození zinkové vrstvy. Tyto výlisky se musí vyřadit z výrobního procesu, což má negativní vliv na produktivitu výroby. Z tohoto důvodu je velice důležité sledovat míru opotřebování tvářecího nástroje a před koncem jeho životnosti přerušit výrobu a tento tvářecí nástroj nechat buď opravit, nebo jej nechat nahradit raději novým.

Rozměry lisovacích nástrojů se pohybují v řádech metrů a hmotnost v řádech několika tun. Z důvodu vysoké pořizovací ceny lisovacího nástroje se ve velké míře volí první možnost, a to oprava tvářecího nástroje. Bohužel ani tato varianta nepatří právě mezi nejlevnější.

Cílem mé diplomové práce bude sledovat chování nástroje a tvaru výlisku z hlediska opotřebení v oblasti ostrých designových hran, určení faktorů, které negativně ovlivňují míru opotřebení tvářecího nástroje a následně doporučení vhodné metodiky lisování ostrých designových hran.

Diplomová práce by nevznikla bez spolupráce se společností Škoda Auto, a.s., která poskytla materiál a příslušný tvářecí nástroj Ústavu strojírenské technologie Fakulty

strojní Českého vysokého učení technického v Praze, na kterém jsem měl možnost získat potřebné podklady pro zpracování této diplomové práce.

2. Faktory ovlivňující proces tváření

Technologické vlastnosti materiálů popisují výhodnost zpracovatelského procesu, kterým se dosáhne bezchybného výrobku ve vztahu na jeho užité vlastnosti, které je možné ověřovat různými druhy zkoušek. V případě technologických zkoušek se napodobují procesy výroby a snaží se stanovit, za kterých okolností bude vybraná technologie úspěšná. V některých případech jsou technologické zkoušky doplněny i o mechanické zkoušky. Je to v případech měření tvrdosti nebo vrubové houževnatosti. [1, 2, 3]

2.1 Princip plastické deformace

Pojem deformace lze vysvětlit tak, že dojde ke změně tvaru důsledkem působení síly. Působící síly lze označit také jako deformační síly, jejímž vlivem se mění poloha atomů daného tělesa a vytvoří se tak již zmíněná deformace. Deformace můžeme rozdělit na pružné (elastické) deformace a nepružné (plastické) deformace. [1, 21, 18]

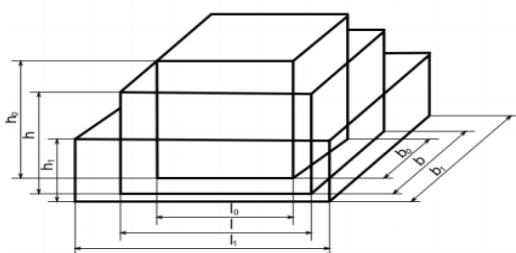
2.1.1 Fyzikální povaha a mechanismus plastické deformace

Pro tváření kovových materiálů se využívá plasticity. Plasticita je schopnost přetvoření, u kterého nedojde k porušení materiálu. Tváření tak lze definovat jako výrobní úkon, při kterém dochází k trvalé změně tvaru polotovaru. Příčinou je působení vnější síly, která přetvoří polotovar do požadovaného tvaru. Ve výsledku dochází u tváření, jak už jsem zmiňoval, ke změně tvaru a rozměrů. [1, 21]

2.1.2 Deformace v tvářeném tělese

Těleso se tváří pomocí vnější síly, která na něj působí. Při tváření vznikají buď plastická deformace, nebo elastická deformace. Deformace jak plastická, tak i elastická se dá vyjádřit pomocí absolutní deformace, poměrné lineární deformace a skutečné (logaritmické) deformace.

Absolutní deformace je charakterizována jako rozdíl rozměru před a po deformaci. Pokud budeme stlačovat hranol, který je na Obr. 1, z výchozích rozměrů h_0 , b_0 , l_0 na rozměry h_1 , b_1 , l_1 , tak bude absolutní deformace možné vyjádřit pomocí těchto vztahů:



$$\Delta h = h_0 - h_1$$

$$\Delta b = b_1 - b_0$$

$$\Delta l = l_1 - l_0$$

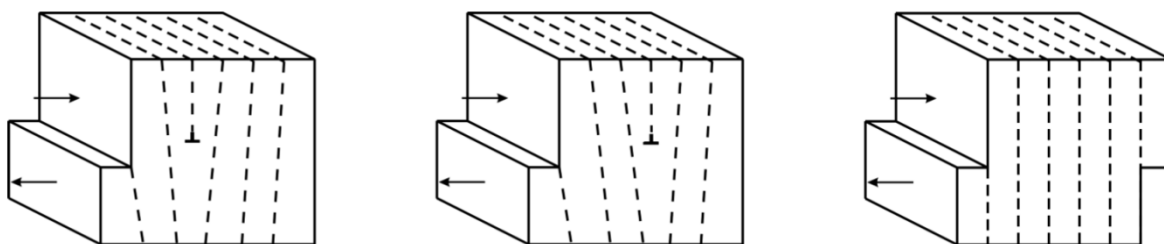
Obrázek 1 Deformace hranolu[22]

Při výpočtu absolutní deformace je výhodné, aby byla s kladným znaménkem. V praxi se absolutní deformace využívá například úběr při válcování, kde je rozdílná tloušťka u vstupní a výstupní hodnoty válcovaného materiálu. [23]

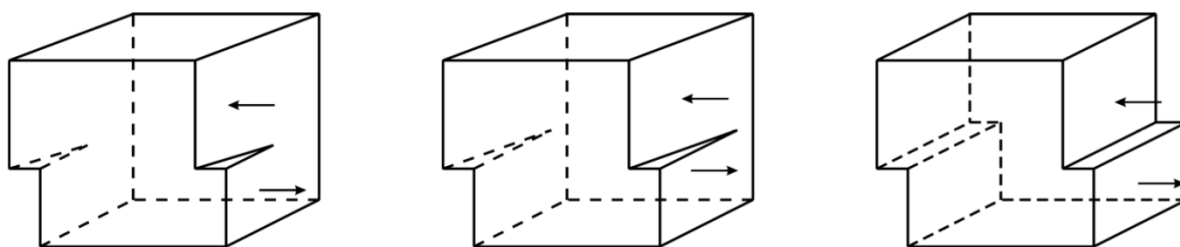
Vady ovlivňující plastickou deformaci

Mezi hlavní vady, které ovlivňují plastickou deformaci, patří poruchy krystalové mřížky daného kovu, a to:

- *Bodové poruchy*, ty se dělí na vakance, interstece a substituce. Vakance se tvoří většinou v prostorech mřížky, v kterých nejsou plně zaplněny atomy. Interstice je tvořena intersticiálními atomy, které jsou obvykle v meziuzlových prostorech mřížky. Substituce je tvořena substitučními atomy, které nahrazují původní atomy v krystalové mřížce.
- *Čárové poruchy* (dislokace), které se dělí na hranové dislokace, šroubové dislokace a smíšené dislokace. Dislokace charakterizuje takzvaný Burgersův vektor b . Pokud je Burgersův b kolmý k dislokační čáře, jedná se o hranovou dislokaci, pokud je Burgersův b rovnoběžný s dislokační čarou, jedná se o šroubovou dislokaci a pokud svírá Burgersův b s dislokační čarou úhel od 0 do π , jedná se o smíšenou dislokaci. Dislokace se pohybují dvojím způsobem, a to šplháním nebo skluzem.



Obrázek 2 Schéma šíření hranové dislokace z levé strany monokrystalu na pravou a její anihilace [24]



Obrázek 3 Schéma vzniku a šíření šroubové dislokace z pravé strany monokrystalu na levou a její anihilace [24]

- *Plošné poruchy* se dělí na vrstvenou chybu, vnitřní rozhraní hranici zrn a volný povrch.
- *Prostorové poruchy*.

2.2 Tvařitelnost

Pod pojmem tvařitelnost se rozumí schopnost materiálu vytvořit výrobek pomocí plastické deformace. Dochází zde k trvalé deformaci bez porušení materiálu. Tvařitelnost je spojená s podmínkami vlastního procesu a je funkcí chemického složení a struktury materiálu, teploty deformace, stavu napětí, historie napětí a deformace, geometrického faktoru a vnějšího prostředí. Zkoušky, které se provádí u tvařitelnosti za studena představují procesy tváření při technologických operacích. Do technologických operací u tvařitelnosti za studena patří lisování, ohýbání, lemování a další. Používají se pro různé hutní materiály, jako jsou plechy, dráty a tenkostěnné trubky. Tvařitelnosti za tepla se především zkouší rozkováním, děrováním, rozštěpením, ohybem, krutem, pýchováním, válcováním a podobně.

Tvařitelnost lze posuzovat i ze zkoušky tahem, v rámci které vyhodnocujeme mez kluzu, mez pevnosti, různé druhy tažnosti, součinitel plastické deformace a exponent deformačního zpevnění. Zkušební zařízení, vzorky i metodika vyhodnocení základních mechanických vlastností, které jsou užívány jako ukazatele tvařitelnosti (tažnost A, kontrakce Z, smluvní mez kluzu $R_{p0.2}$, mez kluzu R_e a mez pevnosti R_m) jsou normalizovány podle České státní normy, norem zahraničních a mezinárodních norem. Při hodnocení tvařitelnosti s tažností, není zcela jednoznačné. Pokud však budeme porovnávat prodloužení při přetržení s tažností, které velmi souvisí s výsledky zkoušky hloubením (například Erichsen), která modeluje vytahování. Rovnoměrné prodloužení je důležitý ukazatel tvařitelnosti.

Hodnota rovnoměrného prodloužení je ovlivněna hodnotou exponentu deformačního zpevnění. [1, 2, 3]

Mez kluzu $R_{p0.2}$, mez pevnosti R_m viz níže uvedený vztah:

$$0,6 < R_{p0.2}/R_m < 0,8 \quad ZP = k \cdot (R_m - R_{p0.2}) \cdot \epsilon_r$$

Pro:

ZP = tzv. zásoba plasticity

$k = 3/4$ pro materiál s nevýraznou mezí kluzu

$2/3$ pro materiál s výraznou mezí kluzu [1, 2, 3]

2.2.1 Vliv součinitele plastické anizotropie

Plech, který je válcován za studena, má odlišnou pevnost a plastické vlastnosti. To je způsobeno válcováním pouze v jednom směru. Rozdíly v těchto vlastnostech, se ale dají zjistit ze součinitele plastické anizotropie plechu nebo pásu. Součinitel plastické anizotropie se vypočítá z níže uvedeného vztahu, viz Obr. 4, kde: b_0 je počáteční šířka, b_1 je konečná šířka, t_0 je počáteční tloušťka a t_1 je konečná tloušťka. [1, 4, 5, 6]

$$r_i = \frac{\ln(b_1 / b_0)}{\ln(t_1 / t_0)}$$

Obrázek 4 Vzorec - Součinitel plastické anizotropie [4]

2.2.2 Vliv exponentu deformačního zpevnění

Je nutné znát křivky zpevnění daného tvářeného materiálu, aby bylo možné vypočítat přetvárné síly. Křivky zpevnění nejsou pro všechny materiály stejné. Každý materiál má své vlastní přetvárné křivky. Pokud známe zpevňovací křivky daného materiálu, tak můžeme určit mez vyčerpání plasticity, exponentu deformačního zpevnění a materiálovou konstantu. [7]

Pokud je exponent deformačního zpevnění:

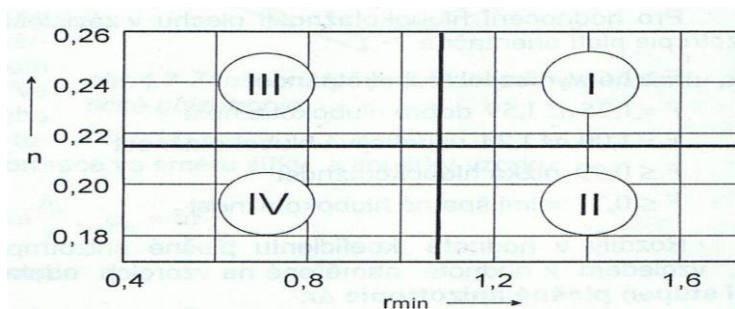
a) $n < 0,215$ jedná se o nízkou tažnost

b) $n = 0,215-0,25$ jedná se o dobrou tažnost

c) $n > 0,25$ jedná se o vynikající tažnost [8]

Vysoká hodnota n brání lokalizaci deformace a působí rovnoměrné rozdělení deformace při dvojosém tahu.

Společný vliv exponentu deformačního zpevnění a součinu plastické anizotropie. Praxe často využívá index tvařitelnosti IP. Index tvařitelnosti IP je roven součinu $r_{\min} \cdot n$. Na základě tohoto vztahu platí, že pokud se součin zvětšuje, tak je plech vhodný k hloubkovému tažení. Na níže uvedeného Obr. 5 je vidět tvařitelnost ocelových plechů v závislosti na indexu tvařitelnosti.[1, 7, 8]



Obrázek 5 Index tvařitelnosti [25]

- Oblast I - značí plechy, které jsou vhodné pro nejkomplicovanější operace tažení
- Oblast II - značí plechy, které jsou vhodné, když mají převahu tlakové deformace
- Oblast III - značí plechy, které jsou vhodné tam, kde má převahu deformace ve formě dvojosého tahu
- Oblast IV - značí plechy, které se nehodí pro hluboké tažení [25]

2.3 Způsoby výroby výlisku

Pro výrobu výlisku se obvykle v následujícím pořadí využívají technologie stříhání, při které vzniká tzv. přístřih, následuje hluboké tažení, kdy dochází k největším deformacím a dále následuje ohýbání.

2.3.1 Stříhání plechu

Stříhání je jednou z nejrozšířenějších operací tváření a metod dělení materiálu. Využívá se nejen pro přípravu polotovarů, jako je stříhání tabulí plechu, ale i na vystřihování

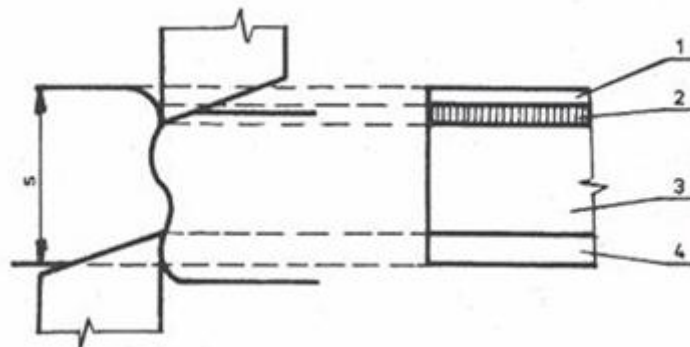
součástí z plechu, pro konečné využití nebo pro potřeby další tvářecí technologie (ohýbání, tažení, protlačování, apod.) nebo i na podpůrné a dokončovací operace.

Stříhání je způsob mechanického oddělování použitého materiálu za použití proti sobě umístěných řezných břitů, kdy dochází k vzniku smykového napětí, a to jak v řezné, tak ohybové rovině. K stříhání se používá nástroj zvaný stříhadlo, který je sestaven ze střížníku a střížnice.[9, 10, 11]



Obrázek 6 Princip stříhání pomocí stříhadla [27]

Stříhání probíhá ve třech etapách. V první etapě tzv. pružné se materiál stlačuje, následně se ohýbá a vtlačuje do střížnice. Druhou etapou jsou plastické deformace, kdy napětí přesáhne mez kluzu, což vyvolává tzv. tečení materiálu a dosahuje se meze pevnosti. V poslední třetí etapě nazývané porušení, dochází při dosažení meze pevnosti k zpevnění materiálu, vzniku a rozšíření trhlin, které následně vedou k odtržení materiálu.



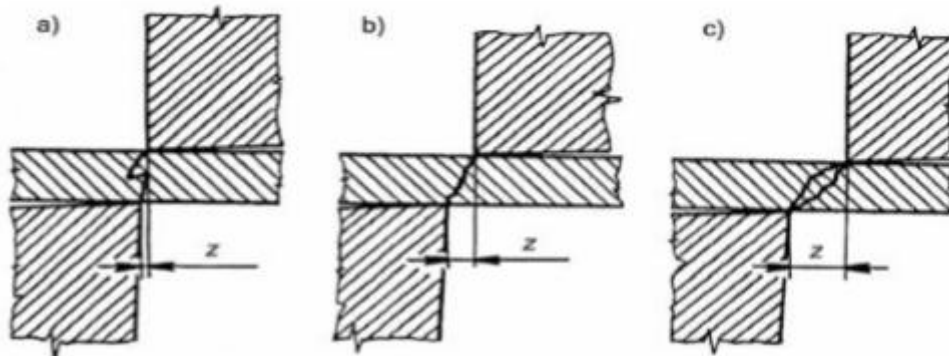
Obrázek 7 Deformační pásma při stříhání [28]

1 – pásmo zaoblení (elastická deformace), 2 – pásmo utržení, 3 – pásmo smyku (plastické deformace), 4 – pásmo odtlačení

K stříhání používáme stříhadlo, kdy střížník musí být menšího rozměru, než otvor střížnice. Rozdíl mezi rozměrem střížnice a střížníku se nazývá střížná vůle. Polovina hodnoty střížné vůle je tzv. střížná mezera. Střížná mezera ovlivňuje nejen kvalitu střížné plochy, ale i intenzitu střížné síly a také životnost nástroje. Správně stanovená velikost střížné vůle zajistí kvalitní usmýknutí střížné plochy bez otřepu, vylomení břitů nebo jiného poškození nástroje.[12]

Na níže uvedeném obrázku je vidět směr trhlin, které se šíří od horního a spodního nože při:

- a) malé střížné vůli,
- b) optimální střížné vůli,
- c) velké střížné vůli.

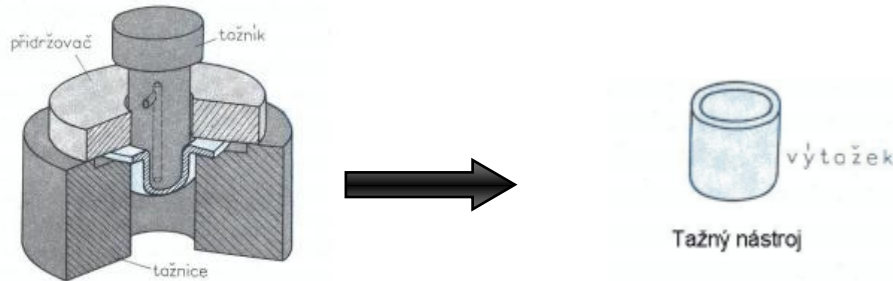


Obrázek 8 – Šíření trhlin materiálem za různých střížných vůlí [29]

2.3.2 Tažení plechu – výroba výlisku

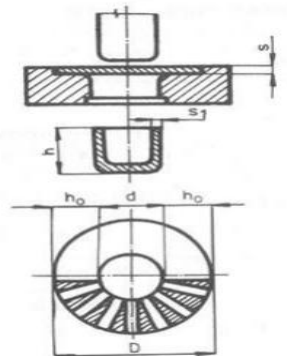
Při tažení plechů vzniká prostorový výlisek. Výlisek je nerozvinutého tvaru. Výlisky mají různé tvary a podle těchto tvarů se volí následující postupy tažení: měkké, hluboké, se ztenčením stěny, bez ztenčení stěny, rotačních tvarů, nerotačních tvarů a nepravidelných tvarů. Polotovarem je obvykle pás nebo přístřih plechu. Další možností je již zpracovaný polotovár, který se dá dále upravovat těmito technologiemi: prostým tažením, tažením se ztenčením stěny, zpětným tažením, rozšiřováním a lemováním, přetahováním a dalšími. Proces tažení je technologický postup tváření, kde se při jedné nebo více tažných operacích vytvoří z plechu dutá nádoba. Používá se pro tento technologický proces, také pojem hluboké

tažení. Nástrojem obvykle bývá tažidlo. Tažidlo je tvořeno tažníkem, tažnicí a konstrukční částí. Výrobek se nazývá výtažek. Grafické znázornění je možné vidět na níže uvedeném Obr. 9.[1, 13]



Obrázek 9 Průběh tažení [8]

Vysvětlení celého principu tažení bude demonstrováno na jednoduchém válcovém tvaru součásti. Pokud začneme zatlačovat tažník do tažnice, začne se plech posouvat přes tažnou hranu. Tažná hrana je nejvíce namáhanou částí nástroje, z tohoto důvodu se také nejrychleji opotřebovává. Síla, kterou potřebujeme k tažení, se zjišťuje z podmínek pevnosti. Podmínky pevnosti se týkají válcové části nádoby, u které se nesmí dostavit přetrhnutí v průběhu tažení. Nesmí se, také zapomenout na vliv tření a zpevnění materiálu. Mezikruží přístřihu u tažení, označené jako $(D-d)$ se přetvoří na válec o průměru d a výškou h z předchozího rozměru přístřihu D . Výsledkem je výška h , která je větší než mezikruží $(D-d)$. V potaz byla brána platnost zákona o stálosti objemu, kde se objem kovu v průběhu pracovního procesu nemění. Grafické znázornění principu tažení jednoduché válcové součásti je na níže uvedeném Obr. 10. [1, 13, 14]



Obrázek 10 Princip jednoduchého tažení [31]

2.3.3 Ohyb plechu

Z hlediska ohýbání je třeba řešit:

a) Minimální poloměry ohybu

V případě přesáhnutí minimálního poloměru dochází k deformaci materiálu na venkovní tahové straně. Obvykle se jedná o poškození právě vláken, která jsou v krajních částech ohýbaného materiálu. Tím dochází k trvalému poškození a takový výrobek je nevyhovující a je vyrazen. Z tohoto důvodu je dobré zvolit materiál, který má dostatečnou plasticitu, odpovídající tloušťku a jakost. Pro výpočet minimálního poloměru slouží níže uvedený vzorec:

$$R_{\min} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) = c \cdot t$$

(Pokud se překročení ε_c dojde k porušení ohýbaného materiálu)
(napětí přesáhne mez pevnosti v tahu R_m) [mm]

Pro:

t - tloušťka ohýbaného materiálu [mm]

ε_c - mezní prodloužení [mm]

c - koeficient [-] : měkká ocel: kde se pohybuje $c = 0,5 \div 0,6$

měkká mosaz: kde se pohybuje $c = 0,3 \div 0,4$

hliník: kde se pohybuje $c = 0,35$

dural: kde se pohybuje $c = 3 \div 6$

měkká měď: kde se pohybuje $c = 0,25$ [15]

b) Problematiku odpružení

Pojem odpružení je charakteristický pro technologickou operaci, která se nazývá ohýbání. Při ostatních technologických operacích jako je například lisované, děrování, lisování a další. Odpružení vzniká v důsledku pružné deformace, která se rozvíjí při namáhání za studena. Výsledkem je odchylka, která neodpovídá tolerancím udávaných výkresovou dokumentací daného výrobku. Tato odchylka se nejčastěji projevuje zvětšením úhlu ohybu a zvětšením poloměru ohybu. Velkou měrou se na odpružení podílí mechanické vlastnosti,

tloušťka materiálu, úhel ohybu, poloměr ohybu a další. Je možné za pomoci empirických hodnot spočítat ohyb například pásu plechu do tvaru písmene U a písmene V. Pro výpočet úhlu ohybu lze použít níže uvedeného vztahu.[15, 16, 17, 18, 19]

$$\beta = 0,375 \cdot \frac{l_v}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}$$

Pro:

β – úhel odpružení

l_v – vzdálenost mezi opěrami ohybnice

k – součinitel určující polohu neutrální osy v závislosti na poměru

(R_o / s ; $k=0,5$ až $0,68$ dle ČSN 22 7340; R_o – poloměr ohybu)

s – tloušťka ohýbaného plechu

R_e – mez kluzu ohýbaného plechu

E – modul pružnosti v tahu [16,19]

c) Deformace průřezu ohýbaného tělesa (platí pro ohýbání polotovarů, jejichž šířka je menší, než trojnásobek tloušťky.

