

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2005

Jan Cón

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

katedra obrábění a montáže

Magisterský studijní program:

strojírenská technologie

Zaměření:

obrábění a montáž

Analýza technologie výroby kruhových otvorů
u vybraných plastových součástí ve firmě Peguform Bohemia k.s.

Analysis manufacturing holes technology
at selected plastics parts in the company Peguform Bohemia k.s.

KOM - 1024

Jan CÓN

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Jersák, CSc.

Konzultant: Ing. Josef Dostál – Peguform Bohemia k.s.

Počet stran: 77

Počet obrázků: 50

Počet příloh
a tabulek: 34

Datum: 27. 05. 2005

ANOTACE

Označení DP: 1024

Řešitel: Jan CÓN

**Analýza technologie výroby kruhových otvorů
u vybraných plastových součástí ve firmě Peguform Bohemia k.s.**

Diplomová práce obsahuje analýzu stávající technologie stříhání kruhových otvorů v nárazníku automobilu, který je vyroben z polypropylénu modifikovaném elastomerem s přidáním plniva. Zadavatelem diplomové práce je podnik Peguform Bohemia k.s. Součástí práce je analýza výroby otvorů technologií obrábění, metodou konvenční i metodou nekonvenční, experimentální část řešení, návrh vhodných nástrojů, návrh řezných podmínek pro obrábění a finální výběr vhodného způsobu obrábění kruhových otvorů.

Klíčová slova: obrábění termoplastů, obrábění polypropylénu, stříhání plastů

**Analysis manufacturing holes technology
at selected plastics parts in the company Peguform Bohemia k.s.**

This diploma work includes existing technology shearing holes analysis in the automobile bumper, which is made from polypropylene modified by elastomer with addition filler. Submitter of this diploma work is company Peguform Bohemia k.s. A part of this work is the analysis of production holes machining technology using a conventional and also a nonconventional method for a experimental part solutions, suitable cutting tools proposal, cutting conditions proposal for a machining and a final choice of suitable cutting holes method.

Key words: machining thermoplastics, machining polypropylene, shearing plastics

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 2005

Archivní označení zprávy:

Počet stran: 77

Počet obrázků: 50

Počet příloh

a tabulek: 34

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího a konzultanta.

V Liberci, dne 27. 05. 2005

Podpis:

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL, v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 27.05.2005

Podpis

Poděkování

Na závěr bych rád poděkoval touto cestou doc. Ing. Janu Jersákovi, CSc. za odborné konzultace a za pomoc při vzniku této diplomové práce a také bych rád poděkoval firmě Peguform Bohemia k.s. za umožnění tvorby diplomové práce.

Dále mé poděkování patří též mým nejbližším, kteří mě podporovali při studiu.

OBSAH

	strana
Seznam zkratk a symbolů	7
1. Úvod	9
2. Profil firmy Peguform Bohemia k.s.	10
3. Charakteristika zkoumaných plastových součástí a shrnutí poznatků o stávající technologii výroby kruhových otvorů	12
3.1. Postup operací výroby plastového dílu (nárazníku automobilu)	12
3.2. Popis děrovaného dílu (nárazníku automobilu)	12
3.2.1. Obecná charakteristika plastů jako konstrukčních materiálů	13
3.2.2. Popis materiálu nárazníku	14
3.3. Popis držáku senzoru	15
3.4. Popis stávající technologie výroby otvoru	16
3.4.1. Teoretické poznatky o technologii stříhání plastů	17
3.5. Popis děrovacího a lepícího zařízení (JUS)	18
4. Rozbor faktorů aktuálně ovlivňujících kvalitu děrovaných dílů a návrh variantního řešení výroby obráběním	23
4.1. Požadavky kladené na kvalitu nárazníku	23
4.2. Současný stav výroby otvorů v nárazníku automobilu	23
4.3. Rozbor faktorů ovlivňujících výrobu otvorů děrováním	24
4.4. Návrh výroby otvoru technologií obrábění	27
4.4.1. Základní poznatky o obrábění plastů	28
5. Třískové obrábění termoplastů	31
5.1. Řezné síly – energetická bilance	32
5.2. Analýza tvoření třísek při obrábění termoplastů	34
5.3. Deformace řezného povrchu	38
5.4. Chlazení	41
5.5. Opotřebení nástroje	41
5.6. Vrtání termoplastů	43
5.7. Shrnutí faktorů ovlivňující proces obrábění	43
6. Návrh metodiky umožňující objektivně posoudit vhodnost různých technologií výroby kruhových otvorů obráběcími metodami	45
7. Experimentální část řešení a hodnocení dosažených výsledků z hlediska technologického	46
7.1. Experiment č.1 – frézování polypropylénu jednobřitou drážkovací frézou	46

7.2. Experiment č.2 – vrtání otvorů v nárazníku automobilu z materiálu SABIC 95610 vrtákem na jádro v dvoubřitém a pětibřitém provedení	48
7.3. Experiment č.3 – obrábění materiálů SABIC 95610 a SABIC 108MF10 nekonvenční obráběcí metodou (obrábění paprskem H ₂ O)	51
7.4. Experiment č.4 – optimalizované obrábění materiálů SABIC 95610 a SABIC 95610 tříbřitou a šestibřitou frézou	56
8. Hodnocení dosažených výsledků z hlediska ekonomického	70
9. Shrnutí diplomové práce, vyvození závěrů a návrh vhodné technologie výroby kruhových otvorů	71
Seznam použité literatury	74
Seznam příloh	77

Seznam zkratek a symbolů

a_p	[mm]	hloubka záběru
b	[mm]	šířka řezu
d_E	[mm]	průměr střížnice
d_S	[mm]	průměr střížníku
f_{ot}	[mm/ot]	posuv na otáčku
n	[ot/min]	otáčky
r_s	[mm]	rádus střížné hrany
s	[mm]	střížná vůle
t	[mm]	tloušťka stříhaného materiálu
v_c	[m/min]	řezná rychlost
v_f	[m/min]	rychlost posuvu
v_t	[m/min]	rychlost odchodu třísky
z		počet břitů
A	[%]	tažnost
EPDM		etylén propylén dién
JUS		jednouúčelový univerzální stroj
LAH		lastenheft (sešit požadavků)
PA		polyamid
PC		polykarbonát
PMMA		polymethylmetakrylát
POM		polyacetal
PS		polystyren
PTFE		polytetrafluoretylén
PVC		polvinylchlorid
PE		polyetylén
PET		polyetyléntereftalát
PP		polypropylén
SK		slinutý karbid
β	[°]	úhel b řitu
ψ_r	[°]	úhel nastavení doplňkový
α	[°]	úhel h řbetu
γ	[°]	úhel čela
γ_K	[°]	kritický úhel čela
λ	[W m ⁻¹ K ⁻¹]	tepelná vodivost
λ_s	[°]	úhel sklonu šroubovice

φ	[°]	úhel střížné roviny
χ	[°]	úhel nastavení

1. ÚVOD

Zadavatelem diplomové práce je podnik Peguform Bohemia k.s. závod Liberec, který se zabývá výrobou velkoplošných plastových dílů. Jeho hlavními odběrateli jsou přední výrobci automobilů jako Audi, Opel, Škoda, VW, Suzuki a TPCA.

Jedním z produktů podniku jsou lakované nárazníky, které jsou určeny pro automobily Škoda na modelové řady Fabia, Fabia RS, Octavia, Octavia RS, Superb a pro automobily koncernu TPCA jako jsou Toyota Aygo, Peugeot 107, Citroen C1. Nárazníky automobilů se vyrábějí technologií vstřikování na vstřikovacích strojích s uzavírací silou až 32 000 kN. Nárazníky jsou vyráběny z měkkého polymerního materiálu, který je tvořen v převážné míře polypropylénem.

Pouze u některých nárazníků, dle přání zákazníka, jsou zabudovány parkovací senzory. Vzájemné spojení parkovacího senzoru s nárazníkem zajišťuje držák senzoru. Pro držáky senzorů se pomocí technologie stříhu neboli děrování vyrábějí otvory již v lakovaných náraznících.

V rámci diplomové práce je problém řešen pro přední i zadní nárazníky automobilu Škoda na modelovou řadu Octavia a je vhodné uvést že v předním i zadním nárazníku jsou čtyři parkovací senzory. Stávající zařízení sloužící k výrobě otvorů je jednoúčelový univerzální stroj. V práci je uveden popis zadního nárazníku a popis zařízení JUS pro výrobu otvorů v zadním nárazníku.

U současně používané technologie děrování, pro výrobu otvorů v náraznících, nastávají nepříznivé problémové jevy, takzvané otřepy, vznikající na rubové straně nárazníku neboli na výběhové hraně otvoru. Otřepy ovlivňují samotný průběh montáže držáku senzoru k nárazníku. Z tohoto důvodu podnik Peguform plánuje použití jiné technologie pro výrobu otvorů v nárazníku. Na kvalitu otvorů v nárazníku jsou kladeny požadavky z technologického hlediska jako jsou: tolerance průměru, kvalita hrany otvoru a poškození laku v místě hrany otvoru.

Úkolem diplomové práce je tedy navrhnout vhodnou variantní technologii obrábění, tak, aby vyhovovala technologickým požadavkům. K tomu, aby problém byl vyřešen, je nutné stanovit cíle diplomové práce, kterými jsou:

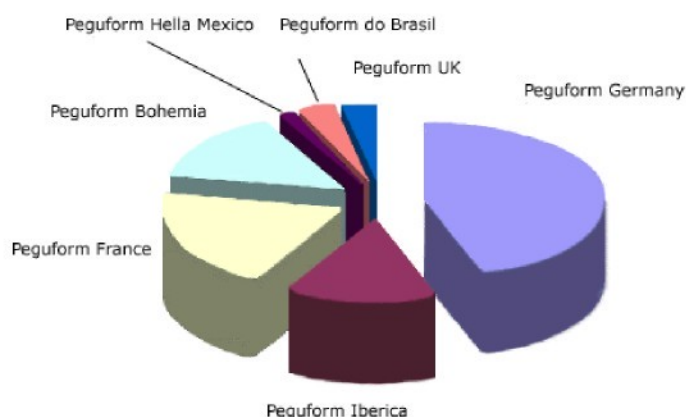
- analýza stavu současné technologie děrování,
- návrh možných, vhodných metod obrábění pro výrobu otvorů,
- návrh vhodných nástrojů s vhodnou geometrií,
- návrh stabilních řezných podmínek při obrábění.

2. PROFIL FIRMY PEGUFORM BOHEMIA k.s.

Podnik Peguform Bohemia k.s. (komanditní společnost) je zaměřen na vývoj a výrobu velkoplošných plastových dílů pro automobilový průmysl. Jeho výrobní náplní je výroba předních a zadních modulů, přesněji se jedná o nárazníkové systémy, lišty a další dílce spojené s těmito moduly. V další řadě se podnik zabývá výrobou dveřních modulů, kapot, částí karoserie což jsou mřížky, krytky atd. Dále se podnik zabývá výrobou kokpitových modulů, mezi které patří přístrojové desky, dveřní panely, vnitřní lemy atd. Peguform Bohemia k.s. se skládá ze čtyř závodů. Dva závody se nacházejí v Liberci a jsou to Peguform Bohemia k.s. Liberec a Peguform Bohemia k.s. závod nástrojárna. Další dva závody spadající do Peguformu Bohemia se nacházejí v Libáni u Jičína a Nymburku.

Peguform Bohemia k.s. Liberec se specializuje na výrobu: nárazníků, palubních desek včetně odkládacích schránek, mřížek chladičů a jiné.

Od roku 1999 se stal Peguform součástí americké firmy "Venture Holding Trust" a zařadil se tak mezi světové dodavatele plastových dílců pro automobilový průmysl. Podnik Peguform má zastoupení v několika částech světa, jak ukazuje obr. 1.



Obr. 1 Graf světového zastoupení Peguformu

Peguform Bohemia k.s. nabízí tyto výrobní technologie: vstřikování, zastřikování fólie, svařování, lepení, vypěňování, lakování, zalisování textilu a fólie, lisování a ořez laserem.

Charakteristickými ukazateli poskytujícími informace pro porovnání Peguformu Bohemia k.s. s jinými podniky jsou například tyto: počet zaměstnanců, který činí 1900 a roční obrát podniku, který byl v roce 2004 zhruba pět miliard korun.

Logistické systémy garantují, že Peguform splňuje své cíle, co se týče množství, kvality, doby realizace a vývoje nákladů. Logistika v tomto podniku optimalizuje řízení materiálového toku s použitím metod jako například KANBAN a Just-in-time. Využití těchto

logistických metod umožňuje dodávat zboží odběrateli ve velkém počtu různých modulových verzí. Výhodné je též situování podniku. Peguform se nachází blízko lokalit výroby automobilů.

Systém řízení kvality je v tomto podniku založen na standardizaci a na soustavném zavádění nových metod. Výrobní stanoviště Peguformu mají certifikáty dle norem DIN EN ISO 9001, VDA 6.1, QS 9000, TS 16949 a EAQF 94. Tento výrobce se přizpůsobuje speciálním požadavkům zákazníků a normám ochrany životního prostředí EMAS a ISO 14001.

3. CHARAKTERISTIKA ZKOUMANÝCH PLASTOVÝCH SOUČÁSTÍ A SHRNUTÍ POZNATKŮ O STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGII VÝROBY KRUHOVÝCH OTVORŮ

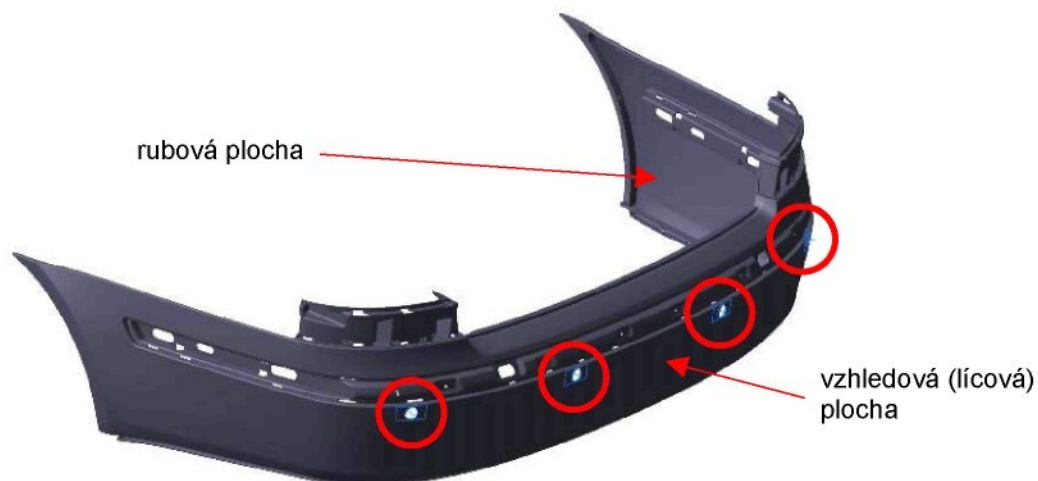
3.1. POSTUP OPERACÍ VÝROBY PLASTOVÉHO DÍLU (NÁRAZNÍKU AUTOMOBILU)

K řešení problému je třeba uvést přehled postupu operací výroby plastového dílu v podniku Peguform Bohemia Liberec k.s.. Nejprve se ze správně připraveného granulátu vystříkne na vstřikovacích lisech výsledný tvar součásti, dílec má tvar nárazníku na osobní automobil. Dále postupuje díl do lakovny, kde se na něj postupně nanesou tři vrstvy laku. První vrstva laku se nazývá “primer“, která slouží jako podklad pro další vrstvy, zajišťuje přilnavost laku k plastu. Druhá vrstva laku vytváří barevný odstín na konečném výrobku a nazývá se “básislak“, používaná zkratka pro tuto vrstvu je BS. Poslední, třetí nanášená vrstva se nazývá “klárlak“, používá se pro něj zkratka CC. Vrstva CC výrazně ovlivňuje výsledné vlastnosti lakovaného dílu, jako jsou lesk, povrch, tvrdost atd. Z lakovny putuje díl na montážní pracoviště, kde jsou k němu přimontovány dílčí součásti, lišty a podobné součásti.

Na montážním pracovišti postupuje díl na jednoúčelový stroj, na kterém jsou prováděny dvě výrobní operace. První operací je výroba čtyř otvorů technologií stříhu, přesněji děrováním. Druhou operací je přilepení čtyř dílčích součástí, tedy držáků čidel k základnímu dílu (k nárazníku) na místa, kde byly v předchozí operaci vyrobeny otvory.

3.2. POPIS DĚROVANÉHO DÍLU (NÁRAZNÍKU AUTOMOBILU)

Děrovaná součást má tvar zadního nárazníku na osobní automobil firmy ŠKODA Auto a.s a je určen konkrétně pro modelovou řadu Octavia. Nárazník je zobrazen na obr. 2.



Obr. 2 Zadní nárazník na automobil Škoda Octavia A5 s vyznačenými čtyřmi místy pro držáky senzorů

Nárazník se v současné době vyrábí z daného druhu konstrukčního plastu. Pro potřeby této práce bude tento současně používaný materiál označován jako SABIC 95610.

3.2.1. OBECNÁ CHARAKTERISTIKA PLASTŮ JAKO KONSTRUKČNÍCH MATERIÁLŮ

V dnešní době, v 21. století, nacházejí konstrukční plasty častější uplatnění, nejinak je tomu i v automobilovém průmyslu, kde se díky jejich snadnému zpracování a jejich vlastnostem dostávají do popředí a patří mezi nejmodernější konstrukční materiály.

Plasty se vyrábějí jako plně syntetické nebo přeměnou přírodních surovin. Surovinový základ pro plně syntetické materiály tvoří základní suroviny, jako jsou ropa, zemní plyn, voda, uhlí a jiné.

Plasty jsou materiály, jejichž podstatou jsou makromolekulární látky. Toto zařazení je dle normy ČSN 64 0001 [2].

Makromolekulární látka je taková, jejíž molekulová hmotnost je vyšší než 10000. Molekulová hmotnost, která též udává velikost makromolekul, je bezrozměrné číslo, je to relativní hodnota vzhledem k atomu kyslíku. Jde o součet relativních atomových hmotností atomů obsažených v jednom monomeru [7]. Makromolekulární látky se připravují polyreakcemi monomerních sloučenin, které představují stavební jednotky vytvářející polymer (plast) [2]. Výchozí nízkomolekulární sloučeniny se označují monomer. Spojením několika monomerních jednotek vzniká tedy polymer. Kopolymerem je nazýván výsledek, který vznikne spojením dvou a více monomerů. Toto spojení je zprostředkováno kopolymerací, která umožňuje upravovat vlastnosti polymerů v žádoucím směru.

Jak již bylo uvedeno, makromolekulární látky se připravují polyreakcemi, kterými jsou polymerace, polykondenzace a polyadice. Jsou to ve své podstatě jednoduché chemické reakce.

Z chemického hlediska jsou plasty organické sloučeniny, takzvané sloučeniny s uhlíkem, pro něž platí v obecném smyslu i zákonitosti organické syntézy [7].

Makromolekuly vytváří zesíťované struktury nebo lineární řetězce [2]. Řetězce makromolekul se mohou, pokud mají pravidelnou a lineární strukturu, skládat k sobě do nejtěsnějšího uspořádání. Přitom vznikající pravidelná struktura se označuje jako krystalizace. Velkou délkou molekul však dochází ke smyčkování a tím k neúplné krystalizaci. Tyto plasty se nazývají semikrystalické (částečně krystalické) [7].

3.2.2. POPIS MATERIÁLU NÁRAZNÍKU

Materiál, ze kterého je nárazník vyroben je plast, jak již bylo napsáno v předchozí kapitole. Firemní označení materiálu je SABIC PP 95610 orig.+ SABIC PP compound 20MBT černý. Výrobcem materiálu je firma SABIC, která má zázemí v Holandsku. Charakteristika materiálu: SABIC PP 95610 je reaktorový polypropylén (PP), elastomerem modifikovaný v přírodní barvě s přidáním 20% SABIC PP compound 20MBT černý (masterbatch (MBT) neboli barva + 10% talku a aditiv) [3]. Tato charakteristika materiálu je udáváná pro interní podnikové potřeby.

K zjednodušení popisu materiálu lze uvést, že se jedná o druh materiálu, který má tři složky. První složkou je kopolymerní polypropylén (PP). Druhou složkou je etylén propylén dién (EPDM), což je polyolefinový kaučuk. Poslední třetí složkou je plnivo. Plnivem je zde talek, barva a aditiva, přičemž talek je minerální příměs pro zlepšení mechanických vlastností a slouží též k potlačení tažnosti. Tímto vyváženým složením materiál vyniká výbornou rázovou houževnatostí i při velmi nízkých teplotách [3]. Vlastnosti výše popsaného materiálu jsou uvedeny v tabulce 1.

Jelikož větší podíl materiálu v celku nárazníku tvoří polypropylén (PP), je vhodné uvést základní poznatky o polypropylénu. Samotný PP má semikrystalickou strukturou a patří do skupiny termoplastů. Termoplasty mají na rozdíl od reaktoplastů schopnost opakovaně ohřevem měknout a ochlazením tuhnout v teplotním intervalu charakteristickém pro daný plast. PP spadá též do skupiny polyolefinů, což je podskupina termoplastů a jsou to plasty polymerací olefinových uhlovodíků. Jeho výroba vychází přímo z propylenové frakce při destilaci ropy a není tedy založena na chemické syntéze, jako je tomu u všech ostatních polymerů, kromě polyetylenu (PE) [16]. Nevýhodou samotného polypropylénu je jeho křehkost za nízkých teplot [2]. Další vlastnosti polypropylénu jsou uvedeny v tabulce 1.

Tloušťka stěn nárazníku je v převážné míře cca 3 mm. Výroba dílce se provádí technologií vstřikování. Charakteristické rozměry nárazníku jsou 1725 mm x 412 mm x 944 mm.

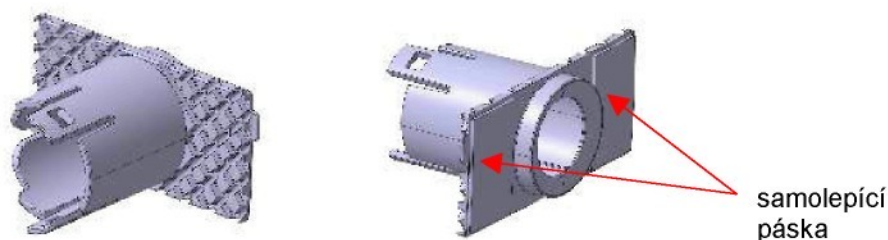
Podnik Peguform plánuje v nejbližší době výrobu nárazníků z materiálu SABIC 108MF10, což je obdobný materiál jako současně používaný materiál SABIC 95610. Tažnost materiálu SABIC 108MF10 je 200%. Přesné parametry tohoto materiálu jsou uvedeny v tabulce 1.

Druh Plastu	SABIC 95610		SABIC 108MF10	Polypropylén (PP)	
Vlastnosti fyzikální	Měřeno	Udáno výrobcem	Udáno výrobcem	zk při 20 [°C]	Jednotky
Hustota	-	0,96	0,96	0,91	g/cm ³
Smrštění na desce 50x50 2mm -b kolmo Ttav = 235 [°C]	1,06	1,15	1,15		%
Koeficient lineární roztažnosti	-	80	80		10 ⁻⁶ /K
Vlastnosti technologické					
Index toku taveniny teplota 230 [°C] zatížení 21,2 [N]	-	5	-		g/10 min
Zákl.vstřik.teplota TZ při 40 [cm]	263	-	-		[°C]
Index tekutosti spirály lts při 240 [°C]	38,21	-	-		cm
Vlastnosti mechanické					
Mez kluzu	-	17	18	26 - 38	MPa
Pevnost v tahu	-	19	16		MPa
Tažnost	-	500	200	700 - 800	%
Modul pružnosti v ohybu	1148	1000	1100		MPa
Vrubová houževnatost CHARPY T1 = 23 [°C]	67,5P	59	60	3 až 15	kJ/m ²
Rázová houževnatost CHARPY T1 = 23 [°C]		Neporušeno	Neporušeno	Neporušeno	kJ/m ²
Vlastnosti tepelné					
Odolnost za tepla VICAT A 50	-	120	-		[°C]
Teplota průhybu ISO 75 B	-	85	-		[°C]
Maximální teplota zpracování	-	270			[°C]
Minimální teplota zpracování	-	200			[°C]

Tab. 1 Vlastnosti materiálů: SABIC 95610, SABIC 108MF10 a polypropylénu (dle [2,3])

3.3. POPIS DRŽÁKU SENZORU

Držák senzoru (čidla), je spojován se základní děrovanou součástí neboli nárazníkem a je vyroben též z polymerního materiálu. Držák senzoru obstarává funkci přichycení senzoru k nárazníku. Znázornění držáku je na obr. 3.



Obr. 3 Držák senzoru

Důležitým rozměrem držáku senzoru je vnější průměr válcové části $\varnothing d = 27^{+0,2}_{-0,1}$ mm.

