

Jakost nových tvářecích technologií výroby otvorů.

Bc. Zbyněk Tesařík

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Zbyněk Tesařík**

Osobní číslo: **T11039**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Jakost nových tvářecích technologií výroby otvorů**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte studium teorie a technologie tváření
2. Hodnoťte metody hodnocení jakosti povrchů
3. Navrhněte technologii výroby otvorů stříháním
4. Provedte konstrukci měřidla pro hodnocení jakosti děr
5. Hodnoťte přínos řešení pro praxi

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Kocman, K.: Technologie obrábění. CERM Brno. 2011. ISBN 80-214-3068-0
2. Lukovics, I.: Konstrukční materiály a technologie. VUT Brno. 1990. ISBN 80-214-0399-3
3. Neslušan, M. aj.: Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní. EDIS Žilina. 2007. ISBN 978-8070-711-8

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Imrich Lukovics, CSc.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **8. února 2013**

Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

(3) ¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

(4) ²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(5) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

(6) ³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

- (1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.
- (2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.
- (3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem této práce je navrhnout optimální technologické podmínky pro výrobu otvorů pomocí postupného vystřihování na CNC vystřihovacím lisu a navrhnout konstrukci přístroje na měření kruhovitosti.

Klíčová slova: vystřihovací lis, střížník, střížnice, matrice, vystřihování, niblování

ABSTRACT

The aim this work is suggest optimum technological conditions for production nibbling holes on **CNC machines** and suggest construction roundness metering apparatus.

Keywords: Lunch press, punching tool, blanking die, nibbling.

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce prof. Ing. Imrichu Lukovicsovi, CSc. za cenné rady a konzultace spojené s touto prací.

Dále chci poděkovat kolektivu firmy Kovostal, s.r.o. Jarošov za poskytnutí pomoci při realizaci série experimentů.

Velký dík patří mé rodině a přátelům za podporu během celého studia, kteří se tak nepřímou, ale neméně významně přičinili k vzniku této diplomové práce.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval a že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně 29.4.2013

.....

Podpis

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 TVÁŘENÍ.....	12
1.1 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ - ROZDĚLENÍ.....	12
1.1.1 Tvářecí procesy podle teploty	12
1.1.2 Tvářecí procesy podle tepelného efektu.....	13
1.1.3 Tvářecí procesy podle stupně deformace	14
1.1.4 Tvářecí procesy podle působení vnějších sil.....	14
2 STRÍHÁNÍ.....	15
2.1 STRÍŽNÝ PROCES	18
2.1.1 Střížná síla.....	19
2.1.2 Střížná vůle.....	20
2.1.3 Přistříhování	22
2.2 TVÁŘECÍ OPERACE NA CNC VYSTŘIHOVACÍCH LISECH	23
2.2.1 Konstrukce CNC vystřihovacího lisu.....	23
2.2.2 Konstrukce vystřihovacího nástroje	24
2.2.3 Postupné vystřihování - Niblování.....	25
2.2.4 CNC plošné tváření – názvosloví.....	26
3 JAKOST.....	27
3.1 HODNOCENÍ JAKOSTI POVRCHU	27
3.2 INTEGRITA POVRCHU	27
3.2.1 Složky integrity povrchu	28
3.3 MĚŘENÍ JAKOSTI POVRCHU	28
3.3.1 Profil povrchu.....	28
3.4 MĚŘENÍ DRSNOSTI.....	30
3.4.1 Porovnávání s etalony	30
3.4.2 Dotykové profilometry.....	31
3.4.3 Metoda světelného řezu.....	32
3.4.4 Interference světla	32
3.5 MĚŘENÍ GEOMETRICKÉ PŘESNOSTI.....	33
3.5.1 Měření geometrických úchylek.....	33
3.5.2 Přehled zavedených geometrických tolerancí.....	34
3.5.3 Definice kruhovitosti.....	35
3.5.4 Měření a vyhodnocování kruhovitosti	35
3.5.5 Souřadnicové měřicí stroje.....	37
4 SHRUTÍ A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	40
II PRAKTICKÁ ČÁST	41
5 PODMÍNKY EXPERIMENTU	42

5.1	TECHNOLOGICKÉ PODMÍNKY	42
5.2	TECHNICKÉ PARAMETRY VYSTŘIHOVACÍHO STROJE EUROPE 245.....	43
5.3	HODNOCENÍ OTVORŮ	44
5.4	MĚŘICÍ PROTOKOL	45
6	PŘÍSTROJ K MĚŘENÍ KRUHOVITOSTI.....	46
6.1	KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ.....	46
6.2	MĚŘENÍ KRUHOVITOSTI – POSTUP	49
7	PROVEDENÍ EXPERIMENTU	53
7.1	PROCESNÍ KŘIVKA	53
7.2	PŘEDDĚROVÁNÍ.....	55
7.3	VYSTŘIHOVANÁ TŘÍSKA – PARAMETRY	56
8	HODNOCENÍ ZÍSKANÝCH DAT	57
8.1	VYHODNOCENÍ I. – VLIV DOLNÍHO SRPKU	57
8.2	VYHODNOCENÍ II. – VLIV TĚLA TŘÍSKY	59
8.3	VYHODNOCENÍ III. – VLIV HORNÍHO SRPKU	63
8.4	NÁRŮST OTVORU VLIVEM PŘÍČNÝCH SIL	65
8.5	OPTIMÁLNÍ TECHNOLOGICKÉ PODMÍNKY	65
8.6	VLIV SÍLY MATERIÁLU NA ROZMĚROVÉ PARAMETRY VYSTŘIHOVANÉ DÍRY	67
8.7	APLIKACE OPTIMÁLNÍCH TECHNOLOGICKÝCH PODMÍNEK	68
8.7.1	Porovnání měřicích metod	68
8.7.2	Další charakteristiky finálních otvorů	69
	ZÁVĚR	71
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	72
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	74
	SEZNAM OBRÁZKŮ	75
	SEZNAM TABULEK.....	77
	SEZNAM PŘÍLOH.....	78

ÚVOD

V oblasti zpracování tenkostěnných výrobků a plechů jsou v současné době velmi výrazně zastoupeny vystřihovací a děrovací CNC stroje. Jedná se o tradiční ale stále velmi efektivní způsob výroby tenkostěnných výrobků. Určitým omezením pro tento druh tváření představuje tvorba jiného průměru či tvaru než je střížník. Díky CNC řízení se tato problematika řeší pomocí postupného stříhání (neboli niblováním) menším střížníkem a kopírování obrysu požadovaného tvaru. Pokud je tvar tvořený rovnými plochami, lze tímto způsobem relativně snadno docílit požadovaného tvaru. Problém nastává v okamžiku, kdy se vyráběný obrys skládá z rádiusů, či když se jedná přímo o otvor kruhového průřezu a patřičný nástroj není k dispozici.

Postupným stříháním pak lze dosáhnout požadovaného tvaru, ale špatnou volbou technologických podmínek vykazuje střížný okraj větší hodnoty rozměrových odchylek, případně i odchylek od předepsané geometrie prvku.

Tyto podmínky nelze snadno určit a tak se toto v minulosti řešilo dokončovacími operacemi a tyto problematické kontury se vyráběly s příslušným přídavkem na obrábění. Vzhledem k dnešnímu tlaku na cenu je však snahou vyrábět v přijatelné kvalitě bez využití dalších výrobních operací.

Běžně zaužívanou praxí je zkusmo zvolit libovolně zvolený střížník, následně měnit střížný krok a korekcemi nástroje dosahovat požadované jakosti prvku. V případě neúspěchu se toto zkouší se střížníkem jiného průměru za stejných či různých výrobních podmínek, až do okamžiku, kdy je obrys kvalitativně v pořádku. Jedná se tedy o metodiku postavenou na principu pokus – omyl.

Cílem této práce je zdokumentovat tuto problematiku a nahradit nynější systém náhodného hledání systémovým řešením, které by pomohlo najít optimální výrobní podmínky k výrobě požadovaného tvaru už v rámci TPV. Sekundárním cílem této práce je navrhnout způsob vyhodnocování jakosti vystřihovaných otvorů v dílenských podmínkách.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TVÁŘENÍ

Tvářením kovů dochází k požadované změně tvaru výrobku nebo polotovaru, eventuálně vlastností, v důsledku působení vnějších sil bez odběru třísek. Vznik plastických deformací bez tvorby třísky je charakteristický pro tento proces, ke kterému dojde v okamžiku dosažení napětí nad mez kluzu pro zpracovávaný materiál. Děj je provázen fyzikálními změnami za současných změn struktury materiálu, které ovlivňují mechanické vlastnosti materiálu.

Vysoká produktivita práce, využití materiálu a rozměrová přesnost výrobků vyrobených tvářením patří k zásadním výhodám. Cena strojů a nástrojů, stejně jako omezení rozměry tvářeného výrobku, patří zase k nevýhodám [16].

1.1 Technologie tváření - rozdělení

Technologie tváření lze dělit podle:

1. teploty
2. tepelného efektu
3. stupně dosažené deformace
4. podle působení vnějších sil

1.1.1 Tvářecí procesy podle teploty

Tváření za studena

Jedná se o tváření pod rekryalizační teplotou. Teplota tváření je obvykle pod 30% teploty tání materiálu.

Dochází při něm ke zpevnování materiálu až do vyčerpání plastičnosti materiálu. Zpevněním se zvýší mez pevnosti a kluzu za současného poklesu tažnosti.

Zahřátím kovu se obnovují deformační schopnosti a kov získává opět schopnost být plasty tvářen.

Tváření za tepla

Probíhá nad rekrytalizační teplotou, kdy zpevnění způsobené tvářením mizí již v průběhu tváření či bezprostředně poté. Teplota tváření bývá nad hodnotou 70 % teploty tání materiálu. Materiál se už nezpevňuje, takže k tváření stačí síly mnohdy až desetkrát menší, než v případě tváření za studena.

Textura povrchu může vzniknout, ale nemusí, nicméně povrch je nekvalitní vlivem okujení, obsahující hrubé zrno, což způsobuje problémy u dalších technologických operací.

Jedná se o poměrně zdlouhavý a nákladný proces, na druhé straně však dochází k odstranění trhlin, bublin, atd.

Tváření za poloohřevu

Tváření za poloohřevu je kompromis mezi tvářením za studena a za tepla. Důvodem je zlepšení přetvárných vlastností oproti tváření za studena a dosažení lepších mechanických, fyzikálních vlastností, přesnosti a jakosti povrchu.

1.1.2 Tvářecí procesy podle tepelného efektu

Tváření izotermické

Je tváření, kdy veškeré vyvinuté teplo je odvedeno do okolí a teplota tvářeného kovu se nemění. Deformace je dostatečně pomalá.

Tváření adiabatické

Je proces tváření, při kterém veškeré teplo zůstane v materiálu a dojde ke zvýšení teploty kovu. Deformace je extrémně vysoká.

Tváření polytropické

Je způsob tváření, u kterého se část tepla odvede do okolí a část tepla zůstane v tvářeném materiálu. Jedná se o nejčastější případ [16].

1.1.3 Tvářecí procesy podle stupně deformace

Tvářecí procesy podle stupně deformace dělíme na:

- a. procesy, kdy tlak mezi nástrojem a materiálem je malý, ke vzniku deformace jsou potřeba malé síly a povrch volného materiálu je výrazně větší, než povrch, který je ve styku s nástrojem (např. volné kování)
- b. procesy, kdy tlak mezi nástrojem a materiálem je velký, ke vzniku deformace jsou potřeba velké síly a povrch volného materiálu je přibližně stejný jako povrch, který je ve styku s nástrojem (např. zápusťkové kování)
- c. procesy, kdy tlak mezi nástrojem a materiálem je velmi vysoký, ke vzniku deformace jsou potřeba značně velké síly a povrch volného materiálu je menší, než povrch, který je ve styku s nástrojem (např. protlačování) [16]

1.1.4 Tvářecí procesy podle působení vnějších sil

Tváření objemové

Při tomto tváření deformace nastává ve směru všech tří os souřadného systému. Radíme sem tažení drátů, válcování, kování, protlačování.

Tváření plošné

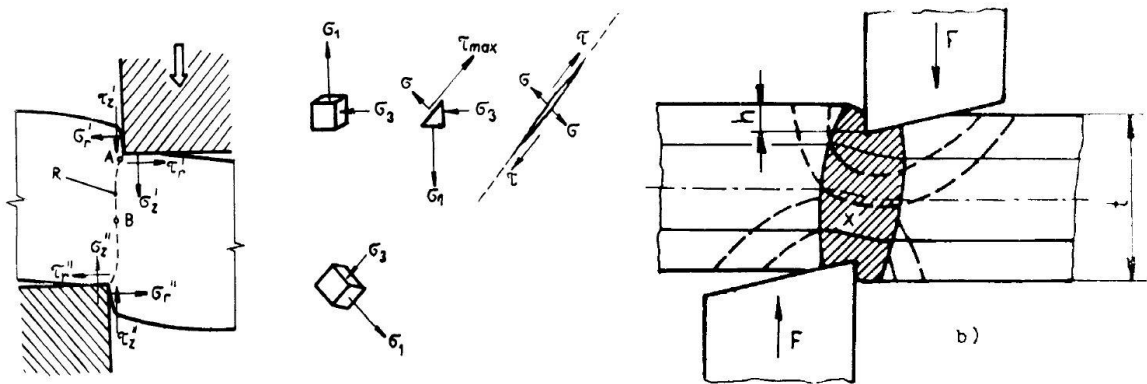
Během plošného tváření převládají deformace ve dvou směrech. Radíme sem ohýbání, tažení, stříhání.

2 STŘÍHÁNÍ

Stříhání řadíme z technologického hlediska mezi plošné tváření. Tento proces se vyznačuje oddělováním materiálu smykovým namáháním mezi střížnými hranami. Toto se odehrává současně po celé délce stříhu nebo postupně.

K největšímu přetvoření dochází na střížných hranách, směrem do materiálu se deformace zmenšuje. Při prostupu střížného nože do záběru se tvářitelnost materiálu vyčerpá a dojde k porušení jeho soudržnosti.

Normálové tahové napětí σ v rovině τ max vzniklé trhlinky rozšiřuje a ustřížení podporuje.

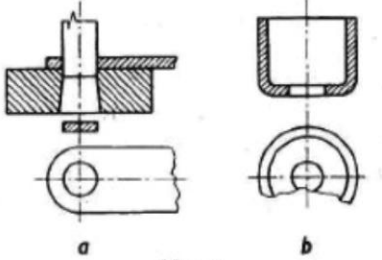
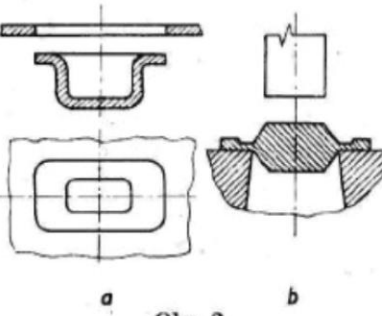
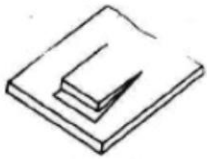
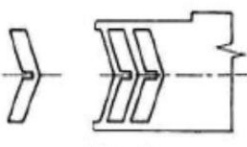
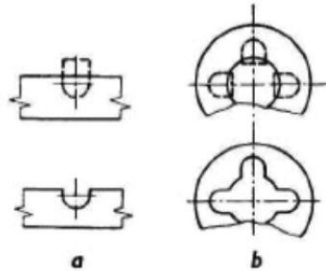


Obr. 1 Napěťový stav a rozložení tlaků v oblasti stříhu [2]

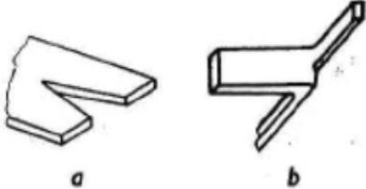
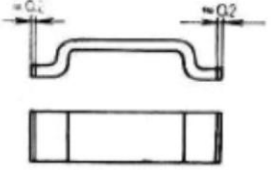
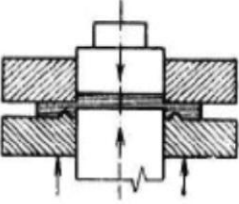
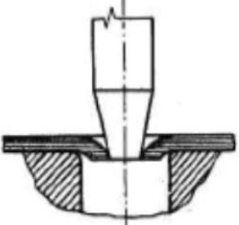
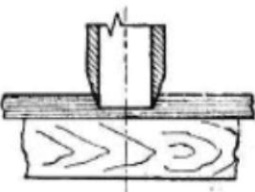
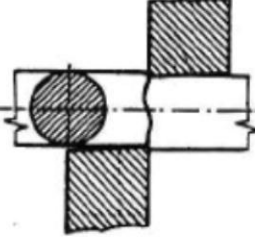
Stříhání je nejrozšířenější operací tváření. Používá se jednak na přípravu polotovaru (stříhání tabulí nebo svitků plechů, stříhání profilů, apod.), jednak na vystřihování součástí z plechu buď pro konečné použití nebo pro výrobky na další technologie (ohýbání, protlačování, tažení, atd.) a jednak na dokončovací nebo pomocné operace. Kromě klasického stříhání existují i další operace, které se nazývají podle způsobu odstraňování materiálu. Patří sem děrování, vystřihování, ostřihování, přistřihování, atd. [15].

Tvářecí operace jsou popsány normou, jejichž výběr je zaznamenán v tabulce č. 1.