Pojem ohyb je často zmiňován právě u výlisků z plechu. Ohýbání plechu znamená, že dochází k přetvoření materiálu prostřednictvím takzvaných ohybových momentů. Tyto ohybové momenty mají za důsledek změnu křivosti ohýbaného materiálu. Samozřejmě záleží na druhu ohýbaného materiálu, od kterého se odvíjí maximální přípustná hodnota zakřivení. Deformace, které na daný plech při procesu ohýbání působí, jsou:

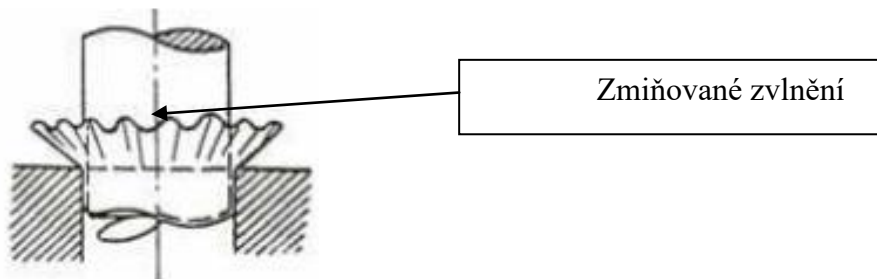
- *Plastické deformace*, jde o deformace, které při ohýbacím procesu a i při jiných tvářecích operacích trvale deformují těleso. Jedná se tedy o trvalou změnu tvaru, a ta je již trvalá. Výhodou plastické deformace je, že při ohybu plech značně zpevňuje. Hodně je toto využíváno u tenkých plechů, kde jsou úmyslně vytvářeny ohyby s cílem plech zpevnit a zabránit tak nechtěným průhybům či kroucení plechu. Zpevnění plechu s nejvyššími hodnotami je v oblasti krajních vláken obsažených na povrchu daného přístřihu plechu. Při ohybu za pomoci plastické deformace jsou vlákna vnějšího rádiusu namáhaná tahem, naopak vlákna vnitřního rádiusu jsou namáhaná tlakem. Mezi tahovým a tlakovým napětím je takzvaná neutrální osa, která působí mezi již zmíněným tahovým a tlakovým napětím. S průběhem ohýbání, se neutrální osa

přesouvá blíže k vnitřní straně ohybu. Hlavní důvod, proč se neutrální osa přemísťuje právě k vnitřní straně ohybu, je, že vytváří geometrický průměr poloměrů.

- *Elastické deformace*, jsou oproti deformaci plastické odlišné v tom, že po odlehčení zatěžovací silou se materiál vrátí zpět o několik stupňů. Samozřejmě záleží, o jaký materiál se bude jednat. V případě ohybu jsou doprovodnými jevy elastické deformace odpružení, které nelze zanedbat v případě ohýbacích procesů.[16, 17, 18, 19, 20]

2.4 Vady výlisků

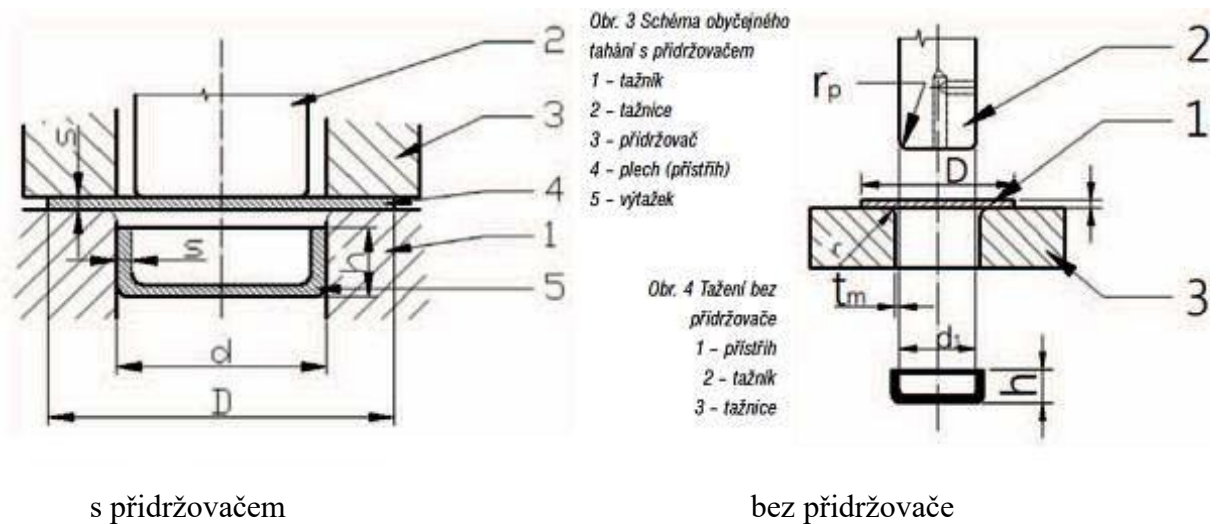
Při tažení dochází k přesunu velkého objemu materiálu. Tento přesun je možné vidět na výše uvedeném obrázku Obr. 10, který je zobrazen ve tvaru vyšrafovaných trojúhelníků. Tato oblast je během tažení vytlačována. Působením vytlačování dochází ke změně tloušťky a k zvětšování výšky nádoby. Z obrázku je také možno vidět přebývající počet vyšrafovaných trojúhelníků. To je zapříčiněno tím, že při tažení pokračuje plech z příruby do válcové části. V oblasti příruby se má plech tendenci vlnit, a to v případech, kdy dochází k velkým deformacím. Názorně je to předvedeno na níže uvedeném Obr. 11.



Obrázek 11 Zvlnění plechu [33]

Naopak při malých deformacích a velké tloušťce plechu nedochází ke vzniku vln. Při tažení v případech malých deformací vznikají také, ale tyto vlny nejsou moc vysoké a otvor tažnice je schopen je vyhladit. Všeobecně, jak zabránit vzniku vln, je použitím přidržovače. Použitím přidržovače, ale dochází k pěchování plechu v oblasti pod přidržovačem a zvětšování tloušťky plechu. Při použití přidržovače je nutné znát intenzitu měrného tlaku p přidržovače. Měrný tlak přidržovače se odvíjí od tloušťky plechu, poměru počáteční tloušťky plechu vůči průměru nádoby, kvality plechu a součinitele tažení. Celková

síla přidržovače je charakterizována jako součin měrného tlaku a aktivní plochy přidržovače. Další možností, jak stanovit měrný tlak, je použitím diagramu. Ukázka tažení s přidržovačem a bez přidržovače je na Obr. 12. [34]



Obrázek 12 Tažení s přidržovačem a bez přidržovače [35]

Oceli používané v automobilovém průmyslu:

- Ploché výrobky pro hluboké tažení za studena

Pro tváření za studena jsou nejvhodnější měkké hlubokotažné oceli, které mají nízkou hodnotu meze kluzu a zároveň mají vysokou hodnotu tažnosti. Tažnost je fyzikální veličina, která má vliv na výrobu komplikovaných výlisků. Mezi takové výlisky patří bez pochyby i ostré designové prvky na karosériích automobilů. Do skupiny hlubokotažných ocelí patří například ocel DC06+ZE50/50-B-PO. Materiálové a mechanické vlastnosti tohoto materiálu jsou definovány řadou norem, příkladem může být norma ČSN EN 10152.

Ocel DC06+ZE50/50-B-PO - tato ocel se dále rozděluje na DC01 až DC06. Rozdíl v čísle odlišuje mechanické vlastnosti jednotlivých druhů této oceli. Jedná se o elektrolyticky pozinkovanou ocel, kde ZE50/50 značí 5 μm oboustranně tlustou vrstvu zinkového povlaku. Povrch má kvalitu B, je fosfátovaný a olejovaný, což značí PO. Bližší charakteristika je v níže uvedených Tab. 1 a Tab. 2.

Tab. 1 - Mechanické vlastnosti oceli třídy DC06

Označení		Symbol pro typ povlaku	Definice a klasifikace oceli podle EN 10020:2000	Dezoxida ce oceli	Doba platnosti mechan. Vlastnosti	Jakost povrchu	R_e [Mpa] a)	R_m [Mpa]	A_{80} [%] min. b)	r_{90} min. c),d)	n_{90} min. c)
Značka oceli	Číselné označení										
DC06	1.0873	+ZE	legovaná jakostní ocel	úplně uklidněná	6 měsíců	A, B	-/180 ^{e)}	270 - 350	41	2,1	0,21

Tab. 2 - Elektrolytické zinkové povlaky pro oceli jakosti DC06

Označení povlaku	Jmenovitá hmotnost zinkového povlaku na každé straně		Maximální hmotnost zinkového povlaku na každé straně	
	Tloušťka [μm]	Hmotnost g/m^2	Tloušťka [μm]	Hmotnost g/m^2
ZE 50/50	5	36	4,1	29

- Ploché výrobky válcované za studena z ocelí s vyšší mezí kluzu k tváření za studena
Do této skupiny ocelí můžeme zařadit BH, IF, refosforizované, mikrolegované, DP, CP, TRIP oceli apod. Tyto oceli jsou do značné míry ovlivněny chemickým složením, které ovlivňuje jejich mechanické vlastnosti. Mezi hlavní prvky, které nejvíce ovlivňují mechanické vlastnosti, patří: mangan, křemík, dusík a uhlík.

BH (Bake Hardenable) oceli:

Dosahují zvýšené pevnosti za pomoci vytvrzování směsných krystalů, přidáním již zmíněných prvků jako je mangan, fosfor a křemík. Významnou roli hraje uhlík, který po rozpuštění v krystalové mřížce zvýší při tepelném zpracování mez plasticity. BH oceli v kombinaci s povrchovou úpravou, při které dochází vlivem tepla k tepelně deformačnímu stárnutí. To má za následek zvýšení meze kluzu a výlisky následně dosahují vyšší odolnosti proti zatížení, poškození apod. Jako příklad bych uvedl materiál, který jsme použili pro naše experimenty, a to materiál HX180BD+Z100-M-C-O.

HX180BD+Z100-M-C-O - tato ocel má minimální smluvní mez kluzu 180 MPa, je žárově zinkovaná, má malý zinkový květ, značený písmenem M, kvalitu povrchu značící písmeno C, povrch je olejovaný, což označuje písmeno O. Bližší charakteristika této oceli je v níže uvedených Tab. 3 a Tab. 4. [36, 37, 38, 39, 40]

Tab. 3 - Mechanické vlastnosti oceli třídy HX180BD

Označení		Symboly pro druhy pro dodávaných povlaků	Smluvní mez kluzu ^{a)} $R_{p0,2}$ [Mpa]	Index Bake-Hardening BH ₂ [Mpa] min.	Pevnost v tahu R_m [Mpa]	Tažnost A_{80} ^{b),c)} [%] min.	Součinitel plastické anizotropie r_{90} min.	Exponent deformačního zpevnění n_{90} min.
Značka oceli	Číselné označení							
HX180BD	1.0914	+Z, +ZF, +ZA, +AZ, +AS	180-240	35	290 - 360	34	1,5	0,16

Tab. 4 - Hmotnosti povlaků pro žárový zinek

Označení povlaku	Minimální hmotnost povlaku, oboustranně [g/m ²]		Teoretické informativní hodnoty tloušťky povlaku na jednotlivém povrchu při zkoušce na jednom místě [μm]		Hustota [g/cm ³]
	Zkouška na třech místech	Zkouška na jednom místě	Typická hodnota	Rozsah	
Hmotnost zinkovaného povlaku (Z)					
Z100	100	85	7	5,12	7,1

IF oceli

Jedná se o oceli, které mají feritickou strukturu a velice nízký obsah uhlíku. IF oceli jsou stabilizovány za pomoci prvků niobu a titanu. Vyšší pevnosti lze dosáhnout přidáním prvků jako je mangan, křemík a fosfor. Tím dochází u této oceli k velmi dobré tvařitelnosti. Využívá se k tvarově komplikovaným výliskům, jako je například B-sloupek karoserie automobilu. [41]

Mikrolegované oceli

Tato ocel se vyznačuje zpevněním velikosti zrna za pomoci precipitace a rafinace. Jedním z hlavních legujících prvků mikrolegovaných ocelí je mangan, dalšími jsou molibden, vanad, niob, titan a další. Využití mikrolegovaných ocelí je v oblasti součástí dílů podvozků automobilů. [38, 39, 40]

Refosforizované oceli

V případě této oceli se jedná ocel, která je legovaná fosforem. Fosfor zajišťuje vytvrzování směsných krystalů, čímž dochází ke zvyšování pevnosti. Refosforizované oceli se svými vlastnostmi zařazují do mezi BH, IF a mikrolegované oceli. [42]

DP oceli

Zkratka DP znamená dual phase neboli dvoufázová ocel. Struktura dvoufázových ocelí je složena z jemnozrnné martenzitické a jemnozrnné feritické matrice. Výsledkem této struktury je ocel, která má nízký poměr průtažnosti Re/Rm a vykazuje vysoké zpevnění za studena. [38, 39, 40]

CP oceli

Zkratka CP znamená Complex Phase neboli vícefázové oceli. Struktura CP oceli se skládá, ze základní feriticky-bainitické struktury s částicemi martensitu, zůstatkovým austenitem a perlitem. Takovéto velmi jemné struktury se docílí zpožděnou rekrystalizací nebo vylučováním mikrolegujících prvků jako jsou titan nebo kobalt. CP oceli se odlišují oproti dvoufázovým ocelím větší mezí plasticity a nižším zpevněním za studena. [38, 39, 40]

TRIP oceli

Zkratka TRIP znamená Transformation-Induced Plasticity neboli oceli s transformačně indukovanou plasticitou. TRIP oceli mají jemnozrnnou feriticky-bainitickou strukturu, ve které je ještě uložen zbytkový austenit. Díky této struktuře mají TRIP oceli výbornou tažnost v kombinaci s pevností. Předností TRIP ocelí je jejich schopnost absorpce energie při nárazu automobilu na překážku. Z tohoto důvodu jsou TRIP oceli používány v automobilovém průmyslu na bezpečnostní prvky karoserie automobilu jako jsou například nosníky, B-sloupky, výztuhy a další. [38, 39, 40]

V našem případě byly použity materiály plechu HX180BD+Z100-M-C-O a DC06+ZE50/50-B-PO o tloušťce 0,65 mm, který odpovídá požadavkům lisování ostrých designových hran.

3. Lisovací nástroj

3.1 Popis lisovacího nástroje

V současné době se automobilový průmysl zaměřil na výrobu karosérií automobilů, které obsahují prvky ostrých designových hran. Tyto designové hrany tvoří na automobilech nadčasový design, ale při výrobním procesu je s nimi spojena celá řada negativních faktorů. Mezi negativní faktory ostrých rádiusů patří rychlé opotřebení tvářecího nástroje, které má za následek deformaci výlisku. Takový výlisek nesplňuje geometrické tolerance a musí být vyřazen z výrobního procesu. Z tohoto důvodu je nutné pravidelně opravovat tvářecí nástroj, což je ekonomicky a časově nevýhodné oproti klasickému opotřebenému tvářecím nástrojům. Z tohoto důvodu byl vytvořen zkušební nástroj a díky němu je možné provádět jednotlivé simulace s cílem snížit opotřebením tvářecího nástroje ostrých designových hran. V rozsahu celé řady jednotlivých zkoušek je hlavním úkolem upravit formu tak, aby se snížilo opotřebením této formy, s čímž je spojeno snížení nákladů na opravy a splnění požadovaných geometrických tolerancí.

V této diplomové práci se zaměřím na určení faktorů, které negativně ovlivňují míru opotřebením tvářecího nástroje při lisování ostrých designových hran. Tato práce navazuje na výsledky prací, které se zabývaly:

- Sledování životnosti nástroje s ostrou designovou hranou. Hlavním cílem této práce bylo vytvořením metodiky měření opotřebením tvářecího nástroje.
- Chování nástrojů při výrobě výlisků v oblastech designových hran. Hlavním cílem této práce bylo vytvoření návrhu zkušebního lisovacího nástroje, na kterém by bylo možné studovat chování nástroje při lisování výlisků obsahujících prvky ostrých designových hran.

Pro zkoušky, které jsou potřebné ke zlepšení životností nástroje pro výrobu ostrých designových hran, se využívá zkušební nástroje. Tento zkušební nástroj se vytvořil především z důvodu toho, že je poměrně problematické používat ke zkouškám tohoto typu sériového nástroje. Jedním z hlavních důvodů je vysoká pořizovací cena sériového nástroje. Dalším důvodem je čas, po který je tento nástroj využíván v provozu. S časem jsou spojeny i nákladné opravy. Opravy nástroje jsou nutné vždy, když nástroj přestane plnit geometrické tolerance určené pro dané výlisky.

Z těchto zmíněných důvodů není možné pro potřeby vývoje používat sériový nástroj, ale pouze nástroj zkušební. Zkušební nástroj byl vytvořen právě pro potřeby vývoje a následného zlepšování sériového nástroje, který je za pomoci zjištěných dat dále zdokonalován. Zkušební nástroj není rozměrovou ani geometrickou kopií sériového nástroje, ale obsahuje ostrou designovou hranu. Tvarový reliéf zkušebního tvářecího nástroje kombinuje dvě formy namáhání, a to stlačování a přetahování.[16]

3.2 Konstrukce nástroje

Samotná konstrukce zkušebního nástroje vychází, jak jsem se již zmiňoval v kapitole 3.1. Popis lisovacího nástroje, z geometrie sériového nástroje. Konstrukční podoba zkušebního nástroje je složena ze dvou celků, a to ze spodního a horního celku. Ve spodním celku je usazen tažník s přídržovačem a horní celek je tvořen tažnicí, která funguje jako horní přídržovač.