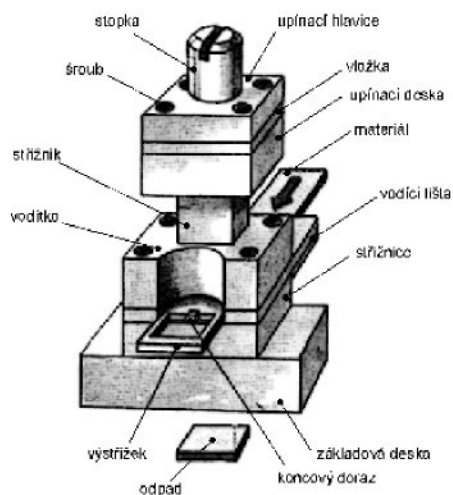
Samolepící pásku tvoří vrstva lepidla zaručující spoj mezi nárazníkem a držákem čidla.

Zmíněné senzory slouží k indikování vzdálenosti automobilu od překážky při průběhu parkování, a nazývají se tedy parkovacími senzory.

3.4. POPIS STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE VÝROBY OTVORU

Výroba otvoru v nárazníku je v současné době prováděna stávající technologií stříhání. Pro orientaci v problematice současné technologie stříhu, je třeba uvést základní definici stříhu. Střih je plošné tváření, proces plastické deformace s cílem oddělit určitý objem materiálu. V přesnější terminologii lze tento případ výroby otvoru nazývat děrováním, jelikož vystřižený materiál je odpad. Stříhání je z hlediska ekonomického vhodný a výkonný způsob dělení materiálu. Tato technologie je nejlépe zvládnuta pro ocelové plechy, kde nastávají příznivé podmínky, hlavně vlivem mechanických vlastností oceli. Jelikož děrovaný díl je z plastu, vykazuje určité nepříznivé mechanické vlastnosti. Nejnepříznivější vliv na průběh a výsledek operace děrování má vysoká tažnost. U zkoumaného materiálu SABIC 95610 je 500% tažnost a u materiálu SABIC 180MF10 je tažnost 200%.

Hlavní části střížného nástroje jsou střížník a střížnice, které jsou součástí stříhadla, orientační schéma stříhadla je uvedeno na obr. 4.



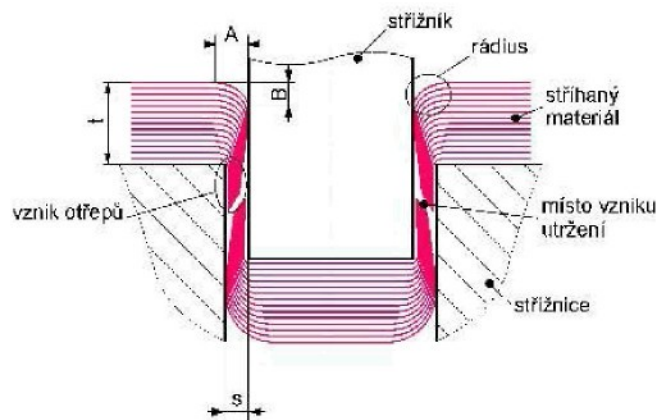
Obr. 4 Orientační schéma střížného nástroje (dle [17])

3.4.1. TEORETICKÉ POZNATKY O TECHNOLOGII STŘIHÁNÍ PLASTŮ

Teoretický průběh stříhu lze rozdělit do tří základních fází. V první fázi těsně po dosednutí střížníku na stříhaný materiál dochází k pružné deformaci stříhaného materiálu. Ve druhé fázi napětí roste až na mez kluzu, dochází k trvalé deformaci materiálu. Střížník vniká do materiálu, vnější povrch materiálu je tažen střížníkem do střížné plochy prozatím bez vzniku trhliny. Jakmile vznikne trhlina, nastává třetí fáze, materiál je namáhán nad mez pevnosti ve stříhu. Trhlina vzniká ve směru největšího smykového napětí přibližně pod úhlem 45° na směr tahového napětí. Rychlost vzniku a rychlost postupu trhlín jsou závislé na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu a na velikosti střížné mezery. Čím je materiál tvrdší a křehčí, tím je postup trhliny rychlejší. Materiály s nízkým modulem pružnosti, což je také případ plastů, se při stříhání v podélném směru protahují, a proto je třeba uplatnit zvláštních opatření při konstrukci střížného nástroje. Zvláštní úpravy nástroje je třeba vždy tam, kde pevnost v ohybu, tahu nebo tlaku je nižší, než pevnost ve stříhu [5].

Pro pochopení chování plastů při stříhání je vhodné popsat chování oceli při téže operaci. U oceli je pravděpodobné, že první trhliny vzniknou v napjaté povrchové vrstvě materiálu v místě hrany střížníku a střížnice. Díky zvýšené křehkosti zpevněného materiálu se tyto trhliny v napjatém materiálu rychle šíří, a to i v případě, když je další posuv střížníku již pouze minimální. Při dodržení optimální střížné mezery se obě trhliny rychle setkají a dojde k oddělení materiálu. Při stříhání plastů, které jsou velmi tvárné, se vzniklá trhlina dále nešíří takovou rychlostí jako u kovů, čímž se může porušit pouze povrchová vrstva. V okamžiku prvního kontaktu střížníku se stříhaným materiálem nastává stříhání, protože se trhlina nemusí dále šířit, trvá stříh pouze určitý okamžik, přičemž délka stříhu je úměrná velikosti trhliny a rychlosti pohybu trhliny. Vnitřní vrstva, která není v přímém kontaktu s hranami střížníku a střížnice a není zasažena trhlinou, je však nadále tažena. Střížník tedy musí pokračovat ve svém pohybu až do té doby, kdy je tažený materiál přetržen. Před přetržením může být materiál tažen až do vzdálenosti přesahující okraj materiálu, čímž vzniká nežádoucí otřep. Otřep je tedy část střížné plochy, která přesahuje za původní tloušťku materiálu [5].

Vzniká případ určité kombinace stříhání a hlubokého tažení (viz obr. 5). V extrémních podmínkách velmi velké střížné mezery a velmi tažného materiálu, či tupé hrany nemusí trhlina v místě hrany střížníku a střížnice vzniknout vůbec. Nastává tak pouze nežádoucí hluboké tažení a následné utržení [5].



t ... tloušťka stříhaného materiálu

s ... střížná mezera

Obr. 5 Nevhodný tvar střížné plochy polymerního materiálu (dle [5])

Pro zkoumání vlivu tažnosti stříhaného materiálu na kvalitu stříhu je rozhodující rozměr A a B , viz obr. 5. Rozměry jsou charakteristické pro nekvalitní střížnou plochu, přičemž větší je rozměr A i B , tím je nekvalitnější střížná plocha. Hodnoty rozměrů A a B udávají velikost rádiu r_s na hraně střížné plochy.

Kritériem je tažnost materiálu, čím je větší tažnost A [%], tím je větší rádius r_s střížné plochy. Dalším parametrem ovlivněným tažností je vznik otřepů a platí, že čím větší je tažnost tím větší je vznik otřepů.

3.5. POPIS DĚROVACÍHO A LEPÍCÍHO ZAŘÍZENÍ (JUS)

Zařízením sloužícím k prostřihování otvorů v nárazníku a zároveň k lepení držáků senzorů k nárazníku je jednoúčelový univerzální stroj (JUS), znázorněný na obr. 6.

Nosný rám stroje je spojen, sešroubován a svařen z ocelových profilů. K rámu je zabudováno pojezdové ústrojí s lineárním vedením. Na tomto ústrojí je upevněn základací přípravek pro nárazník. Přípravek koná po lineární horizontální dráze pohyb ze základací polohy (též lepící poloha) do stříhací polohy. Tento pohyb pohání pneumatická jednotka.

Popis polohy pro prostřihování otvorů (poloha zadní)

Jednotlivé části čtyř prostřihovacích jednotek jsou připevněny na dvou masivních ocelových svařencích. Horní svařenec je připevněn k nosnému rámu stroje a nese čtyři pneumatické jednotky. Pístnice pneumatických jednotek nesou střížníky. Dolní centrální svařenec je též připevněn k nosnému rámu stroje a nese čtyři střížnice.

Popis polohy pro vlepování držáků senzorů (poloha přední)

Tato poloha je též polohou pro zakládání nárazníku. Pneumatické jednotky slouží pro vlepování držáků senzorů k nárazníku. Jednotky jsou umístěny do dolní části stroje a jsou připevněny k dolnímu centrálnímu svařenci. Tyto jednotky mají zakládací vložky pro držáky.

V horní části stroje jsou umístěny dvě přitlačovací kladky, které přidržují nárazník pro obě polohy a brání v jeho pohybu ve směru vertikály. Pro správné založení nárazníku slouží dvě zakládací deskové lože kopírující tvar dílu a také dvě záchytné matice sloužící k témuž účelu.



Obr. 6 Děrovací a lepící zařízení

Zakrytování stroje je provedeno z hliníkových profilů v kombinaci s pletivovými výplněmi. Zakládací prostor je chráněn posuvným krytem, která koná pohyb ve svislém směru. Podrobnější popis částí JUS je na obr. 7 a obr. 8.

Hlavní technické údaje zařízení

Půdorysné rozměry: 2500 x 1300 mm.

Výška: 2500 mm.

Hmotnost: 1400 kg.

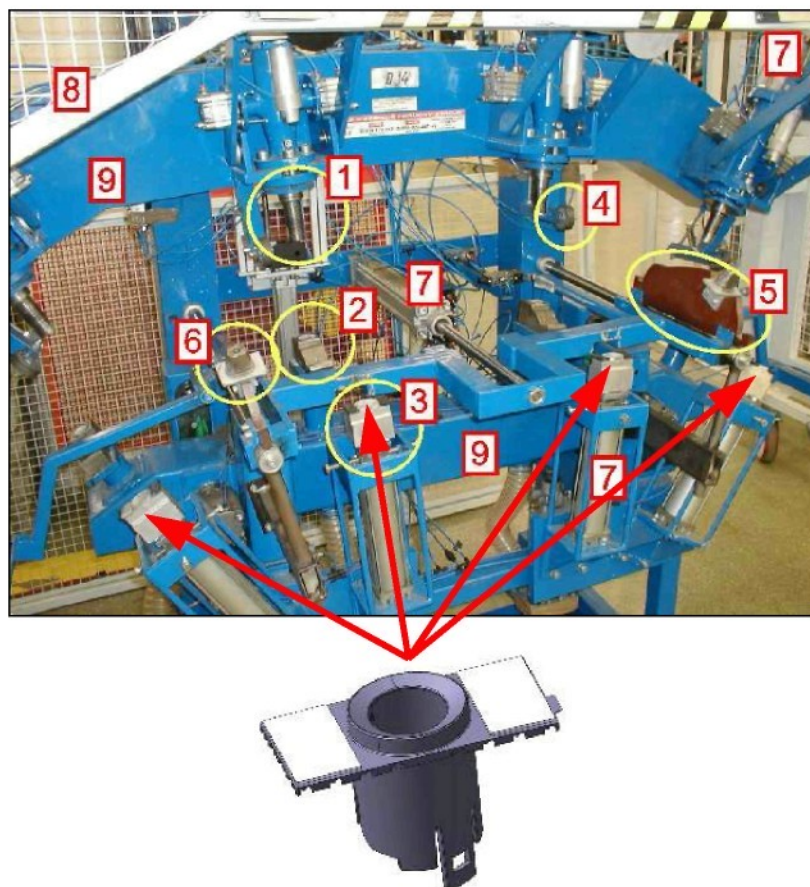
Přívod vzduchu: jmenovitý tlak 0,6 MPa.

Elektrické napájení: 1 x 230 V, 50 Hz

Rozměry střížníku a střížnice

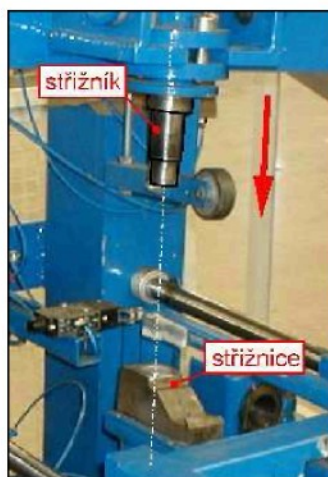
Průměr střížníku: $\varnothing d_s = 27,15$ mm.

Průměr střížnice: $\varnothing d_E = 27,20$ mm.



- 1 - střížník, 2 - střížnice, 3 - základací vložky pro držáky senzorů, 4 - přitlačovací kladky,
 5 - základací lože pro nárazník, 6 - záchytné matice,
 7 - pneumatické jednotky, 8 - ochranná mříž, 9 - rám stroje

Obr. 7 Stroj JUS s popisem a znázorněním usazení držáků čidel



Obr. 8 Detail stříhadla, šipka znázorňuje pohyb střížníku

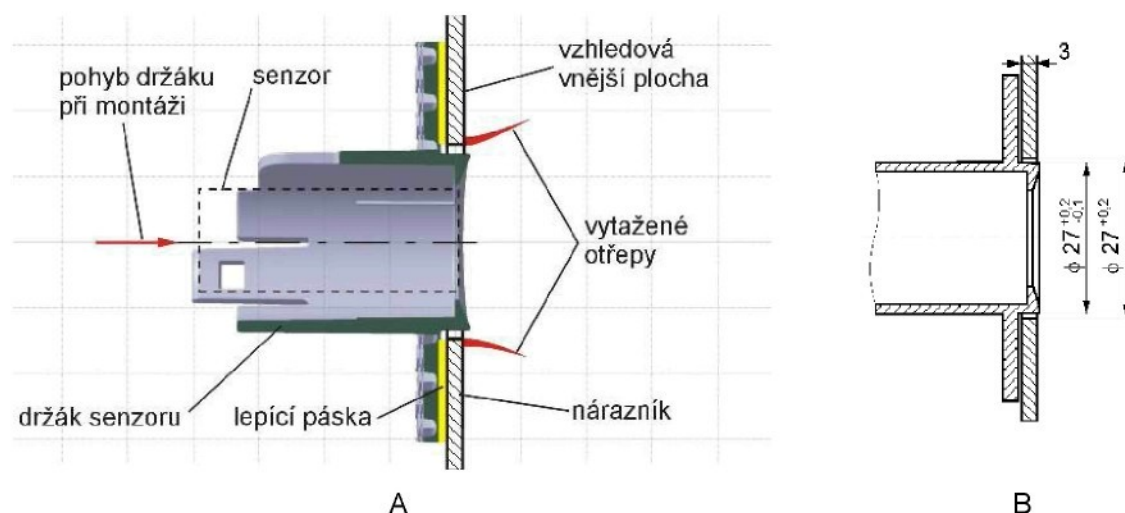
Popis prací na zařízení JUS

Nejdříve je na nárazníku nutno odmastit místa, ve kterých bude lepený spoj. Po založení nárazníku a čtyř držáků senzorů do základacích prostorů stroje v základací poloze obsluha zapolohuje záchytné matice a po kontrole upnutí uzavře ochrannou mříž. Dále proběhne automatický cyklus, prostřížení čtyř otvorů a vlepení čtyř držáků senzorů. Na konci cyklu dojde k automatickému otevření ochranné mříže a obsluha uvolní záchytné matice a vyjme nárazník.

Automatický cyklus: zapnutí cyklu → najetí do zadní polohy → přijetí střížnic → přijetí přitlačných kladek → první operace - děrování → odjetí přitlačných kladek → odjetí střížnice → změna polohy do polohy přední → druhá operace - lepení držáků senzorů a doba potřebná na tuhnutí lepidla ≈ 30 s → konec cyklu. Celkový operační takt trvá zhruba 40 sekund.

Při montáži (přilepení) držáku senzoru k nárazníku dochází k vytažení otřepů směrem ven na vzhledovou, vnější plochu nárazníku. Otřepy vznikají při operaci děrování nárazníku. Toto vytažení otřepů je zobrazeno na obr. 8 A.

Vytažení otřepů je tedy hlavní příčinou proč podnik Peguform požaduje aplikaci jiné technologie na výrobu otvoru v nárazníku. Na obr. 8 B je zobrazen držák senzoru a nárazník s otvorem. Na obrázku 8 B je též zakótován průměr válcové části držáku senzoru a průměr otvoru v nárazníku. Na obr. 10 je zobrazeno situační schéma držáků senzorů s nárazníkem. Držáky senzorů jsou zhruba umístěny ve dvou třetinách výšky nárazníku. Tento rozměr je měřen od spodní hrany nárazníku.



Obr. 9 Schéma sestavy držáku senzoru s nárazníkem



Obr. 10 Situační schéma držáků senzorů s nárazníkem

4. ROZBOR FAKTORŮ AKTUÁLNĚ OVLIVŇUJÍCÍCH KVALITU DĚROVANÝCH DÍLŮ A NÁVRH VARIANTNÍHO ŘEŠENÍ VÝROBY OBRÁBĚNÍM

4.1. POŽADAVKY KLADENÉ NA KVALITU NÁRAZNÍKU

Požadavky na kvalitu nárazníku stanovuje LASTENHEFT (LAH). LAH je tedy sešit požadavků, což v praxi znamená dohodu mezi výrobcem a odběratelem zahrnující též výkresovou dokumentaci.

Obecný obsah LAH:

- materiál zvolit na bázi polypropylénu modifikovaného minerálem a elastomerem,
- požadovaná fyzikální vlastnost materiálu, koeficient lineární roztažnosti $80 \times 10^{-6}/K$,
- minimální spáry mezi nárazníkem a dílčími součástmi,
- doporučená tloušťka stěn nárazníku: $3,5^{+0,3}_{-0,2}$ mm,
- díl celoplošně lakovat v barvě vozu dle normy TL211 viz [3].

Požadavky kladené vzhledem k problematice děrování

Na technologii děrování je kladen požadavek, aby výroba otvorů v nárazníku byla bez vzniku otřepů (z důvodu montáže), rozměrových nepřesností, bez porušení povrchové lakované vrstvy (bez prasklin na povrchu), bez vzniku zbělení materiálu v oblasti stříhu a aby vznikl minimální radius r_s . Zbělení děrovaného materiálu v oblasti stříhu (otvoru), je způsobeno jeho nadměrným zatížením, které vzniká při průběhu děrování. Průměr vystřiženého otvoru v nárazníku je dle výkresové dokumentace $\varnothing D_{ot} = 27^{+0,2}$ mm. Ve výkresové dokumentaci je též uveden předepsaný přesah držáku senzoru nad vzhledovou plochu nárazníku, tento rozměr je $0,4^{+0,1}_{-0,2}$ mm.

4.2. SOUČASNÝ STAV VÝROBY OTVORŮ V NÁRAZNÍKU AUTOMOBILU

Stav kvality po vyrobení otvoru v nárazníku stávající technologií děrováním je následující: a) přítomnost nežádoucích otřepů, b) přesah držáků senzorů nad lakovanou plochu nárazníku ve spojovaných plochách nebo „utopení“ držáků senzorů pod lakovanou plochu nárazníku ve spojovaných plochách.

Technologie děrování se nachází v současné době v neoptimalizovaném stavu, jejíž používání je nevyhovující. Pro optimalizaci procesu je třeba dodržet optimální podmínky, které lze chápat jako podmínky nastavení a respektování všech příznivě ovlivňujících parametrů, jak technologických, organizačních tak i konstrukčních.

Technologické parametry jsou:

- rychlost průniku střížníku děrovaným materiálem,
- teplota střížníku,
- volba materiálu nárazníku,
- tloušťka lepicí pásky na křídélkách držáku senzoru.

Organizační parametry jsou:

- údržba.

Konstrukční parametry jsou:

- minimální střížná mezera,
- úprava tvaru dosedacích ploch střížníku a střížnice
- úprava držáku senzoru.

Neoptimalizovaný stav je stav, kde nejsou splněny a v některých případech dodrženy některé optimální konstrukční, organizační a technologické parametry, které jsou:

- rychlost průniku střížníku děrovaným materiálem,
- tloušťka lepicí pásky na křídélkách držáku senzoru,
- údržba,
- úprava tvaru dosedacích ploch,
- úprava držáku čidla.

Popis a vysvětlení jednotlivých parametrů je uvedeno v následující kapitole.

Předcházející technologie lakování nárazníku neovlivňuje technologii děrování.

4.3. ROZBOR FAKTORŮ OVLIVŇUJÍCÍCH VÝROBU OTVORŮ DĚROVÁNÍM

Výrobu otvorů v nárazníku stávajícími technologiemi děrováním ovlivňuje celkem osm hlavních faktorů, které jsou popsány dále.

1. Rychlost průniku střížníku děrovaným materiálem

Rychlost děrování je závislá na přivodním tlaku do pneumatické jednotky a na průměru pneumatického válce. Čím bude větší střížná rychlost, tím bude kvalitnější střížná plocha [3].

2. Teplota střížníku

U současné technologie děrování je aplikováno vytápění střížníku, s teplotou střížníku na jeho vnější ploše přibližně $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ a teplotou vytápěcích tělísek zhruba $+113\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vytápění střížníku má význam jen pro zmenšení velikosti zbělení v okolí otvoru, na výskyt otřepů nemá významný vliv [3]. Může působit však negativně, a to při teplotě střížníku nad $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$, kdy dochází k nadměrné deformaci plochy v místě stříhu vlivem tepla.

3. Volba materiálu nárazníku

Současně používaný materiál nárazníku je SABIC 95610. Do budoucna podnik Peguform plánuje použít materiál SABIC 108MF10, který je velmi podobného složení jako SABIC 95610. Z důvodu ekonomických a konstrukčních zvyklostí pro tento typ součásti byl zvolen materiál polymerní. Tento požadavek na specifický druh plastu nelze zvrátit, taktéž ho předepisuje i LAH. Charakteristická vlastnost předepsaného materiálu je vysoká tažnost. Tažnost má hlavní nepříznivý vliv na proces stříhu. Čím je větší tažnost A [%], tím je větší zaoblení (rádiusu r_s) střížné plochy, a tudíž je nereálné odstranění otřepů při technologii děrování u předepsaného materiálu [5].

4. Menší tloušťka lepicí pásky na křídélkách držáku senzoru

Tloušťka lepicí pásky má vliv na dodržení předepsaného přesahového rozměru držáku senzoru v nárazníku. Předepsaný přesahový rozměr dle výkresové dokumentace je $0,4^{+0,1}_{-0,2}$ mm. Tloušťka lepicí pásky by měla být menší, než je v současné době používaná tloušťka.

5. Údržba

Správnou údržbou lze dosáhnout lepších výsledků výroby otvoru v nárazníku a také díky tomu včas odhalit nežádoucí jevy, které zhoršují průběh práce. Důležitá je údržba střížníku a střížnice. Ostření střížníku a střížnice by mělo být prováděno po třech týdnech provozu. Důležitá je též údržba v průběhu směny, třikrát za směnu by mělo být prováděno čištění střížníku a střížnice od vrstvy laku, která se zachycuje na povrchu vlivem vlastností děrovaného materiálu. Při současném stavu údržby, je nabroušení střížníku a střížnice prováděno až po objevení nežádoucích otřepů na střížné ploše nárazníku. Údržba v průběhu směny není v současné době prováděna.

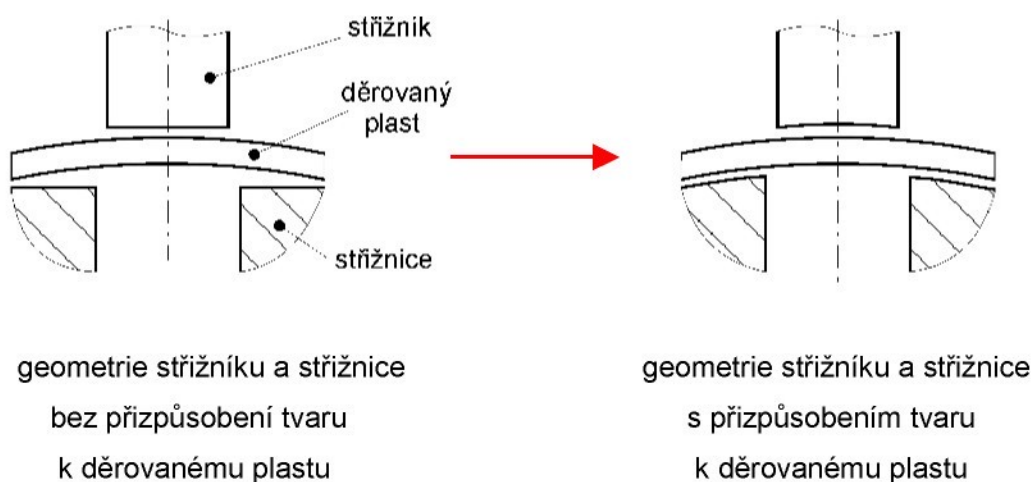
6. Minimální střížná mezera

Velikost střížné mezery (s) hraje významnou roli při střížném procesu, pro stávající technologii děrování se doporučuje maximálně 0,1 mm [3]. Volba velikosti střížné mezery ovlivňuje životnost střížníku a střížnice. Též má vliv na síly působící během stříhu, kterými jsou: střížná síla a vytahovací síla a dále ovlivňuje i přesnost a tvar vyráběného otvoru. Čím je menší střížná mezera, tím je větší střížná síla. Čím je větší střížná mezera, tím jsou větší boční síly, které mohou vychýlit střížník.