Tabulka 1 Stříhací operace [23]

Operace	Schéma	Definice
děrování	 <p style="text-align: center;">Obr. 1.</p>	<p>Vytváření otvorů různých tvarů. Vystřižená část tvoří odpad.</p>
ostříhování	 <p style="text-align: center;">Obr. 2.</p>	<p>Oddělování přebytečného materiálu po obvodu součástí.</p>
prostříhování	 <p style="text-align: center;">Obr. 3.</p>	<p>Částečné oddělení materiálu v libovolném tvaru uvnitř dílce.</p>
vystřihování	 <p style="text-align: center;">Obr. 4.</p>	<p>Zhotovení výstřižku oddělením od materiálu po uzavřeném obrysu. Vystřižená část tvoří výrobek.</p>
vystřihování zářezu	 <p style="text-align: center;">Obr. 5.</p>	<p>Oddělování částí v okraji i uvnitř materiálu. Vystřižená část tvoří odpad.</p>

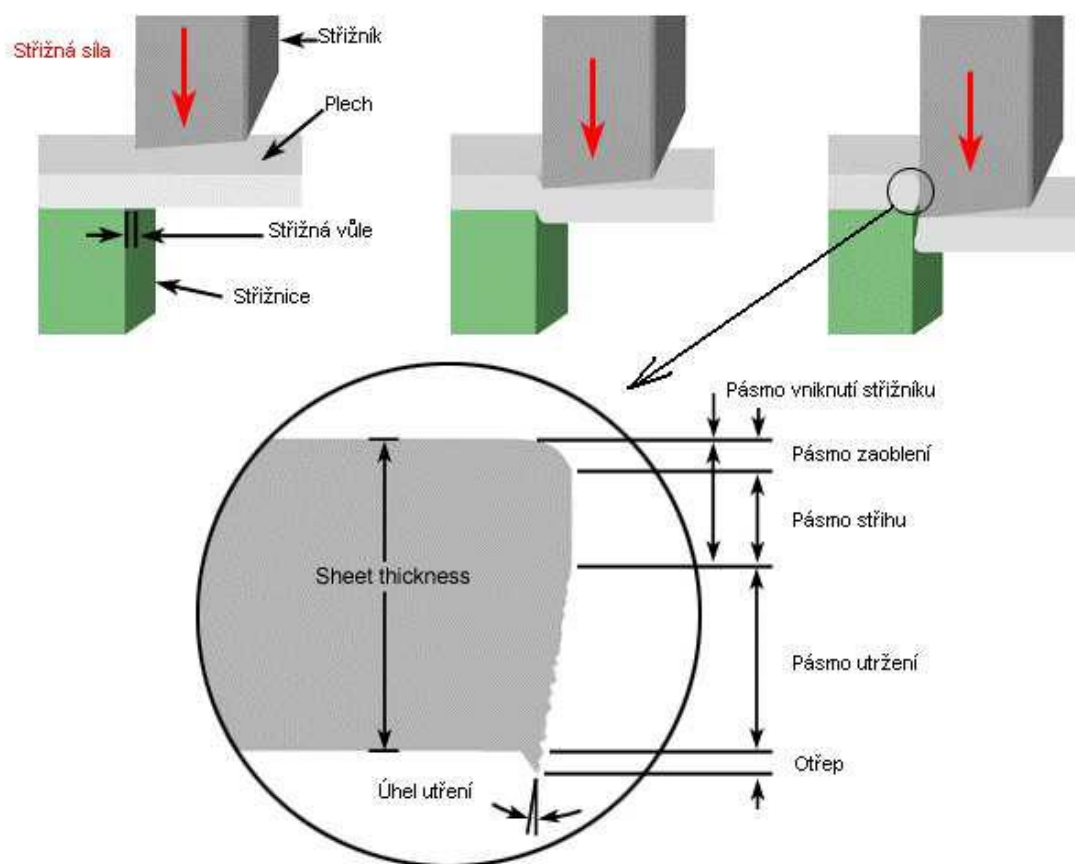
Stříhání plošné

	Operace	Schéma	Definice
Stříhání plošné	nastříhování	 <p>Obr. 6.</p>	Částečné oddělení materiálu v okraji tak, že není úplně oddělen.
	přistříhování	 <p>Obr. 7.</p>	Dosažení přesných tvarů, rozměrů nebo hladkých ploch.
	přesné vystříhování	 <p>Obr. 8.</p>	Vystříhování upravené pro dosažení hladkých a přesných střížných ploch bez dalšího opracování.
	protrhávání	 <p>Obr. 9.</p>	Vytvoření hrotů, otvorů, výstupků v plochém materiálu, přičemž se materiál vyhne z původní roviny.
	vysekávání	 <p>Obr. 10.</p>	Oddělování nekovového materiálu nástrojem na podložce.
Stříhání objemové	stříhání profilů, tyčí, trubek apod.	 <p>Obr. 11.</p>	Dělení profilů, tyčí a trubek podle neuzavřeného obrysu noží, které se míjejí při proměnné tloušťce stříhaného průřezu.

2.1 Střížný proces

Proces stříhání lze rozdělit do tří částí. Jako první dosedá střížný nástroj na povrch stříhaného materiálu, tady jeho působením vznikají plastické deformace. Střížník se v tomto okamžiku nachází v hloubce asi 5 – 8 % tloušťky materiálu. Materiál je v tomto okamžiku namáhán v ploše mezi střížníkem a střížnicí. Tímto dojde ke vzniku silových dvojic, které materiál namáhají ohybem.

Po překročení meze kluzu dochází k trvalé deformaci stříhaného materiálu. Nyní se střížník nachází v 10 – 25 % jeho tloušťky [30].



Obr. 2 Princip stříhání [3]

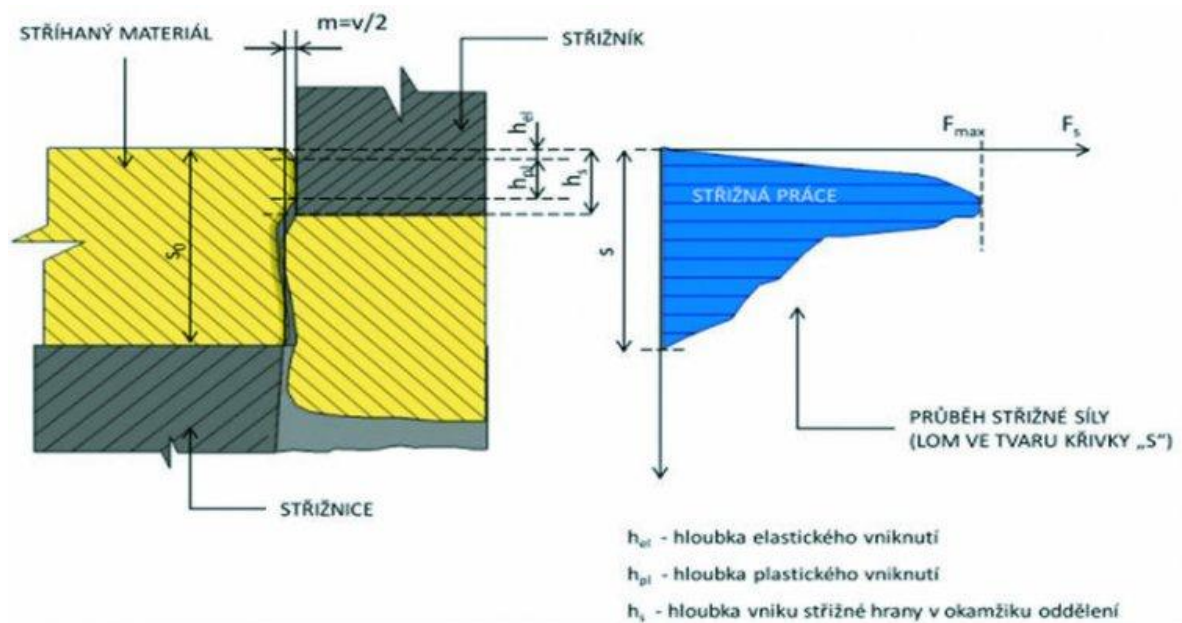
Třetí fáze se nejprve projeví vznikem mikrotrhlin v blízkosti hran střížníku. Tyto se vzá-
pětí změny v makroskopické trhliny. Materiál je v tomto okamžiku namáhán nad mez pev-
nosti ve stříhu. Samotné oddělování materiálu se projeví prodlužováním trhlin. Rychlost
tvoření je bezprostředně závislá na mechanických vlastnostech materiálu. Průběh pak závi-
sí především na velikosti střížné vůle.

2.1.1 Střížná síla

Je to síla, která je zapotřebí k vystřížení výrobku z pásu plechu, tabule apod. Velikost střížné síly se v průběhu pracovního zdvihu mění. V každém okamžiku je dána součinem dvou proměnných veličin, střížného odporu a stříhané plochy. Pokud stříháme křehké materiály, tak ustřížení nastane již při mírném proniknutí střížníku do stříhaného materiálu. U měkkých materiálů vniká střížník hlouběji. V průběhu stříhání střížný odpor vlivem zpevnování stříhaného materiálu vzrůstá [29].

Při reálném stříhání nedochází pouze k čistému smykovému, ale ke kombinovanému namáhání, proto střížnou sílu navyšujeme o 20 – 50 %.

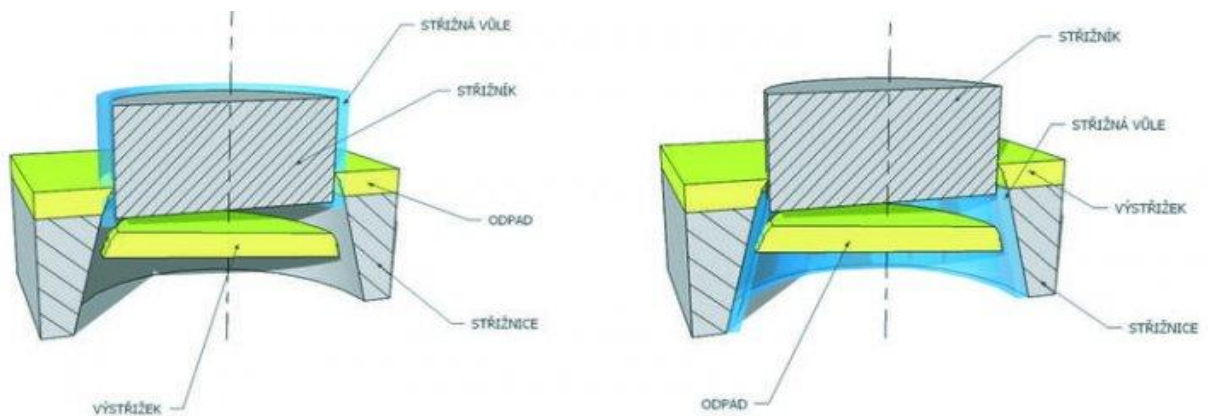
Při stříhání křehkých materiálů dochází k jejich porušení ihned po vniknutí střížníku, u houževnatých materiálů však dochází k jejich zpevnování a růstu střížného odporu a síly.



Obr. 3 Střížná síla [4]

2.1.2 Střížná vůle

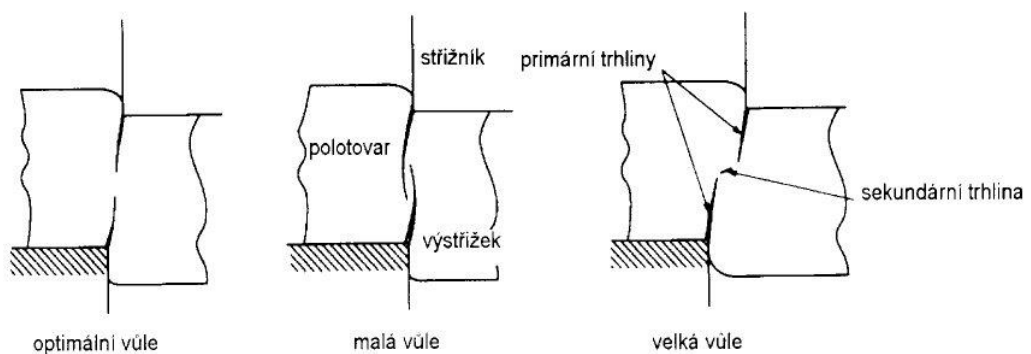
Střížná vůle má zásadní vliv na kvalitu stříhu, spotřebu energie a životnost nástroje. Jedná se o polovinu střížné mezery. Musí být stejná a rovnoměrně rozložená. Nerespektování této zásady je příčinou nekvalitního povrchu a nerovnoměrného opotřebení nástroje, které může vést k jeho úplnému zničení [12].



Obr. 4 Střížná vůle [29]

Velikost střížné vůle je zásadní pro kvalitu střížné plochy. Jak nevhodně malá, tak i velká střížná mezera způsobuje vady.

U optimální střížné vůle se trhlinky od střížných hran setkají a tím se materiál oddělí při minimální střížné síle. Při malé i velké střížné vůli se kvalita střížné plochy snižuje Obr.5. [26].



Obr. 5 Vliv střížné vůle na kvalitu střížné plochy [10]

Velikost střížné vůle (mezery) lze pro různé materiály nalézt v tabulkách nebo normách. Např. ČSN 22 6015 stanoví velikost střížné mezery pro materiál tloušťky $s \leq 3$ mm [26].

Tabulka 2 Střížné vůle vybraných materiálů [2]

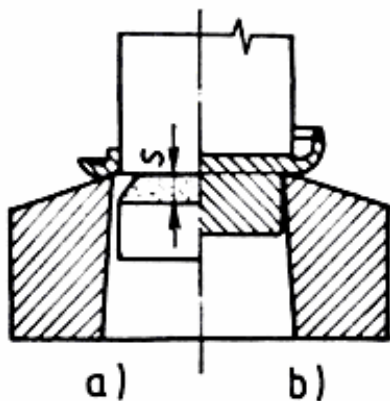
Materiál	Střížná vůle (%) do 2,5 mm	Střížná vůle (%) od 2,5 – 6 mm
Ocel měkká	5	7 - 8
Ocel středně tvrdá	6	6 - 8
Ocel tvrdá	7 - 9	7 - 10
Hliník	4 - 7	5 - 9
Dural	7 - 8	7 - 10
Měď měkká	4 - 5	5 - 6
Měď tvrdá	6 - 7	6 - 7
Mosaz měkká	4 - 5	4 - 6
Mosaz tvrdá	5 - 6	5 - 7
Papír, lepenka	2 - 3	3
Fibr, textil	2 - 4	-

Rychlost stříhání se do 100 zdvihů/min neprojevuje, ale od této hodnoty se velikost střížného odporu zvětšuje 1,06 až 1,09 krát a od 300 zdvihů/min se střížný odpor zvětšuje 1,12 až 1,15 krát. Střížnou sílu naopak snižuje mazání a to až o 30 – 40%. Hůře tváritelné materiály se tedy běžně mažou právě z důvodů snížení střížné síly, ale také se tím řeší přilnavost střížníku k materiálu. Mazáním se tato přilnavost zmenšuje a zlepšuje se tak schopnost střížníku opustit střížnou oblast.

2.1.3 Přistřihování

V případě přistřihování oddělujeme malou část materiálu poté, co bylo provedeno v předcházející operaci hlavní stříhání s odebráním většinového množství materiálu. Přistřihování je tedy až druhá operace, jejímž cílem je získat jakostnější povrch v místě střižné hrany.

Snahou je orientovat směr přistřihování ve směru stříhání z předchozí operace. Zároveň tříska musí začínat v místě největšího přídávku, jinak hrozí riziko předčasného vylomení materiálu. U silnějšího materiálu provádíme přistřihování na několikrát.



Obr. 6 Přistřihování [23]

a) s kladnou vůlí

b) se zápornou vůlí

Rozeznáváme přistřihování s kladnou a zápornou střižnou vůlí (Obr. 6). Kvalitnější střižná plocha vzniká v případě záporné vůle. V tomto případě je střižník podpírán přistřihovaným materiálem, což zamezuje předčasnému oddělení materiálu. Mezi střižníkem se obvykle nechává mezera v rozsahu 1 až 2,5 násobku tloušťky plechu. Bývá to však min. 0,1 až 0,2 mm.

Pro přistřihování jsou nejvhodnější polotvrdé a tvrdé materiály, např. třídy 11 523. Nevhodné jsou měkčí materiály, např. třídy 14 200.

Nutno počítat s tím, že při přistřihování narůstá celková střižná síla o třecí sílu.

$$F_t = S \cdot p \text{ [N]}$$

Touto technologií dosahujeme u vhodných materiálů drsnosti povrchu v rozsahu $R_a = 0,6$ až $1,6 \mu\text{m}$.

2.2 Tvářecí operace na CNC vystřihovacích lisech

Tvářecí operace na CNC vystřihovacích strojích jsou založeny na stejných fyzikálních zákonitostech jako běžné výstředníkové lisy, tabulové nůžky a jiná podobná zařízení. Avšak proces tváření je zautomatizován. Díky tomu je možné využít tuto technologii i na menší série, pro které je seřízení výstředníkového lisu, eventuálně konstrukce stříhacího nástroje nerentabilní a zrychlil se a zpřesnil proces stříhání vybraných dílů třeba na tabulových nůžkách [30].

2.2.1 Konstrukce CNC vystřihovacího lisu



Obr. 7 Vystřihovací lis Amada Europe 255 [5]

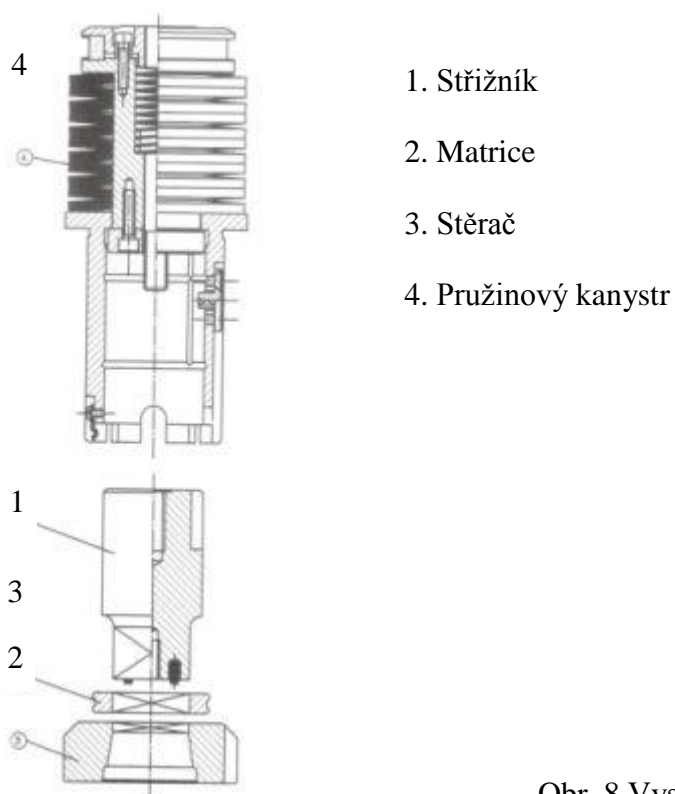
Tabulka 3 Popis vystřihovacího lisu [30]

1. Šroub osy X	6. Elektrický rozvaděč
2. Zásobník hydraulického oleje	7. Revolverový zásobník
3. Pracovní stůl	8. Beran
4. Motor a čerpadlo	9. Ovládací panel
5. Motor revolverového zásobníku	

2.2.2 Konstrukce vystřihovacího nástroje

Vystřihování na CNC vystřihovacím lisu se provádí pomocí střížníku, který prostřihává plech proti matrici. Tento pohyb způsobuje beran, pod který se natočí patřičný nástroj ze zásobníku. Po samotném prostřihu je materiál setřen stěračem z těla razníku. Samotný plech je přidržován upínkami a pro umístění otvoru na požadované místo se plech pohybuje v ose X a Y [13].