Pro výrobu jednotlivých částí se využilo technologie odlévání, a to z důvodu komplikovaných tvarů, velkého množství odpadu při obráběcích procesech a neefektivity využití času. Samozřejmě obráběcí proces následuje po fázi odlévání, ale je to z důvodu dosažení předepsaných rozměrových tolerancí a kvality povrchu. [16]

Další skupinou jsou nakupované díly, které jsou potřebné pro správné fungování celého celku. Jsou to díly typu: šroubů, kolíku, per, pružin, distančních prvků a kluzných desek. [16]

Po smontování horního a spodního celku včetně všech šroubů, kolíku, per, pružin, distančních prvků a kluzných desek se hmotnost celého zkušebního nástroje pohybuje okolo 500 kg. Tuto hmotnost uvádí simulační a konstrukční program Catia V5, který je běžně využíván v automobilovém průmyslu. [16]

Zkušební nástroj byl zkonstruován pro vystředníkový lis LEN 63C. Velkou výhodou je rychlost, jednoduchost a variabilnost upínání samotného nástroje, kterou zajišťují upínky. Díky těmto upínkám je možno použít nástroj i na jiné druhy lisů, které se v praxi používají. [16]

Samotný lisovací proces začíná vložením plechu předepsaných rozměrů do předem dané pozice, která je v prostoru přídržovače definována středícími kolíky. Přídržovač je před vložením plechu v pozici nad horní hranou tažníku. Po následném vložení plechu může začít

proces lisování plechu, který za pomoci přidržovačů přitlačí plech. Pokud je plech pevně přitlačen pomocí přidržovačů, tak následuje pohyb směrem dolů v ose z. Při tomto pohybu je plech přetahován přes tažník. Po přetažení plechu přes tažník je proces lisování dokončen a vrchní polovina nástroje zajede zpět do výchozí polohy před začátkem lisovacího procesu. [16]

Obdobně to funguje i v případě přidržovače, který se po skončení lisovacího procesu, vrátí zpět do výchozí polohy před začátkem lisovacího procesu, a to za pomoci plynových pružin. Vyjmutí hotového výlisku je možné až v době, kdy se vrátí zpět vrchní polovina a přidržovač do výchozí pozice před lisováním. Vyjímání výlisku probíhá v tom případě ručně bez použití vyhazovačů. Po ručním vyjmutí výlisku se opět vloží přístřih plechu stanovených rozměrů a celý cyklus se opakuje. Přidržovač je nastaven délku kroku 55 mm a z tohoto důvodu je výlisek vysoký taktěž 55 mm. [16]

Důležité je, aby se horní polovina nástroje pohybovala v ose vůči dolní polovině nástroje. V případě, že by došlo k vychýlení horní poloviny vůči spodní, nedošlo by ke správnému dosednutí obou polovin a následný výlisek by neměl požadovaný tvar. Z tohoto důvodu je horní polovina nástroje vybavena vodíci deskami, které zajišťují zmíněné osové vedení. Tyto vodící desky jsou pevně upevněny v horní polovině nástroje pomocí šroubů a při pohybu směrem dolů v ose zajíždějí do vyfrézovaných drážek spodní poloviny nástroje. [16]



Obrázek 13 Lisovací nástroj

3.2.1 Spodní část nástroje

Spodní část lisovacího nástroje se skládá s více částí, které pomocí níže uvedeného Obr. 14, 15 postupně popíši. Spodní část nástroje se tedy skládá ze spodního dílu, přídržovače, tažníku, krokových šroubů, distančních kostek a kolíků, plynových pružin, zajišťovacích per a kluzných desek. [16]

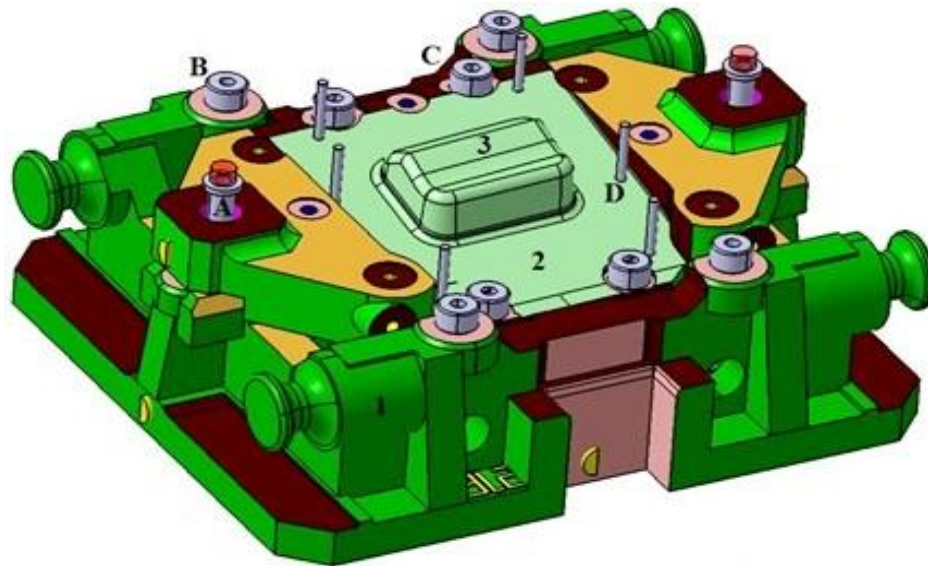
Spodní díl je označen číslem 1, a jak je možné vidět, jsou v něm uloženy komponenty označené čísly 2, 3 a písmeny A, B, C, D. Číslice 2 určuje pozici umístění přídržovače ve spodním dílu. Číslice 3 určuje pozici umístění tažníku ve spodním dílu. [16]

Písmeno A určuje pozici krokových šroubů. Hlavním úkolem krokových šroubů je zajistit přídržovač a to tak, aby nedošlo při neopatrné manipulaci k vyskočení přídržovače ze spodního dílu, v kterém je přídržovač uložen. [16]

Dalšími díly uloženými ve spodním dílu jsou distanční kostky, které jsou určeny písmenem B a písmenem C. Hlavním úkolem těchto distančních kostek je vymezení vůlí, a to mezi tažníkem a tažnicí. Vymezení vůle při dojetí horního dílu na spodní díl zajišťují distanční kostky označené písmenem B. Vymezení vůle mezi přídržovačem a horním dílem zajišťují opět distanční kostky, ale označené písmenem C. Z těchto důvodů je podstata distančních kostek B a C velice důležitá. V případě, že by distanční kostky v nástroji chyběly, nebo kdyby nebyly v nástroji obsaženy vůbec, docházelo by při procesu lisování k poškození tvarových ploch. Další funkcí, kterou plní distančních kostky je nastavení výšky. S výškou distančních kostek je spojená síla, kterou působí přídržovač na plech. Pokud dochází při lisovací operaci k trhání plechu v nástroji, tak se zvedá výška distančních kostek a tím dojde ke snížení přídržovací síly přídržovače vůči plechu. Díky tomuto kroku se již dále plech netrhá a nedochází k destrukci. Nevýhodou distančních kostek je to, že s nimi nelze manipulovat v širokém spektru. Využívají se pouze k vymezení či spasování nástroje. [16]

Další částí, která je obsažena ve spodním dílu, jsou středící kolíky. Středící kolíky určuje písmeno D. Středící kolíky slouží ke správnému vymezení pozice daného přístřihu plechu. Pozice středících kolíků je daná otvory ve spodním dílu, kde jsou kolíky nalisovány s přesahem. Vlivem rázu a vibrací by mohlo dojít k vypadnutí těchto kolíků. Z tohoto důvodu jsou středící kolíky v otvoru zalepeny speciálním lepidlem. V případě, že by došlo k uvolnění jednoho nebo více středících kolíků mohlo by dojít k destrukci celého nástroje. Středící kolíky

mají dostatečně dlouhé, a to právě z důvodu správného vedení lisovacího nástroje. V horní části tvářecího nástroje jsou otvory, do kterých zajíždí tyto kolíky. [16]



Obrázek 14 Spodní část nástroje [16]



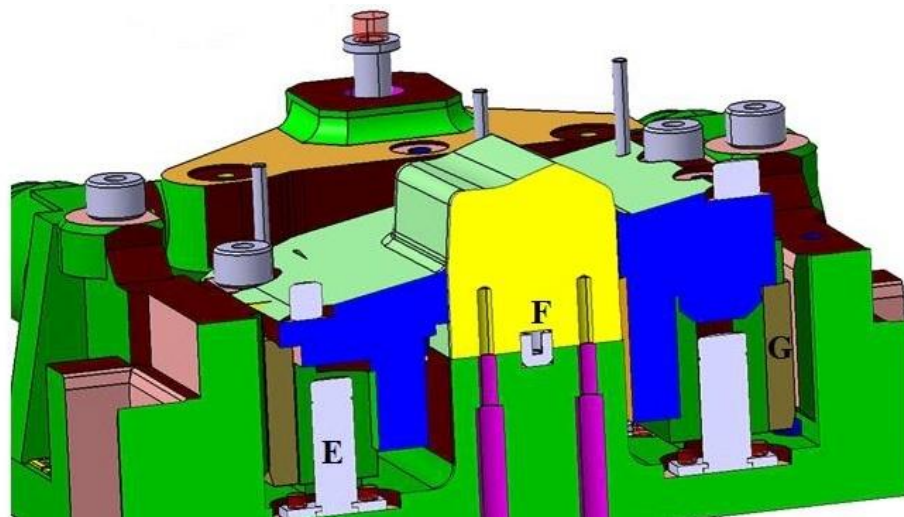
Obrázek 15 Spodní část nástroje

Pro správnou přítlačnou sílu přidržovače a optimální zdvih přidržovače slouží celkem osm plynových pružin. Tyto plynové pružiny, které jsou označeny písmenem E, se nachází v dolní části spodního dílu. Pomocí plynových pružin je možné v případě sériových strojů

na lisování karoserii automobilů nahradit přítlačnou sílu přidržovače. Přítlačná síla je v takovémto případě řešena pomocí pneumatického rozvodu, který je v nástroji, a síla je díky vzduchovým kolíkům převáděna na přidržovače. [16]

Další částí umístěnou ve spodním dílu jsou pera, jejichž pozice je určena písmenem F. Pera slouží jako pojistka proti posunutí nebo jinému posunutí tažníku. Jedná se o zajištění proti pohybu či rotaci samotného tažníku, které by mělo negativní vliv na celý nástroj. Po pevném zajištění tažníku pomocí per je další důležitý aspekt, a tím je přesné vedení, a to mezi spodním dílem a přidržovačem. [16]

Toto přesné vedení zajišťují kluzné desky, které jsou označeny písmenem G a jsou umístěné ve spodní části dolního dílu. Kluzné desky jsou celkem čtyři a jsou rozmístěny v rozích přidržovače, kde jsou pomocí šroubů pevně upevněny. Pro správnou kluznou vlastnost čtyř kluzných desek se použil bronz, který se vyznačuje svými dobrými kluznými vlastnostmi a pro tento druh využití se velice hodí. Navíc se bronz častou využívá u nástrojů na lisovací operace. I když bronz dosahuje velice dobrých kluzných vlastností, tak pro další snížení tření se doporučuje využívat mazacích prostředků. Mazací prostředky snižují tření a s tím i spojené snížení opotřebování namáhaných stykových ploch. Z tohoto důvodu je na čtyřech kluzných deskách nanesen mazací prostředek. [16]



Obrázek 16 Řez spodní části nástroje [16]

Na spodní část nástroje se podle druhu namáhání jednotlivých součástí volily odlišné materiály. V níže uvedené tabulce jsou uvedeny vyráběné díly, ke kterým jsou přiřazeny materiály, z kterých jsou vyrobeny, jejich hmotnost a rozměry. V této tabulce nejsou uvedeny

nakupované díly, jako jsou šrouby, vodící kolíky, zajišťovací pera, distanční kostky, plynové pružiny a kluzné desky. [16]

Tab. 5 - Hodnoty týkající se spodní části nástroje

NÁZEV SOUČÁSTI	MATERIÁL SOUČÁSTI	HMOTNOST SOUČÁSTI (Kg)	ROZMĚRY SOUČÁSTI (mm) (Délka x šířka x výška)
SPODNÍ DÍL	EN – JL 1040	235	590 x 680 x 205
PŘIDRŽOVAČ	EN - JS 2070	105	360 x 650 x 190
TAŽNÍK	EN - JS 2070	15	120 x 200 x 121*

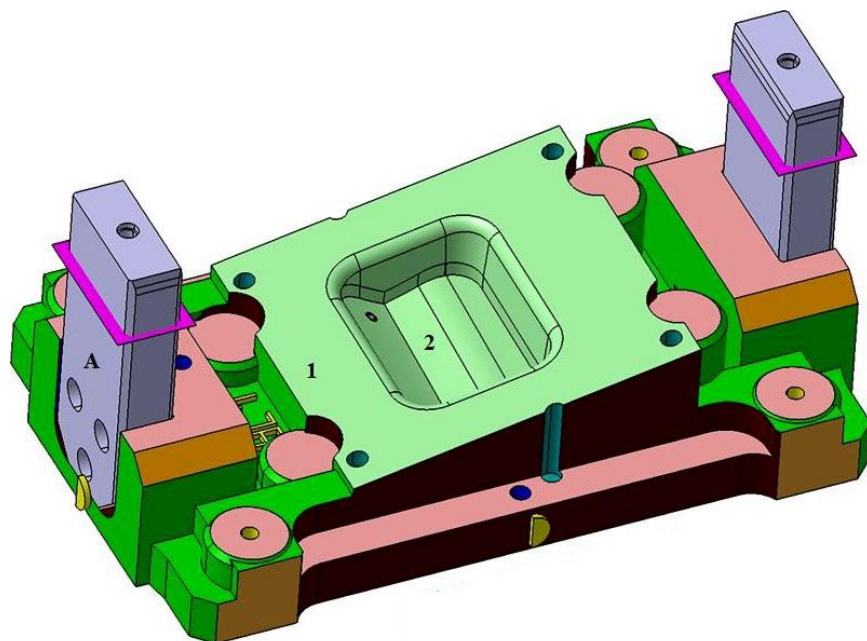
*Hodnota výška je jen informativní. Záleží na geometrickém tvaru dané designové hrany. [16]

- Spodní díl, jak je možné vidět ve výše uvedené tabulce, je odlit z litiny s lupínkovým grafitem EN – JL 1040. Se svou hmotností 235 kg jde o největší a nejtěžší díl celého stroje.
- Přidržovač je odlit z litiny s kuličkovým grafitem EN - JS 2070. Důvod proč je přidržovač odlit z EN - JS 2070 a ne z EN – JL 1040 je z toho důvodu, že jde o jednu z nejnamáhavějších součástí celého nástroje. Litina s kuličkovým grafitem EN - JS 2070 má lepší mechanické vlastnosti než litina s lupínkovým grafitem EN – JL 1040.
- Tažník je odlit stejně jako přidržovač z litiny s kuličkovým grafitem EN - JS 2070. Je to z důvodu, že tažník je obdobně jako přidržovač jednou z nejnamáhavějších součástí celého stroje. [16]

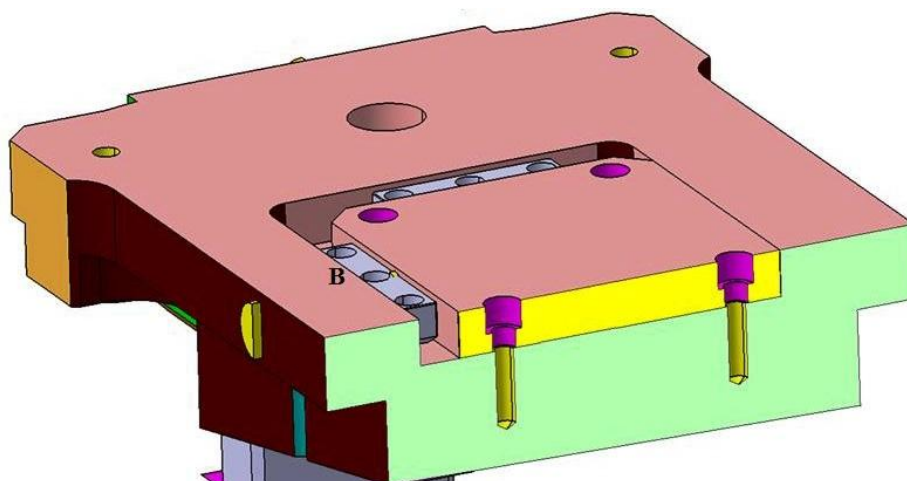
3.2.2 Horní část nástroje

Obdobně jako tomu je u spodních částí nástroje, tak i horní část nástroje se skládá z více částí, a to z horního dílu, tažnice, vodících desek a zajišťovacích per. Na níže uvedeném Obr. 17, 18, 19 je možné vidět zmíněné části horní části lisovacího nástroje.

Horní díl označuje číslo 1. V horním dílu jsou uloženy ostatní díly obdobně, jako je tomu u spodního dílu spodní části nástroje, v které jsou taktéž uloženy ostatní části. V horním dílu je umístěná tažnice, která je přišroubovaná čtyřmi šrouby k hornímu dílu. Je důležité, aby pozice tažnice byla v ose s osou tažníku. Z tohoto důvodu je využito stejného zajištění jako v případě tažníku a to pomocí zajišťovacích per. Umístění tažnice znázorňuje číslo 2 a zajišťovací pera písmeno B.



Obrázek 17 Horní část nástroje [16]



Obrázek 18 Řez horní části nástroje[16]



Obrázek 19 Horní část nástroje

V horním dílu jsou tedy uloženy dvě vodící desky, které znázorňuje v písmeno A. Vodící desky, jak jsem se již zmiňoval v kapitole 3.2.1. Spodní části nástroje, slouží k osovému vedení a jsou pevně upevněny šrouby. Při pohybu směrem dolů v ose zajíždějí do vyfrézovaných drážek, které jsou ve spodní polovině nástroje. [16]

Na horní část nástroje se podle druhu namáhání jednotlivých součástí volily odlišné materiály. V níže uvedené tabulce jsou uvedeny vyráběné díly, ke kterým jsou přiřazeny materiály, z kterých jsou vyrobeny, jejich hmotnost a rozměry. V této tabulce nejsou uvedeny nakupované díly, jako jsou šrouby, zajišťovací pera a vodící desky. [16]

Tab. 6 - Hodnoty horní části nástroje

NÁZEV SOUČÁSTI	MATERIÁL SOUČÁSTI	HMOTNOST SOUČÁSTI (Kg)	ROZMĚRY SOUČÁSTI (mm) (Délka x šířka x výška)
HORNÍ DÍL	EN - JS 2070	95	590 x 360 x 130
TAŽNICE	EN - JS 2070	10	180 x 180 x 70*

*Hodnota výška je jen informativní. Záleží na geometrickém tvaru dané designové hrany.

- Horní díl je odlit z litiny s kuličkový grafitem EN - JS 2070 a to z důvodu, že v horní části je přišroubována tažnice a horní díl je využíván také jako horní přidržovač.
- Tažnice je obdobně jako horní díl odlita z litiny s kuličkovým grafitem EN - JS 2070. Tažnice je obdobně jako tažník hodně namáhanou součástí. [16]

4. Způsoby měření tvarových ploch

Existuje celá řada měřících metod, podle kterých je možné měřit opotřebenění nástroje. Pro výběr vhodné metody měření jsou podstatné nároky na samotnou přesnost vyhodnocovacího procesu a druhu opotřebenění. Způsoby měření lze rozdělit na dva druhy, a to na měření metodou bezdotykovou a metodou dotykovou.

- Metoda bezdotyková:

Jedná se o optický měřící systém, jehož principem je bezdotykové měření povrchu s využitím jednak odrážejícího se světla, tak i světla dopadajícího. Pro měření opotřebenění ostrých designových hran tažníku není tato metoda příliš vhodná. Hlavním důvodem, proč není tato metoda vhodná k měření již zmíněného typu opotřebenění, je z důvodu vysoké kvality povrchu tažníku. Takto kvalitní povrch způsobuje odraz paprsků směrem, který nezachytí snímací hlava. I když je tento způsob velice efektivní, hodí se spíše pro materiály, které nemají takto kvalitní povrch jako zmíněný tažník. [43, 44, 45]

- Metoda dotyková:

Jde o měřící metodu, která měří opotřebenění pomocí dotyku měřící hlavy. Tudiž nevyužívá odraz světla a z tohoto důvodu je vhodnější pro měření opotřebenění tažníku, který jak jsem zmiňoval, má velmi kvalitní povrch a nelze jej bezdotykovou metodou měřit. Nevýhodou je, ale samotné měření. To je oproti metodě bezdotykové komplikovanější a i z pohledu času delší.

Výsledky měření jsou zpracovány a vyhodnoceny. Z naměřených hodnot se následně zjišťuje, k jak velkému opotřebenění došlo. Hlavním důvodem těchto měření je návaznost jednotlivých dílů. Klasickým případem je linka, která začíná na předním blatníku automobilu a končí na zadním blatníku. Při takto dlouhé lince je velmi důležité, aby byly dodrženy rozměrové tolerance stanovené výrobcem. V opačném případě by došlo k tomu, že by linka nenavazovala na jednotlivé díly karoserie. S těmito problémy je spojen tvářecí nástroj, který se rychle opotřebovává a s tím klesá kvalita jednotlivých výlisků. Z tohoto důvodu je nutné tvářecí nástroj pravidelně kontrolovat. Firma Škoda Auto, a. s. kontroluje výlisky v pravidelných intervalech, a to na začátku lisovací dávky, v polovině lisovací dávky a na závěr lisovací dávky. [43, 44, 45]

4.1 Charakteristika měření souřadnicovými systémy

Automobilový a letecký průmysl přispěl značnou měrou k vývoji a následné konstrukci souřadnicových měřících systémů. Hlavní důvodem bylo měření karoserií jak v automobilovém, tak i v leteckém průmyslu. V současné době jsou souřadnicové měřící stroje hojně rozšířeny, a to nejen v automobilové a leteckém průmyslu, ale všeobecně ve strojírenství. Souřadnicové měřící systémy měří v 3D prostoru, který charakterizují tři osy, a to osa x, osa y a osa z. Před začátkem měření je zvolen takzvaný nulový bod prostoru, od kterého se odměřují naměřené body. Nulový bod je možné si zvolit kdekoliv v 3D prostoru. Možnost zvolení si nulového bodu patří k velkým výhodám ve srovnání s konvenčními stroji. Tato možnost měření je rychlá a přesná oproti klasickému odečítání hodnot ze stupnice, která je velmi detailní. [43, 44, 45]

Historie první měřící sondy s názvem RENISHAW sahá do roku 1972. Od této doby se tato měřící technologie značně rozšířila a je hojně využívanou technologií ve strojírenských oborech. Jsou jimi vybaveny například CNC obráběcí stroje. [43, 44, 45]

4.1.1 Měřící dotyková hlava

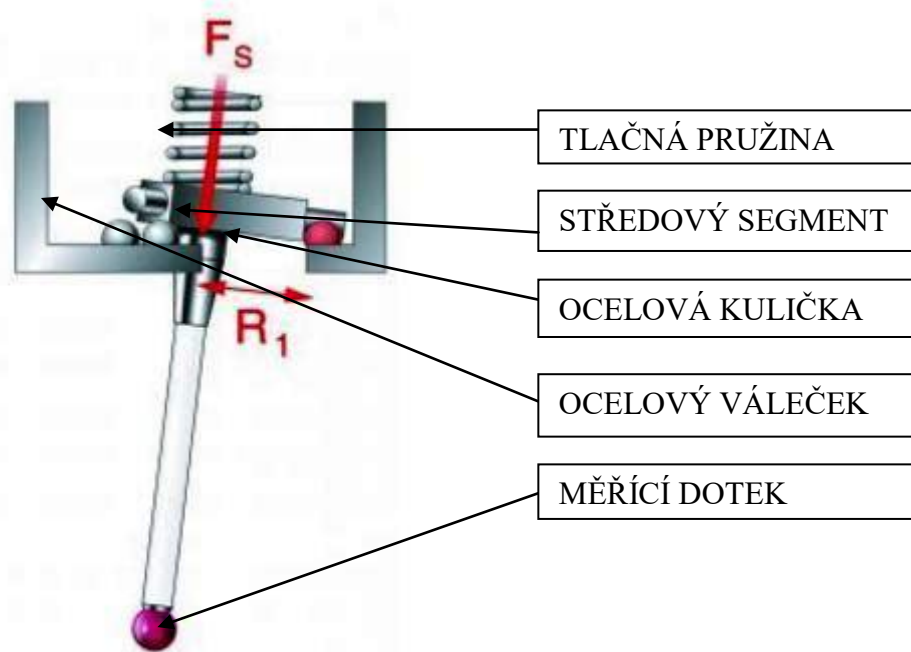
Měřící sonda RENISHAW využívá kinematiku měření, a to pomocí trojice přesně obrobených ocelových válečků. Každý z těchto tří přesně obrobených ocelových válečků je uložen mezi dvěma ocelovými kuličkami. Válečky jsou součástí středového segmentu, které přitlačí tlačná pružina. Za pomoci tlačné pružiny jsou válečky v kontaktu s ocelovými kuličkami. Díky této konstrukci má dotyková kulička celkem šest stykových bodů. [44, 45]

Výhodou této konstrukce je také ve velmi dobrá opakovatelnost spínání a rozpínání dotykové sondy. Další velkou výhodou je chytré zkonstruované ústrojí, které dovoluje při dotyku měřící sondy s měřeným dílem vychýlení o několik stupňů. Vychýlení a následné vrácení zpět do původní polohy zajišťuje tlačná pružina. [44, 45]

Dotykové součásti byly navrženy z karbidu wolframu, a to z důvodu co nejvíce snížit možnost vzniku elastické deformace vlivem měřících sil při měření konkrétního dílu. [44, 45]

Za pomoci elektricky propojených kontaktů se zjišťují kolize při měření měřící sondy a měřeného dílu. V případě, že dojde ke kolizi, tak dojde v elektrickém obvodu ke změně odporu. Následně dojde k vyhodnocení kolizního stavu a data z odměřovacího systému jsou

uvedeny na souřadné ose x , y a z . Na níže uvedeném Obr. 20 je možné vidět výše uvedený princip měření. [44, 45]



Obrázek 20 Princip měření [45]

4.1.2 Kontaktní skenovací hlava

Při porovnání skenovací hlavy s výše uvedenou dotykovou hlavou je hned několik rozdílů. Hlavním rozdílem kontaktní skenovací hlavy je ten, že oproti měření dotykovou hlavou nevyužívá pouze body, nýbrž profil měřeného dílu. Z tohoto důvodu dochází k přesnějšímu měření, nežli v případě měření dotykovou hlavou. [43, 45]

U kontaktní skenovací hlavy je tedy maximálně eliminována možnost vynechání určitého místa měřeného dílu. V případě kontaktní skenovací hlavy probíhá snímání měřeného povrchu ve třech osách x , y a z , a to současně přímo ve skenovací hlavě. Samotné měření probíhá za pomoci souřadnicového měřicího stroje. Ten měří pomocí získaných souřadnic, které jsou převážně získány ze 3D modelů. Jsou i případy, kde se ještě využívají data vyčtená z výkresové dokumentace. Těchto případů je, ale podstatně méně, nežli v případě dat z 3D modelů. [43, 45]

Ideální je kombinace obou těchto způsobů, kde výkres slouží jako průvodka k měření, případně jako doplnění či zvýraznění problematických míst z výroby. Z těchto podkladů následně může dojít k samotnému měření, které obvykle probíhá hned v několika krocích.