7. Konstrukční úprava tvaru dosedacích ploch střížníku a střížnice

Konstrukční úprava znamená přizpůsobení geometrie střížníku, střížnice a přidržovacího zařízení nárazníku ke geometrii nárazníku. Tímto způsobem lze pozitivně ovlivnit průběh stříhu, kdy styk střížníku s děrovanou plochou je v jednom okamžiku na všech místech stejný. Konstrukční úprava má podstatný vliv na dodržení požadované tolerance průměru a kruhovitosti otvoru a tím bude získána ostrá vzhledová hrana otvoru. Současný

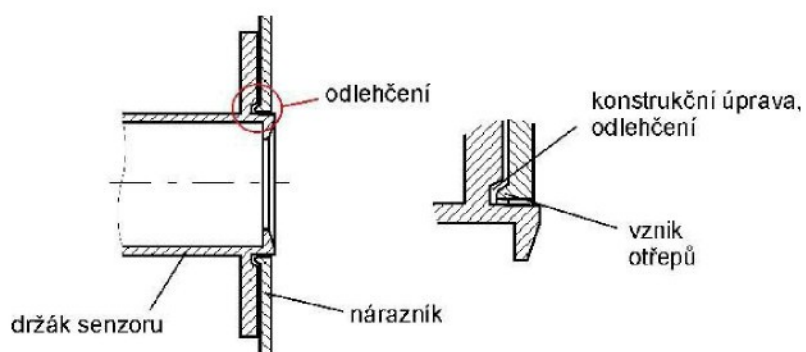
stav konstrukce střížníku a střížnice nezajišťuje, aby najednou (nikoliv postupně) byl prostřihován obvodový tvar otvoru v závislosti na posuvu střížníku, viz obr. 11.



Obr. 11 Přizpůsobení geometrie střížníku a střížnice

8. Konstrukční úprava držáku senzoru

Konstrukční úprava držáku senzoru znamená výrobu odlehčení na držáku viz obr. 12. Tímto řešením by mělo být dosaženo odstranění nežádoucích jevů, jako je vytahování vzniklých otřepů směrem k vzhledové ploše nárazníku. Vzniklý otřep nedovolí úplnému dosednutí obou spojovaných ploch a zapříčiňuje přesahové nepřesnosti držáku senzoru vůči vzhledové (vnější) ploše nárazníku.



Obr.12 Konstrukční úprava držáku senzoru

Splnění a dodržení těchto osmi předchozích bodů by značně napomohlo ke zlepšení technologie děrování a zlepšení kvality prostřihovaných otvorů v nárazníku.

4.4. NÁVRH VÝROBY OTVORU TECHNOLOGIÍ OBRÁBĚNÍ

Obráběním se zpravidla označují postupy, při nichž vzniká tříska a v podstatě jde o řezání pomocí nástroje, analogicky přirovnáváno k zasunování klínu do materiálu. Relativním pohybem mezi nástrojem a obrobkem vzniká úběr obráběného materiálu. Základní pojmy a definice obrábění jsou popsány v normách ČSN 22 00 10 a ČSN 22 00 11.

Výrobu otvoru lze realizovat různými způsoby obrábění, které lze pro potřebu této práce dělit následujícím způsobem.

Dle zařízení:

- a) pomocí vysokorychlostního obrábění (vyžadující speciální výrobní zařízení),
- b) pomocí standardního výrobního zařízení.

Dle metody obrábění:

- a) konvenční metodou,
- b) nekonvenční metodou.

Dle nástroje:

- a) nástroj s vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD),
- b) nástroj z jednoho celku (monolit),
- c) pomocí vrtáku (dvoubřitý nástroj),
- d) pomocí korunkového vrtáku na jádro,
- e) pomocí vícebřitého nástroje na jádro,
- f) pomocí stopkové či drážkovací frézy pro čelní zanořování do materiálu,
- g) pomocí kulové (rádiusové) frézy,
- h) pomocí jednobřitého nástroje (kruhová interpolace),
- i) pomocí sdruženého nástroje,
- j) pomocí vykružovacího stavitelného nástroje,
- k) kombinace dvou obráběcích technologií (např. kombinace stříhu s obráběním),
- l) kombinace dvou výrobních operací (např. vrtání s frézováním),
- m) pomocí nekonvenčních obráběcích metod (paprsek vody, paprsek fotonů).

Dle dráhy nástroje:

- a) jednoosý pohyb nástroje,
- b) dvouosý pohyb nástroje (kruhová interpolace).

Dle chlazení:

- a) bez chlazení,
- b) s chlazením (přesněji proudem vzduchu).

Pro porozumění problematiky obrábění plastů, považuji za důležité v následujících kapitolách uvést poznatky o obrábění plastů.

4.4.1. ZÁKLADNÍ POZNATKY O OBRÁBĚNÍ PLASTŮ

Snahou jakékoliv technologie je získat přímo konečný tvar součásti, nevyžadující další opracování. Současné uplatnění technologie obrábění plastů se aplikuje při prototypové výrobě u přípravných operací i při dokončovacích pracích a ve všech typech výroby od kusové až po hromadnou. Obrábění má význam při výrobě dílců zhotovitelných jinými technologiemi jen s obtížemi, např. tlustostěnné dílce a dílce s rozdílnou tloušťkou stěny.

Předností obrábění je jeho snadná přizpůsobitelnost, jak vlastnostem materiálu, tak i tvaru výrobku, a proto se obrábění plastických hmot stává více častější, nasvědčuje tomu i výskyt firem na trhu, které se specializují na obrábění plastů. Nevýhodou obrábění je však nižší produktivita práce oproti tvářecím procesům.

Historie obrábění plastů

K rozvoji obrábění plastů došlo asi před 130 léty s příchodem tvrdé gumy (gumoidu, ebonitu), později nitrátu celulózy (celuloidu), umělé rohoviny (galalitu) a následně dalších plastických hmot [10].

Všeobecně je známo, že pro obrábění plastů platí podobné podmínky jako při obrábění lehkých kovů nebo dřeva a proto i obráběcí stroje jsou stejné jako při obrábění kovů nebo dřeva [6]. Při obrábění plastů se jako způsobů obrábění používají: dělení, frézování, soustružení, vrtání, řezání závitů a broušení.

Podmínky obrábění je nutno přizpůsobit specifickým vlastnostem plastů, kterými jsou:

a) Tepelná vodivost, je příčinou, že podstatnou část tepla vzniklého při obrábění musí odvést z místa řezu řezný nástroj. Její hodnoty jsou 500 až 600krát menší než u kovů, prakticky jsou v rozsahu 0,03 až 0,25 [W m⁻¹K⁻¹] [10]. Tepelná vodivost polypropylénu PP je $\lambda_{PP} = 0,22$ [W m⁻¹K⁻¹] [2]. Pro srovnání tepelné vodivosti plastů s tepelnou vodivostí kovů, lze uvést například tepelnou vodivost ocele $\lambda_{OC} = 47$ [W/mK] a mědi jako dobrého tepelného vodiče $\lambda_{Cu} = 394$ [W m⁻¹K⁻¹] [8]. Veškeré teplo vzniklé při obrábění musí být z místa řezu odvedeno nástrojem či okolím. Břit nástroje je značně tepelně namáhán a tím je i jeho opotřebení intenzivnější (možnost vzniku lavinovitého opotřebení) [1]. Aby byl vývin tepla co nejmenší, musí být nástroj dokonale ostrý a břit musí mít optimální geometrii [2]. Velké množství tepla vzniká zejména při obrábění termoplastů se skleněnými vlákny, doporučuje se použít řezných břitů z SK či diamantu [10].

b) Měrný řezný odpor je mnohem nižší než u kovů [2]. Tato vlastnost je z hlediska vývinu tepla příznivá, protože umožňuje volit větší úhel čela a hřbetu [1]. V praxi je v některých případech vlivem vlastností plastu možné natavení a přilnutí materiálu na řezný

nástroj a tím se řezný odpor prudce zvyšuje [2]. Hodnoty řezných odporů některých termoplastů jsou:

- PE 80 až 110 MPa,
- PP 190 MPa,
- PVC 200 MPa,
- PMMA 200 MPa [10].

Pro porovnání, například měrný řezný odpor u hliníku je v rozmezí 600 až 1400 MPa nebo u ocelí je mezi 400 až 6000 MPa. U obrábění vyztužených plastů je měrný řezný odpor shodný s hodnotami udávanými u ocelí střední pevnosti ($R_m = 600$ až 700 MPa) [10]. Vzhledem k nízkému řeznému odporu mohou mít nástroje pro obrábění plastů podstatně menší rozměry, než nástroje pro obrábění kovů (toto platí jen pro některé plasty bez plniv). U plastů se skleněnými vlákny se měrný řezný odpor podstatně zvýší [10].

c) Adheze (přilnavost) některých plastů. Velká adheze plastu k břítu nástroje, se může vyskytovat i při volbě optimálních řezných podmínek. Adheze vede k opotřebení břítu nástroje adhezním otěrem. Při obrábění vyztužených plastů dochází k opotřebení břítu nástroje abrazivním otěrem.

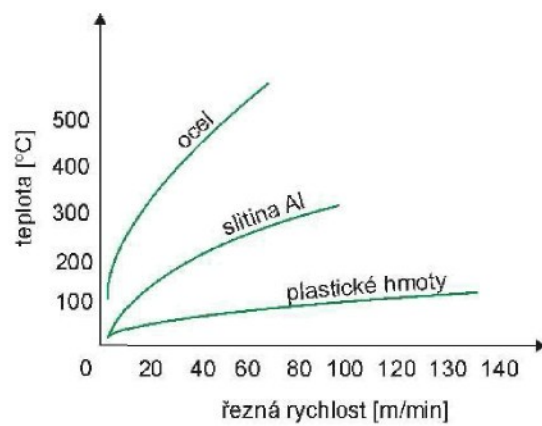
d) Velká teplotní roztažnost plastů způsobuje změnu rozměrů obráběné součásti při obrábění, což má za následek malou rozměrovou přesnost [1, 2]. Teplotní roztažnost je šestkrát až desetkrát větší než u ocelí. V praxi při obrábění přesných součástí je třeba zabránit zahřívání obráběného materiálu, právě z důvodů této vlastnosti. Tepelná roztažnost u plastů je až dvacetkrát větší než u kovů [9].

e) Nízký modul pružnosti, způsobuje malou tuhost plastů a tím i malou rozměrovou přesnost obroběných dílů [6].

f) Koeficient tření při obrábění u dvojice: řezný nástroj – obráběný materiál je následující u dvojic: kov – plast a slinutý karbid – plast je stejný nebo nižší než u dvojice kov – kov. Keramické nástroje však pro obrábění plastů nejsou vhodné, důvodem je, že u kombinace dvojice keramika – plast je koeficient tření vyšší než u dvojice kov – kov [6].

g) Nízká teplotní odolnost plastů. U většiny termoplastů je teplota odolnosti do 100 °C, výjimečně vyšší (u fluoroplastů podle druhu 250 až 300 °C). Při vyšších teplotách termoplasty ztrácejí k obrábění potřebnou tuhost, více nebo méně měknou a opracovaný povrch není kvalitní. Mluvíme o kritické teplotě, která při obrábění nesmí nastat, k zamezení vývinu tepla přispívá kvalitní odvod tepla chlazením [10].

h) Nízká řezná teplota při obrábění plastů. Teplo, které při obrábění plastů vzniká, je mnohem menší než při obrábění kovů. Příčin je velmi mnoho. Nižší hodnoty mechanických vlastností, dobré kluzné vlastnosti u některých plastů a další. Ve srovnání s kovy stoupá teplota při zvyšování řezné rychlosti jen zpočátku, viz obr. 13. Zhruba od 100 m/min stoupá teplota jen nepatrně.



Obr. 13 Vývin tepla při soustružení oceli, slitiny Al a tvrditelných plastů (dle [10])

Průběh křivky pro plasty vysvětluje, proč řezné podmínky uváděné pro plasty mají široký rozsah [10].

5. TRÍSKOVÉ OBRÁBĚNÍ TERMOPLASTŮ

Nárazník automobilu je ve své podstatě vyroben z materiálu, který spadá pod skupinu termoplastů. Z tohoto důvodu je zde uvedena problematika obrábění termoplastů.

Termoplasty představují širokou škálu materiálů. Tvrdé a křehké termoplasty jsou například polystyrén (PS) či polymethylmetakrylát (PMMA). Středně tvrdé a houževnaté termoplasty jsou například polyacetal (POM), polykarbonát (PC) či polvinylchlorid neměkčený (PVC). Do měkkých houževnatých termoplastů patří například polypropylén (PP), polvinylchlorid měkčený (PVC) nebo polyetylén (PE). Další významné odvětví termoplastů je s plnivý, kupříkladu se skleněnými vlákny. Vlastnosti těchto materiálů kromě PP v této práci nejsou uvedeny, pro případné upřesnění viz literatura [2].

Nejlépe obrobitelné jsou tyto termoplasty: PA, polyetylentereftalát (PET) a POM [13].

Aby byl proces tvorby třísky plynulý, musí být pro obrábění dodáváno dostatečné množství energie. Dodaná energie je větší či rovnovážná energii spotřebované. Energie spotřebovaná je rozdělena na energii elastických deformací, energii plastických deformací, energii tření mezi třískou a čelem nástroje a energii tření deformačními kluzy uvnitř materiálu. Dále je energie rozdělena i na energii pasivní, což znamená energii, která nesouvisí s tvorbou třísky a v praxi jsou to děje tření mezi třískou a obrobkem a deformace povrchové vrstvy materiálu. Při třískovém obrábění se až 99 % energie mění v teplo.

Při obrábění plastů se vyvíjí teplo dvěma způsoby. Prvním zdrojem tepla jsou plastické deformace čili teplo takto vzniklé, lze nazývat deformační teplo. Druhým zdrojem tepla je tření mezi čelem a hřbetem nástroje s obráběným materiálem a odcházející třískou, takto vzniklé teplo, lze nazývat třecí (frikční) teplo. Tření třísky s hřbetem nástroje lze snížit například vyleštěním čelní plochy nástroje. Třecí teplo vznikající mezi plochou hřbetu nástroje a obráběným materiálem je pravděpodobně jedním z největších vznikajících tepel u plastických materiálů, tyto materiály se vyznačují tvarovou pamětí a velkou teplotní roztažností [21]. Za účelem snížení tohoto tepla je třeba hřbetní plochu nástroje taktéž vyleštit. Se vzrůstající hodnotou teploty třecího tepla může docházet ke snížení životnosti bříty nástroje.

Vlivem nadměrného frikčního tepla vzniká u termoplastů natavování neboli "gumování" obráběných ploch, v tomto případě je nutno další konečné opracování [21].

Vzniklé teplo má vliv: a) na přesnost obrobku, b) na vlastnosti povrchové vrstvy obrobku (zbytková napětí, strukturní změny, c) na drsnost obrobku. Řezné plochy plastických materiálů jsou často drsné a mají praskliny nebo jsou pokryty nežádoucími stopami po nástroji [21].

Vývin nadměrného množství tepla při obrábění plastů je nežádoucí, jelikož může mít za následek spalování či tavení obráběné plochy materiálu. Nejvýhodnější by bylo obrábění

plastických materiálů bez vytváření jakéhokoliv tepla, toto však většinou není možné už z důvodů povahy vlastní operace obrábění.

Hlavní zásady pro obrábění jsou určeny podmínkami nástroje a technologickými podmínkami.

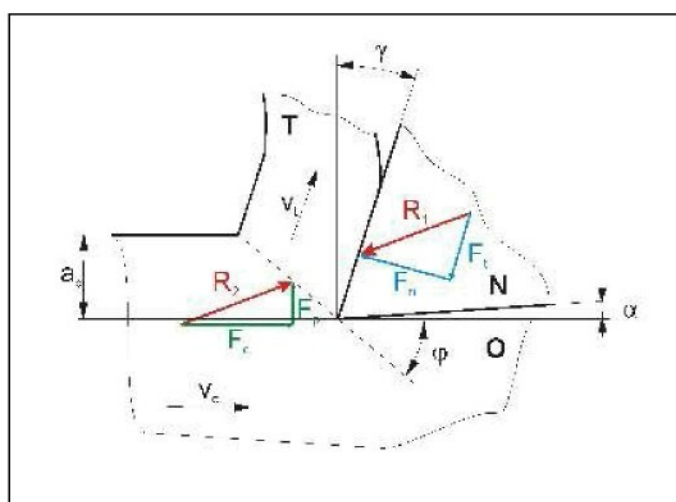
Při obrábění termoplastů se uplatňuje jejich visko – elastické chování a deformační chování závisí na rychlosti deformace. Při velkých rychlostech obrábění se původně poddajné plasty mohou stávat křehkými [2].

5.1. ŘEZNÉ SÍLY – ENERGETICKÁ BILANCE

V praxi je většinou proces obrábění třírozměrný složitější děj, kde se využívá mnoha břitých nástrojů. Pro důvody zkoumání lze obrábění zjednodušit a nahradit dějem dvourozměrným pravoúhlým neboli ortogonálním. Tento dvourozměrný případ nastává například při obrábění metodou hoblování.

V procesu řezání působí na břit řezného nástroje odporové síly, které působí proti pracovnímu pohybu. Tyto síly jsou v rovnováze se silami řezání.

Na obr. 14 je znázorněno ortogonální obrábění s působícími silami. Síla R_1 je výslednicí sil F_n a F_t . Síla F_n je kolmá na hranu čela nástroje a síla F_t je s touto hranou rovnoběžná. Mezi působící síly patří též síla R_2 , která je složena ze sil F_c a F_p . Síla F_c je rovnoběžná se směrem řezné rychlosti v_c a síla F_p je k tomuto směru kolmá. Síly R_1 a R_2 jsou stejně velké. Dále je též v obrázku zobrazen úhel čela γ , úhel hřbetu α nástroje atd.



a_p ... tloušťka odřezávané vrstvy (hloubka záběru), v_c ... řezná rychlost, v_t ... rychlost odchodu třísky, α ... úhel hřbetu, γ ... úhel čela, ϕ ... úhel střižné roviny (úhel stříhu)

N ... nástroj, O ... obrobek, T ... tříska

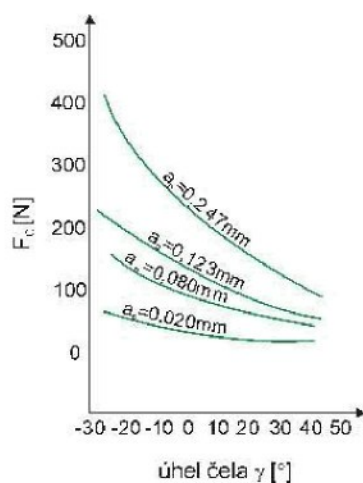
Obr. 14 Síly působící při ortogonálním obrábění

Pro popsání řezných sil vycházíme z poznání, že změna ve výsledném směru vertikálního napětí obráběného materiálu neboli přetvoření, které se během řezu vytváří, je závislá na úhlu čela. Jak bude vysvětleno níže. Jelikož je napětí úměrné přetvoření, budou se řezné síly měnit v závislosti na úhlu čela [21].

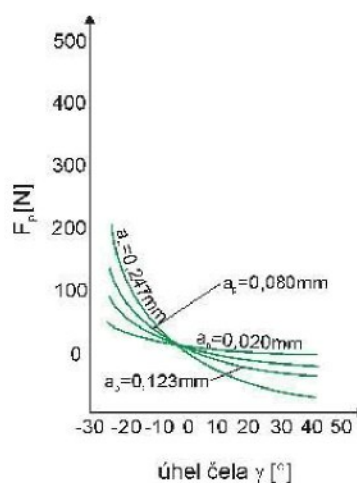
V této práci, jsou některé uváděné hodnoty a výsledky, získané z literatury [9, 21, 22, 23, 24, 25] japonského autora Dr. Akiry Kobayashiho. Je třeba upozornit na použití řezných podmínek. Konkrétně řezná rychlost, je velmi malá v porovnání s běžnými používanými hodnotami. Jelikož uváděná literatura, je jedním z kvalitních a výchozích zdrojů pro téma obrábění plastů, lze tyto extrémně nízké hodnoty řezné rychlosti považovat za cíleně vědomé a vhodné pro získání závěrů a výsledků uváděných autorem.

Na obr. 15 a obr. 16 je znázorněn vztah sil F_c a F_p k úhlu čela γ nástroje a k hloubce záběru a_p . Z grafu lze učinit poznání, že při rostoucím úhlu čela γ klesá síla F_c a s rostoucím úhlem čela γ klesá i síla F_p . Dále je z grafů zřejmé, že při zmenšující se hloubce záběru klesá síla F_c i síla F_p . Dále je z grafů patrná závislost mezi úhlem čela a hloubkou záběru. Z grafu na obr. 16 je též zřejmé, že při určitém úhlu čela je síla F_p nulová, tento specifický úhel se nazývá kritický úhel čela γ_k . Pokud síla F_p je nulová, směr výsledné síly R_2 se shoduje se směrem řezu.

Ve většině případů je tento úhel optimální pro získání co nejvyšších přesností opracovaných povrchů. Pokud je použitý nástroj s kritickým úhlem čela, obráběný materiál se nedeformuje v rovině kolmé na řezný pohyb ve směru do materiálu, ani ve směru z materiálu.



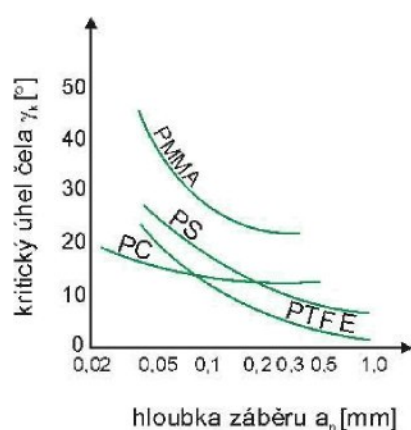
Obr.15



Obr.16

Obr. 15, 16 Závislosti sil F_c a F_p na úhlu čela nástroje a hloubce záběru (dle [21])

Kritický úhel čela γ_K závisí na obráběném materiálu, na hloubce záběru (viz obr. 17) a je ovlivňován třením třísky po nástroji. Lze tedy psát, že s rostoucí hloubkou záběru klesá kritický úhel čela a s rostoucí tažností materiálu klesá kritický úhel čela. Je tedy nutné při obrábění použít nástroj s kritickým úhlem čela či nástroj s úhlem čela větším než je γ_K . Při experimentu bylo použito konstantní řezné rychlosti $v_c = 0,8 \text{ m/min}$ [21].



Obr. 17 Závislost kritického úhlu čela na obráběném materiálu a hloubce záběru (dle [21])

5.2. ANALÝZA TVOŘENÍ TRÍSEK PŘI OBRÁBĚNÍ TERMOPLASTŮ

Ve většině oborů moderního poznání, lze problém částečně řešit přes analýzu následků řešeného problému. Nejinak je tomu i u obrábění, kde je následkem vzniklá tříska. Analýzou mechanismu tvoření třísek lze problém popsat přesněji. Je to tedy výzkum směrem k vyjasnění hlavních zásad při obrábění plastů. Dle vytvářené třísky lze poznat kvalitu obrobené plochy.

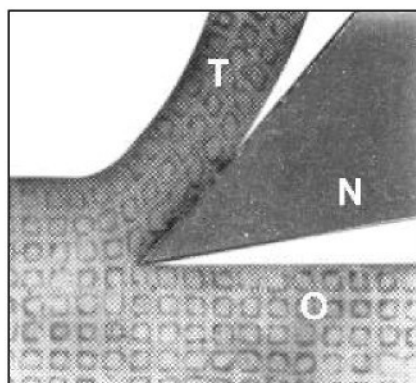
Pro potřeby výzkumu je vhodné proces analyzovat pomocí jednobřitého nástroje. Jde tedy o to, abychom mohli obrábění zjednodušit, pomocí ortogonálního (pravoúhlého) dvourozměrného obrábění. Tento případ nastává například při hoblování.

Při obrábění plastů, vzniká určitý druh lomu (rozrušení materiálu) [21]. U termoplastů nastává spíše houževnatý lom, než křehký lom. Druh vznikajícího lomu je závislý především na tažnosti materiálu, na teplotě při obrábění a na druhu obráběného plastu. Dle druhu lomu vznikají odlišné druhy třísek a různé druhy kvalit obrobených povrchů. Mechanické chování plastů se liší dle rychlosti deformace a teploty při obrábění, tak jako se liší druh třísky dle podmínek při obrábění. Jestliže bude deformace nebo rychlost namáhání malá, vzniká spíše houževnatý lom a výsledkem je viskózní deformace. Naopak, bude-li rychlost deformace velká, je pravděpodobnost výskytu křehkého lomu [21]. Jak je uvedeno výše vlivy jsou závislé na teplotě při obrábění. Vliv je výraznější u termoplastu než u reaktoplastů. Lom se může stát houževnatým se vzestupem teploty při obrábění a křehčí s poklesem teploty.

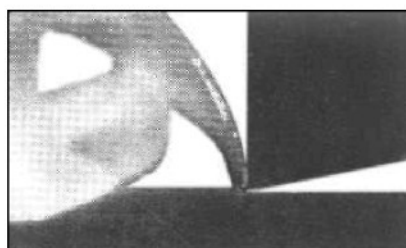
U většiny plastů je jejich pevnost v tlaku 2 až 3x větší, než jejich pevnost v tahu. A tedy jsou odolnější vůči namáhání tlakovému, než tahovému. Proto je dobré vybírat nástroje a řezné podmínky tak, aby se tomuto napomáhalo. U nástrojů to znamená volit velké úhly čela, čímž se též snižuje i množství práce potřebné k obrábění. Je zde ovšem praktická hranice, pokud jde o maximální úhel čela [21].