Obrázek nástroje do revolverové hlavy:



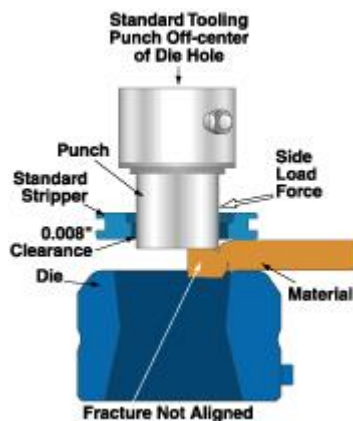
Obr. 8 Vystřihovací nástroj [7]

Fyzikální respektive technologické zákonitosti stříhání či děrování na CNC strojích jsou v podstatě stejné jako pro jakékoliv jiné stříhání či děrování. Je tedy nutné opět řešit ty samé problémy, jakými jsou silové možnosti stroje, vhodnost použití střížníků a řešit střížné vůle.

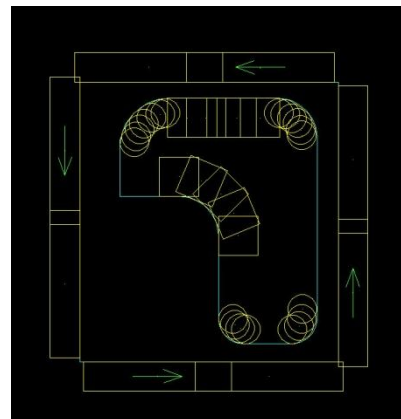
Střížné vůle u CNC strojů bývají o něco větší než u výstředníkových lisů a bývají stanoveny kolem 10% tloušťky materiálu. Střížník bývá v praxi používán tentýž u všech tloušťkách plechu a bývá tedy vyměřována pouze střížnice.

2.2.3 Postupné vystřihování - Niblování

Specifickým způsobem stříhání na CNC vystřihovacích lisech je postupné vystřihování, nebo-li niblování. Touto technologií se zpracovávají vnitřní a vnější, mnohdy složité rádiusové tvary. V podstatě se menším střížníkem – většinou kruhového průřezu - obstřihává požadovaný tvar. Kvalita střížné hrany závisí na délce přísuvu střížníku, jeho velikosti a tvaru.



Obr. 9 Vystřihování - Niblování



Obr. 10 Vystřihování - obložení

Na obr. 9 je znázorněna pozice nástroje a materiálu v okamžiku stříhání. Na vedlejším obrázku je pak znázorněn způsob, jakým se obkládá vnitřní kontura, při níž se používá technologie postupného vystřihování.

2.2.4 CNC plošné tváření – názvosloví

V této práci je použité normované názvosloví jak tvářecích operací, tak strojů a nástrojů. Toto názvosloví bylo zavedeno před rozšíření CNC technologií do této oblasti a snad i proto, že výrobci CNC stříhacích strojů a nástrojů pochází výhradně ze zahraničí, je v praxi používáno názvosloví přejaté odtud. Je významně odlišné od výše uvedeného, a jelikož se to týká významných pojmů, je nutné se o tomto problému zmínit.

Tabulka 4 Názvosloví [27]

Normovaný název	Užívaný název
Vystříhovací, děrovací stroj	Vysekávací stroj, vysekávačka
Střížník	Razník
Střížnice	Matrice
Postupné vystříhování	Niblování

3 JAKOST

Jakost je celkový souhrn znaků entity, které ovlivňují schopnost uspokojovat stanovené a předpokládané potřeby.

Pojem entita je „vše to,“ co je možné individuálně popsat a vzít v úvahu tedy výrobek, proces, organizaci, systém, osobu, atd.

Vývoj systémů zajišťující jakost se datuje již od počátku 20. Století, přičemž význam pojmu jakosti se v průběhu této doby měnil.

Konec osmdesátých let je v řízení jakosti charakteristický „orientací na zákazníka“. Objevuje se fakt, že jedině zákazník rozhoduje, zda výrobek je či není jakostní. Je tedy nutné počítat s novým fenoménem, který má dva významné aspekty:

- a. O jakosti výrobku rozhoduje zákazník
- b. Tento názor je individuální

3.1 Hodnocení jakosti povrchu

Povrch materiálu má z hlediska fyzikálních i chemických vlastností svoje specifika, která jsou zcela odlišná od objemového materiálu. Tyto specifika mají zásadní vliv na užité vlastnosti celého výrobku.

V praxi se začínají využívat poznatky vyplývající z americké normy ANSI B211.1 1986, kde je povrch popsán jako komplexní soubor vlastností, které jsou shrnuty pod názvem „integrita povrchu“. Lze očekávat, že v blízké budoucnosti se tato norma rozšíří i do Evropy. Díky tomu se začnou klást na povrch větší nároky, než tomu bylo doposud. U obrobeneho, popř. tvářeného výrobku, se bude sledovat nejen rozměrová a geometrická přesnost, ale také stav povrchu vyjádřený komplexními charakteristikami [14].

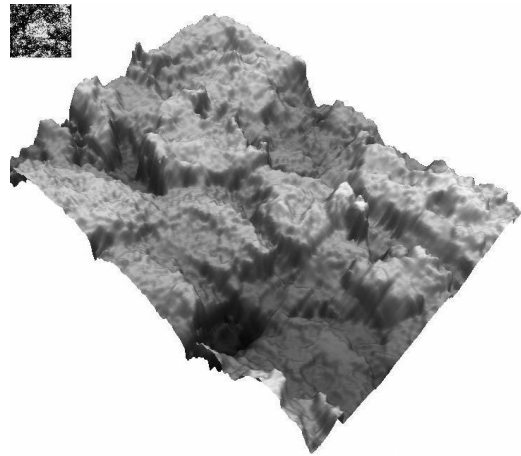
3.2 Integrita povrchu

Technologie obrábění a do jisté míry i tváření mají společné to, že díky těmto procesům vzniká nový povrch. Takto vzniklý povrch se nazývá plocha obrobená. Má určité vlastnosti, které jsou závislé jednak na použité technologii, tak i na stanovených a použitých řezných podmínkách a řezném prostředí při její tvorbě. Existuje tedy řada faktorů, které musí být uvažovány, aby byly zachovány kvalitativní parametry jednotlivých složek integrity povrchu a nedošlo tím proto k neočekávaným, zejména negativním, následkům při používání součásti [22].

3.2.1 Složky integrity povrchu

Složkami integrity povrchu jsou:

- drsnost povrchu
- geometrická přesnost
- změny tvrdosti v povrchové vrstvě
- změny struktury v povrchové vrstvě
- tepelné změny – opaly
- trhliny
- zbytková napětí



Obr. 11 Povrch

Je však důležité, aby se k využití možností vyplývajících ze zavedení normy ANSI B211.1 1986 přistupovalo prakticky. U některých součástí i přes nezanedbatelný vliv povrchu není zapotřebí věnovat jeho stavu žádnou pozornost. Na druhou stranu u celé řady výrobků i nepatrná změna stavu povrchu vyvolá podstatné zlepšení užitných vlastností a životnosti [14].

3.3 Měření jakosti povrchu

Měření je soubor činností, jejichž cílem je stanovit hodnotu veličiny. V případě struktury povrchu měříme tři základní parametry.

3.3.1 Profil povrchu

Struktura povrchu jsou opakované nebo náhodné úchytky od geometrického povrchu, které tvoří trojrozměrnou topografii povrchu. Struktura povrchu se člení na složky podle velikosti rozteče příslušných nerovností. Složka s nejmenší roztečí nerovností tvoří drsnost povrchu, další složka se nazývá vlnitost povrchu a složka s největší roztečí nerovností je určena základním profilem. Pro účely měření a vyhodnocování struktury povrchu byla zvolena profilová metoda hodnocení, kdy profil povrchu vzniká jako průsečnice nerovností skutečného povrchu s rovinou vedenou kolmo k tomuto povrchu. Profil povrchu je základním zdrojem informací.

ZÁKLADNÍ PROFIL (TVAR) - obecný tvar povrchu při vyloučení drsnosti a vlnitosti. Úchyly jsou obvykle způsobeny nedostatečnou tuhostí, přímostí vodících ploch. Nelze vyloučit ani působení tepla vzniklého během výrobního procesu, které může způsobit deformaci obrobenej plochy.



Obr. 12 Tvar

VLNITOST- je ta část textury, na které je vytvořena (měřena) drsnost.

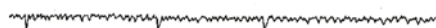
Obvykle je způsobena chvěním, deformací obrobku a zpevněním materiálu. Její vznik se připisuje stroji, např. nevyváženosti brousícího kotouče, nepřesností vodících částí nebo malou tuhostí.



Obr. 13 Vlnitost

DRSNOST - jsou nepravidelnosti, které jsou výsledkem výrobního procesu.

Je výsledkem vzájemného relativního pohybu mezi nástrojem a obrobkem. Charakter povrchu ovlivňuje mechanismus tvoření třísky, jako je vytrhávání třísky.



Obr. 14 Drsnost

Posuzování a terminologie posuzování struktury povrchu upravuje norma.

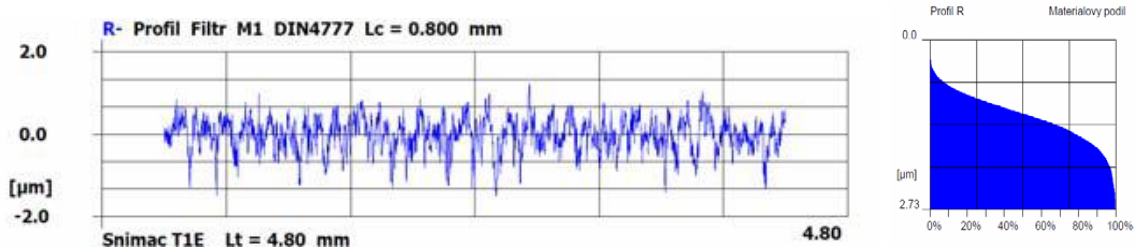
ČSN EN ISO 4287 – Struktura povrchu – Termíny, definice a parametry struktury povrchu

ČSN EN ISO 4288 – Struktura povrchu – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu

Při měření jakosti povrchu se vyhodnocení obvykle provádí na jediné předepsané referenční délce. Jestliže referenční délka není určena na výkrese součásti, musí v takovém případě stanovit referenční délku osoba provádějící měření jakosti povrchu.

3.4 Měření drsnosti

Drsnost povrchu je přesně určena normou ČSN EN ISO 4287, ve které jsou popsány různé parametry, metodiky jejich měření a jejich určení. V rámci výzkumu bývají sledovány a vyhodnocovány tyto parametry drsnosti povrchu Ra, Rz, Rq, Rt a křivka materiálového podílu (nosný podíl) – Abbott Firestonova křivka na Obr. 15 [22].



Obr. 15 Abbott Firestonova křivka [22]

3.4.1 Porovnávání s etalony

Metoda spočívá v porovnávání povrchu jak okem, tak mikroskopem. Jedná se o relativně nepřesnou metodu, při níž hraje velmi důležitou roli schopnosti a zkušenosti metrologa.

Podmínky použití této metody:

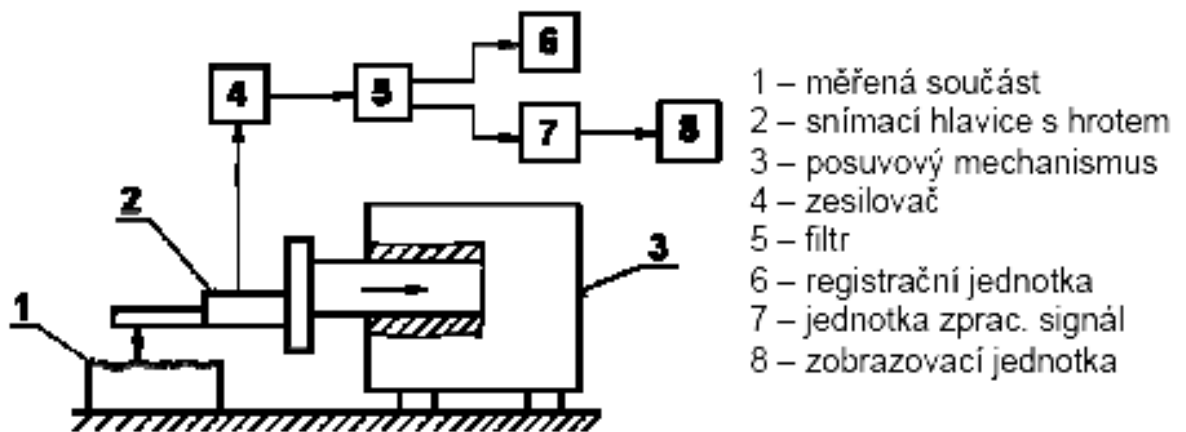
- stejný materiál etalonu a součásti (alespoň barevná shoda)
- stejný tvar povrchu součásti a etalonu (plochý, vypuklý, atd.)
- použití stejné trajektorie obrábění povrchu etalonu a součásti
- pozorování za identických podmínek (světlo – intenzita, odstín)

3.4.2 Dotykové profilometry

U této metody se přímo odečítají číselné hodnoty dílčích parametrů drsnosti. Používá se pro nejpřesnější statistické a spektrální hodnocení nerovnosti povrchu.

Dotykový profilometr základní části:

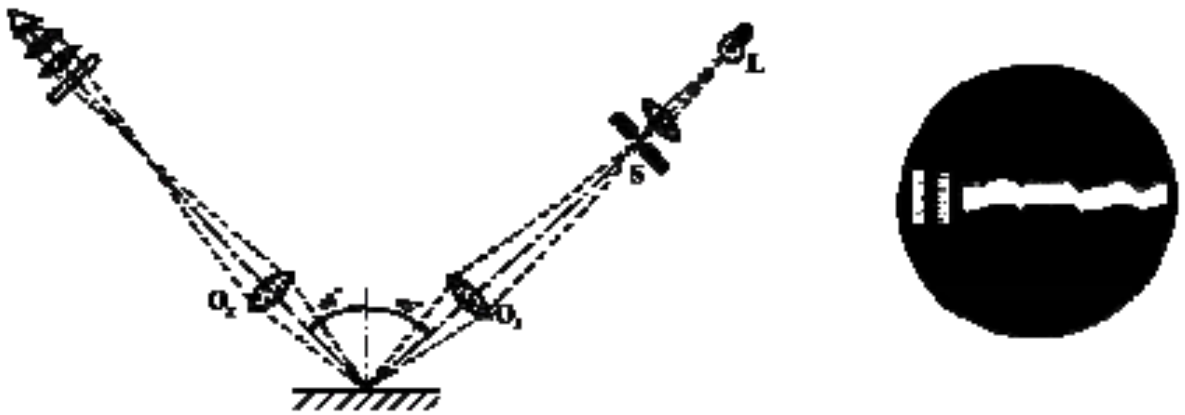
- a. Mechanickou
- b. Elektronickou



Obr. 16 Dotykový profilometr

3.4.3 Metoda světelného řezu

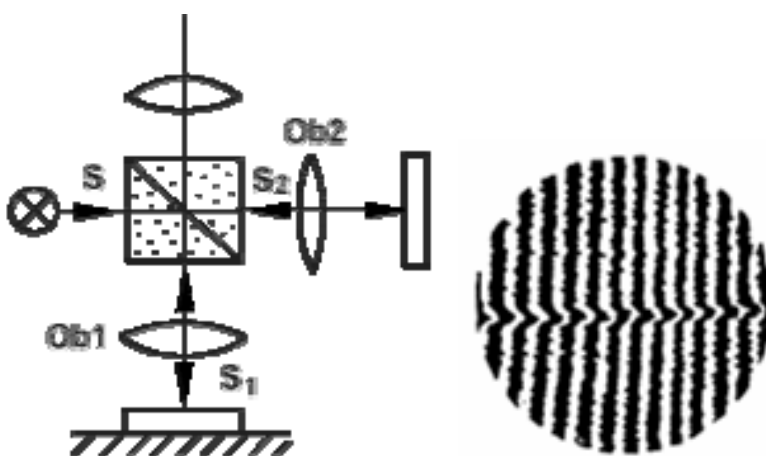
Metoda je charakteristická použitím dvojitého mikroskopu (Schmaltz). Tenký paprsek dopadá na měřený povrch pod úhlem 45° . Bezprostředně poté vzniká odrazem od nerovnosti v poli mikroskopu obraz profilu v okuláru viz. Obr. č. 17.



Obr. 17 Metoda světelného řezu

3.4.4 Interference světla

Principiálně, přes polopropustné zrcadlo, prostupuje paprsek a to jej rozdělí na dvě části. Část označená jako S1 směřuje na měřený povrch a zpět do okuláru. Druhá část označená jako S2 se odrazí od zrcadla a zamíří zpět do okuláru. Zde se paprsky spojují (interferují), čímž získáme obraz povrchu.



Obr. 18 Interferenční mikroskop

3.5 Měření geometrické přesnosti

Geometrické tolerance určují úchylku tvaru, směru nebo polohy prvku bez vztahu k rozměrům prvku. Uplatňují se nezávisle na skutečných místních rozměrech prvků a mohou dosahovat největších hodnot bez ohledu na to, je-li prvek na maximum materiálu nebo ne.

3.5.1 Měření geometrických úchylek

Měření geometrických úchylek obecně je vzhledem ke složitosti definic jednotlivých úchylek komplikované, proto vyžaduje jednoznačné stanovení požadavků a podmínek zadavatele, konstruktéra, zákazníka, apod.

Definujeme tedy, že:

- a. Úchylky tvaru se definujeme jako největší vzdálenosti skutečné plochy od obalové plochy či obalového profilu.
- b. Vyhodnocování úchylek tvaru provádíme také od středního prvku např. plocha, profil, atd.
- c. K zásadním faktorům patří makrogeometrie rotačních ploch (např. dvojice čep – ložisko) patří kruhovitost eventuálně válcovitost, která má zásadní vliv na chod funkční dvojice.

3.5.2 Přehled zavedených geometrických tolerancí

V následující tabulce Tab. 5 je uveden přehled geometrických tolerancí podle normy. Sloupce ČSN a ISO uvádějí zkratku pro označování tolerance v textu, poslední sloupec znázorňuje značku jednotlivých tolerancí pro označování na výkrese.