Před začátkem samotného měření kontaktní skenovací hlava sjíždí malou rychlostí k dílu na předem definované místo, na kterém má proběhnout daná měřicí operace. Po styku s povrchem měřeného dílu proběhne projetí ploch, které mají být změřeny. Po projetí daných ploch vyhodnotí data, která jsou dána za pomoci 3D modelu, případně výkresové dokumentace, vyhodnotí rozdíly z naměřených dat a z dat 3D modelu nebo výkresové dokumentace. Výsledek měření je vyhodnocen podle druhu ovládacího softwaru, který obvykle ukazuje barevné škály charakterizující nadefinované rozměrové rozdíly, včetně naměřených hodnot. Téměř všechny softwary umožňují zobrazení rozdílu mezi naměřenými hodnotami a hodnotami z 3D modelu. Kontaktní skenovací hlava může být doplněna o celou řadu příslušenství, které je běžně k dispozici. Je to z důvodu komplikovaných tvarů, hlubokých otvorů a podobně. Pro takovéto případy je možné kontaktní skenovací hlavu doplnit o různé prodlužovací prvky. Na níže uvedeném Obr. 21 je uvedena skenovací hlava od firmy Zeiss. [43, 45]



Obrázek 21 Skenovací hlava [46]

4.1.3 Snímací systémy - bezdotykové

Snímací bezdotykový systém se využívá především v případech, kdy měřicí tlak měřicího doteku zkresluje výsledné naměřené hodnoty. Chyby měření tohoto druhu nastávají při měření materiálu, které nemají dostatečnou pevnost povrchu a při kontaktu měřicího doteku s povrchem měřeného dílu dochází k průhybu povrchu. Tento druh měření se využívá

i v případech, kdy dochází vlivem jednotlivých operací ve výrobě k ztenčování tloušťek materiálu, nebo výrobek obsahuje velké množství otvorů, závitů, vybrání a podobně. Následně takový výrobek ztrácí svoji tuhost a stává se pružným a měřicím dotykem je velmi obtížně měřitelný. Jsou i případy, že by dotykový systém zvládl změřit i takto pružný díl. Bohužel z časového hlediska, které je ve velké míře spojeno s finančními prostředky, by byl tento proces měření neefektivní. Je to z důvodu oproti běžnému měření volba velkého množství měřících bodů, dále nutnost velice pečlivé přípravy spojené s kontrolou, je pro tyto druhy výrobku nevýhodná nejen z hlediska času, ale i jak jsem již zmiňoval z hlediska finančního. [43, 44]

Snímací bezdotykový systém využívá zásady optiky, nebo laseru k vyhodnocování výsledků měření. Rychlost měření je podstatně rychlejší, nežli v případě dotykových měřících metod. Je to z důvodu, že snímací bezdotykový systém využívá, jak již z názvu vyplývá snímání 3D souřadnic povrchových bodů měřeného dílu. Tento způsob je tedy podstatně rychlejší, nežli pohyb měřicí sondou, která měří pohybem měřícího doteku daný povrch měřeného dílu. Mezi hlavními výhodami a nevýhodami snímacího bezdotykového systému patří:

- Vysoká kvalita a přesnost měření daných ploch, a to i v těžce přístupných místech, kde má dotyková sonda problém.
- Samotné měření daných ploch měřeného dílu nijak nepoškozuje povrch či díl samotný.
- Tato technologie vytváří velmi hustou síť bodů, díky které jsou výsledky měření velmi přesné.
- Hlavní nevýhodou je lesklý povrch, který odráží světlo, a tím dochází k odchylkám měření. V krajních případech může docházet i k vytváření prohlubní a otvorů, které na měřeném díle nejsou. Klasickým příkladem je pozinkovaný plech, který díky svému lesklému povrchu značně odráží světlo. Existuje řešení, ale vnáší nepřesnost do měřícího povrchu. Tím řešením je snížení lesklosti povrchu, které za pomoci zmatnění již světlo dále neodráží. Nevýhodou tohoto řešení je to, že tloušťka vrstvy zmatňujícího povlaku ovlivňuje samotné měření. Je to z důvodu, že tento nátěr nebo povlak má určitou tloušťku. Z tohoto důvodu je důležité při tomto druhu řešení znát přibližnou tloušťku vrstvy a tu následně zohlednit při výsledných hodnotách měření. [43, 44]

4.1.4 Bodové měření ve 2D

Bodové měření ve 2D probíhá za pomoci optického senzoru, který data z měření převádí prostřednictvím světla. Pomocí světla je následně možné vyhodnotit dané souřadnice měřeného bodu. Bodové měření ve 2D se hojně využívá pro snímání plechů, ve kterých jsou vyražené nebo vystřižené otvory. Jak jsem se již zmiňoval výše, tak bodové měření ve 2D využívá optického senzoru pro měření daných dílů. Nejvíce využívanými senzory pro 2D bodové měření jsou vizuální senzor a hranový senzor. Měření se vyhodnocuje za pomoci snímání světla, především jeho přechodu, a to mezi světlým a tmavým přechodem. Pomocí světlých a tmavých přechodů je následně možné zjistit obraz a z tohoto obrazu vyhodnotit geometrické elementy. [43, 44]

4.1.5 Skenovací měření ve 3D

Skenovací 3D měření snímá daný díl ve třech souřadných osách x, y, z. Hlavním důvodem proč je možné snímat daný díl právě ve třech osách je ten, že 3D skenovací měření využívá optické metody triangulace a interferenci světla. [43, 44]

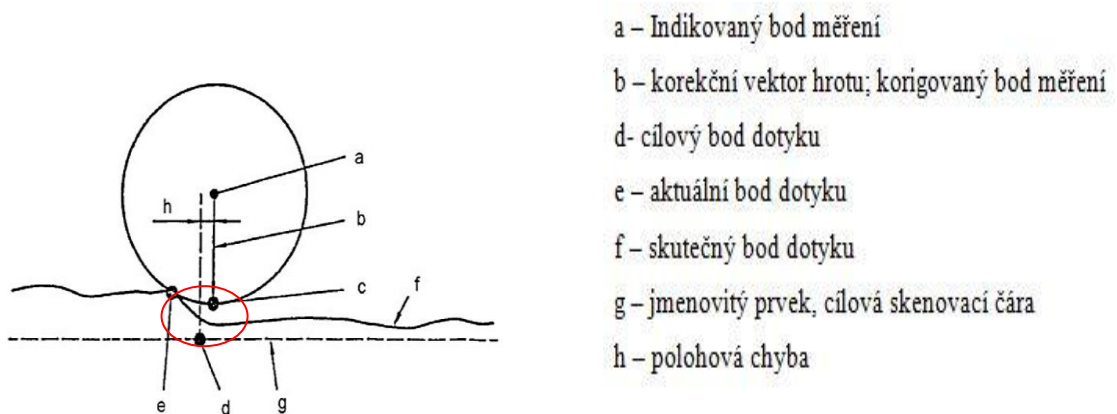
Do kategorie 3D skenovacího měření patří například skenery, u kterých je na výběr z několika možností. Skenery pro 3D skenovací měření jsou ultrazvukové, rentgenové, laserové, optické a mechanické. Jednou z velkých novinek 3D skenovacího měření je měření, které pracuje obdobně jako rentgenové záření. [43, 44]

Samotné měření daného dílu probíhá tak, že se umístí před rentgenový zářič. Následně dochází k zachycení měřeného dílu na detektoru. Dalším krokem je převedením obrazu do 2D. Následuje rotování s měřeným dílem, které je otáčeno okolo jeho vlastní osy. Za tohoto otáčení okolo 360° jsou zaznamenávány a ukládány další snímky. Z těchto snímků se následně za pomoci počítače vytvoří takzvaný 3D objekt. Tento 3D objekt je zkompletován již ze zmíněných 2D snímků, díky kterým je možné vytvořit 3D objekt a s tímto objektem dále pracovat. S takto vytvořeným 3D objektem je možné provádět měření, které porovnává skutečný díl převedený do 3D objektu s vymodelovaným 3D modelem. Tato technologie měření spadá do skupiny již dříve zmíněného bezkontaktního měření. Velkou předností tohoto 3D skenovacího měření je samotné převedení měřeného dílu do 3D prostoru počítače, dále je to jeho přesnost a rychlost. Hlavní nevýhodou této metody měření jsou především jeho vysoké provozní náklady. [43, 44]

4.1.6 Konturograf

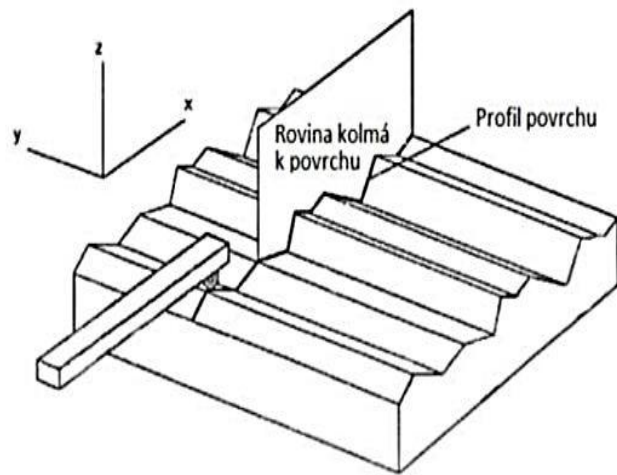
Konturograf a dotyková sonda pracují obdobným stylem s tím rozdílem, že dotyková sonda využívá k měření kuličku o normalizovaných rozměrech a konturograf využívá k měření místo kuličky měřicí diamantový hrot o zaoblení 0,025 mm. Konturograf díky svému diamantovému hrotu zkosenému o 12° snímá povrch pomocí přímočarého pohybu. Konturograf je spojen s počítačem, který zaznamenává průběh snímání povrchu měřicího diamantového hrotu. Při měření se hrot pohybuje po povrchu a snímá již zmíněný reliéf daného dílu. [43, 47]

Snímaný díl je pevně upevněn k měřicímu stolu, a to tak, aby nedošlo k ovlivnění snímacího procesu. V případě nedodržení kolmosti při snímání se do celého procesu vnáší chyba, která negativně ovlivní celý průběh měření. Na níže uvedeném Obr. 22 je možné vidět měření dotykem a na Obr. 23 snímání pomocí měřicího hrotu konturografu. [43, 47]



Obrázek 22 Měření dotykem [43]

Na Obr. 22 je možné vidět problém s měřením povrchu, kterou znázorňuje červeně vyznačená oblast. Jelikož je poloměr měřicí kuličky větší, nežli zvýrazněná oblast, tak tato oblast nebude zaznamenána. V případě konturografu by tato oblast změřena byla, a to z důvodu, že konturograf využívá již zmíněný diamantový hrot o zaoblení 0,025 mm. Princip měření konturografu je možné vidět na Obr. 23. [43, 47]



Obrázek 23 Princip měření konturografu [43]

5. Metodika opotřebení ostrých designových hran

V následujícím textu provedu popis experimentu, měření a jeho vyhodnocení.

5.1 Příprava

Při tvorbě metodiky jsem vycházel z postupu popsáno v metodice Diplomové práce Bc. Jana Mecu - Sledování životnosti nástroje s ostrou designovou hranou a ve spolupráci s Matějem Holečkem. [43]

5.1.1 Příprava nástroje

Upevnění nástroje na lis PYE 250 je realizováno pomocí upínek. Je třeba klást důraz na umístění nástroje do osy stroje. Dále je zapotřebí nastavit polohy koncových snímačů, a to horní snímač polohy, u kterého je nezbytné, aby byl nad nástrojem v minimální výšce 350 mm. Pro snadnou manipulaci s polotovarem při jeho zakládání a vyjímání v nástroji. Je zbytečné výšku nástroje více zvyšovat, vedlo by to pouze k prodloužení lisování. Snímač pracovní části zdvihu je třeba umístit do polohy, kdy tažnice právě dosedne na přídržovač. Jakmile přídržovač dosedne na distanční podložky, je třeba, aby se sepnul spínač dolní polohy. Otlakem na barvu je možné v případě potřeby provést ověření správného dosednutí částí nástroje vůči sobě. Před prvním spuštěním nástroje po jeho vložení do stroje je zapotřebí na jeho činné části nanést olejový film. Tímto je nástroj připraven k lisování. [43]

5.1.2 Příprava přístřihu

Přístřih musí být pomocí nůžek upraven na rozměry 265 x 238 mm. Současně je nezbytné ověření vstupní jakosti materiálu, která musí být DC 06 nebo HX 180 a nominální tloušťka plechu byla 0,65 mm. V našem případě byl použit materiál HX 180. [43]

Se změnou výrobní dávky je nutné kontrolovat vstupní tloušťku plechu. Mimo tloušťky plechu, je zapotřebí kontrolovat i čistotu plechu, a to z důvodu možného nanesení nečistot do tvářecího nástroje, čímž by došlo k jeho znehodnocení a tím i k ovlivnění výsledků měření. [43]

Dostačující je vizuální kontrola a odstranění prvního a posledního plechu ze svazku, čímž se výrazně snižuje riziko zanesení nečistot do nástroje, pokud je současně zamezen možný styk plechu s nečistotami, a to již při samotné přípravě přístřihu.[43]

5.1.3 Založení přístřihu, výroba výlisku

Před započatím práce je třeba z nástroje vyjmout krycí plech. Nezbytným krokem před samotným vložením přístřihu do nástroje je kontrola použitého materiálu. Na každý desátý kus je třeba nanést lisovací mazivo. [43]

Do nástroje mezi kolíky se vloží přístřih, po té se spustí stroj a zhotoví se výlisek. Veškerou obsluhu stroje tj. vkládání a vyjímání přístřihu obstarává výhradně jeden pracovník. [43]

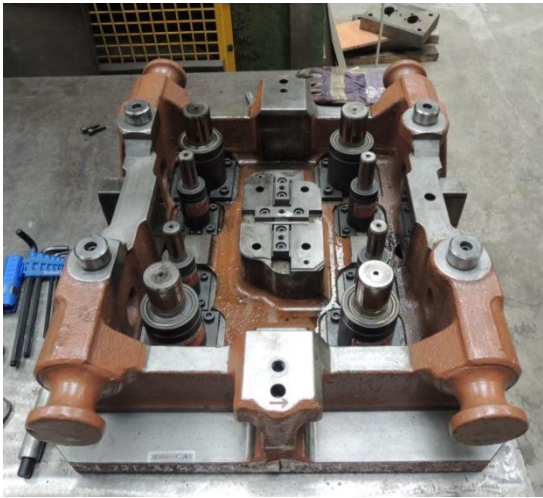
Při přerušení práce na delší dobu je třeba pracovní prostor nástroje ochránit před nečistotami zakrytím krycím plechem a zaevidování počtu zhotovených výlisků. [43]

Po odlisování 1, 750 a 1500 kusu výlisku provedeme jejich odebrání a vyznačení typu nástroje, pořadí lisování a číslo značící počet odlisovaných kusů. Následně tyto kusy jsou přepraveny k jejich proměření. Po odlisování 1500 kusu nástroj vyjmeme z pracovního prostoru stroje, provedeme jeho demontáž, vyjmeme tažník nástroje a přepravíme jej, proměříme pomocí konturografu a pomocí dotykové metody (3D souřadnicového měřicího stroje). Po přeměření nástroj opět sestavíme, provedeme jeho opětovné upnutí do pracovního prostoru stroje a pokračujeme v lisování. [43]

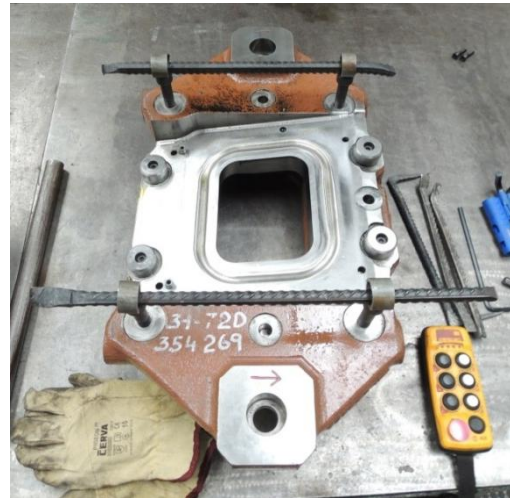
5.1.4 Příprava nástroje pro měření

Před samotným měřením je zapotřebí povolit přidržovač, abychom mohli vytáhnout tažník i tažnici. Na tažníku potom povolíme šrouby, směrem nahoru tažník povolíme a vyjmeme z daného nástroje. Veškeré uvolněné části ochráníme před prachem. [43]

Demontované části nástroje:



Obrázek 24 – Rám spodní části nástroje



Obrázek 25 - Přidržovač



Obrázek 26 – Horní část nástroje

Jakmile je tažník proměřen, vrátíme jej nazpět do nástroje, přičemž dbáme na správné uložení na pera, po té přitáhneme upínací šrouby a přidržovač vložíme zpátky a opětovně jej upneme. Nástroj je tak opět připraven k lisování dalších 1500 ks. Vyhodnocení opotřebení je nutné vypracovat po realizaci každého měření. [43]

5.2 Analýza měření hodnot

- Měření nástroje

Tažníkem, který je uložen v nástroji bylo odlisováno celkem 4500 vzorků řady S a 4500 vzorků řady D. Písmena S a D označují tažníky lisovacího nástroje, které se odlišují druhem ostré designové hrany. V níže uvedených Tab. 7 a Tab. 8 je možno vidět označení měřených tažníků včetně počtu kusů, které odlisovaly. Jak je možné vidět v Tab. 7 a Tab. 8, tak vzorky SN3 a vzorky SN4 mají stejný počet kusů, stejně tak jako vzorky SN6 a vzorky SN7. Obdobné je to i pro vzorky DN3 a DN4 nebo i DN6 a DN7. Tyto vzorky by měly mít i stejné naměřené hodnoty. Tento krok se zavedl jako kontrola, zda při opětovném složení lisovacího nástroje po kontrolním měření a opětovném upnutí plechu do nástroje, nedojde vlivem vůlí v nástroji ke změně průběhu lisování. Z průběhu měření bude zjištěno, zda k nějakým odchýlkám dochází.

SNX

- Písmeno S značí druh geometrie tažníku (Tažník S)
- Písmeno N značí, že se jedná o nástroj.
- Písmeno X značí čísla 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 a 9, která označují počet vylisovaných kusů, viz Tab. 7

Onačení měřených tažníků	Tažník SN1	Tažník SN2	Tažník SN3
Počet vylisovaných kusů	0 kus	750 kus	1500 kus
Onačení měřených tažníků	Tažník SN4	Tažník SN5	Tažník SN6
Počet vylisovaných kusů	1500 kus	2250 kus	3000 kus
Onačení měřených tažníků	Tažník SN7	Tažník SN8	Tažník SN9
Počet vylisovaných kusů	3000 kus	3750 kus	4500 kus

Tab. 7

DNX

- Písmeno D značí druh geometrie tažníku (Tažník D)
- Písmeno N značí, že se jedná o nástroj.
- Písmeno X značí čísla 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 a 9, která označují počet vylisovaných kusů, viz Tab. 8

Onačení měřených tažníků	Tažník DN1	Tažník DN2	Tažník DN3
Počet vylisovaných kusů	0 kus	750 kus	1500 kus
Onačení měřených tažníků	Tažník DN4	Tažník DN5	Tažník DN6
Počet vylisovaných kusů	1500 kus	2250 kus	3000 kus
Onačení měřených tažníků	Tažník DN7	Tažník DN8	Tažník DN9
Počet vylisovaných kusů	3000 kus	3750 kus	4500 kus

Tab. 8

- Měření polotovaru

V níže uvedených Tab. 9 a Tab. 10 je možno vidět označení měřených výlisků včetně vysvětlení jednotlivých zkratk. Jak je možné vidět v Tab. 9 a Tab. 10, tak vzorky SV3 a vzorky SV4 mají stejný počet kusů, stejně tak jako vzorky SV6 a vzorky SV7. Obdobné je to i pro vzorky DV3 a DV4 nebo i DV6 a DV7. Tyto vzorky by měly mít i stejné naměřené hodnoty. Tento krok se zavedl jako kontrola, zda při opětovném složení lisovacího nástroje po kontrolním měření a opětovném upnutí plechu do nástroje, nedojde vlivem vůlí v nástroji ke změně průběhu lisování. Z průběhu měření bude zjištěno, zda k nějakým odchylkám dochází.