Dle vznikajících třísek lze usoudit, jaké parametry při obrábění použít a jaké ne. Cílem podobných analýz je dosažení lepší kvality výrobku. V praxi se při obrábění polymerních materiálů vyskytují různé typy třísek. Tyto typy lze rozdělit do dvou základních skupin a to na třísky příznivé a nepříznivé. Do skupiny třísek příznivých patří třísky znázorněné na obr. 18 a na obr. 19.

Na obr. 18 je zobrazena tříska hladká a kontinuální, jakož i obrobená plocha. Takovéto třísky lze pozorovat při pomalém řezání materiálů, které mají vysokou pryžovou elasticitu jako je např. PTFE, PVC nebo PE. Proto také materiály jako PTFE jsou hodnoceny jako materiály s dobrou obrobitelností [21]. Deformace třísky je většinou elastická a tloušťka třísek se rovná přibližně hloubce záběru. Úchylky v řezné síle a drsnosti obrobeného povrchu jsou malé a přesnost opracovaného dílce je velmi dobrá, jestliže se docílí tento druh třísky [21]. Fotografie (obr. 18 A) této třísky byla získána za určitých experimentálních podmínek. Obráběn byl PTFE, nástrojem s úhlem čela $\gamma = 40^\circ$, a s následujícími řeznými podmínkami: řezná rychlost $v_c = 0,019 \text{ m/min}$ a hloubka záběru $a_p = 0,5 \text{ mm}$ [21]. Fotografie na obr. 18 B zobrazuje další případ vzniku kontinuální třísky.



A (dle [21])



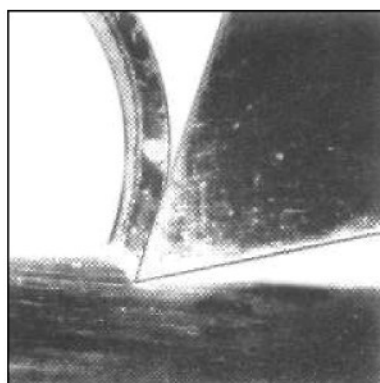
B (dle [21])

T ... tříska, N ... nástroj, O ... obrobek

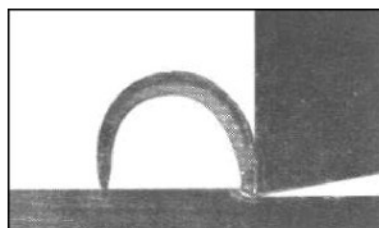
Obr. 18 Hladká kontinuální tříska

Na obr. 19 je zobrazena tříska kontinuální. Tříska se tvoří stříhem podél střížné roviny, která jde směrem vzhůru z řezného místa. Tříska je kontinuální, jelikož intervaly stříhu jsou krátké. Tento druh třísky je podobný typu třísky, která vzniká u obrábění kovů. Charakteristické jsou stopy po stříhu podél plochy třísky. Tloušťka třísky je většinou větší než

hloubka záběru. Drsnost obrobené plochy je dobrá, jestliže se tvoří tento druh třísky [21]. Stejně jako u třísky, která je zobrazena na obr. 18, i zde pro získání této třísky (viz obr. 19 A) byly použity následující experimentální podmínky obrábění: obráběn byl materiál PMMA, nástrojem s úhlem čela $\gamma = 20^\circ$. Použity byly řezné podmínky: řezná rychlost $v_c = 0,2$ m/min a hloubka záběru $a_p = 0,25$ mm [21]. Na obr. 19 B je zobrazen další případ vzniku kontinuální třísky.



A (dle [21])



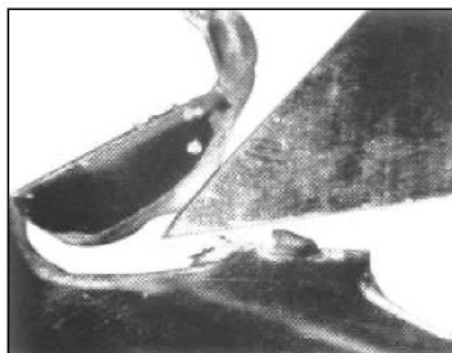
B (dle [23])

Obr. 19 Hladká kontinuální tříska vznikající stříhem

Je třeba volit nástroje a řezné podmínky tak, aby přispívaly k tvorbě těchto typů třísek, jelikož jak již bylo vysvětleno, druh vznikajících třísek je úzce spjat s kvalitou obrobené plochy (drsnost povrchu atd.).

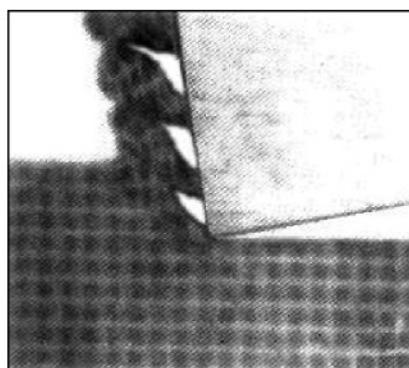
Do skupiny třísek nepříznivých, patří třísky znázorněné na obr. 20, obr. 21, obr. 22 a na obr. 23.

Vznik diskontinuální třísky a praskání obráběného materiálu kolem ostří nože je zobrazeno na obr. 20. Použité podmínky při experimentu byly: obráběný materiál PMMA, úhel čela nástroje $\gamma = 40^\circ$, řezná rychlost $v_c = 0,2$ m/min a hloubka záběru $a_p = 0,25$ mm [21].



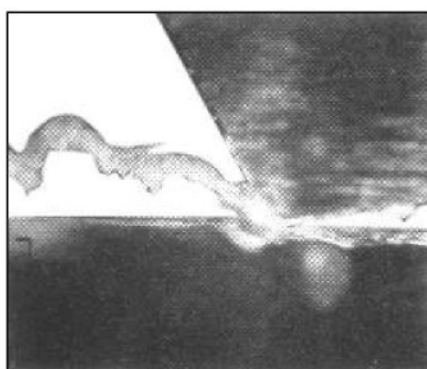
Obr. 20 Diskontinuální tříska (dle [21])

Na obr. 21 je znázorněna tříška, která se tvoří stříhem podél roviny stříhu. Intervaly stříhu jsou dosti velké, a tím se vytváří diskontinuální tříška. Drsnost obrobené plochy je velká a přesnost obrobených ploch je v tomto případě nedostatečná. Podmínkám vytvářejícím tento druh třísky je třeba se vyhnout. Použité podmínky při experimentu za účelem získání tohoto typu třísky byly: obráběný materiál PS, záporný úhel čela nástroje $\gamma = -10^\circ$, řezná rychlost $v_c = 0,8 \text{ m/min}$ a hloubka záběru $a_p = 0,5 \text{ mm}$ [21].

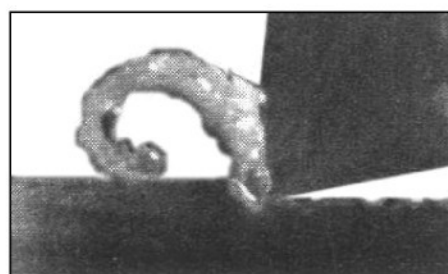


Obr.21 Diskontinuální tříška (dle [21])

Pokud vzniká tříška zobrazená na obr. 22, je její vznik většinou provázen lepivým řezáním neboli "nalepováním" (přilínáním) obrobeného materiálu na břit nástroje. Třísky se tvoří pomocí komplexním namáháním, kde zároveň působí tlaková napětí a smyková napětí [21]. Rozměrová přesnost a drsnost obrobené plochy je nepřijatelná. Vzniká tedy diskontinuální tříška. Použité podmínky při experimentu (viz obr. 22 A) byly: obráběný materiál PS, řezná rychlost $v_c = 0,2 \text{ m/min}$, hloubka záběru $a_p = 0,25 \text{ mm}$ a úhel čela nástroje $\gamma = -30^\circ$. Na obr. 22 B je zobrazen další případ vzniku tohoto druhu třísky.



A (dle [21])

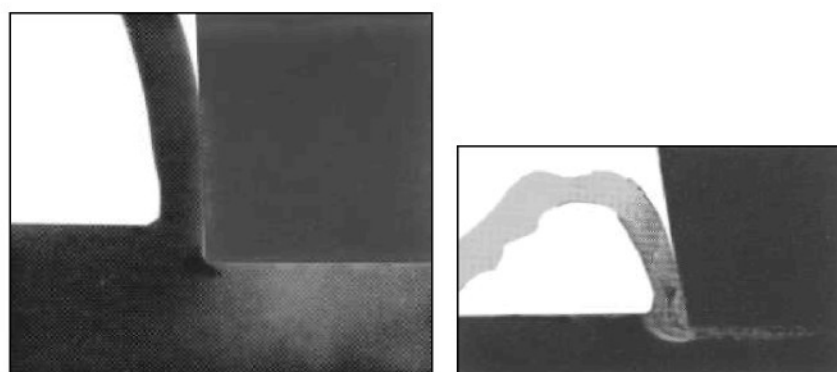


B (dle [23])

Obr. 22 Diskontinuální tříška s přilínáním na čelo nože

Na obr. 23 je zobrazen případ vzniku diskontinuální třísky. Dochází k praskání v sestupném úhlu od místa řezu. Jestliže prasklina v určité délce narůstá, vytváří se nová

rovina stříhu od vrcholu praskliny směrem vzhůru k volné ploše a pásmo plastické deformace se tak rozšíří. Skutečný úhel stříhu (úhel mezi rovinou stříhu a směrem stříhání) je tedy větší než v případě jednoduchého stříhu, čímž se vytváří diskontinuální tříska. Vzniká v tomto případě nestejnorodý stříh. Na povrchu zůstávají periodické praskliny, které mají za následek nevyhovující drsnost a rozměrovou nepřesnost. Při experimentu (viz obr. 23 A) byl obráběn PS a použité podmínky byly: úhel čela nástroje $\gamma = 0^\circ$, řezná rychlost $v_c = 0,2 \text{ m/min}$ a hloubka záběru $a_p = 0,5 \text{ mm}$ [21]. Na obr. 23 B je zobrazen další případ vzniku diskontinuální třísky.



A (dle [21])

B (dle [23])

Obr. 23 Tříska diskontinuálního typu, obrobený povrch s prasklinami

Z předchozího popisu typů třísek je zřejmé, že kvalita vzniklých třísek je úzce vázána s kvalitou obrobených ploch. Čím kvalitnější tříska, tedy kontinuální a hladká, tím je i obrobený povrch kvalitativně vyhovující. Též druh třísek závisí na řezných podmínkách, geometrii nástroje a druhu obráběného plastu. V praxi je tedy nutno zvolit správný tvar nástroje a řezné podmínky, tak aby se dosáhlo příznivých typů třísek.

Druh třísky závisí na velikosti a směru výsledného namáhání a napětí vznikajícího při deformaci obráběného materiálu během řezání. Tudíž mechanismus řezání je převážně určován mechanickými vlastnostmi obráběného plastického materiálu [21].

5.3. DEFORMACE ŘEZNÉHO POVRCHU

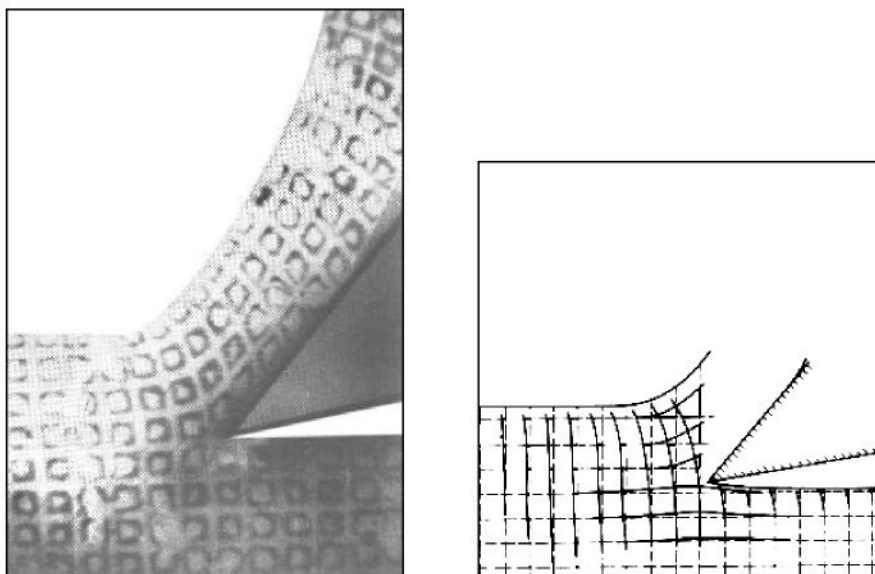
Při obrábění kovů, dochází k intenzivní plastické deformaci v limitní povrchové vrstvě obrobku do malé hloubky několika μm . Při obrábění termoplastů bez plniv je situace jiná.

Deformace obráběného polymerního materiálu je znázorněna na obrázcích 24, 25 a 26, kde je ke každé fotografii proveden rozbor napětí a zanesen do sítě. Na obráběném materiálu je mřížkový potisk, mřížka je o velikosti strany $0,17 \text{ mm}$. Předpokladem je, že potištěný vzorek mřížky se bude deformovat dle velikosti napětí vytvářeného vlivem řezání.

Na obrázcích 24, 25 a 26 je obráběným materiálem PTFE. Použité podmínky při experimentu byly: řezná rychlost $v_c = 0,019$ m/min a hloubka záběru $a_p = 0,5$ mm [21].

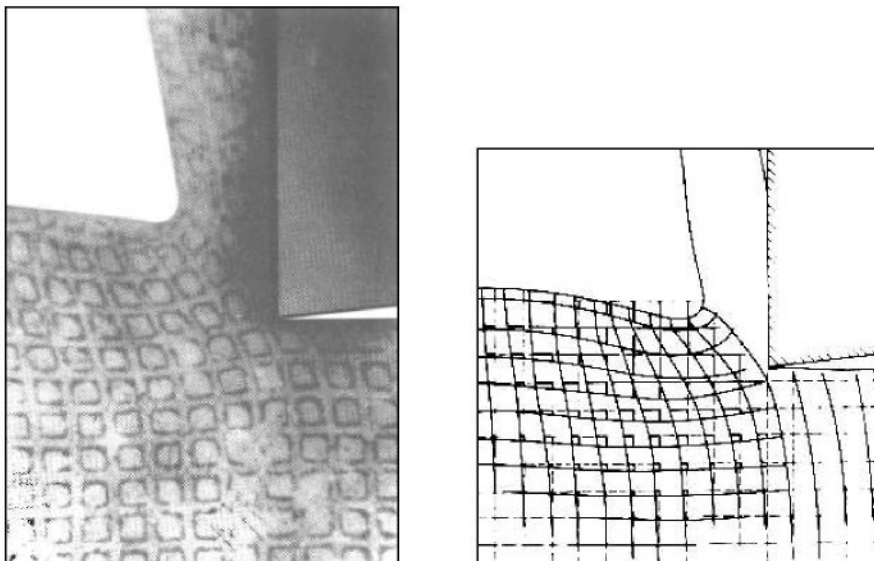
Mezi polytetrafluoretylenem (PTFE) a materiály zkoumanými v rámci této práce, SABIC 95610 a SABIC 108MF10, je jistá podobnost. Zobrazená deformace na obr. 24, 25 a 26, ovlivněná úhlem čela, by mohla vznikat stejně, či podobně i u těchto zkoumaných materiálů.

Na obr. 24 je zobrazeno vnikání nástroje do materiálu. Nástroj má úhel čela $\gamma = 40^\circ$ a úhel hřbetu $\alpha = 10^\circ$. Po bližším prozkoumání, dosažených výsledků obrábění, za těchto uvedených podmínek, materiál poblíž ostří nástroje podléhá tahovému napětí kolmo ke směru řezu a tlakovému napětí ve směru podél řezu. Přetvoření tlakem přechází do objemu materiálu na vzdálenost odpovídající zhruba trojnásobku hloubky záběru [21].



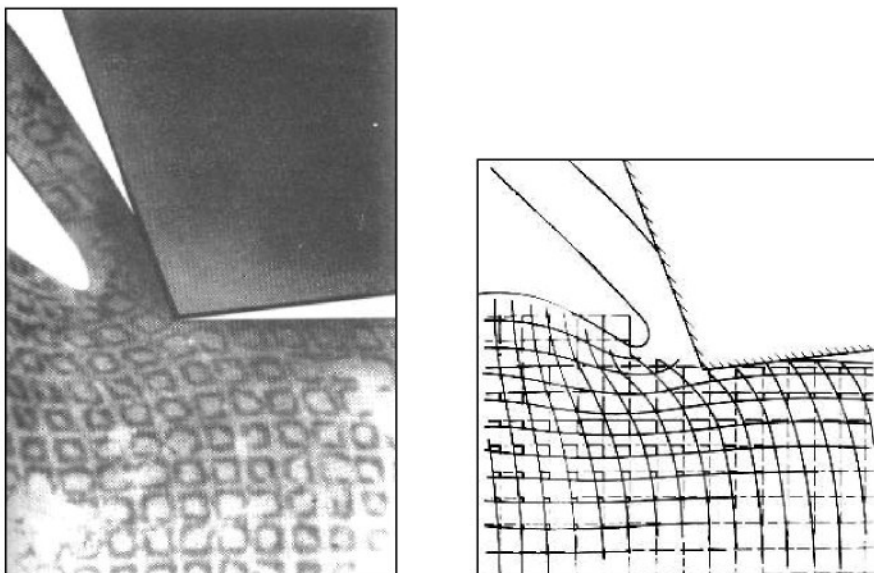
Obr. 24 Deformace obráběného materiálu (pull-up efekt), při $\gamma = 40^\circ$ (dle [21])

Další situaci deformačního ovlivnění zobrazuje obr. 25, kde je použit nástroj s úhlem čela $\gamma = 0^\circ$ a úhlem hřbetu $\alpha = 10^\circ$. Z obrázku je patrné zvýšené přetvoření tlakem kolmo ke směru řezu, které se rozšiřuje dovnitř materiálu na vzdálenost zhruba dvojnásobku hloubky záběru a_p . Maximální hodnota přetvoření tlakem (stlačení) ve směru řezu se projevila před nástrojem a na vzdálenost přibližně rovnou jedenapůlkrát a_p . Velikost úhlu střižné roviny ϕ je též větší než 40° [21].



Obr. 25 Deformace obráběného materiálu (push-down efekt), při $\gamma = 0^\circ$ (dle [21])

Na obr. 26 je zobrazena deformace obráběného materiálu při obrábění nástrojem, který má záporný úhel čela $\gamma = -20^\circ$ a úhel hřbetu $\alpha = 10^\circ$. Velikost poměrného stlačení je značná, jak ve směru podélném, tak i kolmém k směru řezu.



Obr. 26 Deformace obráběného materiálu (push-down efekt), při $\gamma = -20^\circ$ (dle [21])

Napětí kolmé k směru řezu dosahují hloubky větší jak dvojnásobku a_p a vyskytují se, jak pod nástrojem, tak i před nástrojem a nastává tedy význačné šíření stlačení i před nástrojem. Obrobená plocha se tím pádem otírá o hřbet nástroje a vlivem toho vzniká další teplo [21].

Je zřejmé, že druh a velikost napětí vytvářeného v řezu se bude měnit s velikostí úhlu čela γ nástroje. Materiál jeví sklon k tahovému napětí během řezání při použití pozitivního

úhlu čela nástroje a k stlačení jestliže úhel čela je nula nebo záporný. A tedy úhel čela ovlivňuje i rozměrovou přesnost obrobenej součásti [21].

V souvislosti s těmito poznatky nastává první otázka, zdali je možné obrábět plasty bez vzniku tahových (pull-up) či tlakových (push-down) efektů. Odpověď je v kritickém úhlu čela γ_K nástroje. Pokud bude řezný proces realizován s nástrojem, který bude mít kritický úhel čela, poté nebude docházet k tlakovým ani tahovým efektům. Detailní popis kritického úhlu čela je v kapitole s řeznými silami. A druhou otázkou je, jestli vliv rozměrové (materiálové) paměti zhorší či zlepší průběh deformací v obráběném materiálu.

Tvarová paměť materiálu

Tvarová paměť má vliv na vlastní postup řezání. Lze ji definovat jako časovou závislost elastického návratu do původního stavu. Roztahování materiálu způsobuje tření mezi nástrojem a samotným materiálem. Společně pak se vznikajícím teplem způsobuje odírání a opotřebení nástroje. Zkoumáním tvarové paměti, k níž dochází po opracování, lze dojít k vysvětlení, proč se průměr vrtaného otvoru často zmenší pod průměr vrtáku nebo proč se nařezané pásy materiálu často po nařezání rozšiřují nad šířku nastavenou při řezání.

5.4. CHLAZENÍ

Řezné podmínky a geometrie nástroje nemohou zcela zamezit vývinu vysokých teplot v místě řezu, je proto žádoucí chladit nástroj i obráběný materiál, během vlastní operace, čímž se urychluje odvod tepla z místa řezu. Nejlepší je chlazení proudem vzduchu nebo vodní mlhou popřípadě olejovou mlhou. Přímé chlazení vodou nebo emulzí je možno použít jen u nenavlhavých termoplastů, což nelze například u obrábění PA, který je navlhavý a bobtná. Dále lze chlazení použít u materiálů, které chemicky nereagují s chladícími prostředky. Nelze například obrábět PVC s chlazením vodou, jelikož se při obrábění uvolňuje chlorovodík, který s vodou vytváří agresivní kyselinu solnou [6,2].

Dalšími chladícími prostředky při obrábění termoplastů mohou být: mýdlový roztok, terpentýn, strojní olej nebo líh [1].

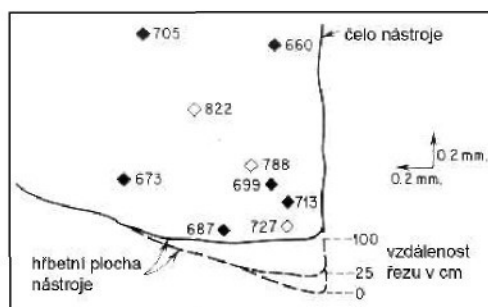
Účinnost chladícího systému je pozorovatelná na vznikající tříse [22]. Při obrábění za použití chlazení, lze použít vyšších řezných rychlostí a posuvů. Vyšší rychlosti řezu a posuvu znamenají však vyšší nároky na strojní zařízení.

5.5. OPOTŘEBENÍ NÁSTROJE

Jak je obecně známo u obrábění kovů vzniká na břitu nástroje nárustek, což je negativní jev. Jde tedy o nepřímý úběr materiálu. U obrábění plastů nastává výhradně přímý

úběr materiálu. U termoplastů bez plniva dochází k leštění bříty a opotřebení je více na hřbetě, než na čele. Na rozdíl od termoplastů se skleněnými vlákny, kde jde o obrušování a zaoblování bříty [10].

Na obr. 27 je znázorněno opotřebení a tvrdost materiálu nástroje před a po obrábění. Je zřejmé, že k opotřebení nástroje dochází nejvíce na jeho hřbetní ploše.



Obr. 27 Opotřebení nástroje, schematické znázornění 1 zubu (dle [21])

Z obrázku je též zřejmé, že při rostoucí vzdálenosti řezu a tedy i rostoucím času při obrábění, vzniká větší opotřebení nástroje. Pro získání údajů, které jsou zaneseny v obr. 27, byla použita technologická operace řezání. Použitým nástrojem zde byla okružní pila s 200 zuby a s úhlem čela bříty 0° . Obráběným materiálem byl laminát plněný skleněnými vlákny pojen fenolickou pryskyřicí. Podmínky obrábění: tloušťka řezaného materiálu 23 mm, otáčky $n = 2500$ ot/min. V obrázku je zaneseno grafické znázornění opotřebení po vzdálenosti řezání 25 cm a po vzdálenosti 100 cm řezání. Body v diagramu znázorňují tvrdost v určitých místech na zubu pily, před a po zhotovení jednoho metru dlouhého řezu. Plné body znázorňují tvrdost nástroje po obrábění, prázdné body znázorňují tvrdost nástroje před obráběním. Tvrdost je uváděna v jednotkách Vickerse. Lze psát, že průměrná tvrdost zubu po řezání je nižší než počáteční tvrdost zubu.

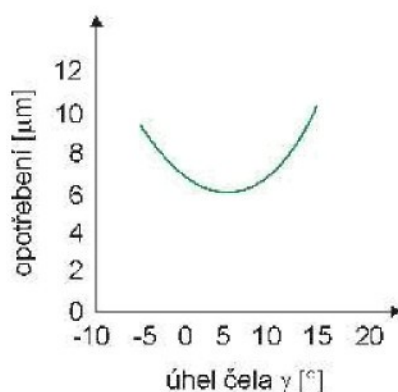
Postupné opotřebení nástroje z rychlořezné oceli je znázorněno na obr. 28. Kde horní řada obrázků znázorňuje opotřebení na čele a dolní řada opotřebení na hřbetě nástroje. Tedy opotřebení bříty nástroje vzniká více na jeho hřbetě než na jeho čele. Též opotřebení nástroje je závislé na čase. S rostoucím časem roste opotřebení. Obráběným materiálem byl PTFE plněný slídou, použitá řezná rychlost $v_c = 300$ m/min, hloubka záběru $a_p = 0,5$ mm a posuv na otáčku $f_{ot} = 0,044$ mm/ot.