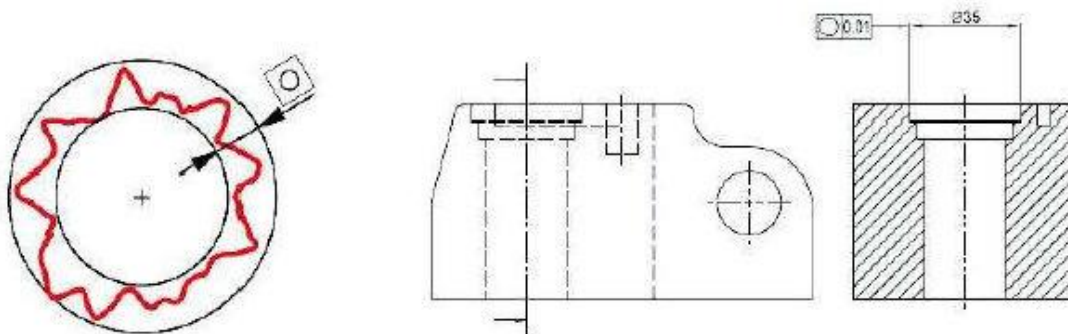
Tabulka 5 Geometrická přesnost [25]

Název	ČSN	ISO	Značka	
Tolerance vztahující se k jednomu prvku				
Tvaru	Prímosti	TFL	ST, STR	—
	Rovinnosti	TFE	FL, FLA	
	Kruhovitosti	TFK	CR, CIR	
	Válcovitosti	TFZ	CY, CYL	
Profilu podélného řezu	TFP	-		
Tolerance vztahující se k jednomu prvku nebo dvěma (a více) prvkům				
Tvaru	Tvaru čáry	TCL	PL, PFL	
	Tvaru plochy	TCE	PS, PFS	
Tolerance vztahující se ke dvěma nebo více prvkům				
Směru	Sklonu	TPN	AN, ANG	
	Kolmosti	TPR	PE, PER	
	Rovnoběžnosti	TPA	PA, PAR, PRL	
	Různoběžnosti	TPX	-	
Polohy	Souososti	TPC	CA, CAX, COA	
	Soustřednosti	-	CO, CON	
	Umístění	TPP	PO, POS	
	Souměrnosti	TPS	SY, SYM	
Házení	Kruhového házení obvodového	TCR	CR, CRO	
	Kruhového házení čelního	TCA	AR, ARO	
	Házení v daném směru	TCD	-	
	Celkového házení obvodového	TCTR	TR, TRO	
	Celkového házení čelního	TCTA	-	

3.5.3 Definice kruhovitosti

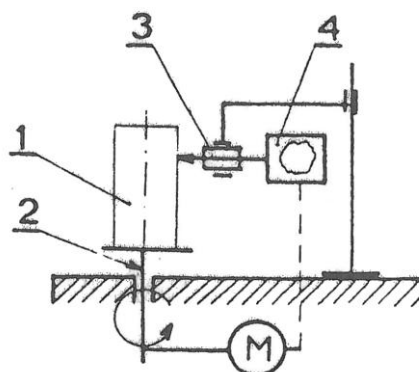
Kruhovitost

Toleranční pole je omezeno v dané rovině průřezu dvěma soustřednými kružnicemi, vzdálenými od sebe o šířku mezikruží rovnou toleranci kruhovitosti. [20]



Obr. 19 Kruhovitost – definice [20]

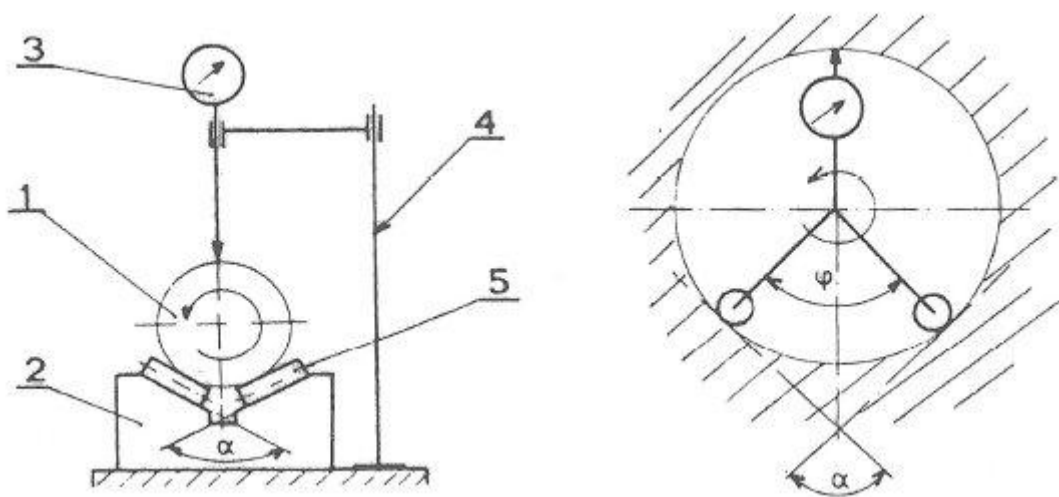
3.5.4 Měření a vyhodnocování kruhovitosti



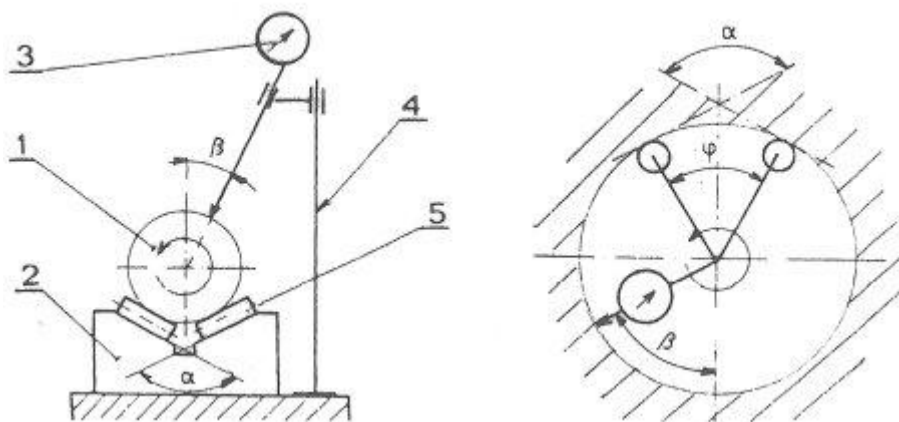
Obr. 20 Princip měření kruhovitosti s použitím speciálního přístroje s otočným stolem [25]

- Legenda:
- 1 – měřená součást
 - 2 – přesné vřeteno
 - 3 – snímač
 - 4 – polární zapisovač
 - M – motor

Princip měření kruhovitosti pomocí kruhoměrů (Obr. 20), spočívá ve vystředění a ustavení měřeného objektu na stole měřicího zařízení, následným spojitým snímáním a zobrazením průběhu na diagramu [23].



Obr. 21 Měření kruhovitosti – symetrické uspořádání [25]

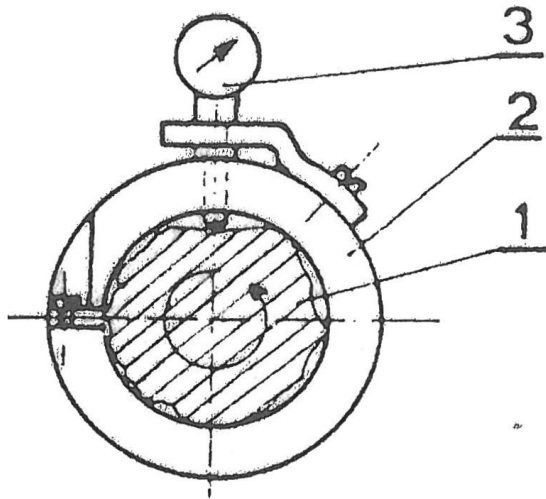


Obr. 22 Měření kruhovitosti – nesymetrické uspořádání [25]

Princip měření kruhovitosti v prizmatické podložce (Obr. 21 a Obr. 22) spočívá v uložení součásti do prizmatu a následném snímání povrchu úchylkoměrem. Dále se určí hodnota $A = d_{\max} - d_{\min}$.

Úchylka kruhovitosti se vypočítá pomocí vztahu $EFK = A/Fa$, kde Fa je opravný koeficient, jenž je funkcí počtu nerovností po obvodu měřené součásti a úhlů α a φ nebo α , φ a β . [25]

Na obrázku níže jsou vyobrazeny další postprocesní metody měření kruhovitosti pomocí speciálních přístrojů.



Obr. 23 Princip měření kruhovitosti s použitím etalonu kruhovitosti [25]

- 1 – měřená součást
- 2 – etalonový kroužek
- 3 – úchylkoměr

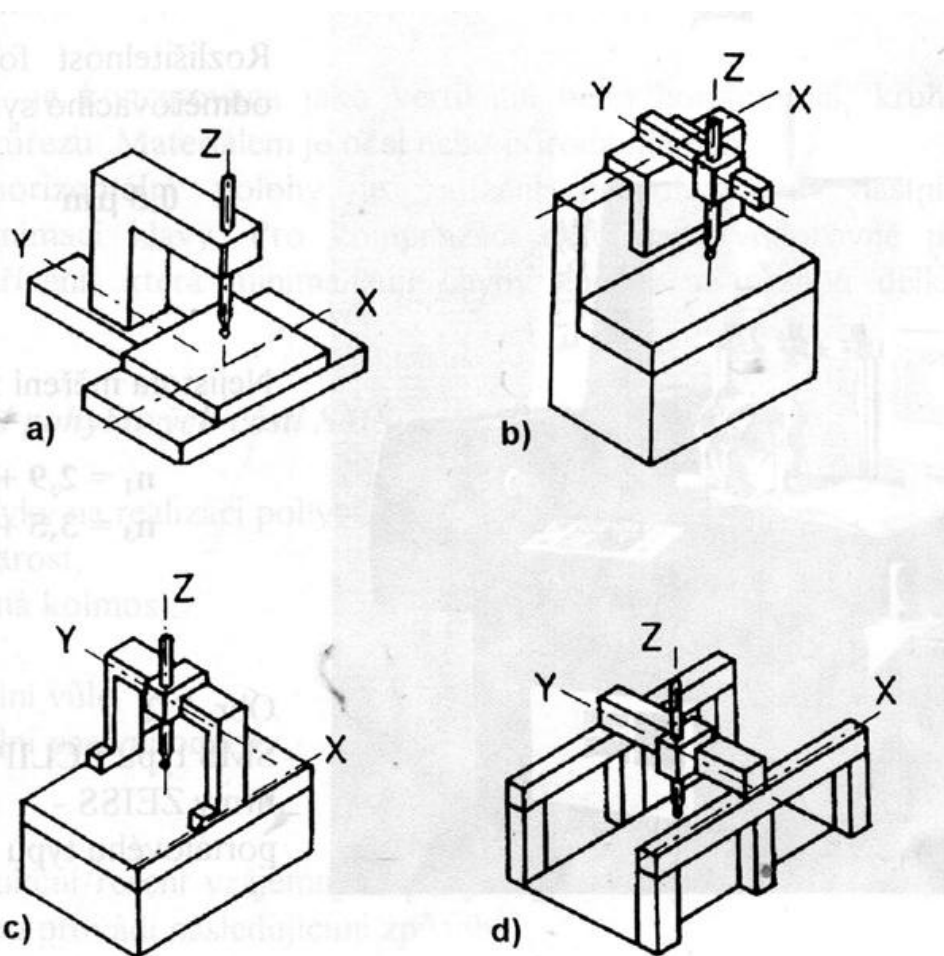
3.5.5 Souřadnicové měřicí stroje

Souřadnicový měřicí stroj (SMS) je složitý měřicí systém, který realizuje měření v rovině nebo prostoru v dané souřadné soustavě, s možností plné automatizace měření i vyhodnocování.

Široké uplatnění SMS je ve výrobě složitých součástí skříňového tvaru, u kterých je kontrola geometrických rozměrů klasickými metodami časově náročná a mnohdy i málo přesná.

Prakticky všichni výrobci SMS nabízí ucelenou řadu – od malých stolních přístrojů až po největší mostové systémy, které jsou schopny měřit například karoserii automobilu. Koncepte SMS v souladu s jejich velikostí vychází ze čtyř základních typů (Obr. 24) :

- a) sloupový
- b) výložníkový
- c) portálový
- d) mostový



Obr. 24 Souřadnicové měřicí stroje [24]

a- sloupový; b - výložníkový; c - portálový; d - mostový

Sloupový typ – pro malé rozsahy měření. Má tuhou konstrukci a dobrý přístup k měřenému objektu. Může být vybaven kruhovým stolem s úhlovou stupnicí.

Výložníkový typ – má dobrý přístup k místu měření. Z důvodu tuhosti je osa y poměrně krátká, hodí se proto především pro dlouhé úzké součásti.

Portálový typ – patří v praxi k nejrozšířenějším pro střední a velké rozsahy měření. Má velkou tuhost, která umožňuje vysokou přesnost měření. Přístup k objektu měření je omezen konstrukcí.

Vyrábí se ve dvou variantách :

- pevný portál (je tužší, vyžaduje pohyblivý stůl)
- pohyblivý portál [24]

Mostový typ – používá se pro největší rozsahy měření, v ose x je možné modulově skládat až do délky 24 m i více. Použití SMS mostového typu je nejčastější v automobilovém a leteckém průmyslu [24].

4 SHRUTÍ A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE

V teoretické části této práce byly uvedeny známá fakta z oblasti plošného tváření, hodnocení jakosti povrchu a metrologie. Tyto znalosti budou dále uplatňovány a rozšiřovány v druhé části.

Především bude provedena série experimentů s cílem vytvořit kvalitativně uspokojivý kruhový otvor technologií postupného stříhání - niblováním. Bude provedeno hodnocení kvality kruhových otvorů s nejlepšími tvarovými a kruhovými parametry. Dále bude zkonstruováno a vyrobeno měřicí zařízení pro indikaci odchylek kruhovitosti v dílenských podmínkách. Toto měřidlo bude použito při měření otvorů už v rámci této práce. Tyto výsledky budou porovnány s výsledky naměřené pomocí souřadnicového měřicího stroje Zeiss Calipso.

Výstupem bude metodika pro tvorbu optimálních výrobních podmínek pro výše zmíněný výrobní proces, porovnání zkonstruovaného měřidla kruhovitosti s SMS Zeiss Calipso a postup jakým budou výsledky této práce uplatňovány v praxi.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 PODMÍNKY EXPERIMENTU

Postupným vystřihováním budou vyrobeny díry průměru 24 mm a průměru 39 mm v materiálu 11 343 různé tloušťky. Bude sledována jakost těchto otvorů v závislosti na změnách technologických podmínek. Experiment bude probíhat na CNC vystřihovacím stroji Europe 245 od firmy Amada. Všechny stroje jsou ve vlastnictví firmy Kovostal, s.r.o. Jarošov.

5.1 Technologické podmínky

Technologickými podmínkami se rozumí síla materiálu a změna parametrů odebírané třísky, které ovlivňují především:

1. Délka střížného kroku
2. Průměr vystřihovacího střížníku
3. Velikost a tvar předděrování

K experimentu bude použit střížený plech formátu 350 x 200 mm. V případě děr o průměru 24 mm bude rozteč zkoumaných děr 60 mm, v případě děr průměru 39 mm bude rozteč 50 mm.

Otvory budou vyráběny střížným krokem o velikosti 2,4 až 0,8 mm.

Tabulka 6 Použité střížníky při experimentu

Díra \varnothing [mm]	Vystřihovací střížník \varnothing [mm]	Předděrovávací střížník \varnothing [mm]	Materiál Tloušťka [mm]
24	8,10, 12, 14, 18, 20	12,14,18,20	1, 1.5, 2, 3
39	12, 14, 18, 20, 25, 30	20, 25, 30	1, 1.5, 2, 3

5.2 Technické parametry vystřihovacího stroje Europe 245

CNC vystřihovací stroj Europe 245 firmy Amada patří do kategorie strojů s maximální lisovací silou do 20 tun. Je vybaven automatickou výměnou nástrojů z revolverového zásobníku. Zde umístěné stanice se řadí do několika kategorií:

Stanice A : maximální rozměr nástroje do průměru 12.7 mm

Stanice B : maximální rozměr nástroje do průměru 31.7 mm

Stanice C : maximální rozměr nástroje do průměru 50.8 mm

Stanice D : maximální rozměr nástroje do průměru 88.9 mm

Z těchto stanic jsou dvě stanice typu B a jedna stanice typu C automaticky polohovatelné.

Pracovní rozsah stroje je 1270 mm v ose X a 1000 mm v ose Y. Přidržovač umožňuje přesazování upnutého materiálu v ose X v nepřetržitém režimu. Pohyb jak v ose X, tak v ose Y, koná upnutý materiál. Stroj je vybaven uzavíratelnou klávkou pro odebrání vystřižených kusů.



Obr. 25 Vystřihovací lis Europe 258

5.3 Hodnocení otvorů

Bude hodnocena rozměrová a tvarová přesnost vyráběných otvorů pomocí:

1. Kalibrů
2. Souřadnicového stroje
3. Dílenského měřidla kruhovitosti

Každý otvor bude ručně zbavena ořep a následně mu bude pomocí kalibrů přiřazena hodnota obáلكové kružnice díry. Dále bude otvor měřen mikrometrickým měřidlem a dílenským měřidlem kruhovitosti. Každý otvor bude měřen opakovaně a tyto hodnoty budou zapsány do protokolu. Z těchto hodnot bude vytvořen aritmetický průměr. Ve vybraných případech – v případě zhotovení optimálního otvoru - bude k měření rozměru a kruhovitosti použit souřadnicový měřicí stroj.

Cílem bude vyrobit otvor splňující minimálně všeobecné tolerance ČSN ISO 2768 – mk.