SVX

- Písmeno S značí druh tažníku, kterým byly vylisovány vzorky řady S (Tažník S).
- Písmeno V značí, že se jedná o výlisek.
- Písmeno X značí vylisovaný vzorek 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 a 9, který označuje počet vylisovaných kusů, viz Tab. 9

Onačení výlisku	Vzorek SV1	Vzorek SV2	Vzorek SV3
Vylisovaný kus	1 kus	750 kus	1500 kus
Onačení výlisku	Vzorek SV4	Vzorek SV5	Vzorek SV6
Vylisovaný kus	1500 kus	2250 kus	3000 kus
Onačení výlisku	Vzorek SV7	Vzorek SV8	Vzorek SV9
Vylisovaný kus	3000 kus	3750 kus	4500 kus

Tab. 9

DVX

- Písmeno D značí druh tažníku, kterým byly vylisovány vzorky řady D (Tažník D).
- Písmeno V značí, že se jedná o výlisek.
- Písmeno X značí vylisovaný vzorek 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 a 9, který označuje počet vylisovaných kusů, viz Tab. 10

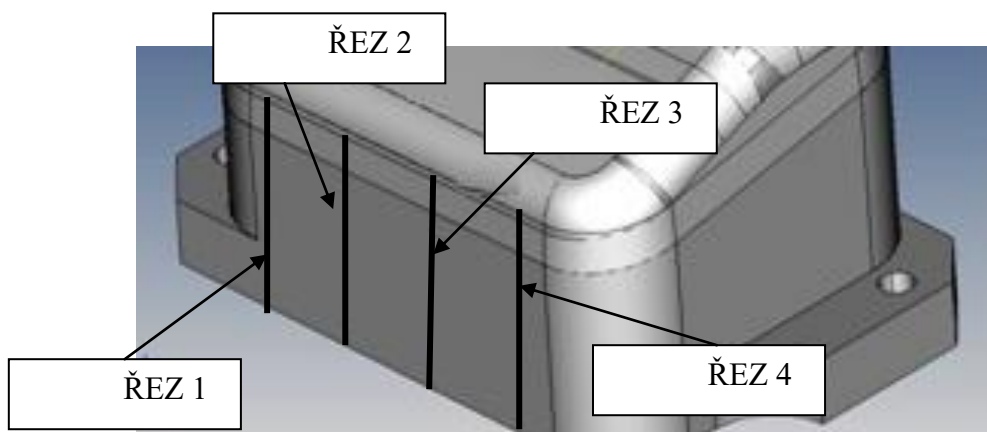
Onačení výlisku	Vzorek DV1	Vzorek DV2	Vzorek DV3
Vylisovaný kus	1 kus	750 kus	1500 kus
Onačení výlisku	Vzorek DV4	Vzorek DV5	Vzorek DV6
Vylisovaný kus	1500 kus	2250 kus	3000 kus
Onačení výlisku	Vzorek DV7	Vzorek DV8	Vzorek DV9
Vylisovaný kus	3000 kus	3750 kus	4500 kus

Tab. 10

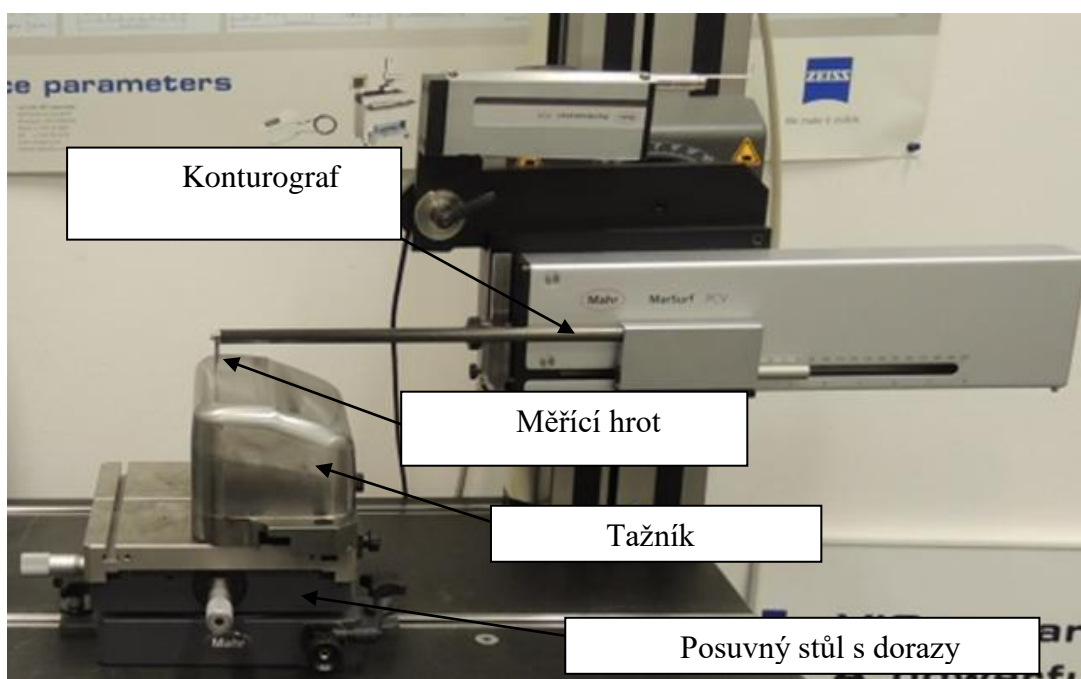
5.2.1 Měření hodnot konturografem

- Měření nástroje

Na tažníku byly provedeny celkem 4 měření a to ve čtyřech řezech. Na čelní straně tažníku byly vyznačeny 4 osy, které určují počátek měření pro jednotlivé řezy, viz Obr. 27. Tyto značky byly vytvořeny z důvodu dalších měření. Při dalších měřeních se najelo blíže na tyto osy a spustilo se měření. Díky těmto osám se minimalizovalo odchýlení od jednotlivých řezů a docílilo se měření v téměř stejných místech jako při první sérii měření. U každé série měření je nutné nastavit parametry konturografu: rychlost posuvu diamantového hrotu a délku přejezdu. Rychlost posuvu diamantového hrotu konturografu byla nastavena na 1 mm/s s délkou přejezdu 95 mm. Doba měření jednoho výlisku se třemi všemi řezy, s uložením naměřených hodnot a manipulací s výliskem, trvala v průměru okolo 15 minut. Před začátkem měření bylo potřebné tažník očistit od mastnoty, prachu a hrubých nečistot. Následně se tažník upnul na posuvný stůl, zajistila se kolmost a spustil se průběh měření. Na níže uvedeném Obr. 28 je možné vidět průběh měření.



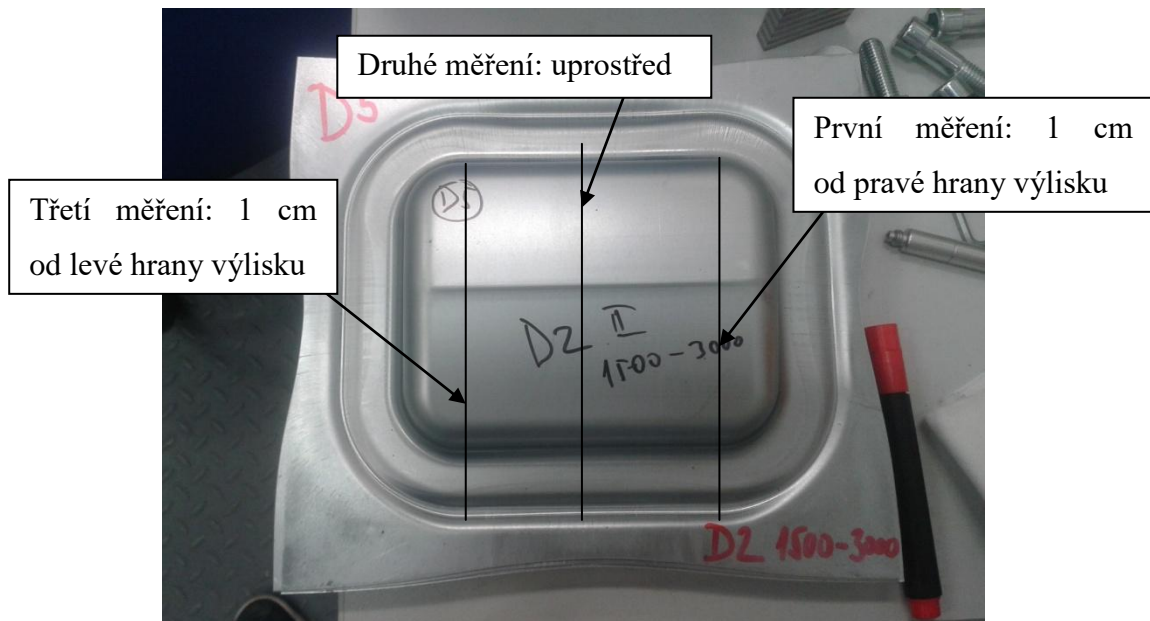
Obrázek 27 Řezy



Obrázek 28 Měření tažníku konturografem

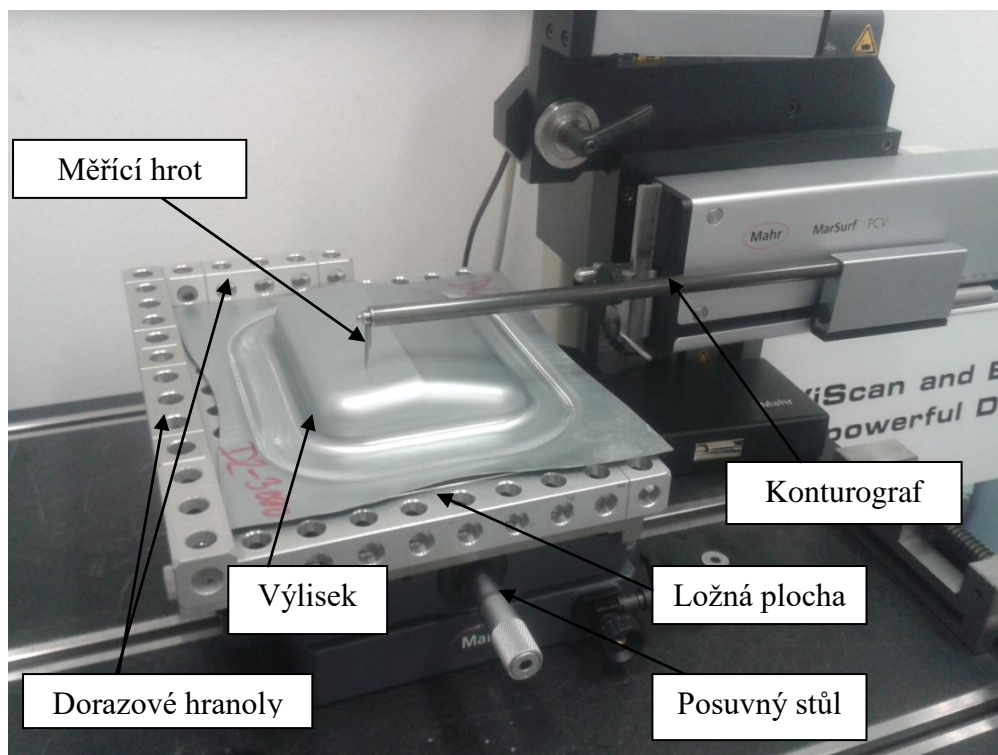
- Měření polotovaru

Na každém vzorku byly provedeny 3 měření. První měření probíhalo 1 cm od pravé hrany výlisku, druhé měření bylo uprostřed a třetí 1 cm od levé hrany výlisku, viz Obr. 29. K měření vzdálenosti se používalo posuvného měřidla.



Obrázek 29 Schéma měření výlisku

U každé série měření je nutné nastavit parametry konturografu: rychlost posuvu diamantového hrotu a délku přejezdu. Rychlost posuvu diamantového hrotu konturografu byla nastavena na 1 mm/s s délkou přejezdu 95 mm. Doba měření jednoho výlisku se třemi všemi řezy, s uložením naměřených hodnot a manipulací s výliskem, trvala v průměru okolo 12 minut. Na níže uvedeném Obr. 30 je možné vidět průběh měření konturografu.



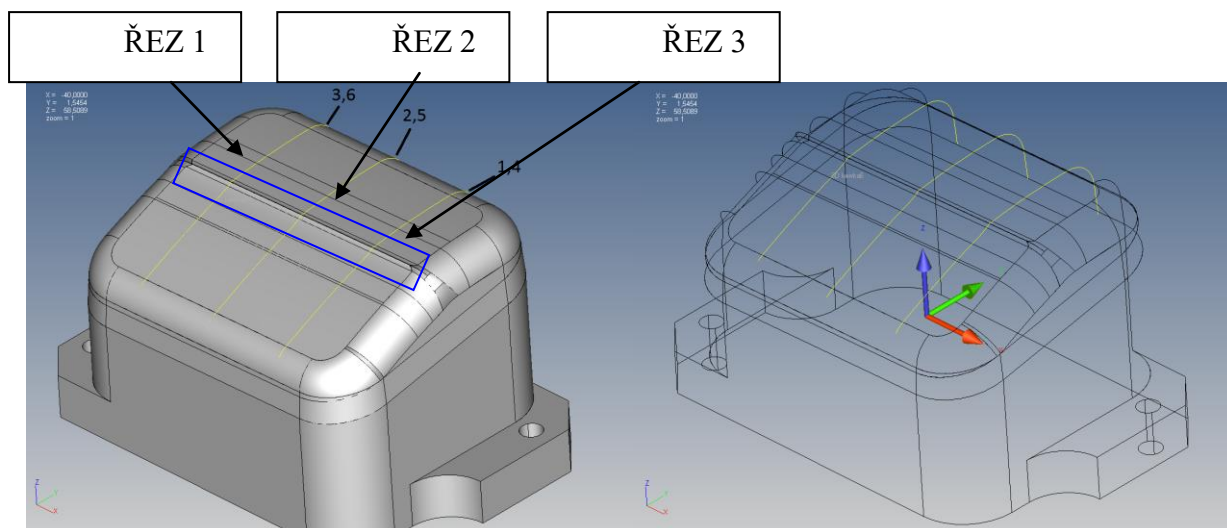
Obrázek 30 Průběh měření konturografem

Před začátkem měření bylo potřebné všechny výlisky očistit od mastnoty, prachu a hrubých nečistot. Následně se vytvořila ložná plocha s dorazovými hranoly, která se umístila na posuvný stůl, který je kalibrováný. Dále se pokračovalo vložением výlisku do prostoru ložné plochy a došlo k doražení na dorazové hranoly. Výlisek se vkládá vždy tak, jak je znázorněno na Obr. 30. Další částí je nastavení hrotu pro měření, které se nastavuje pomocí softwaru počítače, a který je propojen s konturografem. Dojde tak k nastavení délky měření, v tomto případě 95 mm, rychlost posuvu 1mm/s a nastavení výšky hrotu. Nastavení výšky hrotu nastavuje software počítače. Po tomto nastavení je již možné spustit samotné měření. Jak jsem již uváděl výše, tak se provádí měření celkem na třech místech, viz Obr. 29.

5.2.2 Měření hodnot skenovacím dotykovým měřením ve 3D

- Měření nástroje

Skenovací dotyková metoda ve 3D se také využila pro měření výlisků. Obdobně jako při měření konturografem i zde byly použity stejné vzorky řady S a řady D. Před začátkem měření je nutné všechny výlisky očistit od mastnoty, prachu a hrubých nečistot obdobně jako v předcházejícím případě. Po očištění je přípravek vložen do kalibrovaného přípravku a upnut. Dále následuje dotyk měřicí kuličkou, kterou se dotkneme v libovolných 12 místech na výlisku. Následně tuto kombinaci uložíme. Při měření dalších kusů se dotkneme měřicí kuličkou opět v libovolných 12 bodech. Poté se použije metoda, která se nazývá BEST-FIT. Tato matematická metoda je metoda, kterou využívají souřadnicově řízené stroje. Metoda BEST-FIT využívá matematického algoritmu, díky kterému dojde k přepočítání jednotlivých bodů a vytvoří se vazby s body, které byly uloženy v prvním měření. Tím dojde k tomu, že budeme mít přípravek upnut identicky jako v prvním případě a nebude ovlivněno měření. Po této části může proběhnout samotné měření, které se měří ve třech řezech, viz níže uvedený Obr. 31. Jak je vidět na níže uvedeném Obr. 31 je znázorněno, že v rovině řezu 1, 2 a 3 probíhají dvě měření. V řezu 1 jsou to 1 a 4, v rovině řezu 2 probíhá, to jsou 2 a 5 a v rovině řezu 3 jsou to 3 a 6. Vždy dochází ke snímání 2000 bodů. První měření probíhá přes obě plochy tažníku, to jsou řezy 1, 2 a 6. Zásadní je oblast druhého měření v okolí ostré designové hrany, což jsou řezy 4, 5 a 6, které jsou v prostoru modrého rámečku na Obr. 31. Díky stejnému počtu 2000 bodů je přesnější měření 4, 5 a 6, protože počet 2000 bodů je na kratší vzdálenosti, nežli v případě bodů 4, 5 a 6. [48]



Obrázek 31 Znáornění měření 3Dskenovacím dotykovým měřením

- Měření polotovaru

V případě měření vylisků metodou skenovacím dotykovým měřením ve 3D se vycházelo z obdobných zásad jako v případě měření vylisků konturografem z kapitoly 5.2.1 Měření hodnot konturografem. Opět došlo k očištění ploch upnutí vylisků a měření 3 řezů.

6. Analýza měření hodnot nástroje

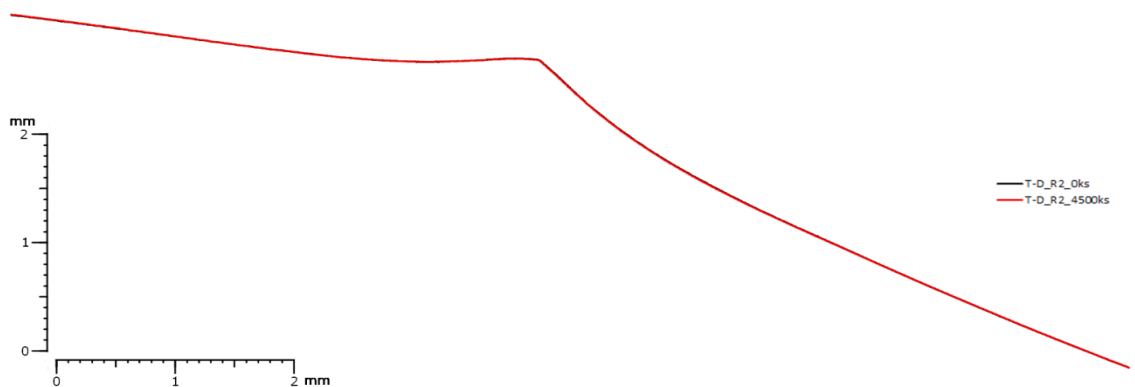
Při analýzách měření hodnot nástroje jsem spolupracoval s Matějem Holečkem.

6.1 Analýza opotřebení tažníku D

- Konturograf

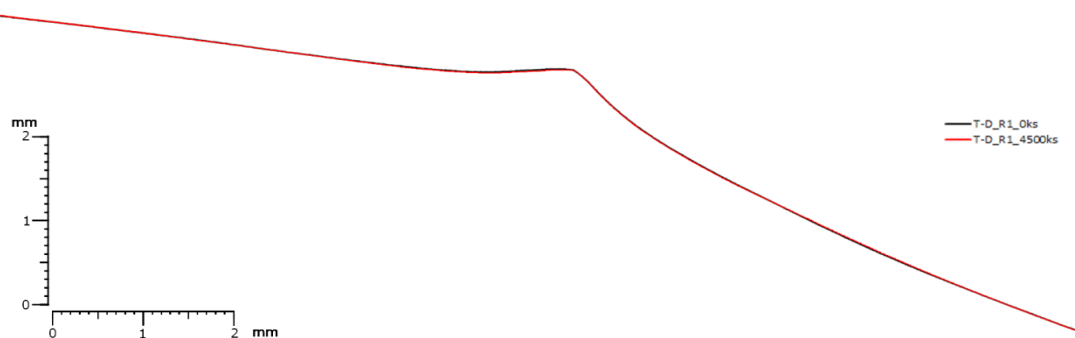
Kromě výlisků se stejnou metodou pomocí konturografu měřil i tažník, a to obdobně jako tomu bylo v případě výlisků z kapitoly 7. 1. a 7. 2. Tažník se měřil obdobně jako výlisky, ale ve čtyřech řezech místo třech řezů. Rozdílný byl i počet měření. Měření probíhalo před začátkem lisování, tudíž při 0 kusech a pak dále při 1 500 kusech, 3 000 kusech a 4 500 kusech.