Obr. 28 Postupné opotřebení nástroje (dle [21])

Opotřebení břitu, také závisí na úhlu čela nástroje. Tato závislost je zobrazena na obr. 29, kde průběh opotřebení má parabolický konvexní charakter. Křivka klesá a od určitého úhlu čela opět roste. Nejmenší opotřebení nástroje, je při obrábění nástrojem s $\gamma = 5^\circ$. Použité řezné nástroje byly z rychlořezné oceli, obráběným materiálem byl tvrdý PVC, za řezných podmínek: řezná rychlost $v_c = 440$ m/min, hloubka záběru $a_p = 0,1$ mm a řez byl 150 m dlouhý.

Důležitý vliv na opotřebení nástroje má tvarová paměť obráběného materiálu.



Obr. 29 Vliv úhlu čela na opotřebení břitu (dle [21])

5.6. VRTÁNÍ TERMOPLASTŮ

Je problematické vrtat plasty, na rozdíl od kovů, bez nežádoucích efektů, které jsou: gumování, spalování, trhliny a otřepy.

Výroba otvoru při experimentech, které jsou v rámci diplomové práce, je prováděná nástroji, které konají posuvný pohyb ve směru osy nástroje. Z tohoto důvodu jsou v této práci uvedeny poznatky o vrtání termoplastů. A tedy vlivu geometrie vrtáku a řezných podmínek na proces obrábění. Poznatky jsou uvedeny v příloze 1.

5.7. SHRUTÍ FAKTORŮ OVLIVŇUJÍCÍ PROCES OBRÁBĚNÍ

Shrnutím předchozích kapitol a poznatků získaných z literatury, lze určit faktory, které mají vliv na proces obrábění plastů a lze je rozdělit do dvou základních skupin. První skupinu prezentuje faktor geometrie nástroje. Do něhož spadají tyto faktory.

- úhel čela γ má největší vliv na tvoření třísky,
- úhel hřbetu α má největší vliv na opotřebení nástroje,
- poloměr zaoblení špičky r má největší vliv na drsnost obrobené plochy.

Do druhé skupiny patří faktory řezných podmínek, jsou to:

- hloubka záběru a_p má největší vliv na tvoření třísky a drsnost obrobené plochy,

- b) řezná rychlostí v_c má největší vliv na tvoření třísky a drsnost obrobené plochy,
- c) posuv f má největší vliv na tvoření třísky a drsnost obrobené plochy,
- d) teplota prostředí má největší vliv na vývin tepla, natavování třísky či opalování obráběného povrchu,
- e) chlazení má největší vliv na vývin tepla, natavování třísky či natavování obráběného povrchu [21].

6. NÁVRH METODIKY UMOŽŇUJÍ OBJEKTIVNĚ POSOUDIT VHODNOST RŮZNÝCH TECHNOLOGIÍ VÝROBY KRUHOVÝCH OTVORŮ OBRÁBĚCÍMI METODAMI

Pro finální zhodnocení, zda-li je materiál, ze kterého je nárazník automobilu vyroben možné obrábět v závislosti na různých druzích obráběcích metod či ne, je nutné určit na jakém základě se toto rozhodnutí provede. Nejvýhodnějším způsobem pro tuto problematiku, jak toto rozhodnutí učinit, je použití metod výzkumu experimentálních, které se na rozdíl od metod analytických ve většině odvětví lidského poznání používají častěji.

Pro experimentální výzkum je nutné vybrat vhodné metody obrábění. Vhodné metody výroby kruhového otvoru v nárazníku jsou tyto:

- První je konvenční metoda výroby otvoru pomocí dvoubřitého a pětibřitého nástroje (vrtáku) na jádro, které byly použity při experimentu č.2. Výhodou této metody je, že vrták na jádro vytváří výkružek obráběného materiálu a tedy neodebírá materiál otvoru v celém jeho objemu, což vede k menšímu vývinu deformačního tepla vznikajícího obráběním.
- Druhá je konvenční metoda, výroba otvoru pomocí stopkové frézy pro čelní zanořování do materiálu v třibřitém a šestibřitém provedení, které se použilo při experimentu č.4. Výhoda této metody spočívá ve volbě nástrojů, které mají příznivou geometrii pro obrábění. Třibřítá fréza je výhodná z hlediska snadného odvodu třísky z místa řezu, díky širokým drážkám. Šestibřítá fréza je výhodná z hlediska předpokladu rozměrové přesnosti a stálosti obráběných otvorů.
- Třetí je nekonvenční metoda obrábění vodním paprskem, tato metoda byla použita při experimentu č.3. Předpokladem vhodnosti této metody je minimální vývin tepla při obrábění.

Na druhé straně pro výběr vhodné metody stojí rozhodnutí výrobní metodu, která se osvědčí pro obrábění plastů použít v praxi či ne. Z tohoto hlediska má hlavní a konečné rozhodnutí ekonomie.

Metoda výzkumu experimentální, pokrývá řešení problému obrábění plastového dílce (nárazníku automobilu) v celém rozsahu.

V kapitole 4.4. jsou uvedeny další možné způsoby výroby otvoru v nárazníku.

7. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST ŘEŠENÍ A HODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ Z HLEDISKA TECHNOLOGICKÉHO

Experimentální část je velmi důležitá pro veškeré vyvozování závěrů a ověřování teoretických poznatků. Celkem jsou v této práci uvedeny čtyři soubory experimentů. Všechny zde uvedené experimenty byly provedeny v bezprostřední souvislosti s touto prací, kromě experimentu č.1. Dále všechny experimenty, kromě experimentu č.3, byly realizovány v nástrojárně podniku Peguform. Experimenty jsou v této práci uvedeny v pořadí, které je úměrné době realizace pokusů.

Metodika experimentů je úzce spjata a podřízena výrobnímu programu podniku Peguform.

Cílem experimentu č.1 je určení vhodných řezných podmínek při frézování daného plastu (PP) dvoubřitým nástrojem a určení výhodnosti sousledného či nesousledného frézování.

Cílem experimentu č.2 je určení vhodných řezných podmínek při vrtání otvoru v nárazníku z materiálu SABIC 95610 dvoubřitým a pětibřitým nástrojem a také určení stálosti průměru obráběného otvoru v závislosti na čase.

Cílem experimentu č.3 je určení vhodnosti a použitelnosti obrábění materiálu SABIC 95610 a materiálu SABIC 108MF10 nekonvenční metodou, řezu paprskem vody.

Cílem experimentu č.4 je určení vhodných podmínek obrábění při obrábění otvoru v materiálu SABIC 95610 a materiálu SABIC 108MF10, třibřitým a šestibřitým nástrojem a tím i určení vlivu geometrie nástroje a také určení stálosti průměru obráběného otvoru v závislosti na čase a řezných podmínkách.

7.1. EXPERIMENT Č.1 – FRÉZOVÁNÍ POLYPROPYLÉNU JEDNOBŘITOU DRÁŽKOVACÍ FRÉZOU

První experiment byl již proveden před zadáním této diplomové práce a považuji za příhodné tento experiment zde uvést. Informace o experimentu jsou získány ze zdroje [3]. Jeho cílem bylo též získat výsledky při obrábění plastů. Obráběn byl polypropylén s označením Keltan 2550/3 černý, vykazující průměrnou pevnost v tahu 17 MPa a vysokou tažnost. Byl použit nástroj č.1 s označením Alucut, dvoubřitá drážkovací fréza s uváděným použitím od švýcarského výrobce na obrábění slitin hliníku, mědi a plastů. Průměr frézy je 8 mm, úhel sklonu šroubovice je 40° a úhel čela 18°. Obráběny byly vzorkové destičky o šířce 80 mm, délce 150 mm a tloušťce zhruba 5 mm. V každé destičce byly vyrobeny dva průchozí obdélníkové otvory o rozměru 40 x 30 mm. První otvor byl zhotoven metodou

sousledného a druhý nesousledného frézování. Celkem bylo použito devět destiček. Řezné podmínky (otáčky a posuv) byly pro každý vyrobený otvor jiné, viz tabulka 2.

Výsledky a diskuse

Závěrem je vyhodnocení vzhledu obrobených otvorů, neboli charakteru vzniklých třísek (otřepů), které zůstávají spojeny s obráběným materiálem na lícové a rubové straně destiček (vzorků). Vyhodnocující parametry, které udávají, zda je vyrobený otvor kvalitní či ne, jsou velikost otřepů a četnost otřepů vzhledem k obvodu otvoru.

číslo vzorku	otáčky [ot/min]	posuv [mm/ot]
1	10 000	0,2
2	10 000	0,4
3	10 000	0,6
4	13 000	0,2
5	13 000	0,4
6	13 000	0,6
7	16 000	0,2
8	16 000	0,4
9	16 000	0,6

Tab.2 Použité řezné podmínky při obrábění jednotlivých vzorků

Fotografie vyrobených obdélníkových otvorů jsou na obrázcích 1 a 2 v příloze 4, kde je jejich uspořádání dle přiřazených řezných podmínek. Na obr. 1 jsou zobrazeny otvory vyrobené sousledným a na obr. 2 nesousledným frézováním. Číselné označení vzorků je v souladu s tabulkou 2.

Vyhodnocením získaných výsledků lze usoudit, že při sousledném frézování vzniká kvalitnější řez s menší velikostí otřepů a menší četností otřepů po obvodě otvoru, než u nesousledného frézování. Otřepy na rubové straně vzorku prakticky nejsou. Vzorky 5, 6, 8 u nesousledného frézování mají nejkvalitnější řez s nejvíce vyhovujícími otřepy.

Po důkladném zhodnocení experimentu, lze uvést, že za těchto použitých řezných podmínek nelze kvalitně obrábět a tím pádem tato zmapovaná oblast řezných podmínek pro obrábění leží v pásmu, které je charakteristické svojí nevhodností, což vyplývá z dále uvedených výsledků experimentů.

7.2. EXPERIMENT Č.2 – VRTÁNÍ OTVORŮ V NÁRAZNÍKU AUTOMOBILU Z MATERIÁLU SABIC 95610 VRTÁKEM NA JÁDRO V DVOUBŘÍTÉM A PĚTIBŘÍTÉM PROVEDENÍ

Druhý experiment výroby otvoru v plastovém nárazníku se prováděl dvěma nástroji. První použitý nástroj byl dvoubřitý korunkový vrták na jádro. Vnitřní průměr vrtáku byl 15 mm a vnější 22,2 mm. A tedy šířka břitů byla 3,6 mm.

Druhým použitým nástrojem č.3 při experimentu byl pětibřitý korunkový vrták na jádro s vnějším průměrem 22,2 mm. Tento nástroj je prezentován na obr. 30. Úhel hřbetu nástroje je 15° , úhel čela je 5° a úhel podbroušení břitů směrem k ose nástroje je 30° . Konstrukce nástroje je přizpůsobena k funkci vytlačování výkružku oddělovaného materiálu, který zůstává při obrábění uvnitř nástroje. Vytlačení je pomocí vytlačovacího trnu zakončeného kulovou plochou. Vytlačovací pohyb je vyvozován pružinou, viz obr. 30 (na kterém je zobrazen rozebraný nástroj).



Obr. 30 pětibřitý nástroj č.3 o průměru 22,2 mm pro vrtání otvorů v nárazníku

Oba nástroje č.2 a č.3 poskytla nástrojárna Peguform, kde byl také experiment realizován. Zkušební vrtaný materiál byl reprezentován nárazníkem automobilu, který se upevnil v příslušném přípravku. Nárazník je z materiálu SABIC 95610 s 500% tažností. Přípravek je zhotoven z profilů, které jsou navzájem k sobě svařeny. Fotografie přípravku jsou na obrázcích 31, 32 a 33. Ke svažené konstrukci jsou připevněny opěrné plochy (lože), které respektují tvar nárazníku.



Obr. 31 Přípravek pro upínání nárazníku z přední, základací strany

Spodní dvě opěrné plochy jsou vyrobeny z měkkého materiálu (viz obr. 31 a 33, opěrné plochy mají světlou barvu) a jsou umístěny v místech, kde se v nárazníku vrtají otvory. Přípravek byl upevněn na stůl frézky s horizontální osou vřetena, která posloužila k tomuto experimentu. V levé části obrázku 32 a 33 je možno vidět část vřetena.



Obr. 32 Přípravek pro upnutí nárazníku z přední strany, se založeným nárazníkem

Celkem se pro experiment použilo pět nárazníků, v každém z nich byly vyrobeny dva průchozí otvory na místech, kde mají být dle výkresové dokumentace situovány parkovací senzory (viz kapitola s popisem držáku senzoru). Nástrojem byl vrtán jednak nárazník směrem od lícové k rubové ploše tak i opěrné plochy (viz obr. 31, obr. 33). Pro obrábění se použilo různých řezných podmínek, čímž se sledovala výsledná kvalita otvorů po obrábění. Otáčky byly v intervalu 560 až 1120 a posuv na otáčku byl nastaven v intervalu 0,2 až 8 mm/ot. Použité řezné podmínky pro daný otvor jsou zaneseny v tab. 3.

číslo otvoru	otáčky [ot/min]	posuv [mm/ot]
1	710	ruční
2	1120	ruční
3	560	0,4
4	560	0,2
5	1120	0,4
6	1120	0,4
7	1120	0,2
8	1120	0,2
9	1120	3,5
10	1120	8

Tab.3 Řezné podmínky při experimentu



Obr. 33 Přípravek pro upnutí nárazníku ze zadní strany, se založeným nárazníkem

Výsledky a diskuse

Při obrábění prvního otvoru nárazníku automobilu nástroj č.2 praskl, díky jeho nedostatečné pevnosti. Z experimentu lze usoudit, že při nedostatečné tuhosti soustavy obrobek - přípravek, která je též dána vlastnostmi obráběného materiálu je možné porušení nástroje, v tomto případě dvou (všech) břitů nástroje č.2. K porušení vrtáku mohlo též napomáhat tření mezi obrobkem a nástrojem. Geometrie vrtáku neumožňovala minimalizovat frikční teplo a konstrukce nástroje byla nevhodná.

Při experimentu výroby otvoru v plastovém nárazníku se hodnotila kvalita vrtaných otvorů. Otvory vykazovaly natavení materiálu, které tvořilo lem (otřep) vystupující směrem ven z materiálu, jak na rubové, tak i na lícové straně nárazníku. Tento jev je způsoben třením nástroje v otvoru s obrobenou plochou. Nejmenší lemy vykazovaly otvory s řeznými podmínkami: otáčky = 1120 ot/min, posuv = 0,4 mm/ot. Vznikající třísky u všech vyráběných otvorů č.1 až č.10 měly článkovitý charakter a zůstávaly na ploše nárazníku, v okolí řezu.

Dále se při experimentu hodnotila materiálová paměť nárazníku a tedy chování rozměrové stálosti otvoru, jeho průměru po obrábění. Celkem bylo měřeno osm otvorů na čtyřech náraznících. Měření průměru otvoru bylo provedeno pomocí tolerančního (kuželového) kalibru s měřitelnou hodnotou průměru v intervalu 21,70 až 22,50 mm a probíhalo v závislosti na době, která uběhla od ukončení procesu obrábění. První měření bylo provedeno ihned po sejmutí nárazníku z přípravku, po 30 minutách následovalo druhé měření a další bylo po 4 a 24 hodinách. V tabulce 4 jsou uvedeny výsledky měření.

číslo otvoru	průměr nástroje 22,2 mm			
	hodnota průměru otvoru v [mm]			
	doba měření po obrábění			
	ihned	30 min	4 hod	24 hod
1	22,2	22,1	22,1	22,1
2	22,2	22,2	22,1	22,1
3	22,2	22,1	22,1	22,1
4	22,2	22,2	22,2	22,2
5	22,2	22,2	22,1	22,1
6	22,2	22,2	22,1	22,1
7	22,2	22,1	22,1	22,1
8	22,2	22,2	22,2	22,2

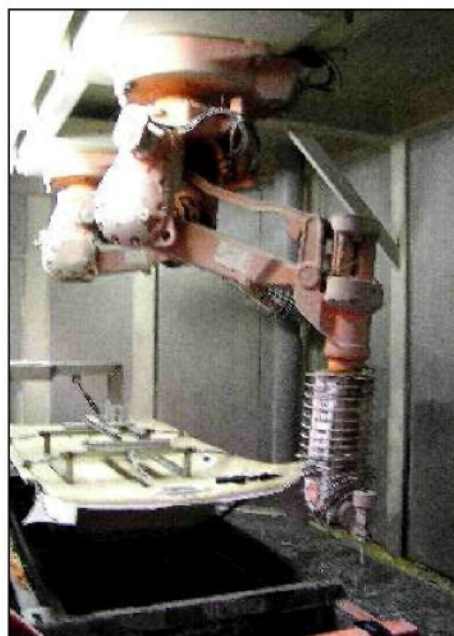
Tab. 4 Naměřené hodnoty průměrů otvorů po obrábění

Z výsledků měření lze konstatovat, že průměr vrtaného otvoru v závislosti na čase je proměnný. Ihned po výrobě má daný otvor stejný průměr jako nástroj, kterým byl vyroben (v tomto případě 22,2 mm). Rozměrová přesnost je závislá na zbytkovém vnitřním napětí materiálu, které se s časem z materiálu uvolňuje. Uvolňování napětí lze považovat za ustálené po 24 hodinách jak je patrné z měření. Rozměr otvoru se po době jednoho dne zpravidla ustálil na hodnotě 22,1 mm. Tímto experimentem se potvrdila teorie o materiálové paměti plastických hmot a tedy o změně rozměru po obrábění. Pro upřesnění tohoto děje by bylo dobré získat hodnoty průměru obrobeného otvoru po delší době po obrábění, například po čtvrt roce. Na závěr je třeba upozornit, že otvory byly vyráběny v předním nárazníku na modelovou řadu Škoda Superb a z tohoto důvodu otvory sloužící pro držáky čidel pro tuto modelovou řadu mají průměr 22,2 mm.

7.3. EXPERIMENT Č.3 – OBRÁBĚNÍ MATERIÁLŮ SABIC 95610 A SABIC 108MF10 NEKONVENČNÍ OBRÁBĚCÍ METODOU (OBRÁBĚNÍ PAPERSEM H₂O)

Dalším experimentem, třetím v pořadí, byla výroba otvorů nekonvenční metodou, přesněji obráběním paprskem vody. Pokus se realizoval ve výrobním podniku Grupo Antolin Bohemia a.s. v Chrastavě. K tomuto účelu posloužilo robotizované pracoviště se dvěma

angulárními (multiúhlovými) roboty od firmy ABB viz obr. 34, roboti mají hlavice se systémem pro řezání paprskem vody, též od firmy ABB a používají safírovou trysku.



Obr. 34 Robotizované pracoviště pro řezání H₂O paprskem využité pro experiment

Použitý paprsek filtrované čisté vody byl bez rozptýlených zrn brusiva. Průměr paprsku vody byl 0,17 mm. Tlak vody byl 300 MPa. Využit byl pouze jeden robot. Celkem se provedly čtyři řezy na zkušebních vzorcích. Materiál vzorku č.1 a č.2 je SABIC 108MF10, vykazující 200% tažnost. Materiál vzorku č.3 a č.4 je SABIC 95610, vykazující 500% tažnost. Zkušební destička č.1a č.2 má rozměry: cca 50 x 50 mm a tloušťku 4 mm a je bez lakovaného povrchu. Vzorky č.3 a č.4 mají rozměry cca 40 x 50 mm a tloušťku 3,5 mm, které jsou lakované. Upevnění vzorků pro obrábění je zobrazeno na obr. 35 A a obr. 35 B, s ukázkou pro vzorek č.1 (35 A) s nakloněnou tryskou pro řez a s ukázkou pro vzorek č.2 (38 B).



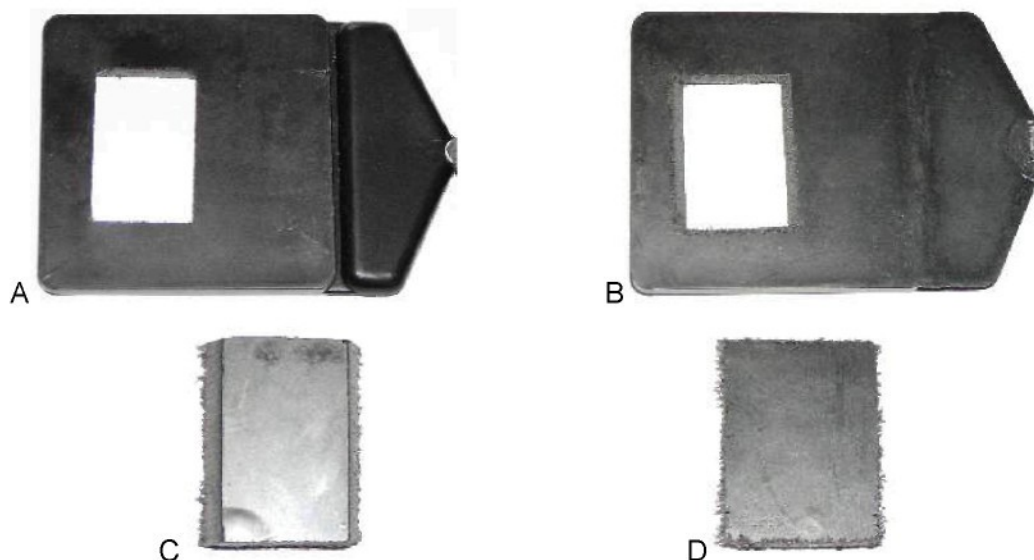
A



B

Obr. 35 Upínání vzorků (poloha pro obrábění)

Ve vzorku č.1 byl vyroben obdélníkový průchozí otvor, s dvěmi sklopenými řeznými plochami pod úhlem 35° , zbylé dvě plochy jsou kolmé k největším plochám vzorku viz obr 36. Vysvětlení k označení na obrázku 36: strana vzorku (lícová) blíže k počáteční poloze trysky (počáteční poloha trysky je zobrazena na obr. 35 B) je označena písmeny A a C, strana vzorku (rubová) vzdálenější k počáteční poloze trysky je označena písmeny B a D, materiál v tomto případě základní, je označen písmeny A a B a materiál oddělovaný je označen písmeny C a D. Rychlost pohybu trysky při obrábění vzorku č.1 byla 1 cm/s.



Obr. 36 Vzorek č.1 z materiálu SABIC 108MF10 bez laku při rychlosti trysky 1 cm/s

Ve vzorcích č. 2, 3 a 4 byl vyroben (vyříznut) kolmo otvor o průměru 10 mm. Hodnota použité rychlosti trysky při obrábění vzorků 2 a 3 byla 1 cm/s a u vzorku 4 byla 5 cm/s. Vzorek č.2 zde není graficky uveden, jelikož není třeba.



Obr. 37 Vzorek č.3 z materiálu SABIC 95610 s lakem při rychlosti trysky 1 cm/s



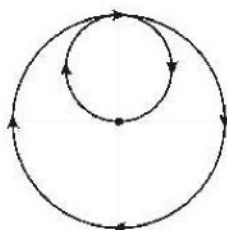
Obr. 38 Vzorek č.4 z materiálu SABIC 95610 s lakem při rychlosti trysky 5 m/s

Vzdálenost trysky nad plochou experimentálního vzorku byla u obrábění vzorků 1, 2 a 3 cca 15 mm, na rozdíl od vzorku 4, kde byla cca 1,5 mm. Maximální vzdálenost trysky od obráběné plochy, kdy je zachován kvalitní řez a paprsek je schopen řezat, se uvádí 30 mm.

Výsledky a diskuse

Z výsledků experimentu je patrné, že při obrábění paprskem vody vznikají na rubové straně (vzdálenější od trysky) vzorků otřepy, vlivem tažení materiálu a jeho specifík. Otřepy vznikají jednak na materiálu základním, tak i na materiálu oddělovaném, viz obr. 36 A a 36 C. Otřepy na straně vzorku lícové prakticky nevznikají.

Tvarová přesnost při tomto druhu řezu není dobrá, nejlépe je pozorovatelná u vzorků 2, 3 a 4, kde byly vyrobeny kruhové otvory. Tato skutečnost může být způsobena malou tuhostí soustavy obrobek - přípravek, dále vlastnostmi obráběného materiálu (vysoká vlastní elasticita, malý modul pružnosti, vysoká tažnost), dále může být iniciována vlivem teploty řezného paprsku vody, který při řezu dosahuje 100 °C a tepelně ovlivní obráběný materiál. V poslední řadě tvarová přesnost může být ovlivněna dráhou trysky (viz vzorky č.2, 3, 4), která konala kruhový pohyb s počátečním vyjetím z výchozí pozice středu kruhu a konečným zajeťím do výchozí zmíněné pozice. Dráha trysky je zobrazena na obr. 39.

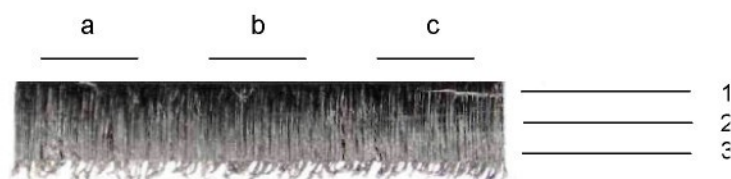


Obr. 39 Dráha trysky

Dále je z pokusu možno určit jistou závislost mezi vznikajícími otřepy na lícové straně vzorku a vzdáleností trysky od obrobku (řezu) a také rychlostí pohybu trysky (řezu). S klesající vzdáleností trysky od řezu a rostoucí rychlostí pohybu trysky se zmenšuje

velikost, respektive délka vznikajících otřepů (viz obr. 37 B a obr. 38 B). Na obrázku 37 B je zobrazena rubová plocha vzorku č.3 s otřepy, jejichž délka je cca 1 mm. Délka otřepů na vzorku č.4 je cca 0,7 mm, viz zobrazení rubové plochy s otřepy obr. 38 B.