V rámci komplexního zkoumání povrchu bude u otvorů vyrobených za optimalizovaných podmínek zkoumána tvrdost v okolí otvoru a drsnost povrchové vrstvy pomocí:

1. Tvrdoměru
2. Sady etalonů drsnosti

5.4 Měřicí protokol

Měřicí protokol - předděrování: sřížník ø 12 mm; niblování: sřížník ø 8							
H12 N8	Odhad průměru kalibrem	Měření průměru			Měření kruhovitosti		
Niblovací krok	ø referenční kružnice [mm]	Měření 1. [mm]	Měření 2. [mm]	Měření 3. [mm]	Měření 1. [mm]	Měření 2. [mm]	Měření 3. [mm]
2,4							
2,3							
2,2							
2,1							
2							
1,9							
1,8							
1,7							
1,6							
1,5							
1,4							
1,3							
1,2							
1,1							
1							
0,9							
0,8							

Obr. 26 Měřicí protokol

6 PŘÍSTROJ K MĚŘENÍ KRUHOVITOSTI

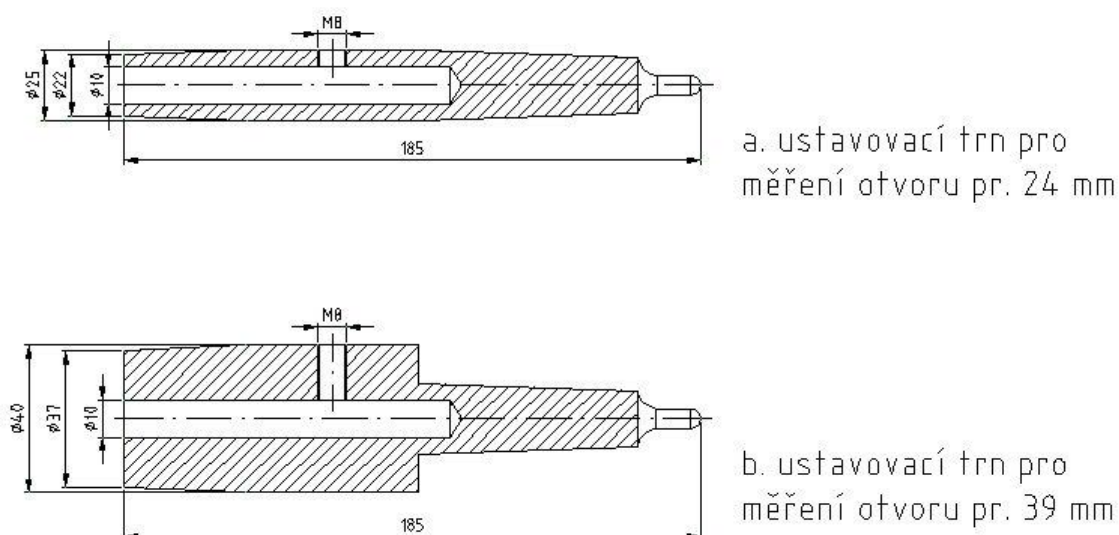
Kruhovitost je zásadní vlastnost, která charakterizuje kruhové otvory. Odchyšky kruhovitosti mohou degradovat výsledky měření, proto bylo nutné vytvořit takové zařízení, které by tuto kruhovitost měřilo, eventuálně indikovalo.

6.1 Konstrukce zařízení

Při měření je zásadní zachytit MCC (Minimum Circumscribed Circle) – minimální referenční kružnici. Tato kružnice je vepsaná do daného profilu. Toto lze řešit rozpínacími trny. Vzhledem k výrobní náročnosti takového řešení však bylo zvoleno zachycení MCC pomocí kužele.

Budou tedy vyrobeny dva ustavovací trny. Jeden pro měření kruhovitosti otvoru průměru 24 mm a druhý pro otvor průměru 39 mm. Oba trny jsou z upínací strany opatřeny Morse kuželem pro upnutí do standardizovaných vřeten.

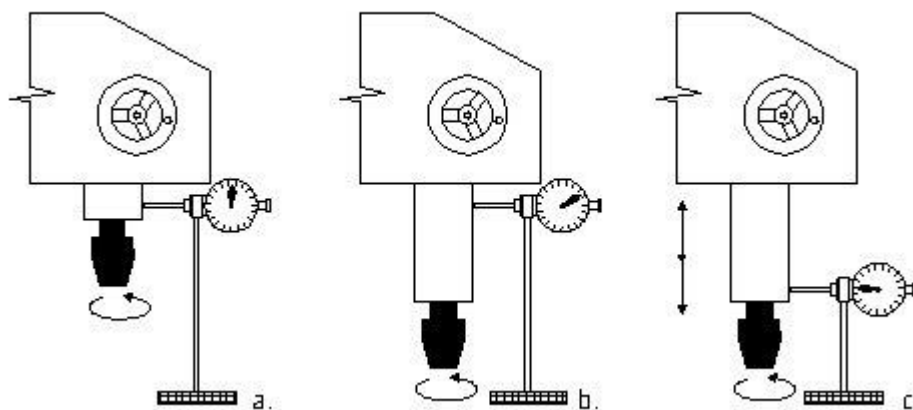
Ustavovací trny



Obr. 27 Ustavovací trny

Po zasunutí kužele do otvoru bude díl s měřeným otvorem zafixován a největší naměřená odchylka pak určí vzdálenost k MIC (Maximum Circumscribed Circle) – maximální referenční kružnici. Ta opisuje profil povrchu otvoru. Rozdílem poloměrů těchto kružnic bude získaná odchylka kruhovitosti.

Ustavovací trny mohou plnit svou funkci pouze na adekvátní základně. Ta musí disponovat dobrou tuhostí soustavy, minimální házivostí a odchylkou svislého pohybu. U potenciálně vhodné základny musí být přeměřeny funkční atributy vřeteně pomocí číselníkového úchylkoměru.



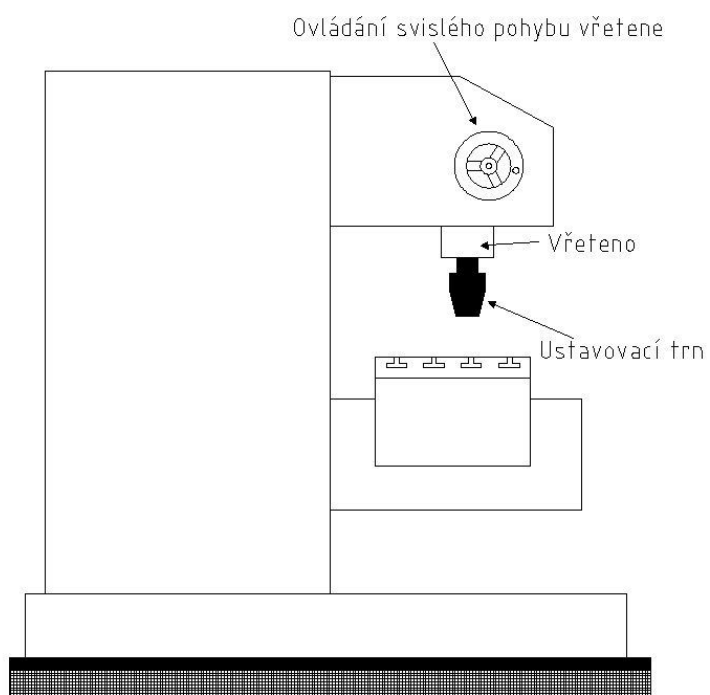
Obr. 28 Měření odchylek vřeteně

Původně byla jako základna zvolena vyřazená vrtačka s převložkovaným vřetenem. Toto řešení bylo vzhledem k výrazným odchylkám vřeteně zavrženo. Výrazně lepší parametry vřeteně a vynikající tuhost však byla zjištěna u frézky FA 4V, proto byla jako základna k měření použita právě ona. Házivost vřeteně této frézky byla v horní poloze 0,01 mm a v dolní 0,02 mm.

Na Obr. 29 je vyrobená sada k měření kruhovitosti. Zde jsou zachyceny vyrobené ustavovací trny, číselníkový úchylkoměr, Morse vložka, Morse redukce a broušená podložka.



Obr. 29 Sada k měření kruhovitosti

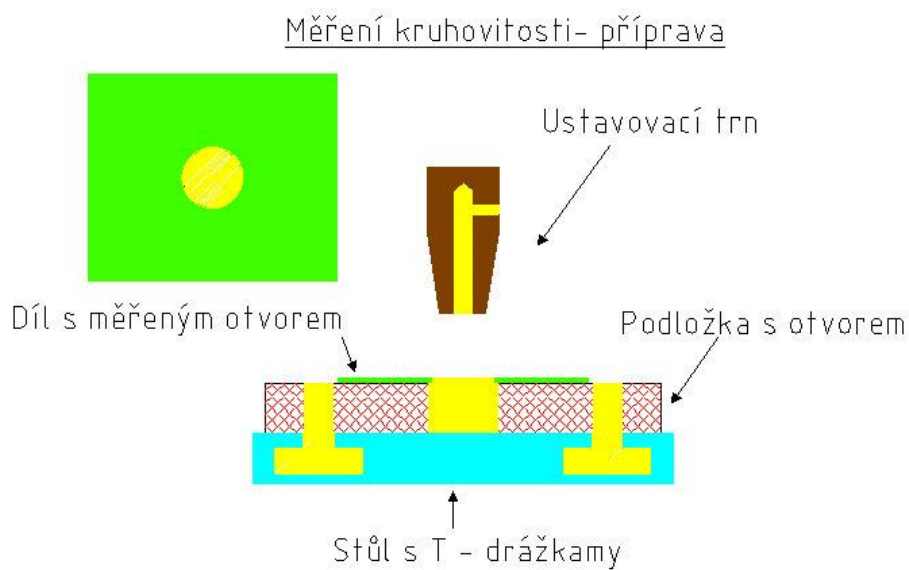


Obr. 30 Frézka jako měřicí základna

6.2 Měření kruhovitosti – postup

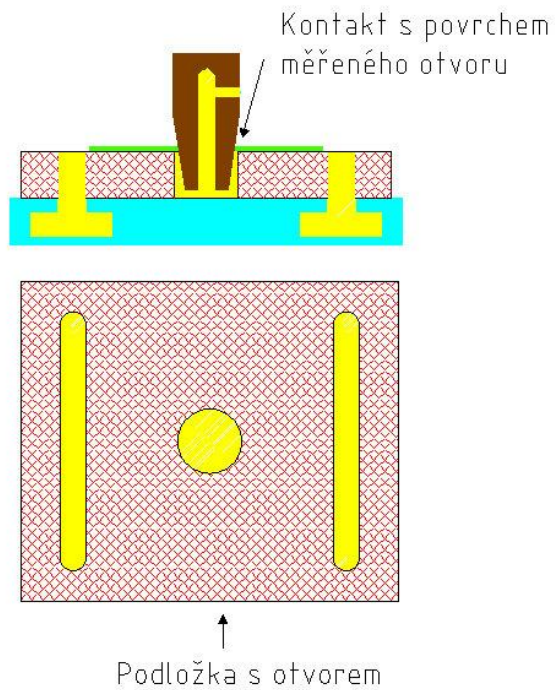
Pro měření kruhovitosti se připraví:

1. Ustavovací trn
2. Podložka s otvorem
3. Strojní úpinky
4. Šrouby
5. T – kameny
6. Díl s měřeným otvorem
7. Základna s pohyblivým vřetenem
8. Číselníkový úchylkoměr



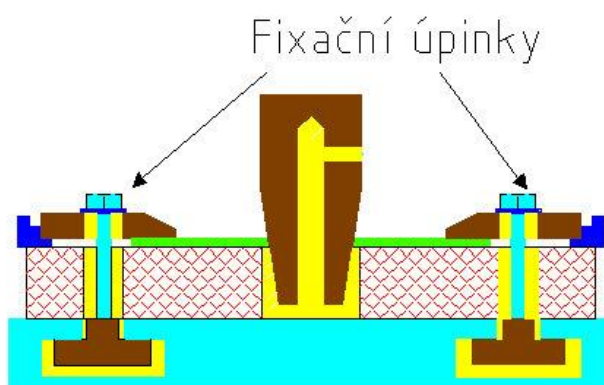
Obr. 31 Měření - příprava

Ustavovací trn, vybaven Morse kuželem, se vloží do dutiny vřetene. Svislým pohybem se najede do otvoru měřícím kuželem a zapoložuje se. Měřený kus není upnut a vykazuje až do zaploňování volnost ve všech osách.

Měření kruhovitosti- ustavení

Obr. 32 Měření – ustavení

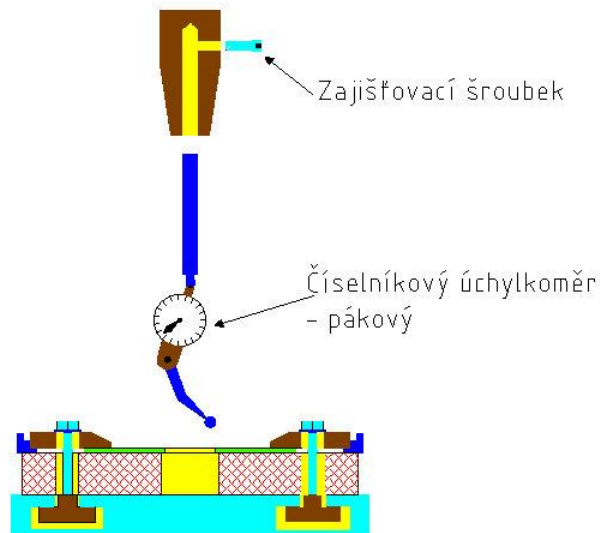
Po zapolohování díry ustavovacím trnem se díl s měřeným otvorem pevně zafixuje úpinkami. Ustavovací trn je po celou dobu v díře a zabezpečuje její polohu.

Měření kruhovitosti- fixace

Obr. 33 Měření – fixace

Po zafixování měřeného dílu vyjede ustavovací trn po svislé ose nahoru. Do jeho dutiny se vloží trn číselnicového úchylkoměru, který se zajistí šroubkem.

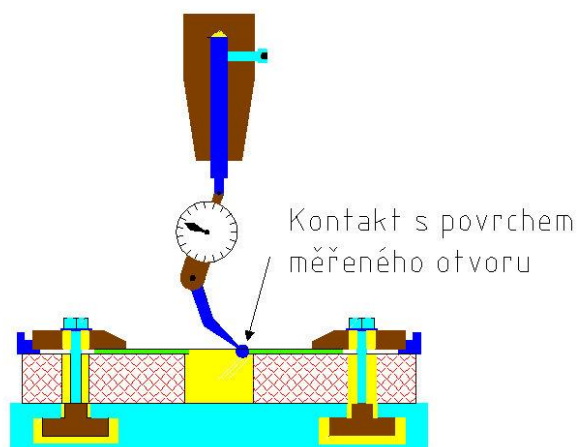
Měření kruhovitosti- nasazení číselnicového úchylkoměru



Obr. 34 Měření – nasazení úchylkoměru

V okamžiku, kdy je číselnicový úchylkoměr zajištěn v dutině ustavovacího trnu, je možné svislým pohybem nastavit kuličku měřícího ramínka na okraj díry. Následně se ručně otočí vřetenem a zjistí maximální odchylka od kruhovitosti.

Měření kruhovitosti- měření



Obr. 35 Měření kruhovitosti

Na Obr. 36 je zachyceno ustavení otvoru pomocí ustavovacího trnu přímo v okamžiku měřicího procesu v rámci této práce. Po zafixování polohy pomocí úpinek následuje měření pomocí číselníkového úchylkoměru Obr. 38. Jako základna je použito tělo frézky FA 4V Obr. 37.



Obr. 36 Ustavení



Obr. 37 Základna



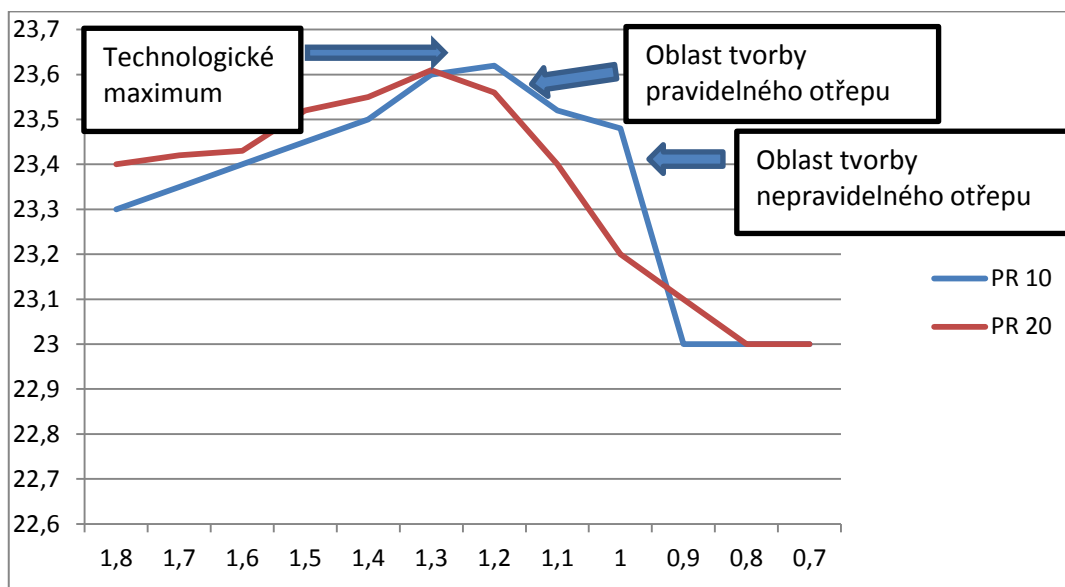
Obr. 38 Měření 2

7 PROVEDENÍ EXPERIMENTU

Po provedení série experimentů dle tabulky jsou sestrojeny příslušné grafy. Následně je nutné před vyhodnocováním získaných dat shrnout nové poznatky a zavést patřičnou terminologii.

7.1 Procesní křivka

Bylo zjištěno, že střížný proces bez ohledu na použitý střížník, druh a sílu materiálu, vykazuje podobné chování. Se zmenšováním délky střížného kroku dochází k přibližování se k požadovanému rozměru. V určité vzdálenosti od tohoto rozměru dochází ke vzniku pravidelného otřepu uvnitř díry, který je krok od kroku větší a tužší, běžnými prostředky obtížně odstranitelný. Dalším zmenšením střížného kroku přechází pravidelný otřep v otřep nepravidelný a otvor se stává nezměřitelným. Optimální technologické podmínky je nutné hledat v oblasti počátku tvorby pravidelného otřepu. Protože se za touto hranicí začne průměr díry již jen zvětšovat, hovoříme o nejlepším dosaženém rozměru jako o technologickém maximu střížníku.

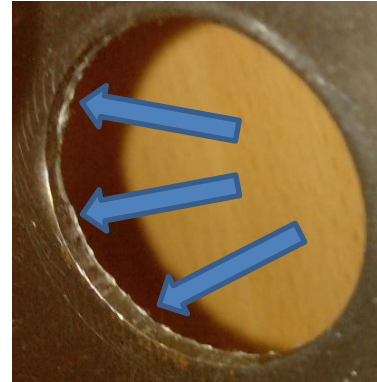


Obr. 39 Procesní křivka

Je zřejmé, že střížníky větších rozměrů se přiblíží ke svému technologickému maximu rychleji, tzn., že se k oblasti tvoření nepravidelné třísky dostanou menším střížným krokem. Toto je způsobené geometrickými zákonitostmi viz. Obr. 42.