- Naměřené hodnoty tažníku D řezu 1 pro 0 kus a 4500 kus



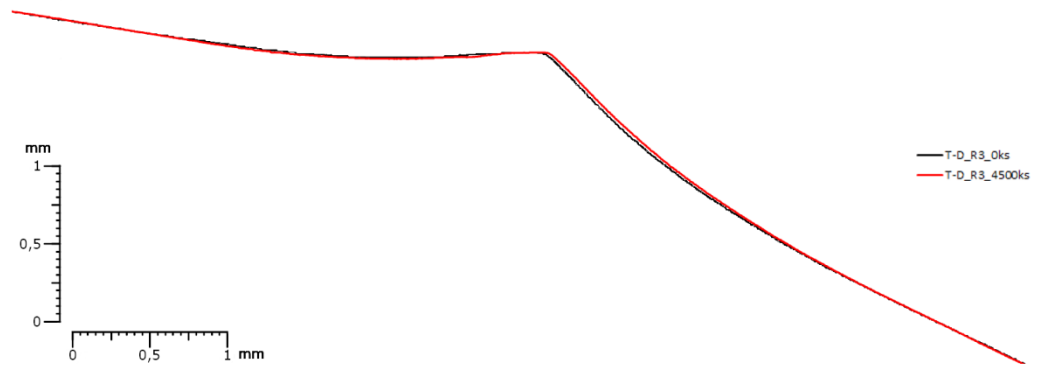
Obrázek 32

- Naměřené hodnoty tažníku D řezu 2 pro 0 kus a 4500 kus



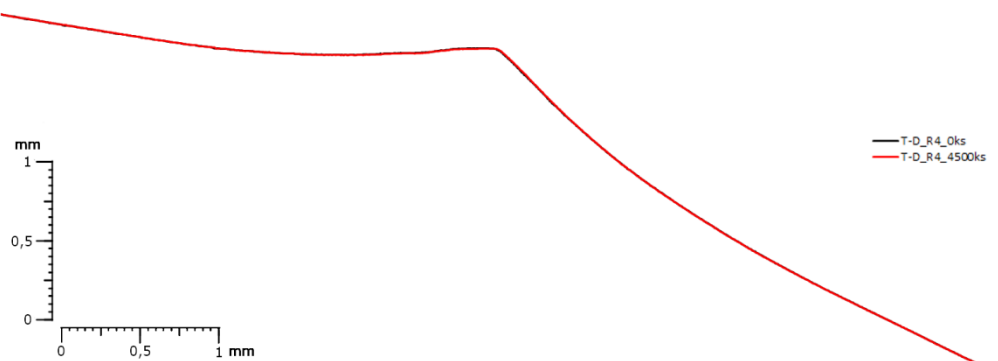
Obrázek 33

- Naměřené hodnoty tažníku D řezu 3 pro 0 kus a 4500 kus



Obrázek 34

- Naměřené hodnoty tažníku D řezu 4 pro 0 kus a 4500 kus



Obrázek 35

Zhodnocení stavu tažníku D řezu 1, 2, 3 a 4 pro 0 kus a 4500 kus.

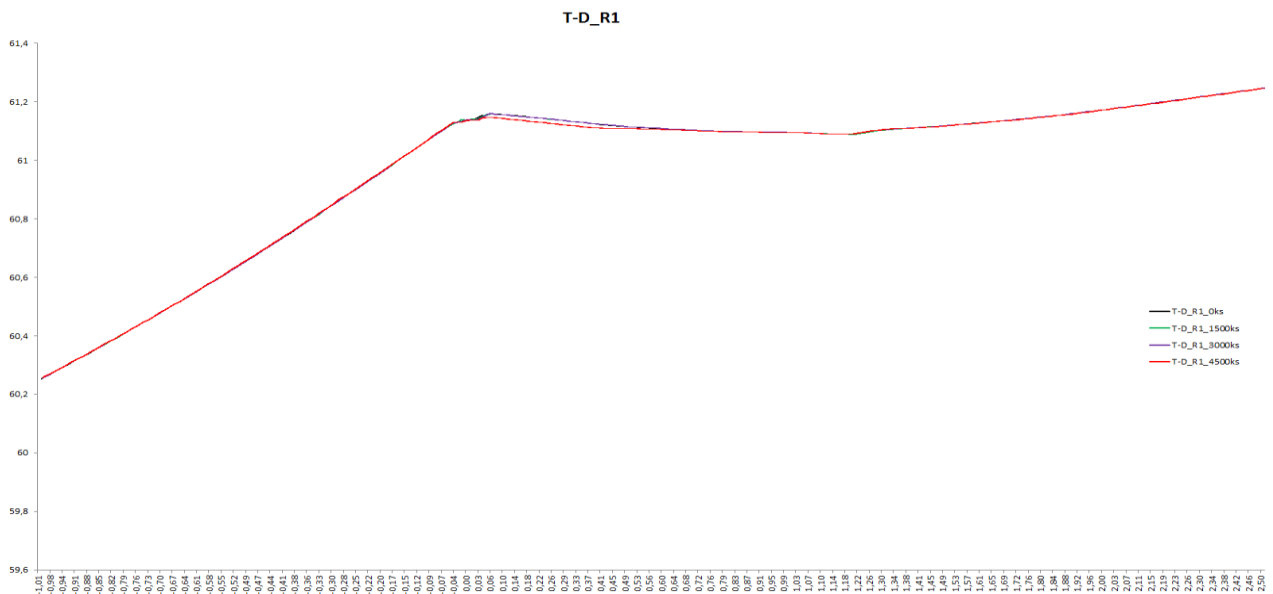
Z naměřených výsledků vyšlo, že po odlisování sady 4 500 kusů nedošlo v řezu 1, 2 a 4 k žádným rozdílům geometrie tažníku. V případě řezu 2 došlo k malým rozdílům geometrie tažníku. Tato niance je patrná pouze v řezu 3. Pravděpodobně došlo k úhlovému natočením tažníku na stole konturografu při posuvu mezi jednotlivými řezu.

- 3D souřadnicový měřicí stroj

V případě měření tažníku D za pomoci 3D souřadnicového měřicího systému dostáváme jednotlivé body, z kterých vytvoříme křivku. Jednotlivé křivky se mezi sebou opět

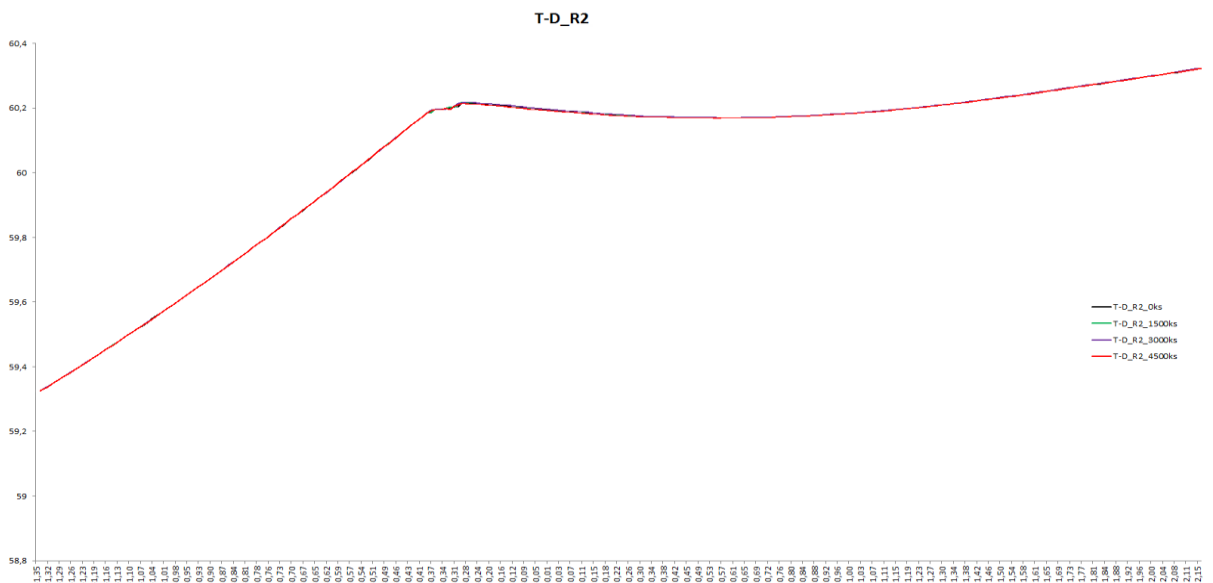
barevně odliší, aby bylo možné sledovat změnu geometrie tažníku obdobně jako v případě měření geometrie výlisku pomocí 3D souřadného systému. Porovnávat se bude tažník před začátkem lisování tedy 0 kus dále pak 1 500 kus, 3 000 kus a 4 500 kus. Každý kus bude měřen ve 3 řezech.

- Naměřené hodnoty tažníku D řezu 1 pro 0 kus, 1 500 kus, 3 000 kus a 4500 kus



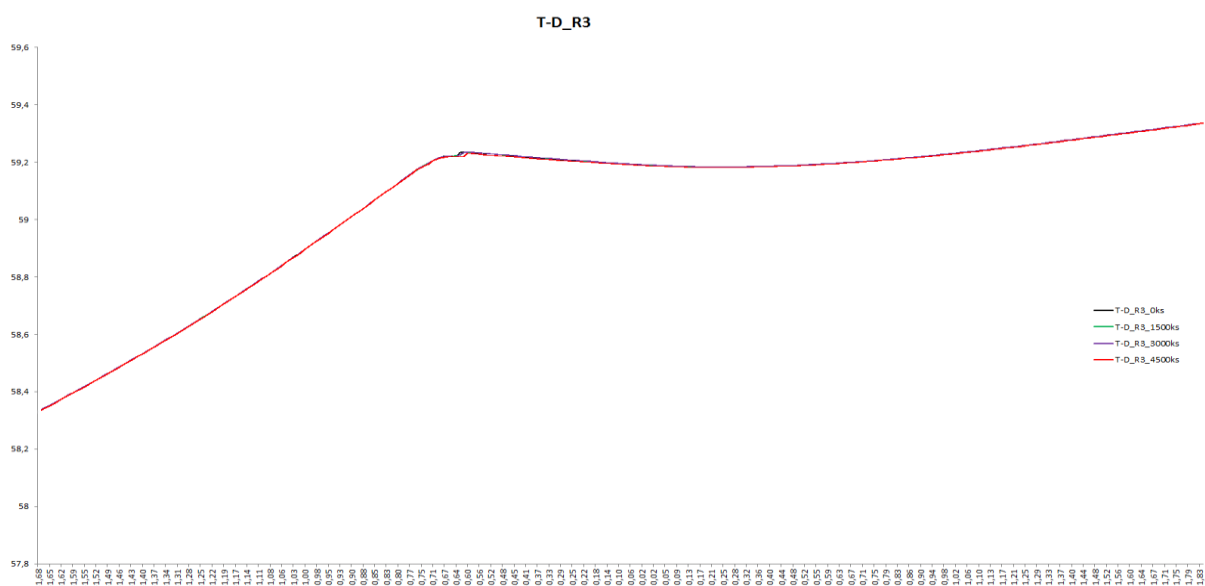
Obrázek 36

- Naměřené hodnoty tažníku D řezu 2 pro 0 kus, 1 500 kus, 3 000 kus a 4500 kus



Obrázek 37

- Naměřené hodnoty tažníku D řezu 3 pro 0 kus, 1 500 kus, 3 000 kus a 4500 kus



Obrázek 38

Zhodnocení stavu tažníku D řezu 1, 2 a 3 pro 0 kus, 1 500 kus, 3 000 kus a 4500 kus

Z naměřených výsledků vyšlo, že po odlisování sady 4 500 kusů nedošlo v řezu 1, 2 a 3 k žádným výrazným rozdílům geometrie tažníku.

6.2 Analýza opotřebení tažníku S

- Konturograf

V případě analýzy opotřebení tažníku S pomocí konturografu probíhalo měření obdobně jako v případě měření tažníku D.

- Naměřené hodnoty tažníku S řezu 1,2,3 a 4 pro 0 kus, 1500 kus, 3000 kus a 4500 kus.



Obrázek 39

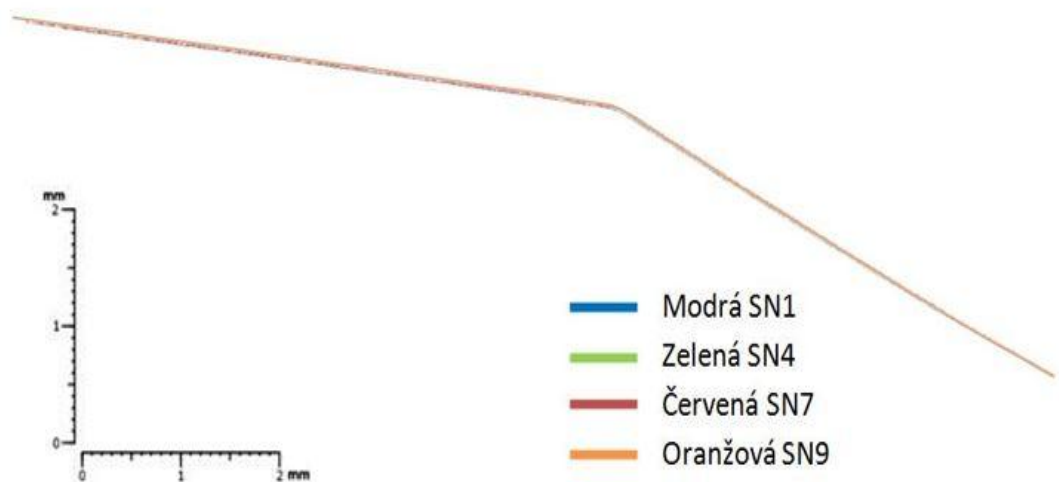
Zhodnocení stavu tažníku S řezu 1, 2, 3 a 4 pro 0 kus, 1500 kus, 3000 kus a 4500 kus.

Z naměřených výsledků vyšlo, že po odlisování sady 4 500 kusů nedošlo v řezu 1, 2, 3 a 4 k žádným rozdílům geometrie tažníku viz Obr.39.

- 3D souřadnicový měřicí stroj

V případě měření tažníku S za pomoci 3D souřadnicového měřicího systému se postupovalo obdobně jako v případě tažníku D. Pro tažník S se bude porovnávat geometrie pouze pro 0 kus, 1500 kus, 3000kus a 4500 kus.

- Naměřené hodnoty tažníku D řezu 1 pro 0 kus, 1 500 kus, 3 000 kus a 4500 kus.



Obrázek 40

Zhodnocení stavu tažníku D řezu 1, 2, 3 a 4 pro 0 kus, 1500 kus, 3000 kus a 4500kus.

Z naměřených výsledků vyšlo, že po odlisování sady 4500 kusů nedošlo v řezu 1, 2, 3 a 4 k žádným rozdílům geometrie tažníku. Křivky jsou mezi sebou totožné.

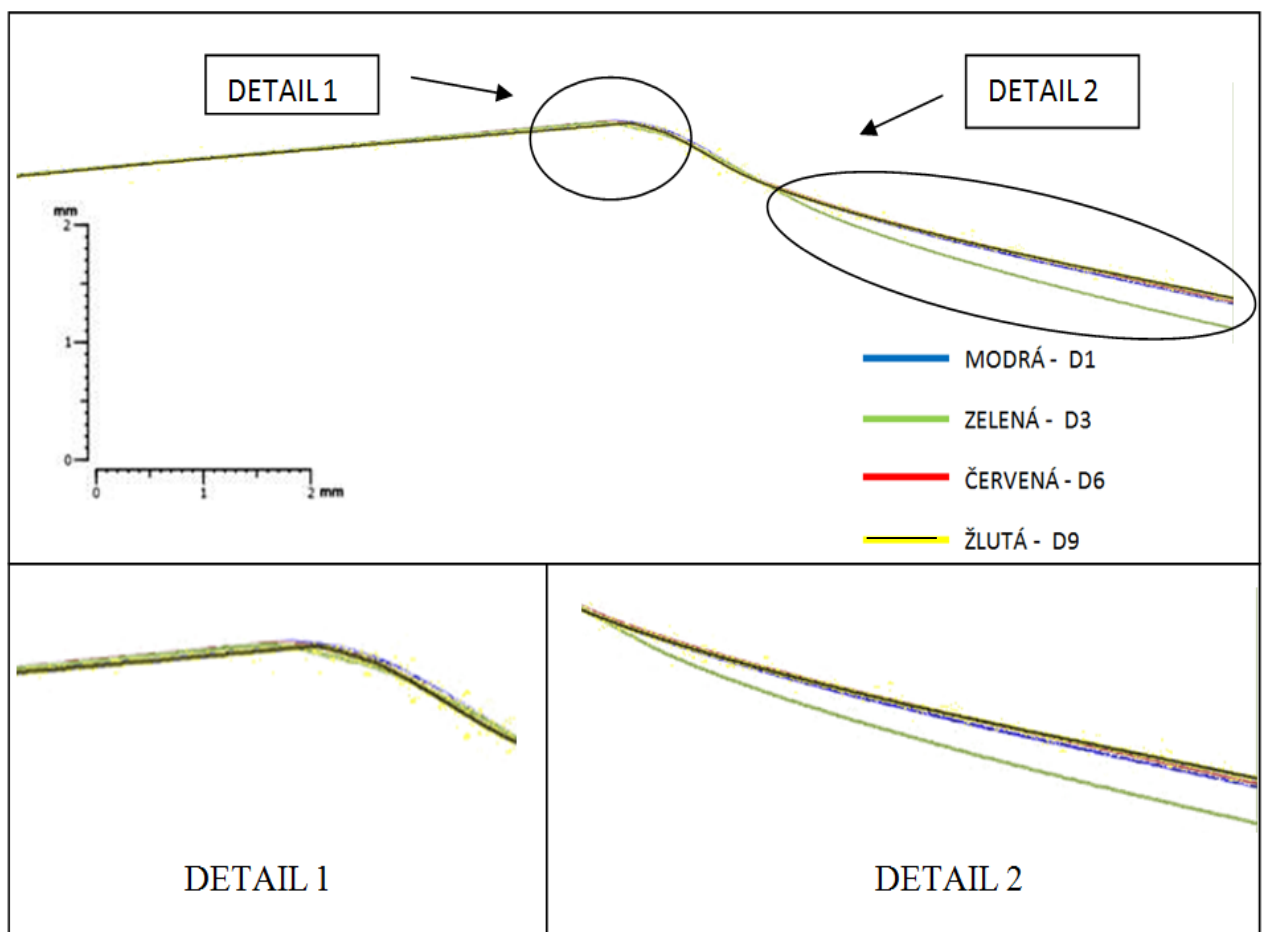
7. Analýza naměřených hodnot výlisků

7.1 Analýza opotřebení výlisků řady D

- Konturograf

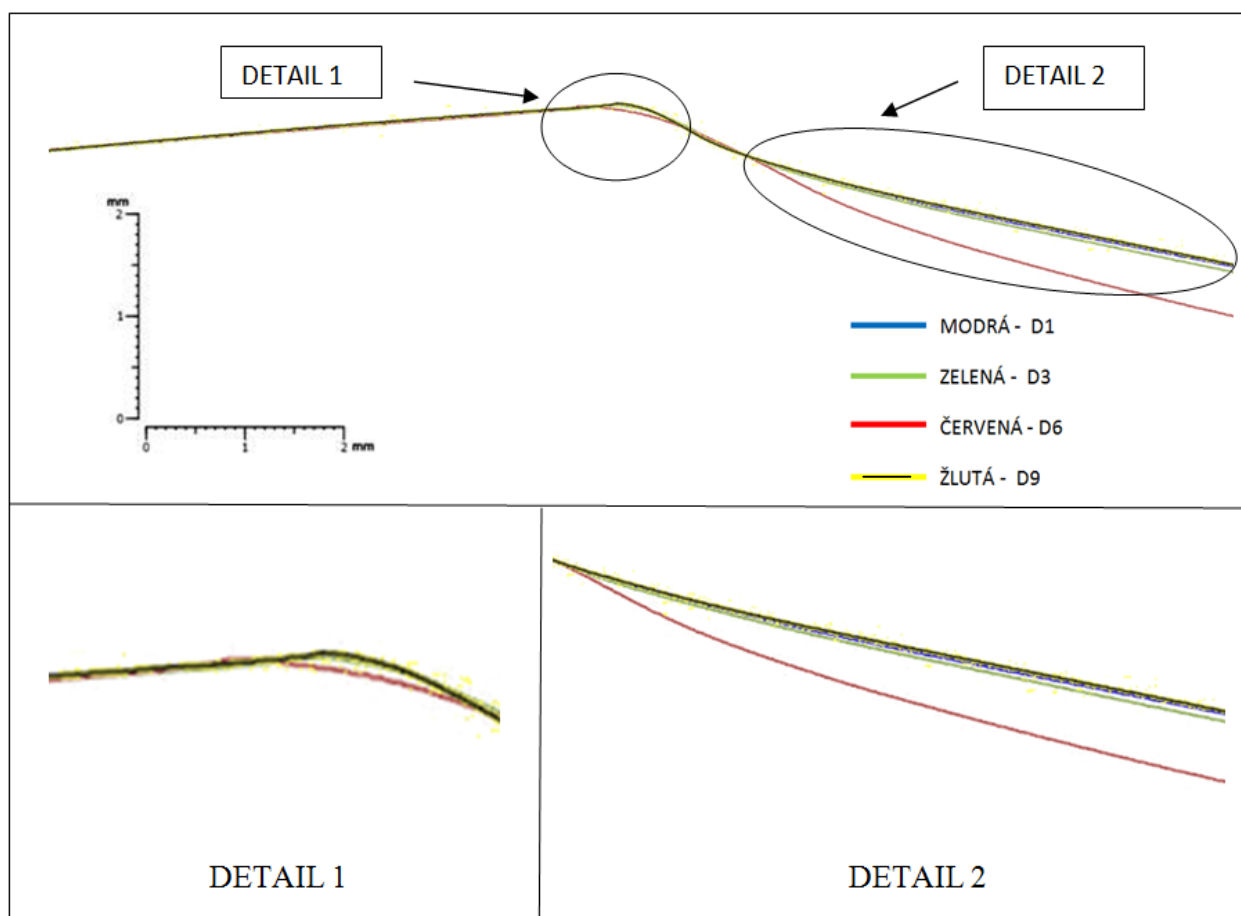
Na konturografu se proměřovaly naměřené vzorky z kapitoly 5. 2. Analýza měření hodnot. Následně jsem překryl jednotlivé naměřené křivky přes sebe. Zvolil jsem pouze vybrané vzorky, a to křivky, které jsem pro výlisek D1 označil modrou barvou, D3 označil světle zelenou barvou, D6 označil červenou barvou a D9 označil žlutou barvou. Vyhodnocení jsem provedl celkem pro tři řezy (řez 1, řez 2 a řez 3) viz kapitola 5. 2. 1. Měření hodnot konturografem