Vliv úhlu trysky od normály obráběné plochy (viz obr. 35 A) na vznik a velikost otřepů a kvalitu řezné hrany nebyl prokázán. Lakovaná plocha, v oblasti vyrobeného otvoru u vzorků 3 a 4, nevykazuje žádné praskliny, trhliny ani oddělení laku od podkladového materiálu a řezná hrana na lícové ploše vzorku je geometricky ostrá (bez přechodového rádiusu) a kvalitní.



Obr. 40 Detailní pohled na obrobenou plochu po řezu paprskem H_2O

Obrobený povrch na vstupní části řezu je kvalitní a méně drsný. Se vzrůstající hloubkou řezu jeví obrobený povrch znatelné stopy po řezu paprskem vody (viz obr. 40) a je tedy drsnější vlivem vysoké tažnosti materiálu. Na vzorku č.1 byla měřena drsnost jedné obrobené plochy. Celkem se provedlo měření drsnosti na devíti místech plochy vzorku jak naznačuje obrázek 40. První tři měření 1a, 1b a 1c byly provedeny v hloubce 1 a v místech a, b a c vzhledem k délce hrany. V tabulce 5 jsou uvedeny změřené hodnoty drsnosti. Naměřená drsnost je však do určité míry zkreslena tvrdostí měřeného vzorku, kdy je pravděpodobný vznik rýhy, která vzniká od v průběhu měření drsnosti povrchu. Měření drsnosti se provedlo na TU Liberec pomocí drsnoměru s označením SV – 2000 od japonské firmy MITUTOYO.

číslo měření	drsnost Ra [μm]
1a	7,2
1b	9,6
1c	7
2a	12,1
2b	10,4
2c	10,2
3a	19
3b	14,2
3c	15,5

Tab. 5 Drsnost plochy po řezu paprskem H_2O

Vliv tažnosti obráběného materiálu na kvalitu obrobených ploch je minimální, téměř žádný.

7.4. EXPERIMENT Č.4 – OPTIMALIZOVANÉ OBRÁBĚNÍ MATERIÁLŮ SABIC 95610 A SABIC 95610 TŘÍBŘITOU A ŠESTIBŘITOU FRÉZOU

Experiment č.4 je důležitý z hlediska rozhodování zdali je technologie obrábění vhodná pro výrobu otvoru v plastovém nárazníku.

Cílem experimentu č.4 je vyhodnocení vlivu tažnosti obráběného materiálu, vlivu geometrie nástroje a vlivu řezných podmínek na kvalitu obráběného otvoru.

Experiment byl proveden na základě předchozích experimentů č.2 a č.1 a na základě poznatků získaných z literatur.

Stroj, na kterém byl experiment proveden je zobrazen na obr. 41. Jedná se o CNC frézku s označením AXA VC3-M. Maximální otáčky stroje jsou 12 000 ot/min a rozsah posuvů je až 5 000 mm/min.



Obr.41 CNC frézka AXA VC3-M použitá k experimentu

Celkem bylo v experimentu použito dvou nástrojů, nástroje č.4 a nástroje č.5, které jsou prezentovány na obr. 42 a obr. 43. V souvislosti s výběrem nástrojů vhodných pro obrábění zkoumaných materiálů, byl proveden v rámci řešení diplomové práce, patřičný průzkum trhu prodejců a výrobců nástrojů jako jsou například:

- Pramet Šumperk,
- Iscar,
- Hoffmann Grupe,
- Seco,
- Kennametal Hertel,
- Unitool Europe,
- Sandvik Coromant.

Poslední zmíněný výrobce nástrojů se od spolupráce distancoval z důvodu nepříznivých vlastností obráběného materiálu s vysokou tažností. Nakonec byly nástroje

zakoupeny od firmy Hoffmann Grupe, která dodává nástroje firmám, zabývajících se obráběním plastů. Oba dva nástroje při obrábění konaly pohyb ve směru své osy.

Nástroj č.4, který byl použit při experimentu je na obr. 42. Přesněji se jedná o pravořeznou tříbřitou stopkovou frézu pro čelní zanořování do materiálu, určenou na obrábění Al slitin. Fréza má speciální nabroušení typu W, které uvádí výrobce. Hlavní ostří frézy je složeno ze dvou částí. První část ostří má přímkový tvar a je blíže k ose frézy. Druhá část ostří má křivkový tvar a je dále od osy frézy. Fréza má dva úhly čela hlavního ostří. První úhel čela hlavního ostří γ_{o1} je blíže k ose frézy a je v ortogonální rovině $\gamma_{o1} = 7^\circ$; Druhý úhel čela hlavního ostří γ_{o2} je dále od osy nástroje a jeho velikost je závislá na úhlu sklonu šroubovice frézy. Z čehož je patrné že fréza má i dva úhly břitu, pokud tyto úhly jsou vztaženy k hlavnímu ostří pak lze uvést, že:

- úhel břitu první části hlavního ostří $\beta_{o1} \approx 42^\circ$,
- úhel břitu druhé části hlavního ostří $\beta_{o2} = 77^\circ$.

Další geometrie tříbřité frézy je:

- úhel hřbetu ortogonální hlavního ostří $\alpha_o = 6^\circ$,
- úhel hřbetu ortogonální vedlejšího ostří $\alpha'_o = 8^\circ$,
- úhel sklonu šroubovice frézy $\lambda_s = 42^\circ$,
- úhel nastavení doplňkový $\psi_r = -8^\circ$



Obr. 42 Tříbřitá stopková fréza o průměru 28 mm

Dalším nástrojem, který byl použit při experimentu je nástroj č.5, který je prezentován na obr. 43. Přesněji se jedná o pravořeznou šestibřitou stopkovou frézu pro čelní zanořování do materiálu, určenou pro obrábění ocelí. Úhel stoupání šroubovice frézy je 30° , úhel hřbetu je 6° , úhel čela je 4° a úhel podbroušení fasetky je 8° . Fréza má speciální nabroušení typu N, které je uváděno výrobcem. Hlavní ostří frézy je složeno ze dvou částí. První část ostří má přímkový tvar a je blíže k ose frézy. Druhá část ostří má křivkový tvar a je dále od osy frézy. Fréza má dva úhly čela hlavního ostří. První úhel čela hlavního ostří γ_{o1} je blíže k ose frézy a je v ortogonální rovině $\gamma_{o1} = 4^\circ$; Druhý úhel čela hlavního ostří γ_{o2} je dále od osy frézy a jeho velikost je závislá na úhlu sklonu šroubovice frézy. Z čehož je patrné že fréza má i dva úhly břitu, pokud tyto úhly jsou vztaženy k hlavnímu ostří pak lze uvést, že:

- úhel břitu první části hlavního ostří $\beta_{o1} \approx 54^\circ$,
- úhel břitu druhé části hlavního ostří $\beta_{o2} = 80^\circ$.

Další geometrie šestibřité frézy je:

- úhel hřbetu ortogonální hlavního ostří $\alpha_o = 6^\circ$,
- úhel hřbetu ortogonální vedlejšího ostří $\alpha'_o = 8^\circ$,
- úhel sklonu šroubovice frézy $\lambda_s = 30^\circ$,
- úhel nastavení doplňkový $\psi_r = -9^\circ$



Obr. 43 Šestibřitá stopková fréza o průměru 28 mm

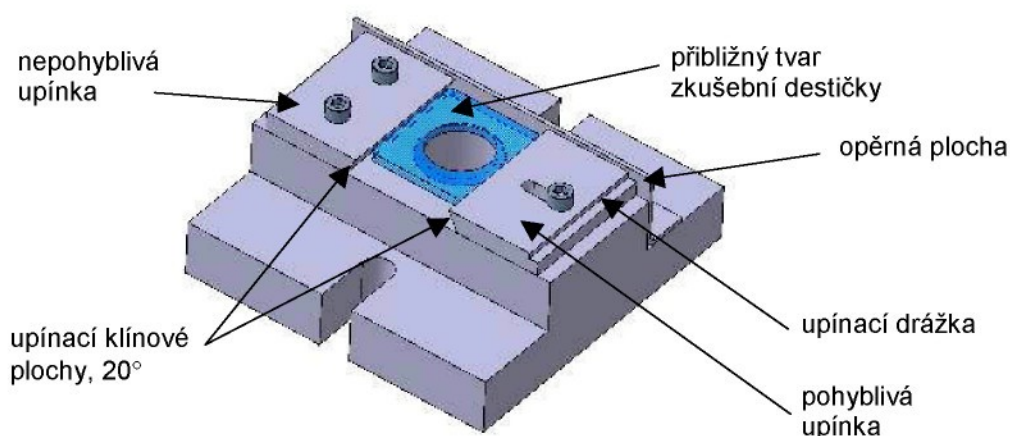
Průměr nástrojů č.4 a č.5 je 28 mm a průměr potřebného otvoru pro držáky senzorů v nárazníku je 27 mm. Je plánováno přebroušení nástrojů na požadovaný průměr 27 mm s ohledem na rozměrovou stálost otvoru po obrábění (tvarovou paměť materiálu).

Nástroje jsou z rychlořezné legované oceli, s osmiprocentním obsahem kobaltu (HSS-Co8).

Nárazník automobilu je pro účel pokusu nahrazen zkušebními destičkami (vzorky), které jsou vyrobeny ze stejného materiálu jako nárazník. Pro experiment bylo použito dvou variant materiálů nárazníku. První varianta materiálu je s tažností 500%, pod názvem SABIC 95610, vzorky z tohoto materiálu mají šedou barvu. Druhá varianta materiálu je s tažností 200%, pod názvem SABIC 108MF10, vzorky z tohoto materiálu mají černou barvu. Zkušební vzorky byly vyrobeny na TU Liberec technologií dvounásobného vstřikování, při jednom vstřikovacím cyklu se vyrobí dvě zkušební destičky. Rozměry jedné destičky jsou: cca 50 x 50 mm o tloušťce 4 mm. Jelikož je nárazník automobilu lakován před dalším zpracováním (děrováním), jsou v experimentu použity též lakované vzorky obou zmíněných materiálů nárazníku. Touto metodikou lakovaných vzorků se zaručuje případné nahrazení stávající technologie stříhu technologií obráběním s respektováním výrobních postupů při výrobě nárazníku. Tato metodika lakovaných destiček je též použita u experimentu č.3

Upnutí zkušebních destiček zajišťoval přípravek, který je zobrazen na obr. 44. V rámci řešení diplomové práce byl přípravek navrhnout ve třech variantách, z čehož byla vyrobena třetí varianta. Výkresy třetí varianty jsou v příloze 4. První a druhá varianta je na obr. 1 a na obr. 2 v příloze 4. Výběr návrhu pro výrobu byl ovlivněn výrobními prostředky a možnostmi dílen na TU Liberec. Výroba kovového přípravku byla realizována na

TU Liberec. Přípravek poskytuje rychlé a snadné upnutí a vyjímání vzorků. Upnutí vzorkové destičky je pomocí klínových ploch které destičku svírají. Případný pohyb destičky a tedy její nedostatečné upevnění je pojištěno druhým způsobem upínání: pomocí jedné plochy s úkosem a na druhé straně drážkou po celé délce. Pro uvolnění a upnutí vzorku slouží jeden šroub. Rychlá výměna vzorku je z důvodu velkého počtu vzorků, které se při experimentu použily. Úhel úkosů je 20° . Na obrázku 44 je zobrazena zkušební destička, v poloze pro obrábění v přípravku, již s vyrobeným zkušebním otvorem.



Obr. 44 Přípravek pro upnutí zkušební destičky

Připevnění přípravku na stůl frézky bylo realizováno pomocí svěráku a je zobrazeno na obr. 45.

Konstrukční koncepce, návrhy a výkresy přípravků a dalších podobných potřebných prací byly provedeny pomocí softwaru CATIA V5R9.



Obr. 45 Upnutí přípravku na stůl frézky

PRŮBĚH EXPERIMENTU

Celkem byly zkoumány dva materiály a dva nástroje ve všech čtyřech kombinacích. Označení jednotlivých kombinací, např. kombinace 503 znamená použití tříbřitého nástroje při obrábění materiálu SABIC 95610 s 500% tažností.

503 - tříbřítý nástroj, materiál SABIC 95610

1) V první, řadě tříbřítým nástrojem č.4 byly vyráběny otvory v materiálu SABIC 95610 s 500% tažností za použití řezných podmínek: $n = 1000$ ot/min a $f_{ot} = 0,2$ mm/ot. Při těchto podmínkách se použilo deset vzorků za účelem vyhodnocení kvality otvoru a průměru otvoru z hlediska stálosti.

Výsledky a diskuze

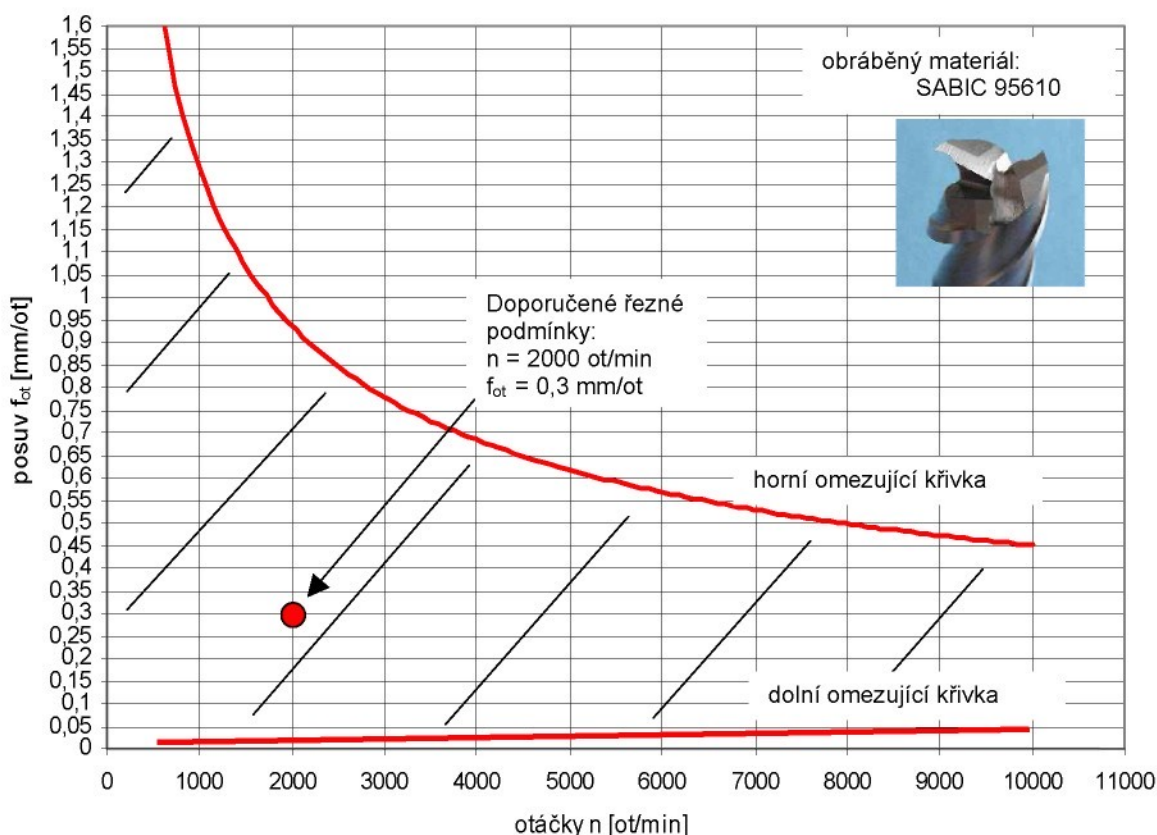
Nebyla zjištěna žádná odchylka v kvalitě otvoru ani v průměru otvoru. Všechny desítky destiček vykazovaly stejnou kvalitu obrobeného otvoru a stejný průměr otvoru 28 mm. Nebylo tedy za potřeby, při následujících zkouškách, použít pro jednu řeznou podmínku, více zkušebních destiček a tedy pro jednu řeznou podmínku, se využila jedna zkušební destička.

2) Za druhé, tříbřítým nástrojem č.4 byly vyráběny otvory v materiálu SABIC 95610, kde byla zkoumána kvalita otvoru při různých řezných podmínkách. Použité řezné podmínky byly v rozsahu otáček 500 až 10 000 ot/min a v rozsahu posuvů 0,005 až 5 mm/ot. Rozsahy použitých otáček a posuvů jsou v tabulce 6.

Výsledky a diskuze

Výsledkem zkoušky je oblast (viz obr. 46) vhodných řezných podmínek pro výrobu otvoru v závislosti otáček na posuvu. Oblast vhodných řezných podmínek, tedy řezné podmínky za kterých lze kvalitně obrábět materiál SABIC 95610, leží mezi dvěma omezujícími křivkami, tedy mezi horní omezující křivkou a dolní omezující křivkou. Tato oblast se zužuje s rostoucími otáčkami. Oblast vhodných řezných podmínek byla získána vyhodnocením kvality obráběných otvorů. Kvalita otvoru byla zkoumána ve třech oblastech otvoru. První oblast je náběhová hrana (inlet), kde nástroj vniká do materiálu. Kritériem pro určení zda je první oblast otvoru kvalitní či není je výskyt natavené hrany, zbělení materiálu v oblasti hrany a přilnutí neboli natavení vzniklé třísky v této oblasti. Druhou oblastí je vnitřní plocha otvoru (inner surface). Kritériem pro určení zda je druhá oblast otvoru kvalitní či ne je vznik natavení obrobeného materiálu v této oblasti. Třetí oblast je výběhová hrana, kde nástroj proniká obrobeným materiálem (exit). Kritériem pro určení zda je třetí oblast otvoru kvalitní či není je vznik natavení hrany, výskyt zbělení v oblasti hrany a výskyt vylomení (odtržení) materiálu v oblasti hrany. Zbělení materiálu v oblasti hrany (řezu), vzniká

následkem převládajícího tahového napětí. Toto zbělení se též nazývá krejz. U technologie děrování též za určitých podmínek vzniká zbělení materiálu, které je stejného druhu jako u technologie obrábění. Prioritní oblastí otvoru, pro nalezení omezujících křivek oblasti vhodných řezných podmínek viz obr. 46, je náběhová hrana otvoru. Dle kvality náběhové hrany u obráběných otvorů jsou nalezeny omezující křivky.



Obr. 46 Oblast vhodných řezných podmínek (šrafovaná) v závislosti $f_{ot} = f(n)$

Dále byla zkoumána lícová plocha vzorků v závislosti na řezných podmínkách, z hlediska stop, které zanechala vytvářející tříska, takzvaně poškrábání povrchu vzorku. V tabulce 6 jsou uvedeny řezné podmínky za kterých vznikaly "škrábance" na povrchu vzorku. Velikost poškrábání je hodnocena písmeny M, S, V a B, které znamenají: M málo poškrábáno, S středně poškrábáno, V velmi poškrábáno a B bez poškrábání.

Vyrobené otvory vykazovaly mezní stavy kvality otvoru. Zmíněné mezní stavy jsou na obr. 47. V horní řadě fotografií jsou zobrazeny náběhové hrany (inlet) obráběných otvorů a v dolní řadě fotografií jsou zobrazeny výběhové hrany (exit) obráběných otvorů. Fotografie na levé straně zobrazují mezní stav otvoru, tento stav se vyskytoval při vysokých otáčkách a malých posuvech frézy, stav je charakterizován velkým natavením obráběného materiálu. Fotografie na levé straně zobrazují mezní stav otvoru, tento stav se vyskytoval při velkých posuvech. Stav je charakterizován zbělením materiálu v oblasti řezu a vylomením části materiálu v oblasti řezu. Na fotografii prostřední je zobrazen další mezní stav vyskytující se

při obrábění, který je charakterizován povrchem se stopami po odcházející třísce při procesu obrábění. Mezní stavy na obr. 47 jsou stejné i pro ostatní kombinace obrábění 203, 506 a 206.



Obr. 47 Mezní stavy při obrábění materiálu SABIC 95610 tříbřitým nástrojem

Důležitou výstupní informací diplomové práce jsou konkrétní řezné podmínky, které jsou nejvhodnější pro obrábění materiálu SABIC 95610 tříbřitou frézou. Finální výběr nejvhodnějších řezných podmínek je řízen dvěma parametry. Prvním parametrem je poškrábání povrchu vzorku, přičemž byly vybírány vzorky s písmenem B (bez poškrábání). Druhým parametrem je kvalita náběhové hrany otvoru, přičemž byly vybírány vzorky s číslicí 1, 2(1) a 1(2). V tabulce 6 jsou uvedeny hodnoty potřebné pro vyvození závěrů. Prioritnější je parametr druhý, jelikož pokud by byly vybírány otvory bez poškrábání, ale s nekvalitní náběhovou hranou (číslo 3 v tabulce 6), pak by nemohl být výběr finálních vhodných řezných podmínek aplikován na řešenou problematiku. Na základě porovnání všech použitých řezných podmínek při obrábění, byly vybrány nejvhodnější řezné podmínky (viz tab. 6 ///číslo vzorku//):

- $n = 1000 \text{ ot/min}$ $f_{\text{ot}} = 0,1 \text{ mm/ot}$
- $n = 2000 \text{ ot/min}$ $f_{\text{ot}} = 0,025 \text{ mm/ot}$
- $n = 2000 \text{ ot/min}$ $f_{\text{ot}} = 0,3 \text{ mm/ot}$ – doporučené podmínky obrábění

3) Za třetí se zkoumal vliv chlazení proudem vzduchu, na kvalitu otvoru. Použitý vzduch produkovala vírová trubice a teplota vzduchu byla $-5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Použitým nástrojem byla tříbřitá fréza a obráběn byl materiál SABIC 95610. Řezné podmínky pro pokus byly: otáčky $n = 5000 \text{ ot/min}$ a posuv $f_{\text{ot}} = 0,005 \text{ mm/ot}$. Celkem se použilo pěti vzorků, ve kterých byly obráběny otvory.

Výsledky a diskuze

Výsledkem třetího pokusu je zjištění, že účinnost chlazení při obrábění je minimální. Lze se domnívat, že při použití chladicího média (vzduchu), s teplotou cca $-40 \text{ }^{\circ}\text{C}$, by účinnost chlazení byla lepší než při použité teplotě chlazení $-5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Číslo vzorku	otáčky [ot/min]	posuv [mm/ot]	kvalita otvoru				průměr otvoru				průměr nástroje 28mm
			inlet	inner. surf.	exit	škráb.	ihned	po 35 hod	po 48 hod	po 7 dnech	
1	500	0,05	2	1	1	B	28,0	27,9	27,9	27,9	
2	500	0,4	2	1	1	B	28,0	27,9	27,9	27,9	
3	500	0,7	1(2)	1	1	S	28,0	28,0	28,0	28,0	
4	500	0,8	2	1	2	M	28,0	27,9	27,9	27,9	
5	500	0,9	1(2)	1	1	M	28,0	28,0	28,0	28,0	
6	500	1,2	2	1	2	S	28,0	27,9	27,9	27,9	
7	500	1,6	2	1	1	M	28,0	27,9	27,9(28,0)	27,9(28,0)	
8	500	2	3	1	3	B	28,0	27,9	27,9	27,9	
9	1000	0,005	2	2	3 TM	B	28,0	28,0	27,9	27,9	
10	1000	0,05	2	1	1(2)	B	28,0	27,9	27,9	27,9	
III 11 III	1000	0,1	1	1	1	B	28,0	27,9	27,9	27,9	
12	1000	0,2	2	1	1	M	28,0	27,9	27,9	27,9	
13	1000	0,4	2	1	1	M	28,0	28,0	28,0	28,0(27,9)	
14	1000	0,6	1	1	1	M	28,0	28,0	28,0	28,0(27,9)	
15	1000	0,8	2	1	1	S	28,0	28,0	28,0	28,0	
16	1000	1	2	1	2	S	28,0	28,0	28,0	28,0	
17	1000	1,5	2	3	2	M	28,0	28,0	28,0	28,0(27,9)	
18	1000	3	3	2	3	M	28,0	27,9	27,9	27,9	
19	1000	5	3	3	2	V	28,0	27,9	27,9	27,9	
20	2000	0,005	2	1	3	B	28,0	27,9	27,9	27,9	
III 21 III	2000	0,025	1	1	1	B	28,0	27,9	27,9	27,9	
22	2000	0,1	1	1	1	M	28,0	27,9	27,9	27,9	
23	2000	0,2	1	1	1	M	28,0	27,9	27,9	27,9	
III 24 III	2000	0,3	1	1	1	B	28,0	27,9	27,9	27,9	
25	2000	0,5	2	1	1	S	28,0	28,0	28,0	28,0(27,9)	
25	2000	0,9	3(2)	1	1	S	28,0	28,0	28,0	28,0	
26	2000	1,2	3(2)	1	1	V	28,0	28,0	28,0	28,0	
27	2000	1,5	3	1	1	B	28,0	28,0	28,0	28,0	
28	5000	0,005	3 TV	2	2	B	N	N	N	N	
29	5000	0,02	3	1	2	B	28,0	27,9	27,9	27,9	
30	5000	0,08	1	1	1	M	28,0	27,9	27,9	27,9	
31	5000	0,15	1	1	1	M	28,0	27,9	27,9	27,9	
32	5000	0,2	2	1	1	M	28,0	27,9	27,9	27,9	
33	5000	0,3	2	2	1	B	28,0	27,9	28,0	28,0	
34	5000	0,6	3(2)	1	2	S	28,0	27,9	27,9	27,9(28,0)	
35	5000	0,8	3(2)	2	1	V	28,0	28,0	28,0	28,0	
36	5000	1	3	1	1	S	28,0	27,9	27,9	27,9	
37	5000	1,4	3	2	1	V	28,0	27,9	27,9	27,9	
38	8000	0,005	3 TV	3	1	B	N	N	N	N	
39	8000	0,025	3 TM	3	1	B	N	N	N	N	
40	8000	0,05	2	1	1	M	28,0	27,9	27,9	27,9	
41	8000	0,1	1	1	2	M	28,0	27,9	27,9	27,9	
42	8000	0,13	1	1	1	M	28,0	27,9	27,9	27,9	
43	8000	0,62	3	3	3	B	28,0	27,9	27,9	27,9	
44	8000	0,9	3	1	3	S	28,0	28,0	27,9	27,9	
45	8000	1,1	3	1	1	V	28,0	28,0	28,0	28,0	
46	8000	1,4	3	1	3	V	28,0	28,0	28,0	28,0	
47	10000	0,005	3 TV	3	1	B	N	N	N	N	
48	10000	0,02	3 TM	3	1	B	N	N	N	N	
49	10000	0,04	2	1	2	M	28,0	27,9	27,9	27,9	
50	10000	0,08	1	1	2	M	28,0	27,9	27,9	27,9	
51	10000	0,1	1	1	1	M	28,0	27,9	27,9	27,9	
52	10000	0,5	3	1	1	V	28,0	27,9	27,9	27,9	
53	10000	0,7	3	3	1	S	28,0	27,9	27,9	27,9	
54	10000	1	3	2	1	B	28,0	28,0	28,0	28,0	
55	10000	1,4	2	3	1	M	28,0	27,9	27,9	28,0	

Tab. 6 Hodnoty otáček, posuvů, kvality a průměrů otvorů pro kombinaci 503

4) Za čtvrté byly obráběny lakované vzorky z materiálu SABIC 95610 třibřitou rézou. Použité řezné podmínky při obrábění jsou uvedeny v tabulce 7. Účelem pokusu bylo zjistit, zda lak na vzorcích je po obrábění popraskán či není.