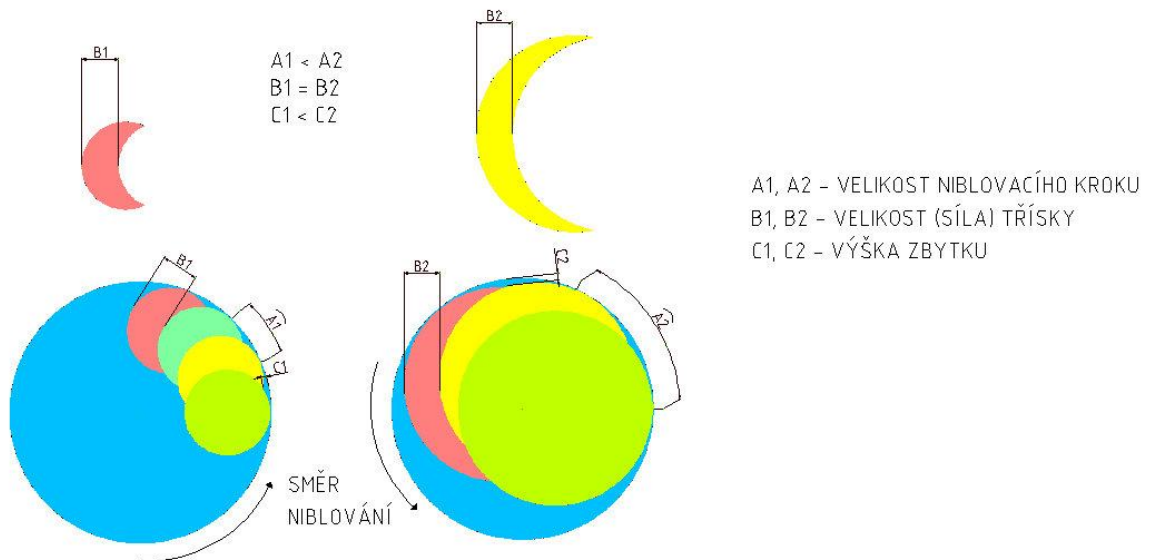


Obr. 40 Nepravidelný ořep.



Obr. 41 Pravidelný ořep

• Velikost vystřižené třísky v závislosti na průměru střížníku

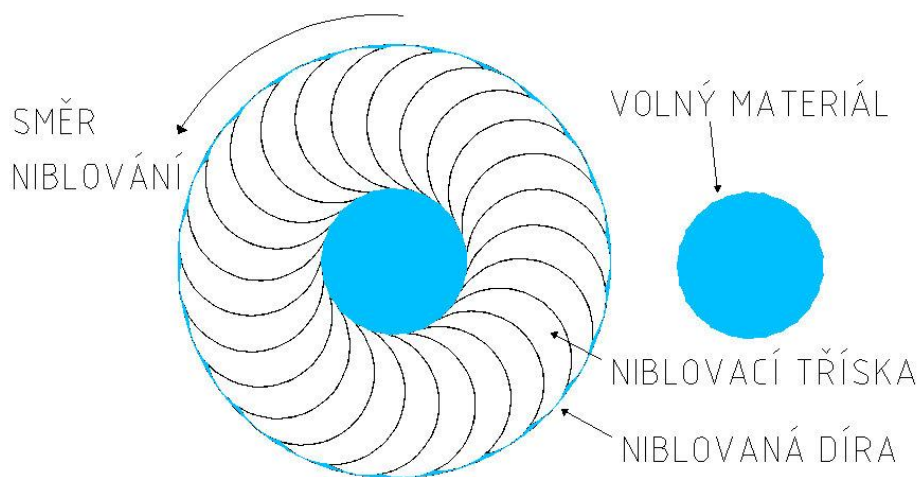


Obr. 42 Velikost třísky a střížný krok

Jak vidno z obrázku č. 42. dosahuje stejné tloušťky třísky menší střížník výrazně menším střížným krokem než ten větší.

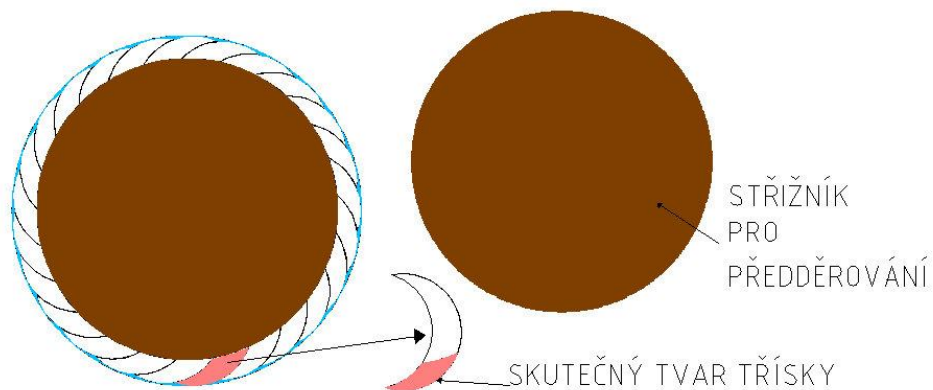
7.2 Předděrování

Předděrování je v případě výroby otvorů postupným vystřihováním nezbytný proces. Pokud by nedošlo k předděrování, volný materiál ze středu otvoru by se uvolnil, dostal mezi střižník a střižnici a negativně by zasahoval do střižného procesu Obr. 43.



Obr. 43 Uvolnění materiálu při vystřihování

Je proto nutné potencionálně volný materiál odstranit jako první a tedy ještě před samotným procesem vystřihování. Je však důležité věnovat pozornost výběru předděrovávacího střižníku, neboť bylo zjištěno, že jeho velikost ovlivňuje tvar vystřižené třísky Obr. 44, který je důležitým prvkem ovlivňující celý střižný proces.

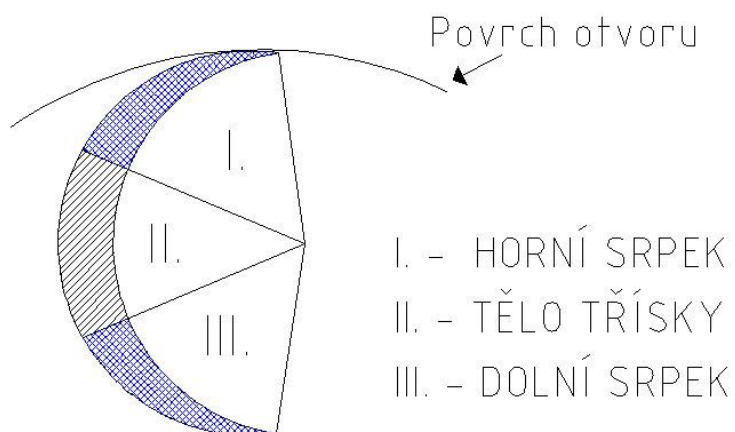


Obr. 44 Předděrování I.

7.3 Vystřihovaná tříška – parametry

Bylo zjištěno, že na kvalitu vystřihovaného otvoru má výrazný vliv tvar odebírané třísky. Tvar třísky byl rozdělen na tři významné oblasti, které byly pojmenovány Obr. 45. S těmito pojmy bude dále pracováno.

Vystřihovaná tříška - Názvosloví

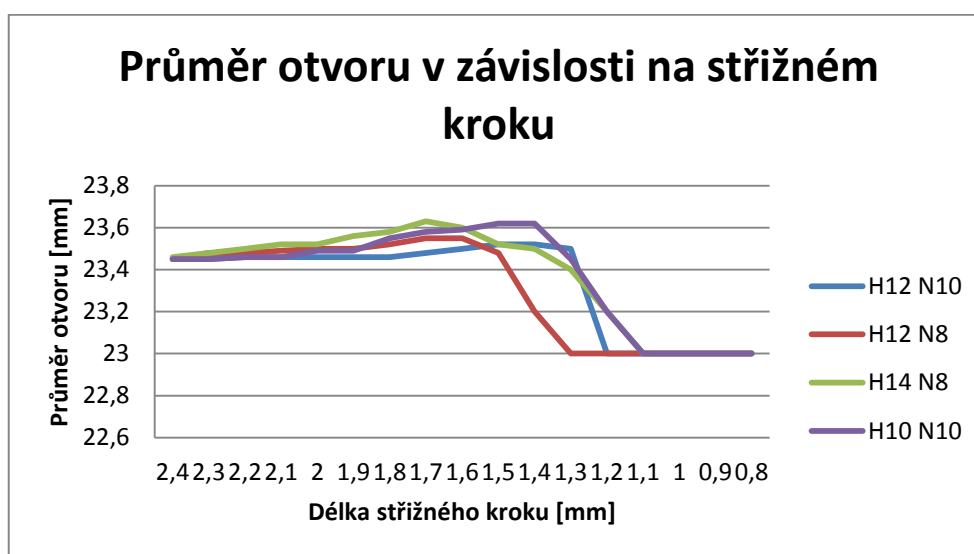


Obr. 45 Vystřižená tříška

8 HODNOCENÍ ZÍSKANÝCH DAT

Z provedených experimentů byla získaná data uspořádána a zanesena do grafu. Po sestavení procesní křivky byla tato data vyhodnocena. Všechny výsledky v této práci jsou demonstrovány na otvoru průměru 24 mm a materiálu tloušťky 2 mm. Výsledky pro jiné tloušťky materiálu stejně jako vyhodnocení pro průměr 39 mm je uvedeno v kapitole 8.6.

8.1 Vyhodnocení I. – Vliv Dolního srpku



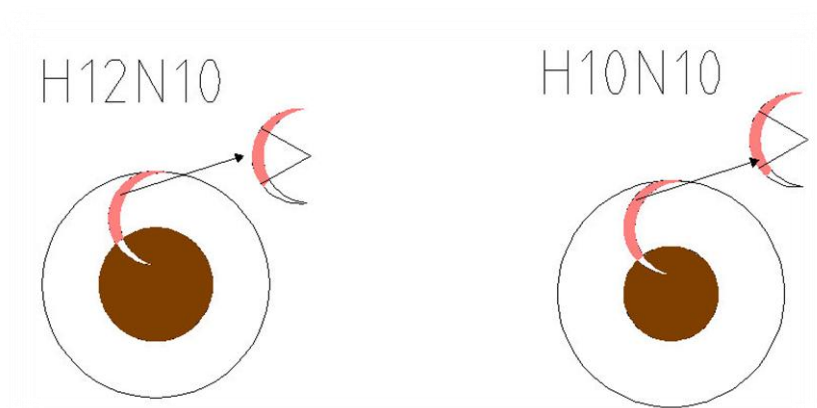
Obr. 46 Graf – vliv Dolního srpku

Tabulka 7 Vliv Dolního srpku

Vysvětlivky ke grafu				
Experiment	Legenda	Předděrovávací střížník – \varnothing [mm]	Vystřihovací střížník – \varnothing [mm]	Nejllepší výsledek - \varnothing [mm]
1.	H12 N10	12	10	23,52
2.	H12 N8	12	8	23,55
3.	H14 N8	14	8	23,65
4.	H10 N10	10	10	23,62

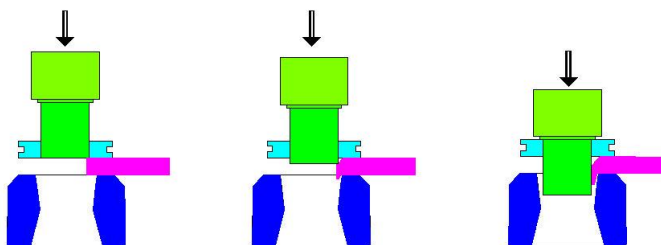
U experimentu 1. a 2. je v co nejmenší míře odstraněn Dolní srpek a tak střížník o průměru 8 mm dosáhne svého technologického maxima při rozměru 23,55 mm a střížník průměru 10 mm pak při 23,52 mm.

Následně je u pokusu 3. a 4. změněno předděrování tak, aby byl odstraněn Dolní srpek a zároveň bylo zachováno Tělo třísky.



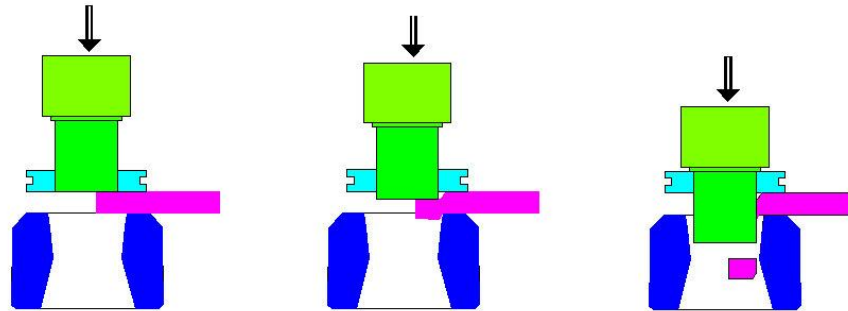
Obr. 47 Vliv Dolního srpku - schéma procesu

Střížník průměru 8 mm i střížník průměru 10 mm vyrobí díru o průměru 23.65 mm. Je zřejmé, že oba střížníky dosahují svého technologického maxima blíže k požadovanému rozměru. Jejich použití je v tomto případě vhodnější. Rozdíl bylo dosaženo pouze změnou předděrovávacího střížníku. Střížný proces v oblasti Dolního srpku tedy působí na celkový proces odebrání třísky negativně. Převládající střížný proces v případě neodebrání Dolního srpku při vystřihování znázorňuje Obr. č. 48. a odhaluje důvod předčasného tvoření otřepu.



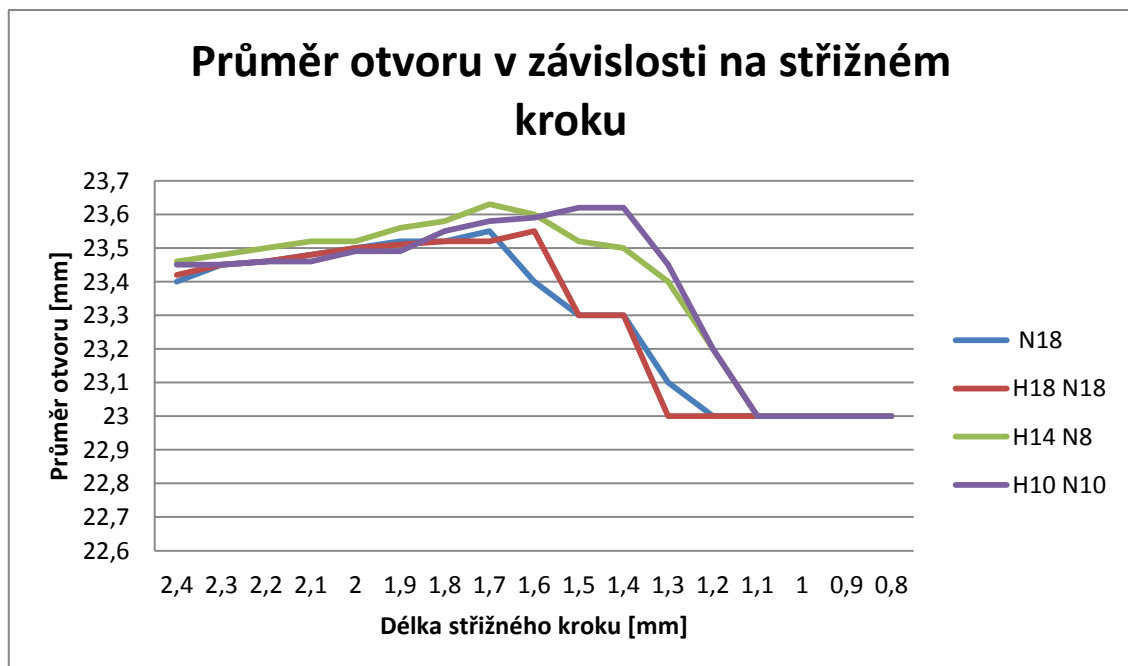
Obr. 48 Tvorba otřepu

Tělo třísky působí na proces stříhání veskrze pozitivně. Střížný proces v tomto místě je znázorněn na Obr. 49. Pokud je tato část předčasně odebrána nevhodným předděrováním jako na Obr. 44 tak se stříhací potenciál střížníku vyčerpá dřív, neboť převládá proces jako na Obr. 48.



Obr. 49 Odběr materiálu

8.2 Vyhodnocení II. – vliv Těla třísky



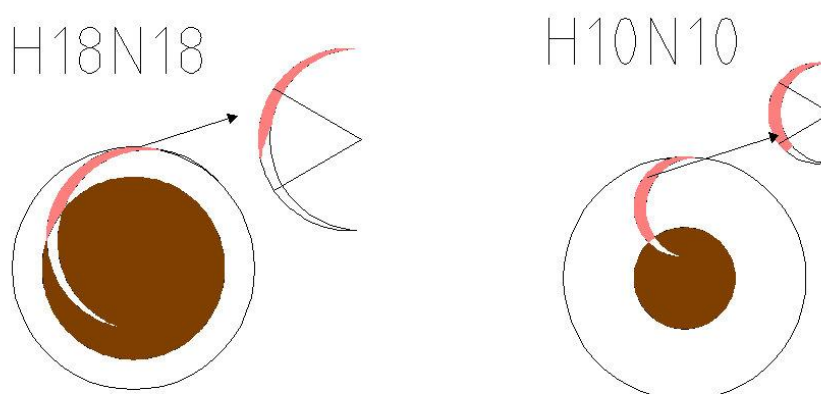
Obr. 50 Graf – vliv Těla třísky

Tabulka 8 Vliv těla třísky

Vysvětlivky ke grafu				
Experiment	Legenda	Předděrovávací střížník - \varnothing [mm]	Vystřihovací střížník - \varnothing [mm]	Nejlepší výsledek - \varnothing mm]
1.	N18	12	10	23,52
2.	H18 N18	12	8	23,55
3.	H14 N8	14	8	23,65
4.	H10 N10	10	10	23,62

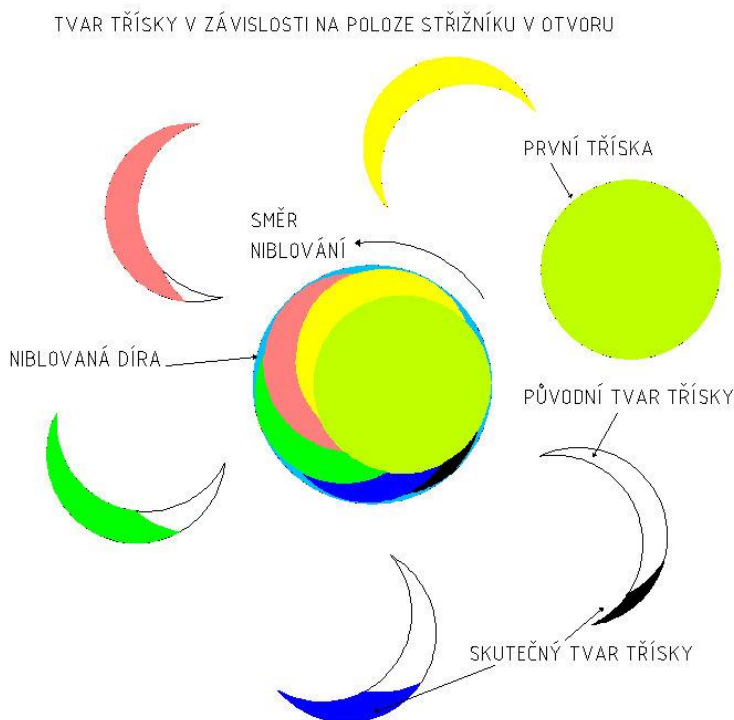
U experimentu 1. i 2. jsou k vystřihování použity střížníky průměru 18 mm. Předděrování střížníkem průměru 18 mm je pouze u experimentu 2. U experimentu 1. předděrování úplně chybí.