Naměřené hodnoty vzorků D řezu 1 pro výlisky D1, D3, D6 a D9



Obrázek 41

- Naměřené hodnoty vzorků D řezu 2 provýlisky D1, D3, D6 a D9

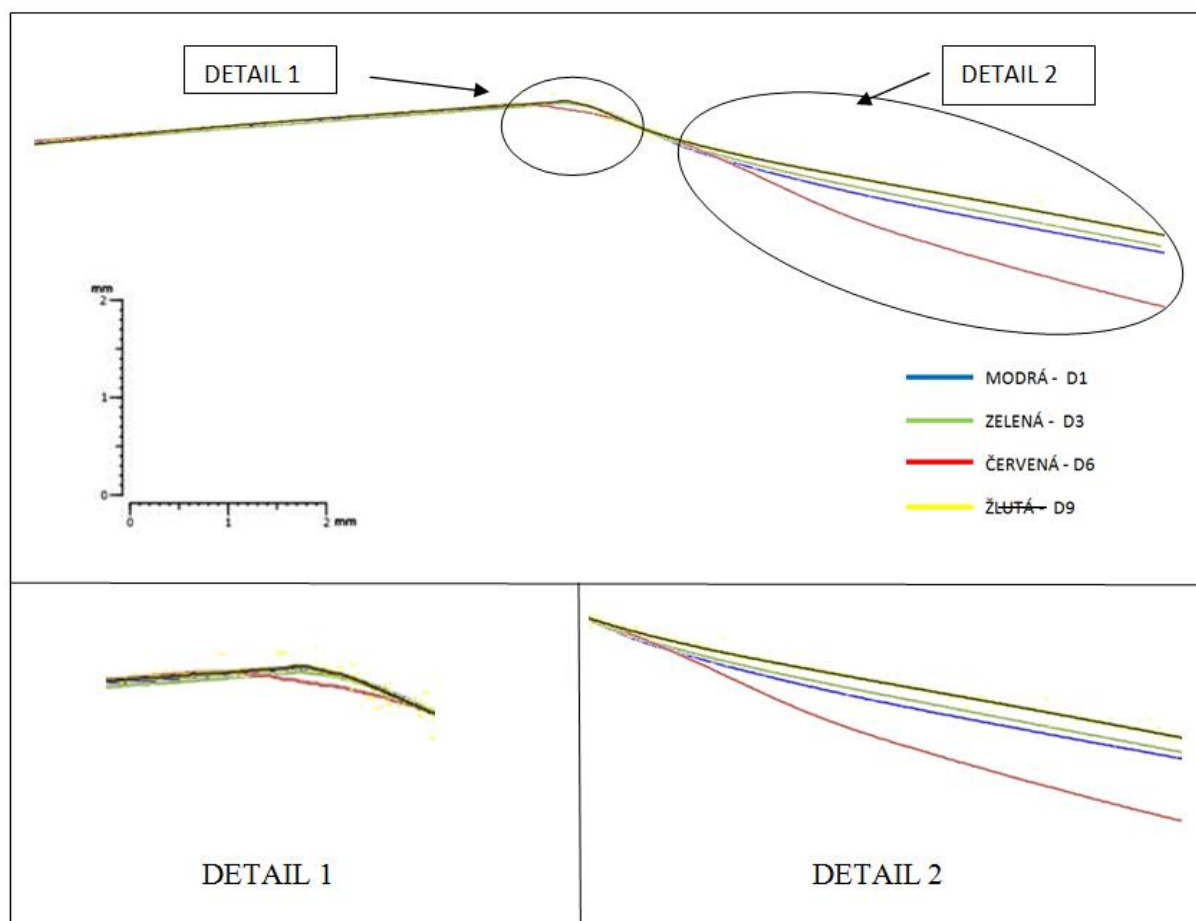


Obrázek 42



Obrázek 43

- Naměřené hodnoty řezu 3 pro výlisky D1, D3, D6 a D9



Obrázek 44



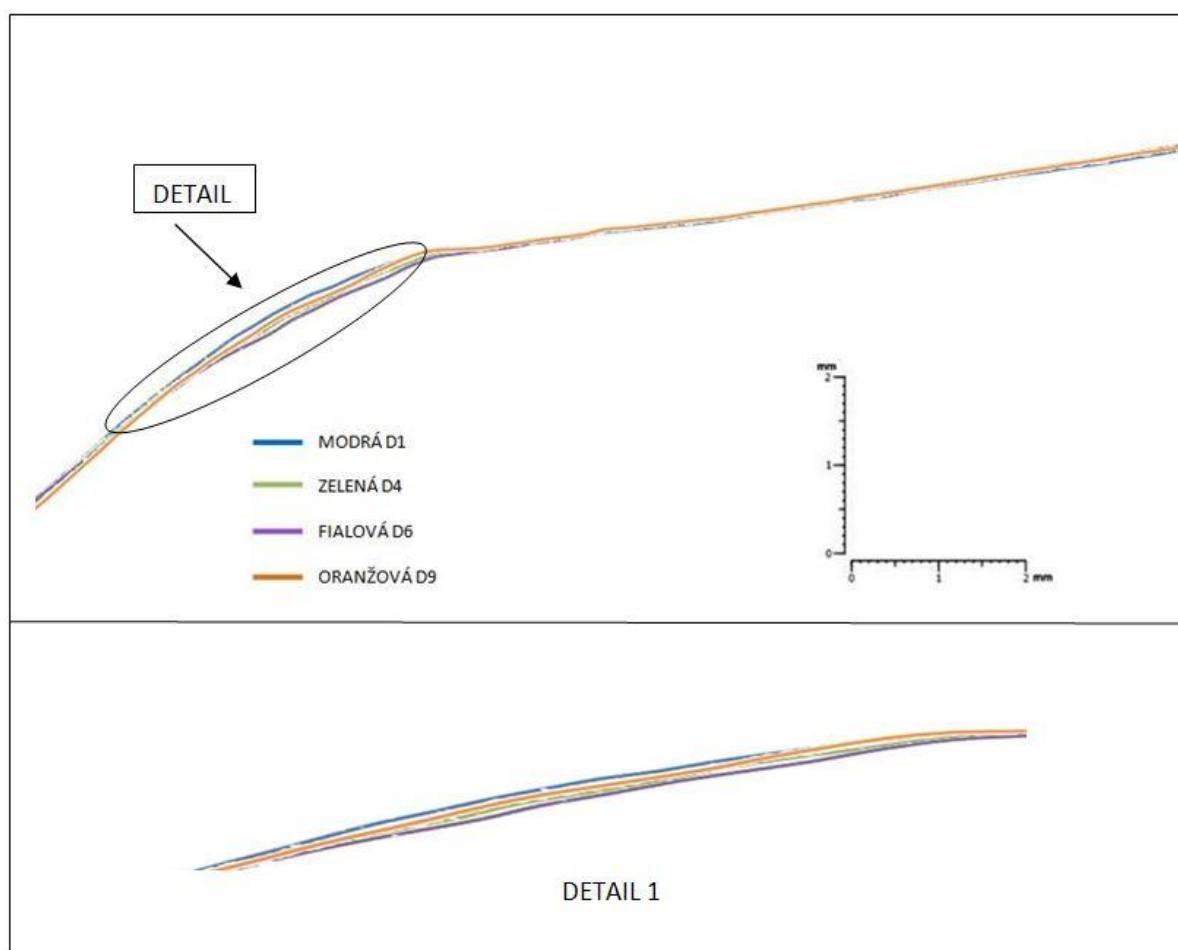
Obrázek 45

V případě řezu 1 nedochází k výrazným změnám geometrie výlisku. Opakem je ale řez 2, kde dochází u výlisku D6 a D9 ke změně geometrie viz Obr. 42 a Obr. 45 . V případě řezu 3 je to obdobné jako v případě řezu 2, kde dochází ke změně geometrie výlisku. Další odchýlení je možné vidět na detailu 2 viz Obr. 41 , Obr. 42 a Obr.43. Tato změna geometrie je způsobená zřejmě špatným upnutím do lisu, čímž vzniklo odpružení plechu projevující se změnou geometrie výlisku.

- 3D souřadnicový měřicí stroj

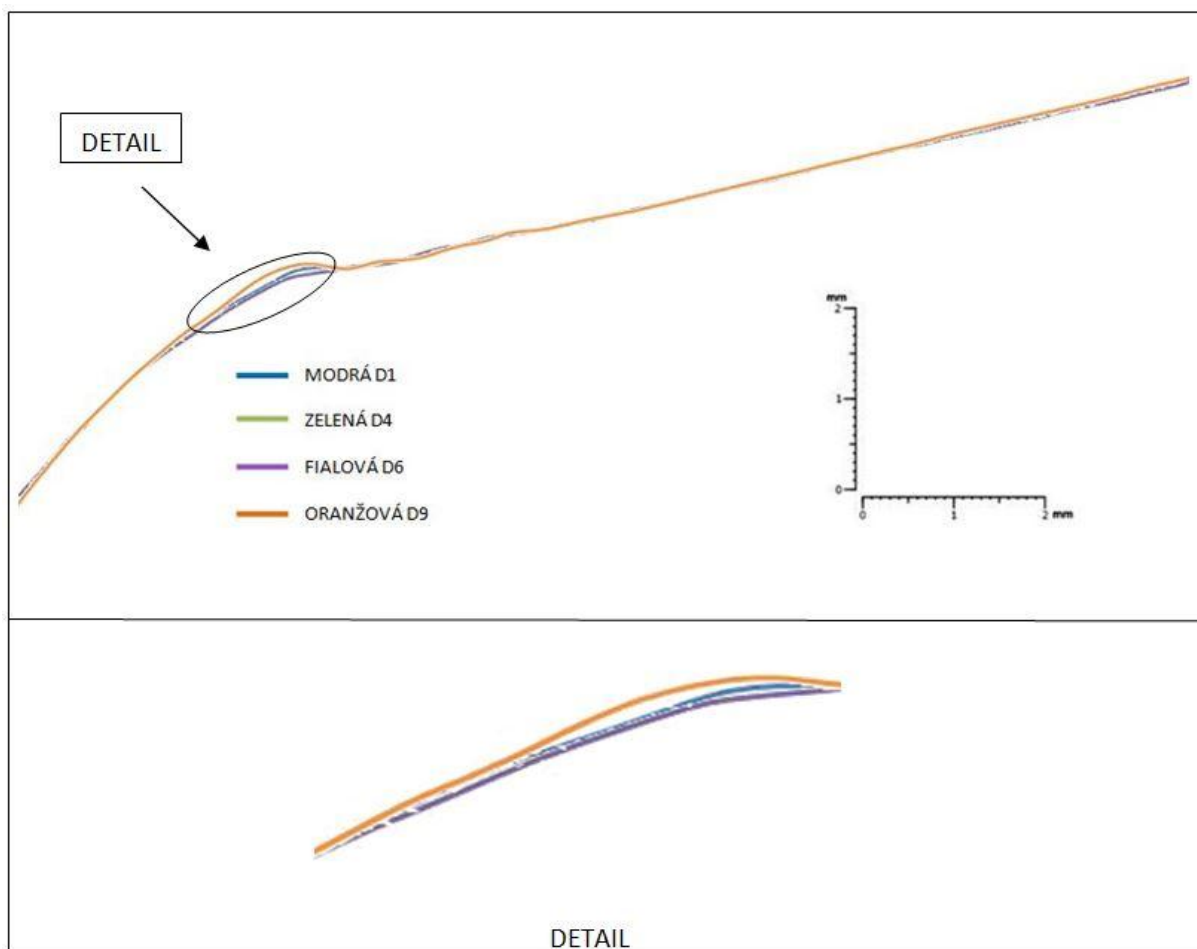
V případě měření výlisků řady D za pomoci 3D souřadnicového měřicího systému se postupovalo obdobně jako v případě tažníku D a tažníku S. Pro výlisky řady S se bude porovnávat geometrie pouze pro vzorky D1, D4, D6 a D9, a to ve třech řezech.

- Naměřené hodnoty řezu 1 pro výlisky D1, D4, D6 a D9



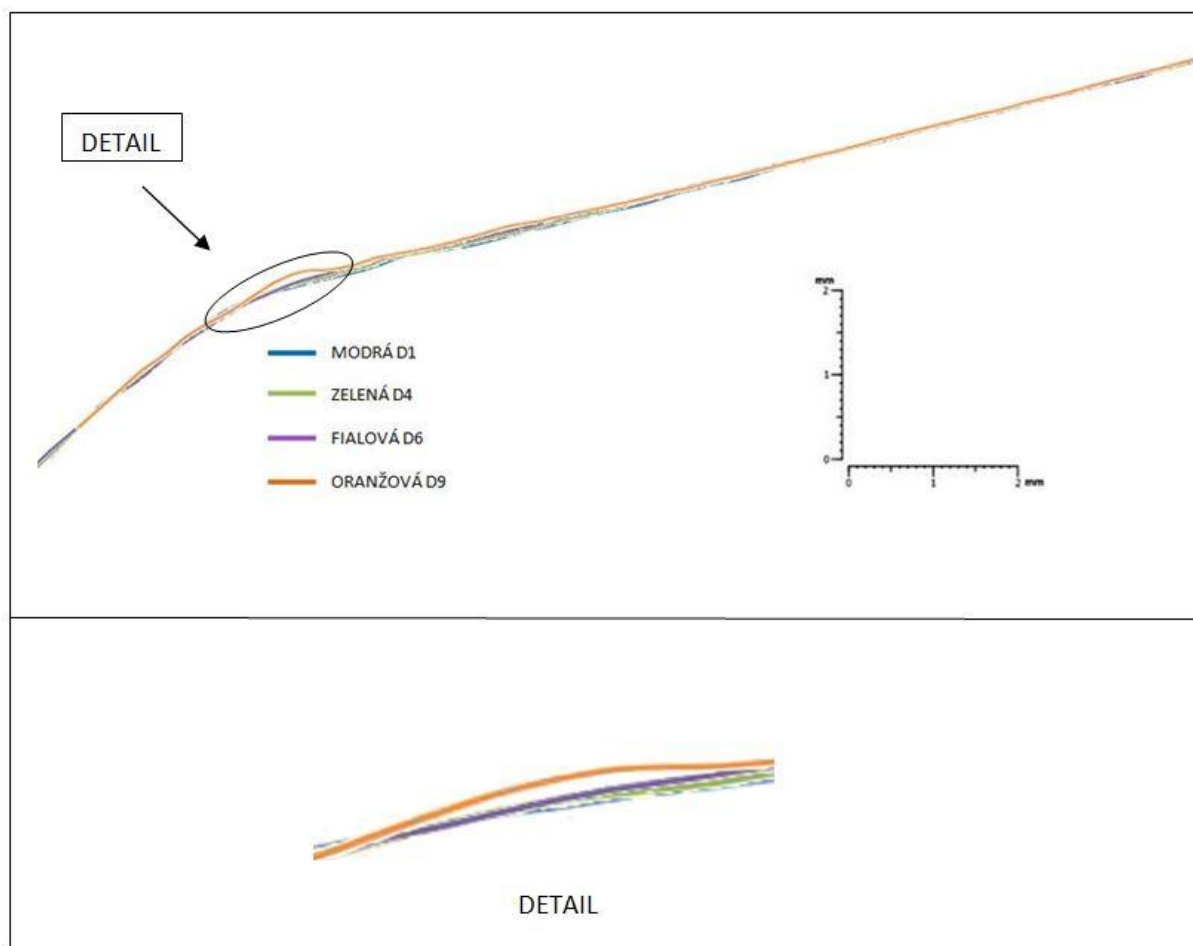
Obrázek 46

- Naměřené hodnoty řezu 2 pro výlisky D1, D4, D6 a D9



Obrázek 47

- Naměřené hodnoty řezu 3 pro výlisky D1, D4, D6 a D9



Obrázek 48

Při měření kusu D1 zřejmě došlo k špatnému odmaštění tohoto vzorku, což vedlo ke zkreslení průběhu měření, což je patrné na Obr. 46. Z tohoto důvodu došlo v řezu 1 k průběhu, který neodpovídají skutečnému stavu. Opakem je ale řez 2, kde dochází u výlisku D9 ke zdatelným změnám geometrie viz Obr. 47. V případě řezu 3 je to obdobné jako v případě řezu 2, kde dochází taktéž ke změně geometrie výlisku viz Obr. 48.

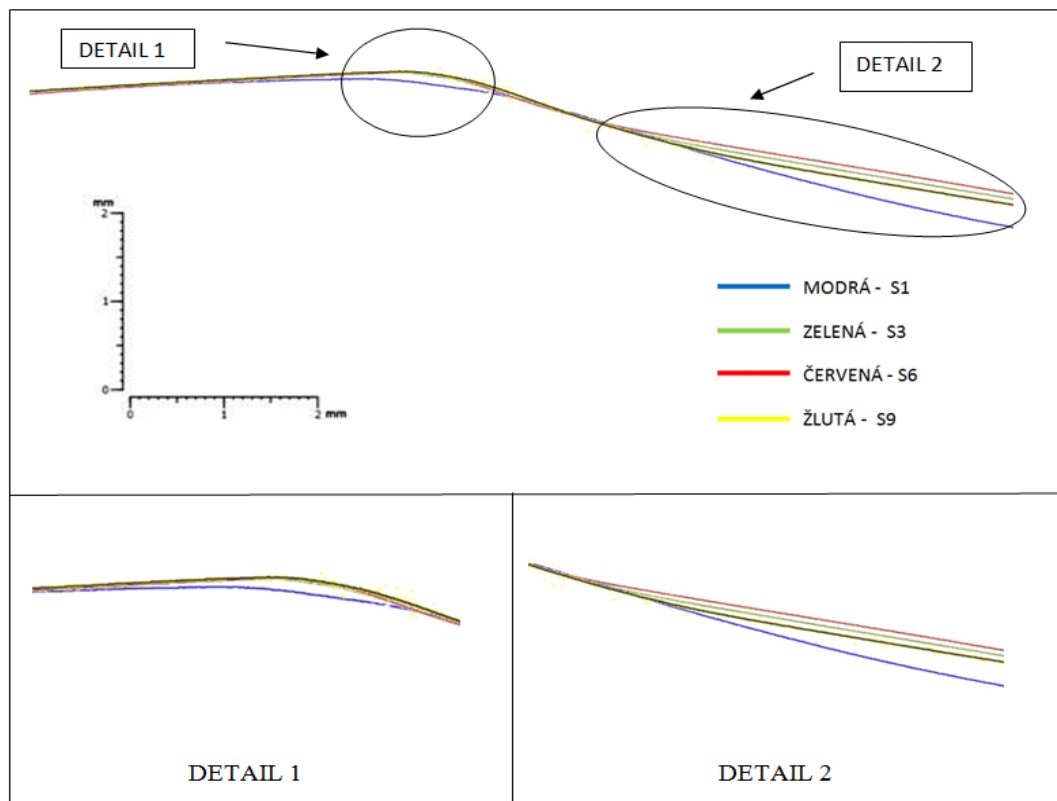
7.2 Analýza opotřebení výlisků řady S

- Konturograf

Pro vzorky řady S bylo vylisováno obdobně jako u vzorku řady D celkem 4500 kusů a na konturografu jsem proměřoval pouze vybrané vzorky, a to křivku pro výlisek S1

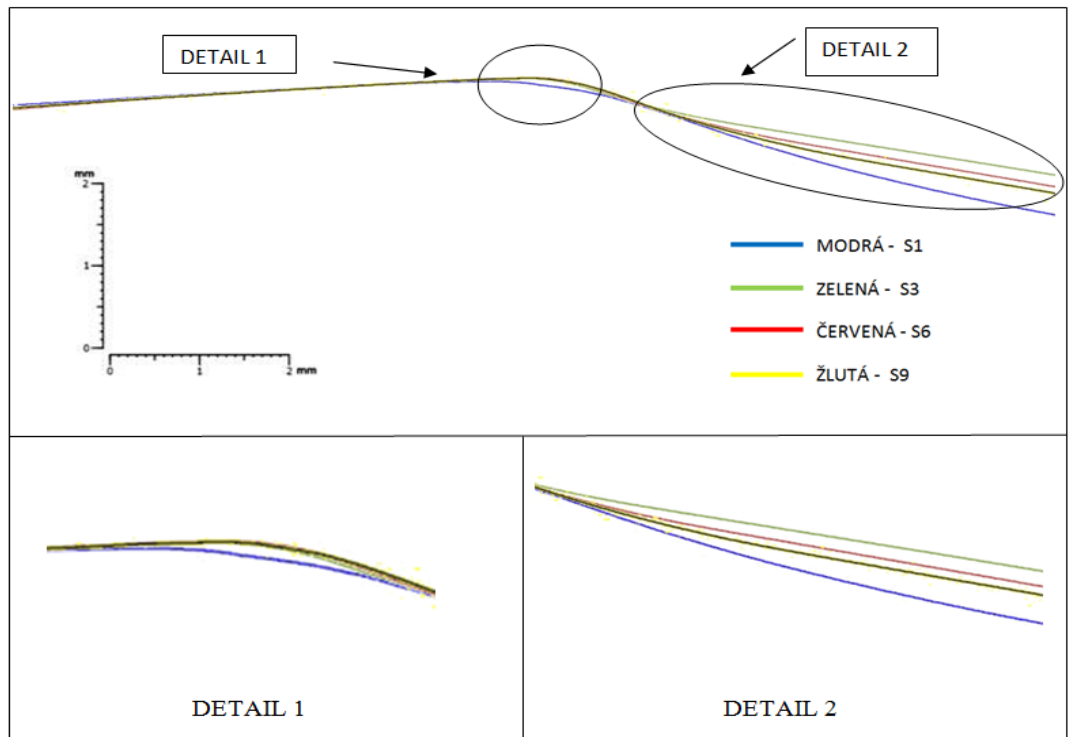
označeny modrou barvou, S3 označeny světle zelenou barvou, S6 označeny červenou barvou a S9 označeny žlutou barvou. Metody vyhodnocení jsou obdobné jako v případě výlisků řady D.