Výsledky a diskuze

U obráběných lakovaných vzorků nebylo zjištěno žádné popraskání laku v okolí otvoru u žádného vzorku. Tento pokus však nelze považovat za absolutně důvěryhodný, jelikož způsob lakování vzorků nekorresponduje s běžně používaným způsobem lakování nárazníků v praxi.

Otáčky [ot/min]	posuv [mm/ot]
500	0,4
1000	1
2000	0,025
2000	0,1
5000	0,02
10000	0,08

Tab. 7 Řezné podmínky při obrábění lakovaných vzorků

203 - třibřítý nástroj, materiál SABIC 108MF10

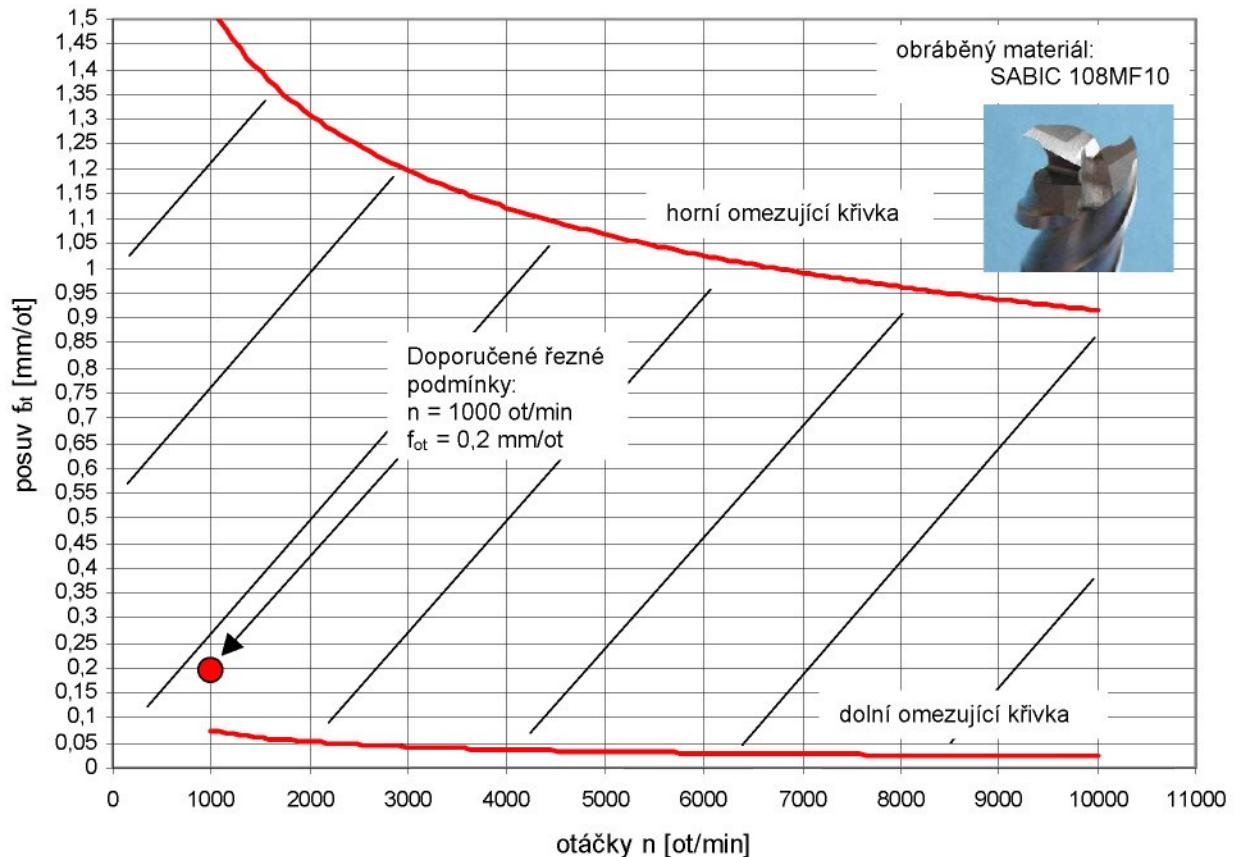
5) Za páté třibřítým nástrojem č.4 byly vyráběny otvory v materiálu SABIC 108MF10 přičemž byla zkoumána kvalita otvoru při různých řezných podmínkách. Použité řezné podmínky byly v intervalu otáček 1 000 až 10 000 ot/min a v intervalu posuvů 0,002 až 1,5 mm/ot. Rozsahy použitých otáček a posuvů jsou uvedeny v tabulce 1 v příloze 4.

Výsledky a diskuze

Výsledkem je opět oblast vhodných řezných podmínek pro výrobu otvoru v závislosti otáček na posuvu. Oblast vhodných řezných podmínek leží mezi dvěma omezujícími křivkami, tedy mezi horní omezující křivkou a dolní omezující křivkou. Tato oblast se také jako v předchozím případě zužuje s rostoucími otáčkami a je zobrazena na obr. 48. Z výsledku je též patrné, že oblast vhodných řezných podmínek je při obrábění materiálu SABIC 108MF10 širší, než při obrábění materiálu SABIC 95610. Záleží tedy na vlastnostech obráběného materiálu, nejvíce zřejmě na jeho tažnosti. Oblast vhodných řezných podmínek byla získána stejným postupem jako v bodě 2.

Na základě porovnání všech použitých řezných podmínek při obrábění, byly vybrány, stejným postupem jako v bodě 2, nejvhodnější řezné podmínky pro obrábění materiálu SABIC 108MF10 třibřitou frézou (viz tab. 1 v příloze 4 ///číslo vzorku///), které jsou:

- $n = 1000 \text{ ot/min}$ $f_{ot} = 0,2 \text{ mm/ot}$ – doporučené podmínky obrábění
- $n = 5000 \text{ ot/min}$ $f_{ot} = 0,6 \text{ mm/ot}$
- $n = 8000 \text{ ot/min}$ $f_{ot} = 0,025 \text{ mm/ot}$



Obr. 48 Oblast vhodných řezných podmínek (šrafovaná) v závislosti $f_{ot} = f(n)$

6) Za šesté, byla měřena drsnost povrchu obrobeného otvoru. Otvor byl obráběn v materiálu SABIC 108MF10 tříbřitou frézou č.4. Použité otáčky při obrábění byly $n = 1000 \text{ ot/min}$ a posuv byl $f_{ot} = 0,2 \text{ mm/ot}$. Celkem se provedlo pět měření na jednom vzorku. Měřeny byly drsnosti povrchu vždy na jiném místě otvoru. Měření se provedlo na TU Liberec pomocí drsnoměru s označením SV – 2000 od japonské firmy MITUTOYO.

číslo měření	drsnost R_a [μm]
1	0,22
2	0,23
3	0,20
4	0,21
5	0,20

Tab. 8 Naměřená drsnost

Výsledky a diskuze

V tabulce 8 jsou naměřené hodnoty drsností otvoru. Diagramy měření jsou v příloze 4. Naměřená drsnost je však do určité míry zkreslena tvrdostí měřeného vzorku, při měření je pravděpodobný vznik rýhy vznikající od měřicí jehly drsnoměru.

7) Za sedmé byly obráběny lakované vzorky z materiálu SABIC 108MF10 tříbřitou frézou. Použité řezné podmínky při obrábění jsou uvedeny v tabulce 9. Cílem pokusu bylo zjistit, zda lak na vzorcích je po obrábění popraskán či není.

otáčky [ot/min]	posuv [mm/ot]
500	0,4
1000	0,1
2000	0,025
2000	0,1
10000	0,6
10000	1

Tab. 9 Řezné podmínky při obrábění lakovaných vzorků

Výsledky a diskuze

Po obrábění lakovaných vzorků nebylo zjištěno žádné popraskání laku v okolí otvoru u žádného vzorku.

506 - šestibřitý nástroj, materiál SABIC 95610

8) Za osmé, šestibřitým nástrojem č.5 byly vyráběny otvory v materiálu SABIC 95610 s 500% tažností s nastavenými řeznými podmínkami: $n = 1000$ ot/min a $f_{ot} = 0,2$ mm/ot. Při těchto otáčkách a posuvu se použilo deset vzorků za účelem vyhodnocení kvality otvoru a průměru otvoru z hlediska stálosti.

Výsledky a diskuze

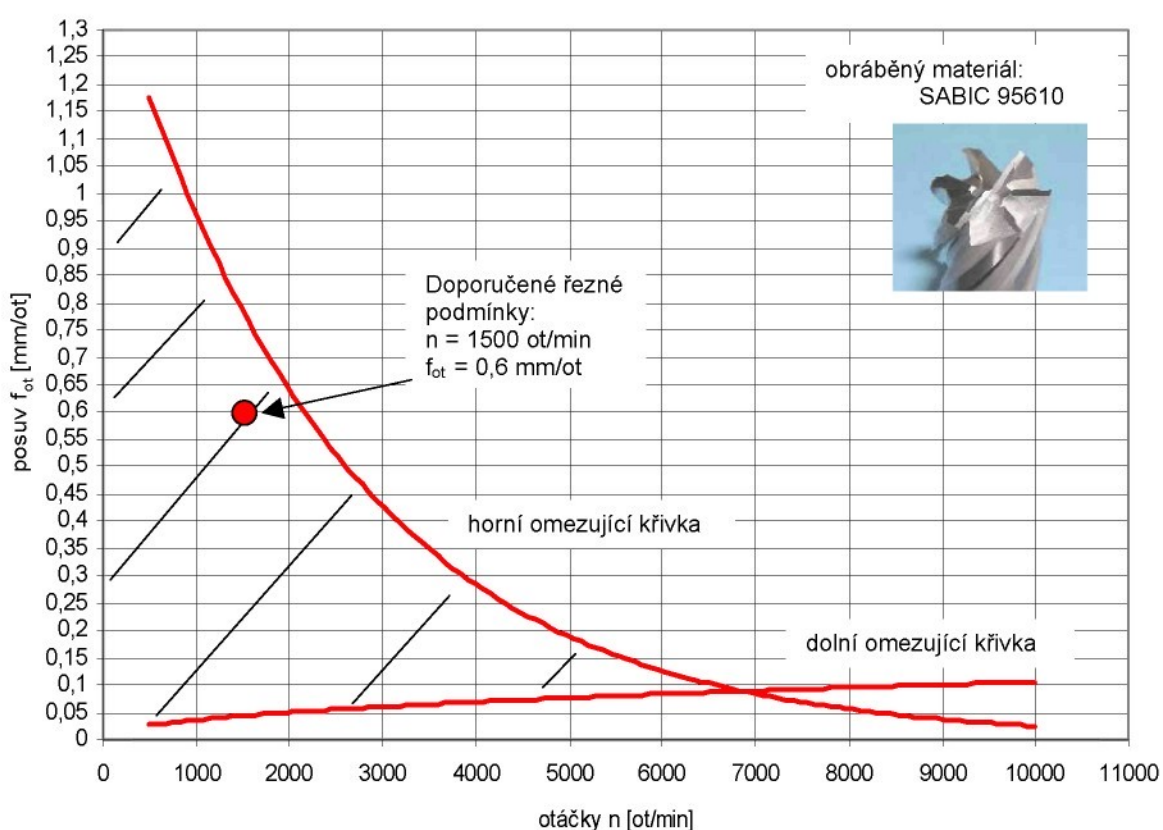
Jako v předchozím pokusu s tříbřitým nástrojem ani zde nebyla zjištěna žádná odchylka v kvalitě otvoru ani v průměru otvoru, všech deset destiček vykazovalo stejnou kvalitu obrobeného otvoru a stejný průměr otvoru 28,1 mm. Ani zde nebylo tedy za potřeby použít pro jedny řezné podmínky více zkušebních destiček a tedy pro jedny řezné podmínky se využila jedna zkušební destička.

9) Za deváté, šestibřitým nástrojem č.5 byly obráběny otvory v materiálu SABIC 95610. Byla zkoumána kvalita otvoru při různých řezných podmínkách. Otáčky byly

v rozsahu 500 až 10 000 ot/min a v posuvy v rozsahu 0,05 až 1,4 mm/ot. Rozsahy použitých otáček a posuvů jsou uvedeny v tabulce 2 v příloze 4.

Výsledky a diskuze

Výsledkem je opět oblast vhodných řezných podmínek pro výrobu otvoru v závislosti otáček na posuvu. Oblast vhodných řezných podmínek (viz obr. 49), leží mezi dvěma omezujícími křivkami, tedy mezi horní omezující křivkou a dolní omezující křivkou. Tato oblast se také jako v předchozích případech zužuje s rostoucími otáčkami. Z diagramu na obr. 49 je zřejmé, že existuje jistá hranice otáček, za kterými již nelze kvalitně obrábět. Tuto hranici určuje průsečík horní omezující křivky s dolní omezující křivkou. Průsečík křivek je přirovnatelný k 6700 ot/min. Oblast vhodných řezných podmínek byla získána stejným postupem jako v bodě 2.



Obr. 49 Oblast vhodných řezných podmínek (šrafovaná) v závislosti $f_{ot} = f(n)$

Na základě porovnání všech použitých řezných podmínek při obrábění, byly vybrány, stejným postupem jako v bodě 2, nejvhodnější řezné podmínky pro obrábění materiálu SABIC 95610 šestibřitou frézou (viz tab. 2 v příloze 4 ///číslo vzorku///), které jsou:

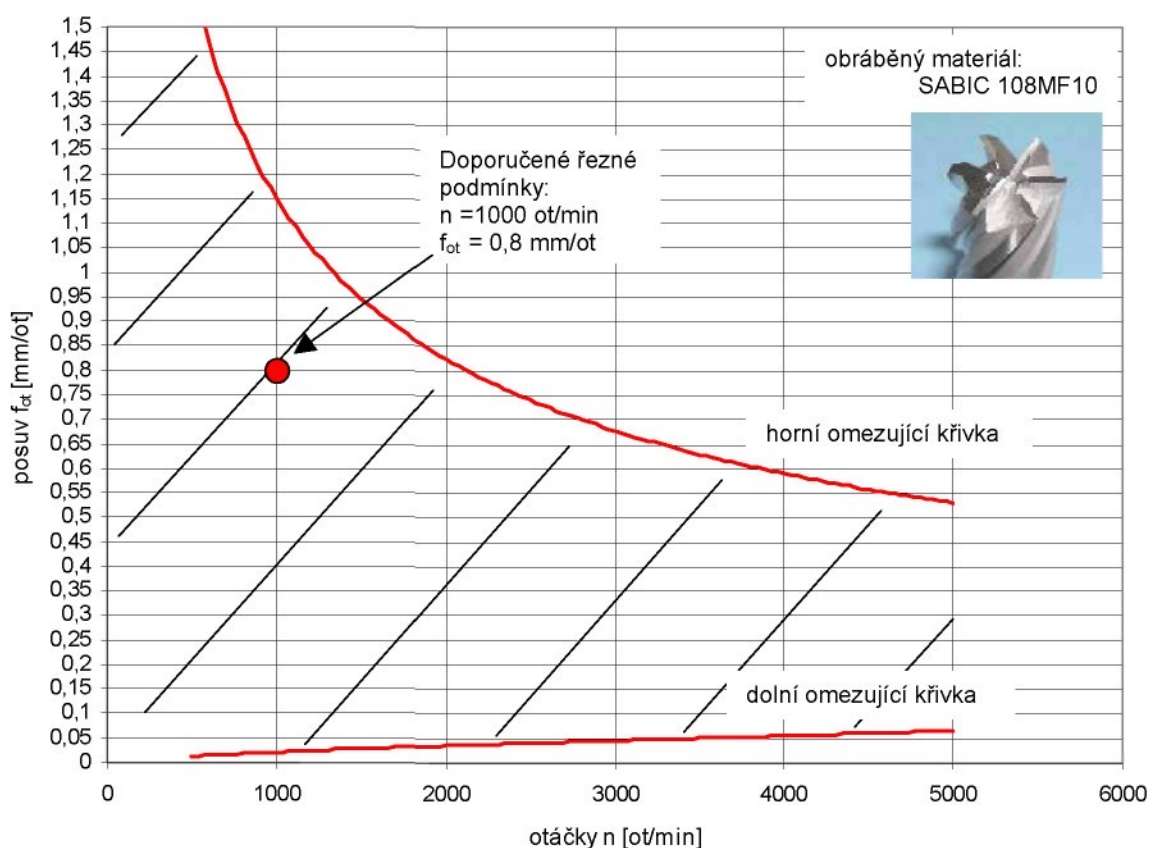
- $n = 1000$ ot/min $f_{ot} = 0,2$ mm/ot
- $n = 1500$ ot/min $f_{ot} = 0,1$ mm/ot
- $n = 1500$ ot/min $f_{ot} = 0,4$ mm/ot
- $n = 1500$ ot/min $f_{ot} = 0,6$ mm/ot – doporučené podmínky obrábění

206 - šestibřítý nástroj, materiál SABIC 108MF10

10) Za desáté, šestibřítým nástrojem č.5 byl obráběn materiál SABIC 108MF10. Byla zkoumána kvalita otvoru při různých řezných podmínkách. Použité řezné podmínky byl v rozsahu otáček 500 až 5 000 ot/min a v rozsahu posuvů 0,05 až 1,4 mm/ot. Rozsahy použitých otáček a posuvů jsou uvedeny v tabulce 3 v příloze 4.

Výsledky a diskuze

Výsledkem desáté zkoušky je opět oblast vhodných řezných podmínek. Oblast opět leží mezi dvěma omezujícími křivkami, tedy mezi horní omezující křivkou a dolní omezující křivkou. Tato oblast se také jako v předchozích případech zužuje s rostoucími otáčkami a je zobrazena na obr. 50. Oblast vhodných řezných podmínek byla získána stejným postupem jako při zkoušce 2. Z výsledku je též patrné, že oblast vhodných řezných podmínek je při obrábění materiálu SABIC 108MF10 širší, než při obrábění materiálu SABIC 95610. Při obrábění šestibřítou frézou záleží na vlastnostech obráběného materiálu, nejvíce zřejmě na jeho tažnosti. Oblast vhodných řezných podmínek byla získána stejným postupem jako v bodě 2.



Obr. 50 Oblast vhodných řezných podmínek (šrafovaná) v závislosti $f_{ot} = f(n)$

Na základě porovnání všech použitých řezných podmínek při obrábění, byly vybrány, nejvhodnější řezné podmínky pro obrábění materiálu SABIC 108MF10 šestibřitou frézou (viz tab. 3 v příloze 4 ///číslo vzorku///). Nejvhodnější řezné podmínky byly vybrány stejným postupem jako v bodě 2 až na jeden rozdíl, že byly též vybírány pro hodnocení vzorky, s prvním parametrem hodnotícím poškrábání povrchu vzorků, s písmenem M (málo poškrábáno). Nejvhodnější řezné podmínky jsou:

- $n = 500 \text{ ot/min}$ $f_{ot} = 0,05 \text{ mm/ot}$
- $n = 1000 \text{ ot/min}$ $f_{ot} = 0,8 \text{ mm/ot}$ – doporučené podmínky obrábění
- $n = 1500 \text{ ot/min}$ $f_{ot} = 0,2 \text{ mm/ot}$

Při experimentech č.4 byl též sledován průměr vyrobených otvorů v závislosti na čase a v závislosti na otáčkách a posuvech frézy. Průměr otvoru byl měřen na vzorcích z materiálů SABIC 95610 a SABIC 108MF10, vzorky byly obráběny tříbřitou a šestibřitou frézou. Průměr otvoru byl měřen ihned po vyrobení otvoru, po 35 hodinách, po 48 hodinách a po jednom týdnu. Pro měření průměrů posloužil toleranční kalibr, umožňující měření průměru v rozmezí 29,6 mm až 28,3 mm, průměr je odstupňovaný po 0,1 mm. Schéma kalibru je v příloze 4 na obrázku 8. Hodnoty změřených průměrů v závislosti na čase, otáčkách a posuvů jsou v tabulce 6 a v tabulkách 1, 2 a 3 v příloze 4. V tabulkách písmeno (hodnota) N znamená, že průměr otvoru je neměřitelný, většinou z důvodu natavení materiálu (třísky) v oblasti otvoru. Z naměřených hodnot průměrů otvoru lze říci, že průměr otvoru je závislý na čase a také na řezných podmínkách. Průměr otvoru ihned po obrábění materiálů SABIC 95610 a SABIC 108MF10 tříbřitou frézou byl 28 mm. Průměr otvoru ihned po obrábění materiálů SABIC 95610 a SABIC 108MF10 šestibřitou frézou byl 28,1 mm. Z čehož je patrná jistá odlišnost a tedy tolerance průměru otvoru je též závislá na použitém nástroji a jeho geometrii.

Pomocí experimentu č.4, který je také posledním experimentem v diplomové práci, bylo zjištěno, že oba dva nástroje č.4 a č.5 jsou vhodné pro výrobu otvoru v materiálu SABIC 95610 a v materiálu SABIC 108MF10. Tříbřitá fréza č.4 je však vhodnější pro obrábění, než šestibřitá fréza č.5, jelikož s ní lze obrábět v širší oblasti vhodných řezných podmínek.

8. HODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ Z HLEDISKA EKONOMICKÉHO

V první řadě jsou hodnoceny dosažené výsledky z hlediska vstupní investice u stávající technologie děrování, tedy peněžní hodnoty děrovacího a lepicího zařízení, které je používáno v současné době pro výrobu otvorů v náraznících automobilu. Hodnota tohoto zařízení, které bylo pořízeno v dřívější době byla 1 200 000 Kč.

V druhé řadě jsou dosažené výsledky z hlediska vstupní investice hodnoceny u experimentu č.3. Při experimentu bylo použito specializované robotizované pracoviště, pro řez paprskem H_2O . Vstupní investice do tohoto typu zařízení s ohledem na potřebu jednoho pracovního robota k výrobě otvorů v nárazníku automobilu je značně vysoká. Cena robotizovaného pracoviště, které bylo pro tento experiment využito se pohybuje v intervalu 800 000 – 1 300 000 €. Z tohoto hlediska výroba otvorů v praxi technologií řezu paprskem vody, která by byla použitelná, je z rozhodnutí ekonomického prozatím nereálná.

Další hodnocení dosažených výsledků z hlediska vstupní investice je provedeno v souvislosti s experimentem č.4. Při experimentu byly použity dva nástroje, první nástroj je tříbřitá stopková fréza a druhý nástroj je šestibřitá stopková fréza. Nástroje byly zakoupeny od firmy Hoffmann Grupe. Cena nástrojů je:

- tříbřitá stopková fréza 3066 Kč bez DPH,
- šestibřitá stopková fréza 1492 Kč bez DPH.