Z grafu Obr. 50 je zřejmé, že technologický potenciál střížníku průměru 18 mm se vyčerpá téměř současně, bez ohledu na to, zda je otvor předděrován či ne. Z výsledků je patrné také to, že nejlepší dosažený výsledek je horší než u experimentu 3. a 4., kde jsou použity menší střížníky.



Obr. 51 Vliv Těla třísky – schéma procesu

Dá se předpokládat, že zásadní vliv na výsledek má opět tvar vystřihované třísky. Je patrné, že už od první čtvrtiny vystřihování dochází ke změně tvaru třísky Obr. 52.



Obr. 52 Vystřihování bez předděrování – schéma

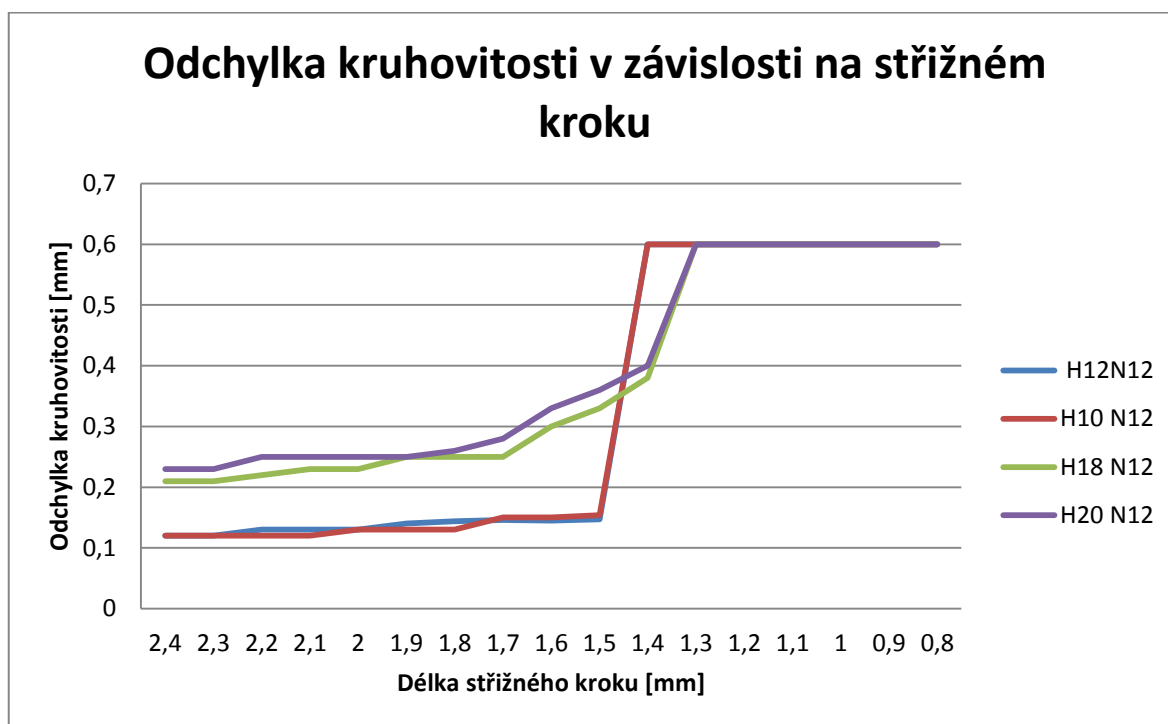
Z obrázku je patrné, jak k odstranění Těla třísky dojde při použití výrazně velkých střížníků i když se nepoužije předděrování.

Pro proces stříhání je však důležité, že v poslední čtvrtině již z Těla třísky zbývá jen zlolek. Jelikož byly zaznamenány větší odchylky kruhovitosti, dá se předpokládat, že střížník již plynule neodebírá materiál a několika zdvihy si jej natlačí do střížné mezery a odstříhne jej, až když se zde materiál nahromadí v dostatečném množství.

V daném okamžiku, kdy opisuje střížník dráhu identickou s kružnicí otvoru a proces stříhání neprobíhá, vzniká několik negativních jevů, které se projeví zvýšením tlaku na stěnu díry. Tento faktor zapříčiňuje:

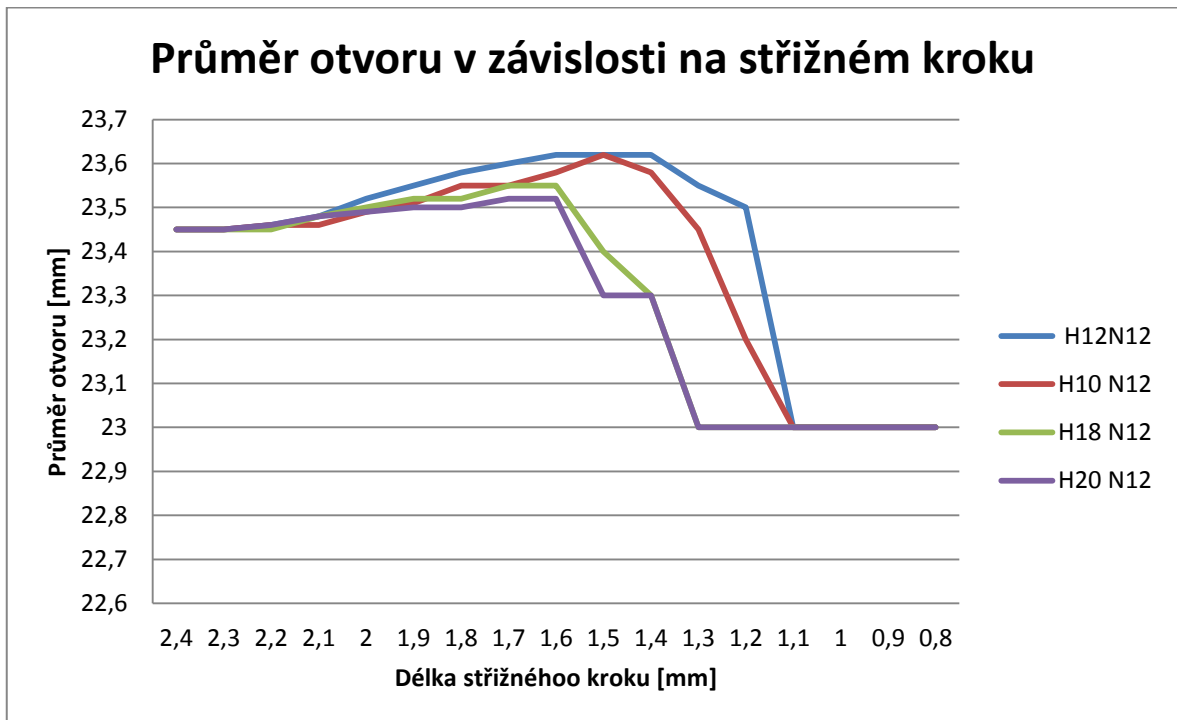
1. Uvolnění výrobku z úpinek stroje
2. Zhoršení kruhovitosti

Bylo zjištěno, že při použití střížníků o průměru blížících se průměru požadovaného otvoru, má procesní křivka rychlý vzestup. Její průběh je však poměrně pozvolný a dosahuje maxima při nižších rozměrových hodnotách než střížníky menších rozměr Obr. 50. Je to zapříčiněno extrémně vysokými hodnotami kruhovitosti. Pokud z měřicího protokolu kde jsou zaznamenány tyto zvýšené hodnoty, sestavíme graf, velmi názorně vidíme tento významný nárůst Obr. 53. Pro porovnání zaneseme do grafu stejnou kombinaci nástrojů, jaká je uvedena v úvodním grafu Obr. 46 a rozdílný průběh je zřejmý.



Obr. 53 Graf – vliv Těla třísky na kruhovitost

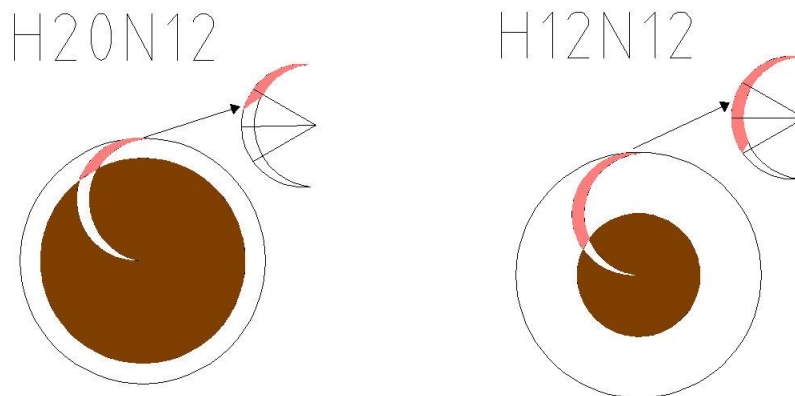
8.3 Vyhodnocení III. – vliv Horního srpku



Obr. 54 Graf – vliv Horního srpku

Tabulka 9 Vliv Horního srpku

Vysvětlivky ke grafu				
Experiment	Legenda	Předděrovávací střížník \varnothing [mm]	Vystřihovací střížník \varnothing [mm]	Nejlepší výsledek \varnothing [mm]
1.	H12N12	12	12	23,62
2.	H10 N12	10	12	23,62
3.	H18 N12	18	12	23,55
4.	H20 N12	20	12	23,52

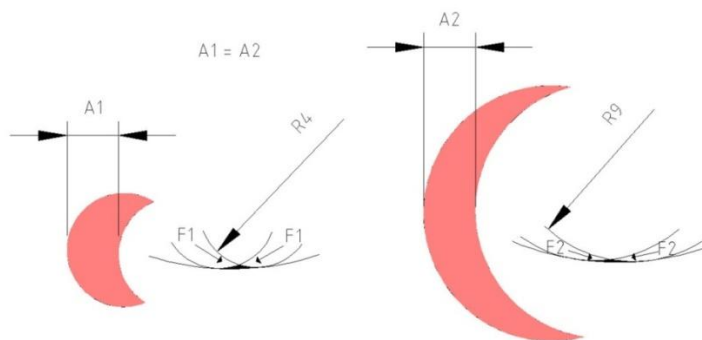


Obr. 55 Vliv Horního srpku – schéma

Pokud bude potencionální otvor předděrován příliš velkým střížníkem jako v případě kombinace nástrojů H20N12 (Obr. 55), dojde ke zhoršení parametrů vystříhované díry. Je opět způsobeno odstraněním Těla třísky. Tímto převládne opět ohýbací proces nad stříhacím a výsledek je opět rozměrově i tvarově horší než kupříkladu u experimentu H12N12 (Obr. 55). Nastává tedy situace obdobná jako v kapitole 8.2. Ovšem zde je odstraněn Horní srpek čistým předděrováním, zatímco v předcházející kapitole byl odstraněn až v rámci vystříhování otvoru. Nicméně výsledek je v podstatě totožný.

8.4 Nárůst otvoru vlivem příčných sil

Sledováním výsledků opakovaného měření bylo zjištěno, že otvory vystřihované extrémně malým střížníkem s průměrem pod 30% požadované díry, se po násobné kontrole kalibry výrazně odchylojí od svého průměrného rozměru. Dá se předpokládat, že v případě malých střížníků, jsou síly působící v příčném směru Obr. 56 na materiál větší a nutí tento materiál vstupovat do otvoru. Tento natvářený materiál je na jedné straně dostatečně pevný, aby odolal běžnému ručnímu odjehlení, ale na straně druhé degraduje pevnost stěny díry. Po opakovaném zatěžování díry se tento natvářený povrch zatlačuje a velikost díry se neúměrně zvětšuje. To je důvod, proč nebyly kombinace s menšími střížníky doporučeny jako optimální, přestože byly otvory vyrobené těmito střížníky jinak kvalitativně uspokojivé.



Obr. 56 Nárůst průměru vlivem příčných sil

8.5 Optimální technologické podmínky

Na základě výše uvedeného bylo zjištěno, že neexistuje jednoznačně ideální průměr střížníku, ale jediné ideální kombinace předděrovávacího a vystřihovacího střížníku. Nejlepších rozměrových a tvarových parametrů vystřihované díry bylo dosaženo tehdy, kdy se průměr střížníku pohyboval v rozmezí od 42% do 58% průměru vystřihované díry. Ovšem pouze za předpokladu, že průměr předděrovávacího střížníku se pohyboval v rozmezí 42 - 58 % průměru požadovaného otvoru. Z následujícího lze tedy doporučit, aby průměr vystřihovacího i předděrovávacího střížníku měl polovinu průměru požadované díry. Vzhledem k tomu, že se jedná o stejný průměr, lze operaci postupného vystřihování a předděrování provést jedním střížníkem.

Velikost optimálního střížného kroku byla určena v tabulce 10. Závislost na síle materiálu je zřejmá a grafický vývoj je velmi podobný jako u grafu sledujícího závislost navýšení průměru na tloušťce materiálu Obr. 58.



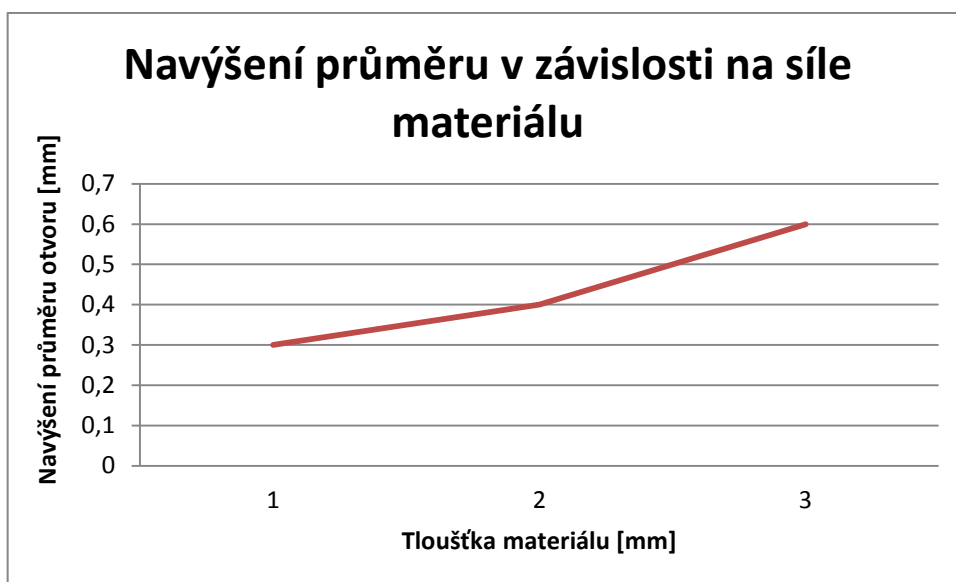
Obr. 57 Navýšení průměru podle síly materiálu

Tabulka 10 Optimalizovaný střížný krok

Materiál – tl. [mm]	Střížný krok [mm]
1	1,3
2	1,4
3	2

8.6 Vliv síly materiálu na rozměrové parametry vystřihované díry

Při optimálních technologických podmínkách lze tedy vyrobit díru splňující rozměrovou přesnost podle všeobecné toleranci ISO 2768 – mk pro volné rozměry. Nedá se však toho docílit pouhým kopírováním kontury kružnice požadovaného otvoru. Tento otvor bude vždy menší, proto je nutné uměle navýšit průměr kružnice, kterou bude střížník opisovat. Zmiňované navýšení, je závislé na síle materiálu. U materiálu o tloušťce větší než 2 mm je zaznamenáno výrazné zmenšení průměru otvoru a je tedy nutné i větší navýšení průměru opisované kružnice Obr. 58 (Tabulka 11).



Obr. 58 Navýšení průměru podle síly materiálu

Tabulka 11 Navýšení průměru kružnice

Materiál – tl. [mm]	Navýšení průměru kružnice [mm]
1	0,3
2	0,4
3	0,6

8.7 Aplikace optimálních technologických podmínek

Pro ověření získaných poznatků bylo přichystáno šest desek formátu 350 x 200 mm, tloušťky 1, 2, 3 mm. Ve třech bylo vytvořeno dvanáct otvorů průměru 24 mm a ve třech dvanáct otvorů průměru 39 mm. Byly aplikovány získané optimalizované technologické podmínky.

Měření bylo prováděno jako v předchozích případech, tzn. mikrometrem a dílenským měřidlem kruhovitosti. Navíc byly tyto otvory pro porovnání měřeny souřadnicovým měřicím strojem typu Zeiss Calipso, který je ve vlastnictví firmy Visteon - Autopal, s.r.o. Nový Jičín.

Pro získání komplexních charakteristik optimalizovaných otvorů byla pomocí již zmíněného SMS Zeiss Calipso změřena vlnitost. Tvrdoměrem Easydur Integral 2E byla změřena tvrdost v okolí otvorů. Sadou etalonů drsnosti Supraphon byla změřena drsnost povrchu ve směru pohybu nástroje.