- Naměřené hodnoty vzorků S řezu 1 pro výlisky S1, S3, S6 a S9



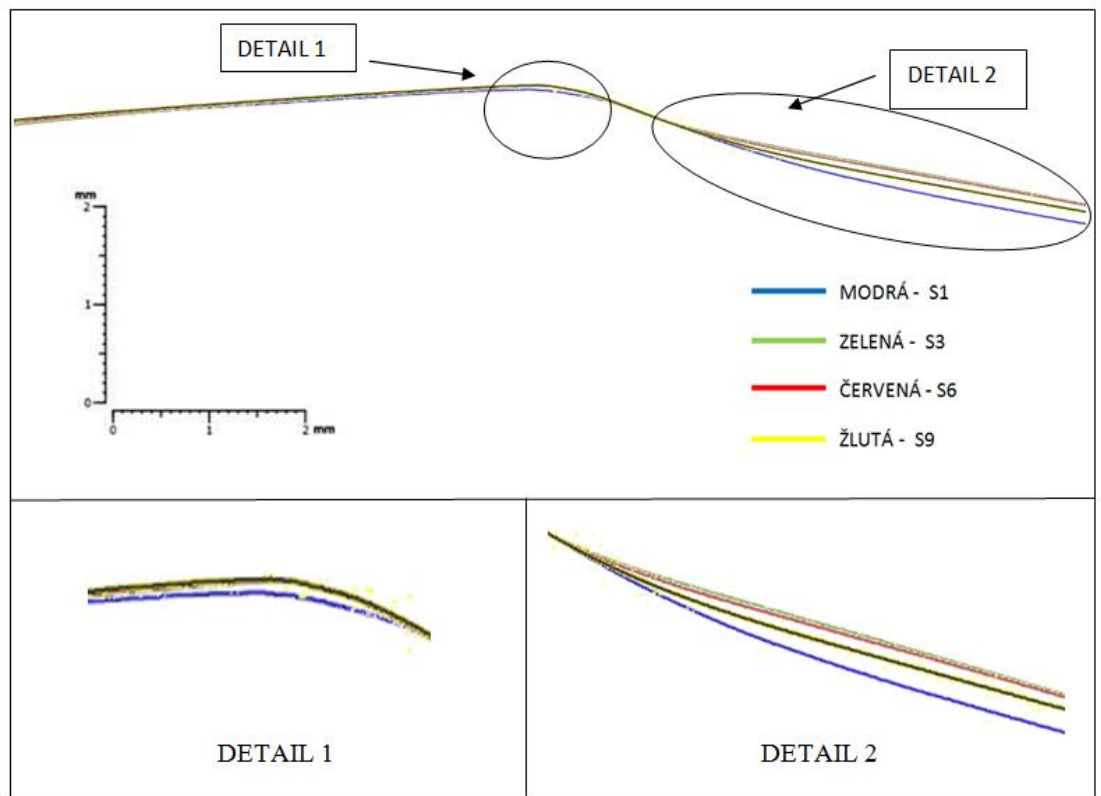
Obrázek 49

- Naměřené hodnoty vzorků S řezu 2 pro výlisky S1, S3, S6 a S9



Obrázek 50

- Naměřené hodnoty vzorků S řezu 3 pro výlisky S1, S3, S6 a S9



Obrázek 51

Z průběhu křivek DETAILU 1 viz Obr. 49, Obr. 50 a Obr. 51 je patrné, že největší rozdíl je mezi modrou křivkou a ostatními křivkami. Následně se průběh geometrie zpomaluje a pro výlisek S3 až po výlisek S9 se liší minimálně, přičemž největší změnu geometrie vykazuje žlutá křivka charakterizující výlisek S9. V případě detailu 2 viz Obr. 49, Obr. 50 a Obr. 51 je možné vidět odchylující se křivky, jedná se o stejný případ jako v případě vzorků D.

Vzorky řady D a řady S v kapitole 5 musely být zvětšeny, a to z důvodu viditelnosti naměřených rozdílů mezi těmito vzorky. V některých případech došlo k rozostření některých částí průběhu změřených vzorků. Bohužel vyhodnocení z konturografu umožňuje export do PDF souboru. Následně musí dojít k exportu na formát JPG, aby se dala nastavovat barva a průhlednost naměřených křivek. Po napojení jednotlivých měření na sebe vznikne jedna souvislá široká křivka, a to z důvodu malých rozdílů mezi jednotlivými měřeními. Díky zmíněnému zvětšení sice došlo k mírnému rozostření, ale za to k viditelnému průběhu jednotlivých křivek daných vzorků.

- 3D souřadnicový měřicí stroj

V tomto případě bohužel nebylo možné provést měření, a to z důvodu velkých odchylek mezi obecnou plochou a měřeným vzorkem. Obecná plocha je plocha, která má virtuální podobu ideálního výlisku. Pod pojmem ideální výlisek je myšlen výlisek odpovídající 3D modelu a výkresové dokumentaci. Tloušťky obecné plochy odpovídá tloušťce daného výlisku. Samotné měření se pak odvíjí právě od obecné plochy, kterou má jak tažník S a tažník D, tak i výlisek S a výlisek D. Následuje načtení příslušné plochy buď pro tažník nebo pro výlisek a spuštění měření. Souřadnicový stroj následně měří tažník nebo výlisek a udává odchylky od obecné plochy. Čím větší jsou odchylky mezi měřením a obecnou plochou, tak tím je menší přesnost měření. Souřadnicový stroj při měření vytváří normály k měřené ploše. Problematické jsou ostré rohy, kde je obtížné vytvořit normály k ploše. Mezi takovými ostrými plochy patří i ostré designové hrany. Bohužel v tomto konkrétním měření bylo obtížné vytvoření normály k ostré designové hraně, což mělo za následek velké rozdíly mezi měřenými výlisky a obecnou plochou. Z tohoto důvodu vznikala velká nepřesnost měření, a tím by došlo k výraznému zkreslení naměřených hodnot, jenž by neměly vypovídací hodnotu a negativně by ovlivnily výsledky měření, které by vedly k zavádějícímu vyhodnocení a závěrům.

7.3 Analýza povrchových změn

Na výliscích se po odlisování 750 kusů začaly objevovat známky zhoršení povrchu v oblasti ostré designové hrany. Zmíněná zhoršení povrchu jsou viditelná pod určitým úhlem a pod správným dopadem světla. Z výše uvedených důvodů není možné zhotovit snímek tohoto opotřebení, protože zinkový povrch je velmi lesklý, tvoří se odlesky, a zmíněné opotřebení tak není ze snímku jasně zřetelné. Se zvětšujícím se počtem odlisovaných kusů se opotřebení zvětšuje, je čím dál tím více viditelné i přes lesklost zinkového povrchu a je znatelné i při denním světle. Po odlisování 4500 kusů je povrchová vrstva poškozená tak, že není v některých místech již vůbec patrná. Na níže uvedených obrázcích Obr. 52 a Obr. 53 jsou vidět výše zmíněná opotřebovaná místa výlisku.



Obrázek 52



Obrázek 53

Důvodem proč došlo k poškození výlisku může být změna povrchové drsnosti na lisovacím nástroji. Bohužel i když je toto opotřebení viditelné lidským okem, tak použité měřicí systémy, konturograf a 3D souřadnicový měřicí stroj, nejsou schopny toto opotřebení zachytit a zdokumentovat pro potřebnou analýzu.

8. Závěr

Cílem mé diplomové práce bylo sledovat chování nástroje a tvaru výlisku z hlediska opotřebení v oblasti ostrých designových hran, určení faktorů, které negativně ovlivňují míru opotřebení tvářecího nástroje a následně doporučení vhodné metodiky lisování ostrých designových hran.

Moje diplomová práce je rozdělena na 2 části: teoretickou a praktickou. V teoretické části práce se zabývám základními principy výroby výlisku, popisuji faktory ovlivňující proces tváření, lisovací nástroj a jeho konstrukci, způsoby měření tvarových ploch a metodiku opotřebení designových hran.

Dále jsem popsal konstrukční řešení zkušebního nástroje, možné principy měření a zvláště jsem se věnoval principu měření pomocí konturografu a 3D souřadnicového měřicího stroje.

V praktické části jsem se zabýval analýzou hodnot nástroje a analýzou naměřených hodnot výlisku. V rámci práce byly odlisovány 3 výrobní dávky, každá dávka je tvořena souborem 1500 kusů. Na začátku, uprostřed a na konci každé výrobní dávky jsem provedl odebrání výlisku pro jeho proměření a každý výlisek byl popsán pro další jednoznačnou identifikaci. Po každé dávce došlo k vyjmutí tažníku. Výlisky a tažník byl proměřen pomocí konturografu a 3D souřadnicového měřicího stroje.

Naměřená data jsem zpracoval a vyhodnotil v kapitolách 6. a 7., které řeší analýzu měření hodnot nástroje a výlisku. V případě měření opotřebení výlisku řady S, nebylo možno vyhodnotit měření pomocí skenovacího měřicího systému 3D, protože došlo k velkým odchylkám mezi obecnou plochou a výlisky řady S, což mělo za důsledek velkou nepřesnost měření a vedlo by k zavádějícímu vyhodnocení a závěrům. Doporučuji proto v měření pokračovat, provést další sérii měření, kterou nyní z časových důvodů nebylo možné realizovat.

Doporučení do budoucna: ukazuje se, že počet 1500 ks není dostačující pro měřitelné hodnoty opotřebení. Pro určení míry opotřebení je nutné zvětšit počet kusů v dávce minimálně na dvojnásobek a pokračovat v dalších experimentech.

Na povrchu výlisku jsou však patrné změny, které jsem popsal v kap. 7.3. Je třeba se zabývat důvody, které k těmto defektům vedou a možnostem, jak tyto vady kvantifikovat.

Domnívám se, že tyto vady mohou být způsobeny změnou povrchové drsnosti na nástroji. I když jsou vady viditelné okem, použité měřicí systémy nejsou schopny tyto vady zdokumentovat.

9. Použité zdroje a literatura

Seznam použité literatury:

- [1] RYBKA, Pavel. Analýza malých deformací v plošném tváření. Praha, 2014. Bakalářská Práce. ČVUT FS.
- [2] *Strojírenské materiály*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. 97 s. ISBN 80-01-02798-8.
- [3] Technologie tváření. In: *Technologie tváření - základní znalosti* [online]. 2014. 4 s. [cit. 2014-06-19]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~sbenesov/Skriptatvareni.pdf>
- [4] Ústav strojírenské technologie- obor tváření. In: *Zjišťování anizotropie z tahové zkoušky*[online]. 2014. 1 s. [cit. 2014-06-19]. Dostupné z:http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMTV/6_anizotropie.pdf
- [5] SVITÁK, Martin. Návrh technologie výroby plechového dílce karoserie automobilu. Brno, 2009. Diplomová Práce. VUT FSI.
- [6] Tensile Testing (2). OHOI: ASM International, Ohio, 2004. ISBN 9780871708069
- [7] ZÁŠKODA, David. ZJIŠŤOVÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ TVÁŘENÝCH MATERIÁLŮ[online]. Brno, 2008. 10 s. [cit. 2014-06-19]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/12687/2008_BP_Zaskoda_David_76054.pdf?sequence=1. Bakalářská. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [8] Plošné tváření. In: *Tvařitelnost materiálu a nekonvenční metody tváření* [online]. 2014. 13 s. [cit. 2014-06-19]. Dostupné z:http://www.345.vsb.cz/jirihruby/TNMTV/sylaby/03_TMNM_sheetform2.pdf
- [9] 9. Technologie plošného tváření - Stříhání. Kvalifikace strojař / stavař [online]. 2016 [cit. 2016-08-09]. Dostupné z: <http://kvalifikace.sosasource.cz/9-technologie-plosneho-tvareni-strihani/>
- [10] TATÍČEK, František a Tomáš PILVOUSEK. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum*. 17.5.2010, 72.

- [11] KUŠOVÁ, Tereza. Již 125 let můžeme řídit motorový vůz. *Novinky.cz*[online]. 2011 [cit. 2016-08-04]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/veda-skoly/historie/222787-jiz-125-let-muzeme-ridit-motorovy-vuz.html>
- [12] HOUČEK, Martin. Studium kvality střížné plochy v závislosti na typu materiálu. Pardubice, 2012. Diplomová Práce. Univerzita Pardubice Dopravní Fakulta Jana Pernera.
- [13] *Technologie 2 - 1. část, (tváření kovů)*. Liberec: Vysokoškolský podnik, spol. s.r.o, Liberec, 2009. 92-93 s. ISBN 978-80-7372-466-5.
- [14] MARCINIAK, Z., J. L. DUNCAN a S. J. HU. Mechanics of sheet metal forming. 2nd ed /. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002.
- [15] VALČÍK, Jan. Moderní metody ohýbání plechů. Brno, 2008. 18 s. Bakalářská Práce. VUT FSI.
- [16] HULÍN, Radek. Chování nástrojů při výrobě výlisků v oblastech designových hran. Praha, 2014. Diplomová Práce. ČVUT FS.
- [17] M. Forejt a M. Píška, Teorie obrábění, tváření a nástroje, Brno: CERM, 2006.
- [18] ČADA, Radek. *Technologie I: plastická deformace kovů, objemové tváření zastudena, tažení plechu, ohýbání*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-2108-5
- [19] M. Dvořák, F. Gajdoš a K. Novotný, Technologie tváření - plošné a objemové tváření, Brno: CERM, 2007
- [20] BŘEZINA, Richard a Jiří PETRUŽELKA. *Úvod do tváření II*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002. ISBN 80-248-0068-3.
- [21] Technologie tváření. In: *Technologie tváření - základní znalosti* [online]. 2014. 1 s. [cit. 2014-06-19]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~sbenesov/Skriptatvareni.pdf>
- [22] Technologie tváření. In: *Technologie tváření - základní znalosti* [online]. 2014. 22 s. [cit. 2014-06-19]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~sbenesov/Skriptatvareni.pdf>
- [23] *Teorie a technologie tváření I*. BRNO: Vydavatelské oddělení UO, Brno, 2008. 11 s. ISBN 978-80-7231-579-6.

- [24] Nauka o materiálu: Struktury kovových materiálů [online]. Praha [cit. 2016-08-11].
- [25] Katedra tváření kovů a plastů - *Skripta* [online]. 2016 [cit. 2016-08-11]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
- [26] *Teorie a technologie tváření 1*. BRNO: Vydavatelské oddělení UO, Brno, 2008. 36 s. ISBN 978-80-7231-579-6.
- [27] Technologie plošného tváření: Stříhání. *Katedra strojírenské technologie TUL* [online]. [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
- [28] 9.1 Princip stříhání. Kvalifikace strojař / stavař [online]. 2016 [cit. 2016-08-09]. Dostupné z: <http://kvalifikace.sosasource.cz/9-technologie-plosneho-tvareni-strihani/>
- [29] HOUČEK, Martin. Studium kvality střížné plochy v závislosti na typu materiálu. Pardubice, 2012. 14 s. Diplomová Práce. Univerzita Pardubice Dopravní Fakulta Jana Pernera.
- [30] Technologie tváření. In: *Technologie tváření - základní znalosti* [online]. 2014. 95 s. [cit. 2014-06-19]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~sbenesov/Skriptatvareni.pdf>
- [31] Technologie tváření. In: *Technologie tváření - základní znalosti* [online]. 2014. 96 s. [cit. 2014-06-19]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~sbenesov/Skriptatvareni.pdf>
- [32] VALČÍK, Jan. Moderní metody ohýbání plechů. Brno, 2008. 18 s. Bakalářská Práce. VUT FSI.
- [33] *Technologie 2 - 1. část, (tváření kovů)*. Liberec: Vysokoškolský podnik, spol. s.r.o, Liberec, 2009. 94 s. ISBN 978-80-7372-466-5.
- [34] *Technologie 2 - 1. část, (tváření kovů)*. Liberec: Vysokoškolský podnik, spol. s.r.o, Liberec, 2009. 94 s. ISBN 978-80-7372-466-5.
- [35] *Návrh tvářecích nástrojů s využitím CAx systémů pro letecký průmysl* [online]. 2016 [cit. 2016-08-12]. Dostupné z: <http://www.cad.cz/component/content/article/4037.html>
- [36] MRÁZEK, David. *Ověření určování velikosti deformací pomocí systému ARGUS*. Praha, 2015. Diplomová Práce. ČVUT FS.

- [37] ČSN EN 10027-1 - *Náhled* [online]. [cit. 2016-08-12]. Dostupné z: http://csnonlinefirmy.unmz.cz/html_nahledy/42/75628/75628_nahled.htm
- [38] www.arcelormittal.com [online]. 2010 [cit. 2011-03-28]. ArcelorMittal. Dostupné z WWW: <http://www.arcelormittal.com/automotive/products/europe/sheets/catalogue.pl?fn=list&language=EN>.
- [39] www.sjf.tuke.sk [online]. 2008 [cit. 2011-03-28]. Moderne koncipované ocele použité pri výrobe automobilovej karosérie. Dostupné z WWW: <http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/122008/pdf/106-109.pdf>.
- [40] www.worldautosteel.org [online]. 2009 [cit. 2011-03-28]. Advanced high strength steel (AHSS) application guidelines. Dostupné z WWW: <http://www.worldautosteel.org/uploaded/AHSS%20Application%20Guidelines%204-1%20June%202009.pdf>.
- [41] *ArcelorMittal Automotive Worldwide* [online]. 2016 [cit. 2016-08-12]. Dostupné z: <http://automotive.arcelormittal.com/europe/products/HYTSS/IF/EN>
- [42] ŘÁDA, Aleš. *Návrh nástroje pro výrobu tvarových přístřihů*. Brno, 2010. Diplomová Práce. VUT .
- [43] MECU, Jan. *Sledování životnosti nástroje s ostrou designovou hranou*. Praha, 2015. Diplomová Práce. ČVUT FS.
- [44] *Současná měřicí a kontrolní technika* [online]. 2016 [cit. 2016-08-12]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/soucasna-merici-a-kontrolni-technika.html>
- [45] *Snímací technologie* [online]. 2016 [cit. 2016-08-12]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/snimaci-technologie.html>
- [46] *MSV 2012: Zlatá medaile pro senzorovou hlavu měřicího stroje Accura II » PRUMYSL.cz* [online]. 2012 [cit. 2016-08-12]. Dostupné z: <http://www.prumysl.cz/msv-2012-senzorova-hlava-souradnicoveho-mericiho-stroje-accura-ii-ocenena-zlatou-medaili/>
- [47] *Měřicí technika ve strojírenství* [online]. 2016 [cit. 2016-08-12]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/merici-technika-ve-strojirenstvi.html>

[48] *Měření a kontrola forem a nástrojů přímo na obráběcích stroji* [online]. 2016 [cit. 2016-08-12]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/mereni-a-kontrola-forem-a-nastroju-primo-na-obrabecim-stroji.html> (text)

10. Seznam obrázků

Obrázek 1 Deformace hranolu[22].....	14
Obrázek 2 Schéma šíření hranové dislokace z levé strany monokrystalu na pravou a její anihilace [24].....	14
Obrázek 3 Schéma vzniku a šíření šroubové dislokace z pravé strany monokrystalu na levou a její anihilace [24].....	15
Obrázek 4 Vzorec - Součinitel plastické anizotropie [4]	16
Obrázek 5 Index tvařitelnosti [25]	17
Obrázek 6 Princip stříhání pomocí stříhadla [27]	18
Obrázek 7 Deformační pásma při stříhání [28] 1 – pásmo zaoblení (elastická deformace), 2 – pásmo utržení, 3 – pásmo smyku (plastické deformace), 4 – pásmo odtlačení	18
Obrázek 8 – Šíření trhlin materiálem za různých střížných vůlí [29]	19
Obrázek 9 Průběh tažení [8].....	20
Obrázek 10 Princip jednoduchého tažení [31]	20
Obrázek 11 Zvlnění plechu [33].....	23
Obrázek 12 Tažení s přidržovačem a bez přidržovače [35]	24
Obrázek 13 Lisovací nástroj.....	30
Obrázek 14 Spodní část nástroje [16]	32
Obrázek 15 Spodní část nástroje	32
Obrázek 16 Řez spodní části nástroje [16].....	33
Obrázek 17 Horní část nástroje [16]	35
Obrázek 18 Řez horní části nástroje[16]	35
Obrázek 19 Horní část nástroje	36
Obrázek 20 Princip měření [45]	39
Obrázek 21 Skenovací hlava [46]	40
Obrázek 22 Měření dotykem [43]	43
Obrázek 23 Princip měření konturografu [43]	44
Obrázek 24 – Rám spodní části nástroje Obrázek 25 - Přidržovač	47
Obrázek 26 – Horní část nástroje	47
Obrázek 27 Řezy	51
Obrázek 28 Měření tažníku konturografem	51
Obrázek 29 Schéma měření výlisku.....	52

Obrázek 30 Průběh měření konturografem	52
Obrázek 31 Znárodnění měření 3Dskenovacím dotykovým měřením.....	54
Obrázek 32	55
Obrázek 33	55
Obrázek 34	56
Obrázek 35	56
Obrázek 36	57
Obrázek 37	57
Obrázek 38	58
Obrázek 39	58
Obrázek 40	59
Obrázek 41	60
Obrázek 42	61
Obrázek 43	61
Obrázek 44	62
Obrázek 45	62
Obrázek 46	63
Obrázek 47	64
Obrázek 48	65
Obrázek 49	66
Obrázek 50	67
Obrázek 51	67
Obrázek 52	Obrázek 53
	69

11. Seznam příloh na CD

- Příloha 1 - Specifikace hydraulického lisu PYE 250
- Příloha 2 - Protokoly měření na konturografu
- Příloha 3 - Data naměřená na 3D souřadnicovém měřícím stroji