8.7.1 Porovnání měřicích metod

Tabulka 12 Porovnání měřicích metod

Rozdíl aritmetických průměrů výsledků měření různými metodami				
Tloušťka materiálu [mm]	Dílenské měření		SMS Zeiss Calipso	
	Průměr [mm]	Kruhovitost [mm]	Průměr [mm]	Kruhovitost [mm]
1	39,05	0,24	39,07	0,19
2	39,05	0,28	39,08	0,23
3	39,02	0,26	39,05	0,21
1	24,02	0,21	24,04	0,17
2	23,98	0,28	24,01	0,23
3	24,01	0,24	24,02	0,18

Z výše uvedených výsledků je zřejmé, že při dílenském měření průměrů jsou hodnoty výsledků větší a při měření hodnot kruhovitosti menší. Dá se předpokládat, že v případě měření průměrů výsledek ovlivnila rozdílná velikost kontaktních ploch měřidel, která byla u

SMS Zeiss Calipso menší. Větší hodnoty kruhovitosti v případě dílenského měření jsou pravděpodobně způsobeno házivostí a odchylkou od kolmosti ve vertikálním směru vřete-
ne. Aritmetický průměr velikosti rozdílu dílenského měření SMS nepřekročila v případě
měření průměrů 0,03 mm a v případě kruhovitosti 0,05 mm.

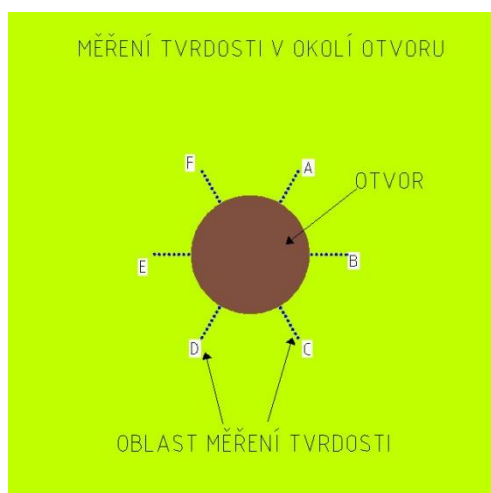
8.7.2 Další charakteristiky finálních otvorů

Vlnitost – byla měřena pomocí SMS Zeiss Calipso. Měřeno bylo dvanáct otvorů
z každého průměru v deskách s rozdílnou tloušťkou. Aritmetický průměr byl zanesen do
tabulky.

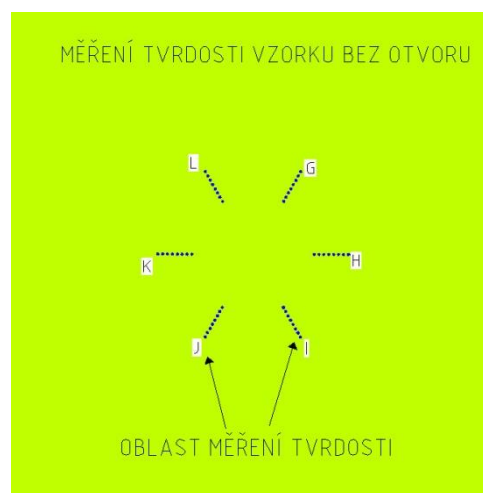
Tabulka 13 Vlnitost

Tloušťka materiálu [mm]	Aritmetický průměr vlnitosti	
	Průměr 24 mm	Průměr 39 mm
1	0,027	0,018
2	0,047	0,029
3	0,036	0,033

Tvrdot – v okolí děr byla provedena série kontrolních měření a to tak, že první bylo 0,5
mm od okraje díry a dalších sedm v téže vzdálenosti. Toto měření pak bylo opakováno
ještě pětkrát s úhlovým posunem 60 stupňů.

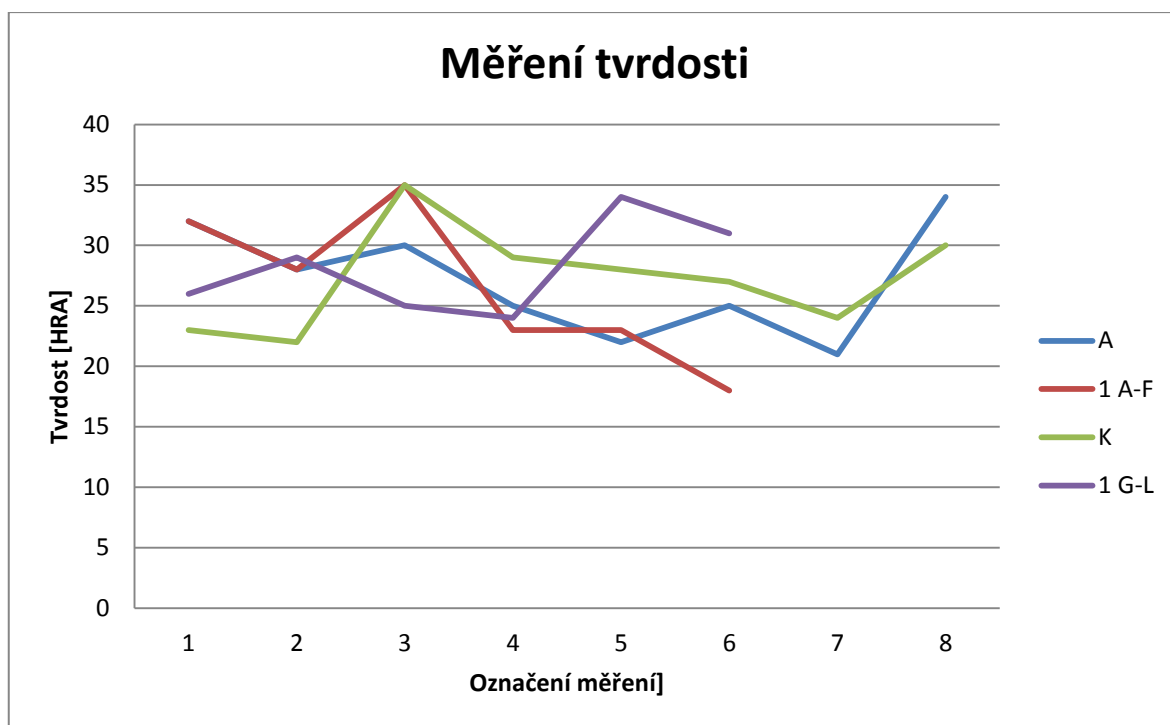


Obr. 59 Měření tvrdosti s otvorem



Obr. 60 Měření tvrdosti bez otvoru

Na grafu A je znázorněn vývoj změny tvrdosti směrem od okraje díry, namátkově vybráno měření A z Obr.3. Pro porovnání je znázorněno měření K ve zkušebním vzorku bez otvoru (graf K). Graf 1 A-F zaznamenává tvrdost všech měřených oblastí bezprostředně u otvoru. Grafem 1 G-L jsou znázorněny všechna první měření (nejblíže imaginárního otvoru) vzorku bez vyrobeného otvoru.



Obr. 61 Měření tvrdosti - graf

Získaná data i sestrojené grafy zaznamenaly různorodost tvrdosti materiálu, ale bez souvislosti s výrobou tvářeného otvoru. Lze tedy vyjádřit závěr, že tvrdost v okolí tvářeného otvoru se ve vzdálenosti větší než 0,5 mm od okraje nemění. Pokud by k nějakým změnám tvrdosti došlo, tak pouze v oblasti menší než 0,5 mm od okraje. Tato oblast však nebyla z technických důvodů měřena.

Drsnost – povrchu otvorů obou průměrů, tzn. průměru 24 mm i 39 mm ve směru pohybu nástroje byla stanovena na 0,8 Ra. K měření byla použita sada etalonů drsnosti Supraphon.

ZÁVĚR

V experimentální části této práci byl zdokumentován proces výroby kruhových otvorů pomocí technologie postupného vystřihování na vystřihovacím stroji. Byly navrženy optimální technologické podmínky, po jejichž aplikování lze takto opakovaně vyrábět kruhové otvory splňující minimálně rozměrové a tvarové atributy, vycházející z všeobecné tolerance ISO 2768 – mk pro volné rozměry. Dále byly tyto finální otvory popsány z hlediska drsnosti, vlnitosti a tvrdosti.

Tato práce tedy představuje návod, jakým lze dosáhnout nejlepších možných výsledků pomocí technologie postupného vystřihování, bez nutnosti dalšího experimentování. Také stanovuje mez, nejlepší možné dosažitelné jakosti takto vyrobených otvorů a tak vytyčuje hranice této technologie. Tyto zjištěné poznatky zabraňují přehnanému očekávání od tohoto způsobu výroby otvorů. Obecný popis samotného procesu postupného vystřihování pak může sloužit jako základ pro tvorbu optimálních technologických podmínek pro jiné materiály než byla ocel 11 343 v této práci.

Dále byly porovnány výsledky měření pomocí běžných dílenských metod a pomocí souřadnicového měřicího stroje Zeiss Calipso. Bylo zjištěno, že měřidlo zkonstruované v rámci této práce pro dílenské měření kruhovitosti, je schopno měřit s přesností blíží se přesnosti Souřadnicového měřicího stroje. Jedná se o řešení výrazně levnější, byť s menší univerzálností, než kterou disponují Souřadnicové měřicí stroje obecně. Představuje tak směr, kterým se lze ubírat, pokud nelze investovat do nepoměrně dražších přístrojů, ale přitom existuje nutnost měřit kruhovitost otvorů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] AMADA CO, LTD, Kanagawa 259, Japan, Technical manual for machines, 2007.
- [2] BAREŠ, K. a kol. Lisování. SNTL Praha. 1971.
- [3] BILÍK, O. Obrábění II. (1. Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění. Ostrava: Vysoká škola báňská – TU Ostrava, 1994. 132 s. ISBN 80-7078-228-5.
- [4] BILÍK, O. Obrábění II. (2. Díl). Ostrava: Vysoká škola báňská – TU Ostrava, 2001. 118 s. ISBN 80-7078-994-1.
- [5] BRYCHTA, J. Výrobní stroje obráběcí. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 2003. ISBN 80-248-0237-6.
- [6] CUSTOMPART [online]. 2009 [cit. 2011-03-15]. Sheet Metal Cutting (Shearing). Dostupné z WWW: <<http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-shearing>>.
- [7] DIETZE Systémy s.r.o., Rochlov 121, Nýřany, Systémový katalog, 2006.
- [8] HOLEŠOVSKÝ, F., Hrala, M. Integrity of Ground Cylindrical Surface. Journal of Material Processing Technology. No.: 153-154 (2004), 714-721, ISSN 0924-0136
- [9] HUMÁR, A. Technologie I Technologie obrábění – 1. část. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. Dostupné na WWW: <http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-1cast.pdf>.
- [10] HÝSEK, K. Tvářecí stroje, Šmeralovy závody Brno, 1962.
- [11] KOČMAN, K.: Technologie Obrábění, CERM Brno. 2011. ISBN 80-214-3068-0.
- [12] KOČMAN, K., Prokop, J. Technologie obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270s. ISBN 80-214-1996-2.
- [13] KOČMAN, K. Speciální technologie. Obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 228 s. ISBN 80-214-2562-8.
- [14] KŘÍŽ, A., Beneš, P., Impact tester contact cycling testing. In "THE" Coatings in Manufacturing Engineering. Thessaloniki: Aristoteles University, 2008. s. 389-395. ISBN: 978-960-243-648-6.
- [15] LENFELD, Petr. Technologie plošného tváření - stříhání [online]. 26-Nov-2008 [cit. 2010-01-25]. Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm>.
- [16] LENFELD, Technologie II, Skripta Technická Univerzita Liberec FS, 2005.
- [17] LEINVEBER, J., Řasa, J., Vávra, P. Strojnické tabulky. 3. vyd. doplněné. Praha: Scientia, spol. s r.o., 2000. 985 s. ISBN 80-7183-164-6
- [18] LUKOVICS, I.: Konstrukční materiály a technologie. VUT Brno. 1990. ISBN 80-214-0399-3.
- [19] LUKOVICS, I.; Bílek, O. High Speed Grinding Process. Manufacturing technology, 2008, Vol. 8, pp. 12-18. ISSN 1213248-9.

- [20] MITUTOYO Česko s.r.o. - Přesnost je naší profesí [online]. 2003 [cit. 2011-03-26]. Geometrické úchyly tvaru a polohy. Dostupné z WWW: <www.mitutoyoczech.cz/cz/.../KMG_plakat%20A3_17_9-final.pdf>.
- [21] NESLUŠAN, M. aj.: Experimentálne metódy v trieskovom obrábání. EDIS Žilina. 2007. ISBN 978-8070-711-8.
- [22] NOVÁK, M., Holešovský, F. Study of Ground Surface Integrity. Proceedings 9th International Scientific Conference, Prešov 2008, str. 228-231, ISBN 978-80-553-0044-3
- [23] NOVOTNÝ, Josef, LANGER, Zdeněk. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980.
- [24] PERNIKÁŘ, Jiří. Technická měření. Skripta VUT Brno FS, 2002.
- [25] PERNIKÁŘ, Jiří; TYKAL, Miroslav. Strojírenská metrologie II. Vydání první. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.
- [26] PETRUŽELKA, Jiří, Březina, Richard. Úvod do tváření II, Skripta VŠB Ostrava FS, 2001.
- [27] RUMÍŠEK, Pavel, Plošné a objemové tváření (vícejazyčné názvosloví). Brno, 2004.
- [28] TATÍČEK, F., Pilvousek, T. MM Průmyslové Spektrum 2010/6 17. května 2010.
- [29] TESAŘÍK, Z. Technologie výroby tenkostěnných výrobků, Bakalářská práce, UTB Zlín, 2011.
- [30] TICHÁ, Š. Strojírenská metrologie část 1. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2004. 112 s. ISBN 80-248-0672-X.
- [31] VLACH, B. a kol. Technologie obrábění a montáží. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1990. 472 s. ISBN 80-03-00143-9.
- [32] VASILKO, K., HAVRILA, M., NOVÁK – MARCINČIN, J., MÁDL, J., ZAJAC, J. Top trendy v obrábání 3. část – Technológia obrábania. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [33] VASILKO, K., Novák – Marcinčin, J., Havrila, M. Výrobné inžinierstvo. Prešov: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove, 2003. 424 s. ISBN 80-7099-995-0.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

F _d	[N]	Střížná síla střížníku
F _s	[N]	Střížná síla
I	[J]	Střížná práce
ISO		Označení mezinárodních technických norem
MIC	[mm]	Maximální referenční kružnice
MCC	[mm]	Minimální referenční kružnice
R _a	[μm]	Střední aritmetická hodnota drsnosti
R _z	[μm]	Maximální výška profilu
S	[mm ²]	Plocha Stříhu
σ _m	[MPa]	Maximální napětí
σ _{Dd}	[MPa]	Dovolené napětí v tlaku
μ		Součinitel bezpečnosti
τ _s	[MPa]	Pevnost ve stříhu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Napěťový stav a rozložení tlaků v oblasti stříhu	15
Obr. 2 Princip stříhání.....	18
Obr. 3 Střížná síla	19
Obr. 4 Střížná vůle	20
Obr. 5 Vliv střížné vůle na kvalitu střížné plochy	20
Obr. 6 Přistříhování	22
Obr. 7 Vystříhovací lis Amada Europe 255	23
Obr. 8 Vystříhovací nástroj	24
Obr. 9 Vystříhování - Niblování , Obr. 10 Vystříhování - obložení.....	25
Obr. 11 Povrch.....	28
Obr. 12 Tvar.....	29
Obr. 13 Vlnitost	29
Obr. 14 Drsnost.....	29
Obr. 15 Abbott Firestonova křivka	30
Obr. 16 Dotykový profilometr	31
Obr. 17 Metoda světelného řezu	32
Obr. 18 Interferenční mikroskop	32
Obr. 19 Kruhovitost – definice	35
Obr. 20 Princip měření kruhovitosti s použitím speciálního přístroje s otočným stolem	35
Obr. 21 Měření kruhovitosti – symetrické uspořádání	36
Obr. 22 Měření kruhovitosti – nesymetrické uspořádání	36
Obr. 23 Princip měření kruhovitosti s použitím etalonu kruhovitosti	37
Obr. 24 Souřadnicové měřicí stroje	38
Obr. 25 Vystříhovací lis Europe 258	43
Obr. 26 Měřicí protokol.....	45
Obr. 27 Ustavovací trny.....	46
Obr. 28 Měření odchylek vřetene	47
Obr. 29 Sada k měření kruhovitosti	48
Obr. 30 Frézka jako měřicí základna	48
Obr. 31 Měření - příprava	49
Obr. 32 Měření – ustavení	50

Obr. 33 Měření – fixace	50
Obr. 34 Měření – nasazení úchylkoměru	51
Obr. 35 Měření kruhovitosti	51
Obr. 36 Ustavení, Obr. 37 Základna, Obr. 38 Měření 2	52
Obr. 39 Procesní křivka	53
Obr. 40 Nepravidelný otřep, Obr. 41 Pravidelný otřep	54
Obr. 42 Velikost třísky a střížný krok.....	54
Obr. 43 Uvolnění materiálu při vystřihování.....	55
Obr. 44 Předděrování I.....	56
Obr. 45 Vystřižená tříska	56
Obr. 46 Graf – vliv Dolního srpku.....	57
Obr. 47 Vliv Dolního srpku - schéma procesu	58
Obr. 48 Tvorba otřepu	58
Obr. 49 Odběr materiálu	59
Obr. 50 Graf – vliv Těla třísky	59
Obr. 51 Vliv Těla třísky – schéma procesu	60
Obr. 52 Vystřihování bez předděrování – schéma.....	61
Obr. 53 Graf – vliv Těla třísky na kruhovitost	62
Obr. 54 Graf – vliv Horního srpku	63
Obr. 55 Vliv Horního srpku – schéma.....	64
Obr. 56 Nárůst průměru vlivem příčných sil	65
Obr. 57 Navýšení průměru podle síly materiálu.....	66
Obr. 58 Navýšení průměru podle síly materiálu.....	67
Obr. 59 Měření tvrdosti s otvorem, Obr. 60 Měření tvrdosti bez otvoru.....	69
Obr. 61 Měření tvrdosti - graf.....	70

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Stříhací operace	16
Tabulka 2 Střížné vůle vybraných materiálů	21
Tabulka 3 Popis vystřihovacího lisu [30]	24
Tabulka 4 Názvosloví [27]	26
Tabulka 5 Geometrická přesnost [25].....	34
Tabulka 6 Použité střížníky při experimentu	42
Tabulka 7 Vliv Dolního srpku	57
Tabulka 8 Vliv těla třísky	60
Tabulka 9 Vliv Horního srpku	63
Tabulka 10 Optimalizovaný střížný krok	66
Tabulka 11 Navýšení průměru kružnice	67
Tabulka 12 Porovnání měřicích metod	68
Tabulka 13 Vlnitost	69

SEZNAM PŘÍLOH