Důležitým ekonomickým sdělením, které slouží k přehledu v problematice řešeného problému, je sdělení o specializovaném frézovacím centru, které mělo být pořízeno firmou Peguform Bohemia k.s. Přesněji se jednalo o robotizované pracoviště s jedním robotem, které bylo určeno k frézování otvorů v nárazníku automobilu. Výroba otvorů v nárazníku byla realizována speciálním nástrojem. Otáčky nástroje při obrábění otvorů byly cca 30 000 ot/min, což klade vysoké nároky na vřeteno zařízení. Vstupní investice do toho typu zařízení je přibližně 5 000 000 Kč. Na základě výsledků diplomové práce, podnik Peguform Bohemia k.s., odstoupil od plánovaného nákupu tohoto zařízení, z následujícího důvodu.

Z výsledků experimentu č.4 je patrné, že zvolené nástroje pro výrobu otvorů v materiálu SABIC 95610 a SABIC 108MF10 jsou vhodné a tedy jejich použití v praxi je reálné. Důležité výstupní informace diplomové práce jsou též stabilní rezné podmínky, při kterých lze kvalitně obrábět dané materiály zvolenými nástroji. Otáčky, při kterých lze kvalitně obrábět jsou nízké a tedy vstupní investice do zařízení, které by používalo zvolené nástroje, nepřesáhne výši vstupních investic předchozích uvedených zařízení. Podrobnější ekonomické informace jsou vázány na variantní zařízení, vhodné pro obrábění otvorů v nárazníku, které zatím podnikem Peguform Bohemia k.s. nebylo navrženo ani vyrobeno.

9. SHRNUTÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE, VYVOZENÍ ZÁVĚRŮ A NÁVRH VHODNÉ TECHNOLOGIE VÝROBY KRUHOVÝCH OTVORŮ

Analýzou současné technologie výroby kruhových otvorů v nárazníku automobilu, bylo potvrzeno, že při stávající používané technologii děrování vznikají nežádoucí jevy. Otvory po děrování vykazují otřepy vznikající na výběhové hraně otvoru, které jsou hlavní příčinou toho, že podnik Peguform Bohemia k.s. požaduje aplikování technologie obrábění pro výrobu otvorů. Dále z hlediska kvality otvoru vzniká po technologii děrování zbělení materiálu v oblasti náběhové hrany otvoru a zaoblení náběhové hrany otvoru. Materiál nárazníku je ve své podstatě polypropylén modifikovaný elastomerem s přidáním plniva, jehož charakteristickou vlastností je vysoká tažnost. Nárazník je v současné době vyráběn z materiálu, který vykazuje pětisetprocentní tažnost pod označením pro potřeby této práce jako SABIC 95610. Je však nutné upozornit na jednu důležitou skutečnost, že podnik Peguform plánuje v nejbližší době výrobu nárazníků z materiálu pod označením pro potřebu této práce jako SABIC 108MF10, což je obdobný materiál jako současně používaný materiál SABIC 95610. Tažnost materiálu SABIC 108MF10 je dvěstěprocentní. Z tohoto důvodu byly zkoumány dva materiály. V souvislosti s analýzou technologie děrování bylo prokázáno, že kvalita vyráběných otvorů je závislá na tažnosti děrovaného materiálu a na velikosti střížné mezery.

V rámci řešení diplomové práce byla zjištěna skutečnost, že množství literatury na dané téma obrábění plastů není příliš velké, skoro až nedostatečné. Je nutno uvést, že byla získána kvalitní literatura od japonského autora Dr. Akiry Kobayashiho, kterou lze považovat za výchozí a kvalitní zdroj na dané téma. Proto by tato práce mohla sloužit jako zdroj informací o obrábění termoplastů.

V rámci řešení problému byly navrženy a realizovány možné, vhodné metody obrábění pro výrobu otvorů. Celkem byly provedly tři experimenty, které byly hodnoceny z hlediska technologického.

Při prvním experimentu byl použit vrták na jádro. Otvory byly vyráběny v nárazníku automobilu z materiálu SABIC 95610 s 500% tažností. Při experimentu byla zkoumána kvalita otvoru v závislosti na geometrii daného nástroje a v závislosti na řezných podmínkách. Bylo zjištěno malé natavení (vystupující lem) obráběného materiálu na náběhové i výběhové hraně otvoru, díky nadměrnému tření mezi nástrojem a obrobeným povrchem a tedy vlivem nepříznivé geometrie nástroje. Vyhodnocením výsledků experimentu byla potvrzena teorie o materiálové paměti obráběného plastu, kdy se průměr vrtaného otvoru měnil v závislosti na čase. Experiment byl realizován v podniku Peguform Bohemia k.s. v závodě nástrojárna.

Při druhém experimentu byla použita nekonvenční obráběcí metoda, řez paprskem H_2O . Otvory byly vyráběny ve zkušebních vzorcích z materiálu SABIC 95610 s 500% tažností a z materiálu SABIC 108MF10 s 200% tažností. Při experimentu byla zkoumána kvalita řezu v závislosti na obráběném materiálu, rychlosti pohybu trysky a vzdálenosti trysky od povrchu vzorku. Bylo zjištěno, že při obrábění paprskem vody vznikají na rubové straně (vzdálenější od trysky) vzorků otřepy, které vznikají na materiálu základním i na materiálu oddělovaném. Lakovaná plocha v oblasti vyrobeného otvoru nevykazovala žádné praskliny, trhliny ani oddělení laku od podkladového materiálu a náběhová hrana řezu byla geometricky ostrá a kvalitní. Experiment byl realizován v podniku Grupo Antolin Bohemia a.s. v Chrastavě.

Při třetím experimentu byly použity dva nástroje a dva materiály. Prvním nástrojem byla tříbřitá fréza a druhým nástrojem byla šestibřitá fréza. Otvory byly vyráběny ve zkušebních vzorcích z materiálu SABIC 95610 s 500% tažností a z materiálu SABIC 108MF10 s 200% tažností. Celkem se při experimentu použilo cca 210 vzorků. Při experimentu byla zkoumána kvalita otvoru a tolerance průměru otvoru v závislosti na geometrii daného nástroje, obráběném materiálu a v závislosti na podmínkách obrábění. Výsledkem experimentu jsou oblasti vhodných řezných podmínek pro obrábění v závislosti posuvu na otáčkách, pro kombinace dvou obráběných materiálů a dvou řezných nástrojů. V souvislosti s výběrem nástrojů vhodných pro obrábění zkoumaných materiálů byl proveden v rámci řešení diplomové práce patřičný průzkum trhu prodejců a výrobců nástrojů jako jsou například: Pramet Šumperk, Iscar, Hoffmann Grupe, Seco, Kennametal Hertel, Unitool Europe a Sandvik Coromant. Pro realizaci experimentu bylo též nutné navrhnout konstrukční koncepci přípravku a přípravek vyrobit, což bylo splněno. Přípravek při experimentu sloužil k upínání zkušebních vzorků. Experiment byl realizován v podniku Peguform Bohemia k.s. v závodě nástrojárna.

Účelem diplomové práce bylo navrhnout vhodnou metodu obrábění pro výrobu otvorů v daném materiálu. Z dosažených výsledků diplomové práce lze finálně stanovit dvě doporučená řešení výroby otvorů. Je třeba též uvést, že zařízení neboli stroj, na kterém se budou otvory v nárazníku vyrábět, by měl mít dostatečně tuhou soustavu stroj – nástroj – obrobek – přípravek.

1) Prvním řešením je výroba otvoru pomocí tříbřité stopkové frézy pro čelní zanožování do materiálu, za použití stabilních podmínek obrábění, které jsou závislé na druhu obráběného materiálu a lze je stanovit pro daný materiál takto:

- při obrábění materiálu SABIC 95610 použít otáčky nástroje $n = 2000$ ot/min a posuv na otáčku $f_{ot} = 0,3$ mm/ot, bez použití chlazení.
- při obrábění materiálu SABIC 108MF10 použít otáčky nástroje $n = 1000$ ot/min a posuv na otáčku $f_{ot} = 0,2$ mm/ot, bez použití chlazení.

2) Druhým řešením je výroba otvoru pomocí šestibřité stopkové frézy pro čelní zanořování do materiálu, za použití stabilních podmínek, které jsou též závislé na druhu obráběného materiálu, které lze stanovit pro daný materiál takto:

- při obrábění materiálu SABIC 95610 použít otáčky nástroje $n = 1500$ ot/min a posuv na otáčku $f_{ot} = 0,6$ mm/ot, bez použití chlazení,

- při obrábění materiálu SABIC 108MF10 použít otáčky nástroje $n = 1000$ ot/min a posuv na otáčku $f_{ot} = 0,8$ mm/ot, bez použití chlazení.

Oba doporučené nástroje byly použity při experimentu č.4. Při použití těchto doporučených řešení výroby otvorů nebylo zjištěno žádné natavení obráběného materiálu a tedy nevznikaly žádné otřepy na náběhové ani na výběhové hraně otvoru. Lak v okolí řezu nebyl poškozen, náběhová a výběhová hrana otvoru byla geometricky ostrá a povrch obráběného materiálu v okolí řezu byl bez zbělení a bez vylamování částí obráběného materiálu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŘASA, J., GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3 - 1.díl – Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. 1.vyd. Praha: Scientia, spol. s r.o., 2000. 256 s. ISBN 80-7183-207-3.
- [2] KREBS, J. *Teorie zpracování nekovových materiálů - část 1. - Zpracování plastů*. 1.vyd. Liberec: VŠST Liberec, 1991. 250 s. ISBN 80-7083-074-3.
- [3] PEGUFORM BOHEMIA k.s., Liberec: PRŮVODNÍ DOKUMENTACE, ZÁZNAMY PODNIKU, FIREMNÍ PODKLADY [B.r.]
- [4] REICH, G. *Ein Handbuch für Lehrkräfte Lernbereich Kunststoff.[CD-ROM]*. 1.vyd. Ruf a Speigl München, 1996.
- [5] AUSPERGER, A., LENFELD, P. Vliv mechanických vlastností Polypropylénu na tvar střížné plochy.[Výzkumná práce]. Liberec, TU-Liberec, 2003. 4 s.
- [6] KREBS, J. *Teorie a technologie zpracování plastů*. 1.vyd. Liberec: VŠST Liberec, 1981. 341 s. ISBN -
- [7] PEGUFORM BOHEMIA k.s., Liberec: VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ. [B.r]. 14 s.
- [8] VÁVRA, P., a kol.. *Strojnické tabulky – pro SPŠ strojnické*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1983. 672 s. ISBN 04-218-83.
- [9] KOBAYASHI, A. *Machining of plastics* San Francisco: MacGraw-Hill 1967. 257s. 35266
- [10] BLÁBOLIL, F. Obrábění termoplastů. In: *Sborník zpracování polotovarů z plastických hmot*. vyd. ČVTS Praha, 1972, s. 74 - 97
- [11] Obecné informace o podniku Peguform [online]. Liberec: Peguform Bohemia k.s., březen 2004. Dostupné na: <http://www.peguform.cz>
- [12] LUCOVICS, I. Vybrané články k problematice obrábění plastů na CD. UTB - Zlín, 2004.

- [13] Obecné informace o obrábění termoplastů [online]. Jičín: LPM Jičín, leden 2004. Dostupné na: <http://www.lpm.cz>
- [14] GAZDA, J. *Teorie obrábění – řezné síly při obrábění* 1.vyd. Liberec: VŠST Liberec, 1993. 123 s. ISBN 80-7083-110-3.
- [15] VIGNER, M., PŘIKRYL, Z. *Technický průvodce 81 - Obrábění*. 1.vyd. Praha: SNTL Praha, 1984. 808 s. 04-250-84.
- [16] MACEK, K., ZUNA, P. a kol. *Nauka o materiálu*. 1.vyd. Praha: ES ČVUT Praha 1999. 209s. ISBN 80-01-01507-6
- [17] HLUCHÝ, M a kol. *Strojírenská technologie 2*. 1.vyd. Praha: SNTL Praha 1979. 408s.
- [18] NECKAR, F., KVASNICKA, I. *Vybrané statě z úběru materiálu*. 1.vyd. Praha: ES ČVUT Praha 1991. 88s. ISBN 80-01-00696-4
- [19] GAZDA, J. *Teorie obrábění - průvodce tvorby třískou* 1.vyd. Liberec: TU Liberec, 2004. 120 s. ISBN 80-7083-789-6.
- [20] RYBÁŘ, F. *Obrábění plastických hmot*. 1.vyd. Praha: STNL Praha 1963. 118s.
- [21] KOBAYASHI, A. Machining of plastics. *Modern plastics*. roč. 7, červenec 1963, č.1. s. 110 - 175.
- [22] KOBAYASHI, A. Machining of plastics. *Modern plastics*. roč. 8, srpen 1963, č.2. s. 109 - 186.
- [23] KOBAYASHI, A. Machining of plastics. *Modern plastics*. roč. 9, září 1963, č.3. s. 144 - 206.
- [24] KOBAYASHI, A. Machining of plastics. *Modern plastics*. roč. 12, prosinec 1963, č.6. s. 127 - 136.

- [25] KOBAYASHI, A. Machining of plastics. *Modern plastics*. roč.1, leden 1964, č.7.
s. 163 - 222.

SEZNAM PŘÍLOH

	rozsah
Příloha 1 Vrtání termoplastů	8 stran
Příloha 2 Přílohy k experimentu č.1	1 strana
Příloha 3 Přílohy k experimentu č.3	3 strany
Příloha 4 Přílohy k experimentu č.4	12 stran

Příloha 1

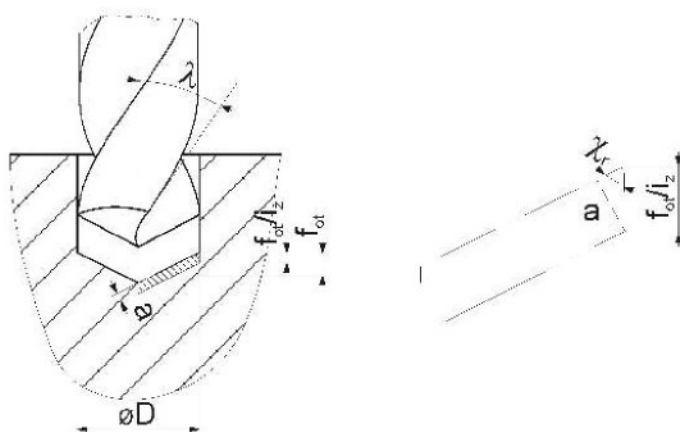
VRTANÍ TERMOPLASTŮ Poznatky o vrtání termoplastu

Rozsah: 8 stran

VRTÁNÍ TERMOPLASTŮ

Základní postup při vrtání

Vrták je nástroj, který má většinou dva břity. Mezi vrtákem a stěnami vrtané díry dochází ke tření. Vrtaný otvor má tendenci se rozpínat směrem dovnitř do otvoru, čímž se dále zvětšuje tření mezi vrtákem a otvorem. Toto je vlivem tvarové paměti a velké teplotní roztažnosti plastů. Třísky, vznikajícím teplem, měknou, taví se a snadno se přilepují k vrtáku a k obrobku. Tyto skutečnosti ovlivňují kvalitu otvoru, řezné síly při vrtání, krouticí moment a druh třísky. Kvalita otvoru je také ovlivněna geometrií vrtáku. Schéma vrtání je na obr. 1 [24].



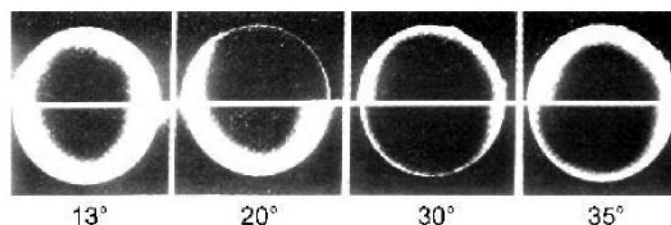
Obr. 1 Základní schéma vrtání

VLIV GEOMETRIE VRTÁKU

Na vývin tepla má značný vliv geometrie řezného nástroje, přičemž má být zajištěno snadné odvádění třísky a malé tření. Ke snížení elastické deformace (materiálové paměti) lze využít vrtáků s ostrým břitem [24]. Zde se doporučuje navrtat nahrubo a po té dokončit vrtákem, se správném průměrem, načisto.

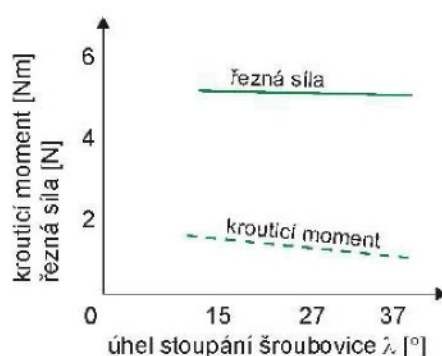
Vliv úhlu sklonu šroubovice λ

Malý úhel sklonu (stoupání) šroubovice λ_s způsobuje gumování uvnitř vrtaného otvoru, jelikož tato geometrie překází k odstraňování třísek z místa řezu. U vrtání úhel sklonu šroubovice, odpovídá u soustružnického nože, úhlu čela. Optimální hodnota úhlu stoupání šroubovice je 30° . Tato hodnota vychází, z porovnání vzníklých otvorů, při použití nástrojů s různými úhly λ_s (viz obr. 2). Horní řada fotografií zobrazuje okraje náběhových hran otvoru obráběného materiálu a spodní řada fotografií zobrazuje okraje obráběného materiálu kde vrták opouští řez.



Obr. 2 Vliv úhlu sklonu šroubovice na kvalitu vrtaných otvorů (dle [24])

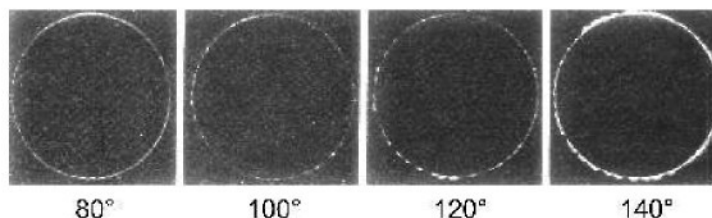
Úhel sklonu šroubovice λ_s má také vliv na řeznou sílu a krouticí moment, tato závislost je zobrazena na obr. 3. S rostoucím úhlem sklonu šroubovice se řezná síla při vrtání nemění, je konstantní. A krouticí moment klesá s rostoucím λ_s [25].



Obr. 3 Vliv úhlu stoupání šroubovice λ_s na řeznou sílu a krouticí moment při vrtání PC (dle [25])

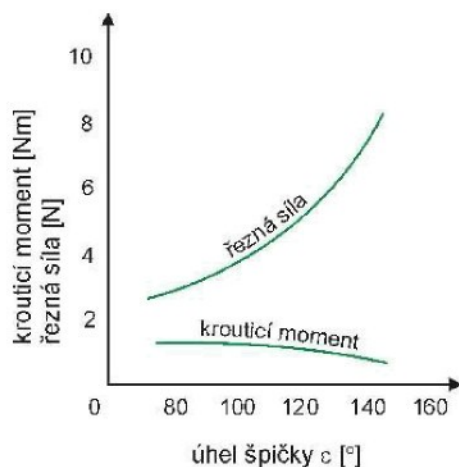
Vliv vrcholového úhlu

Vliv vrcholového úhlu vrtáku na praskání obráběného materiálu kolem okrajů děr je zobrazen na obr. 4, kde se vyskytují praskliny kolem okrajů vrtaných otvorů. Optimální vrcholový úhel vrtáku je mezi 80° a 100° [24].



Obr. 4 Vliv vrcholového úhlu na kvalitu vrtaných otvorů v PMMA (dle [24])

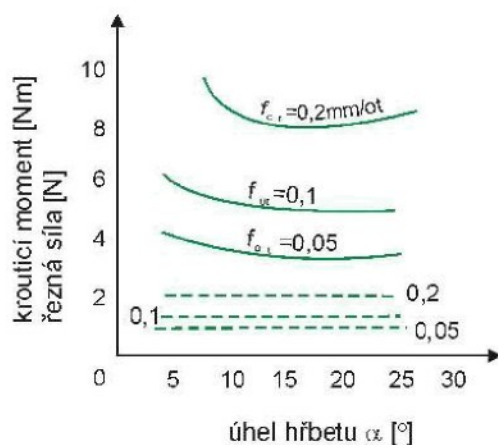
Vliv vrcholového úhlu na řeznou sílu a krouticí moment je zobrazen na obr. 5. S rostoucím vrcholovým úhlem roste síla a krouticí moment klesá. Odchylka od krouticího momentu s vrcholovým úhlem může být vysvětlena dle tloušťky vznikajících třísek [25].



Obr. 5 Závislost vrcholového úhlu na krouticího momentu a řezné síle při vrtání PC
(dle [25])

Vliv úhlu hřbetu α

Řezné síly a krouticí moment působící během vrtání jsou též ovlivněny úhlem hřbetu α neboli úhlem podbroušení břitu vrtáku, toto ovlivnění je zobrazeno na obr. 6, kde je patrné, že při zmenšujícím se úhlu α vzrůstá síla (vlivem elastická deformace a tvarová paměť), výraznější vzrůst nastává při rostoucím posuvu. Také při zmenšujícím se α nepatrně klesá či je konstantní krouticí moment. Vše též závisí na obráběném materiálu, zde byl obráběn PC. Krouticí moment je v diagramu zobrazen čárkovaně a síla plně.



Obr. 6 Vliv úhlu hřbetu na řeznou sílu a krouticí moment (dle [25])

VLIV ŘEZNÝCH PODMÍNEK PŘI VRTÁNÍ

Řezné podmínky jsou: hloubka řezu a [mm/ot], posuv na otáčku f_{ot} [mm/ot], rychlost posuvu v_f [mm/min] a řezná rychlost (obvodová) v_c [mm/min].

Optimální řezné podmínky pro obrábění je nejlépe u každého druhu plastu zjistit pokusně, protože závislá je tu vlastnost každého plastu, kvalita nástroje, druh stroje, podmínky při obrábění a další [2].

Obecně se doporučuje použít, co nejvyšších řezných rychlostí a hloubka řezu nesmí překročit určitou hodnotu [2].

V některých literaturách je uváděno, že při obrábění plastů je možné použít podobné řezné podmínky jako u obrábění dřeva či lehkých kovů.

Obráběním se v plastu uvolňuje vnitřní napětí, z tohoto důvodu je nejdříve nutné součást ohrubovat, po té nechat nějakou dobu volně stárnout a teprve poté obrobit na přesnou míru a dokončit [2].

Vliv hloubky řezu

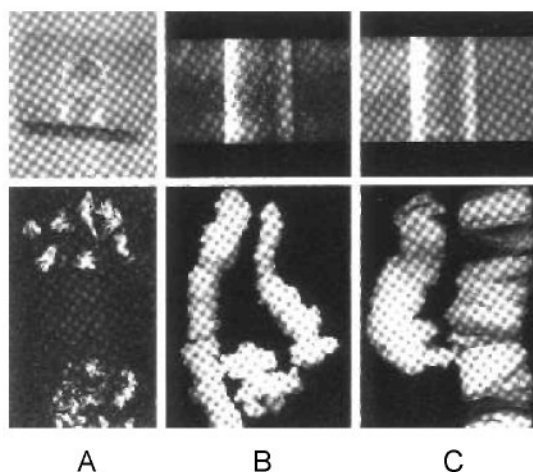
Hloubka řezu (záběru) je výsledkem vzájemného vztahu mezi řeznou rychlostí nástroje a posuvem. U vrtání nastává situace, kdy pohyb nástroje vzniká rotačním pohybem a současným posuvným pohybem nástroje do obráběného materiálu. Hloubka záběru se vypočítá dle rovnice:

$$a = \frac{f_{ot}}{z} \sin \chi_r \quad \frac{v_f}{n} = f_{ot} \quad \text{a tedy lze psát} \quad a = \frac{1}{z} \frac{v_f}{n} \sin \chi_r$$

f_{ot} ... posuv na otáčku, z ... počet břitů (u vrtáku 2), v_f ... rychlost posuvu,
 n ... otáčky, χ_r ... úhel nastavení

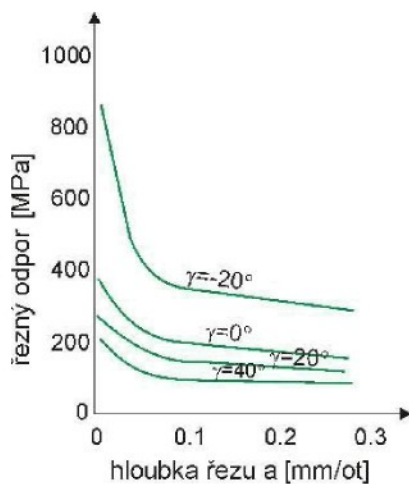
Ze vzorce vyplývá, že hloubka řezu je přímo úměrná rychlosti posuvu a nepřímo úměrná k otáčkám nástroje (vrtáku). Se vzrůstajícím posuvem na otáčku f_{ot} nebo s poměrem v_f/n vznikají kolem vrtaného otvoru praskliny a třísky se stávají diskontinuální [25]. Řez je též provázen vznikem otřepů materiálu v okolí hran otvoru, viz obr. 7 A. Pokud je posuv příliš malý a tedy řez je s malou hloubkou řezu, výsledkem je vznik tření a obráběný povrch bývá natavený (lepivý) a tříska natavená, viz obr. 7 B. Je tudíž nutné mezi těmito dvěma extrémy najít optimální hodnotu nastavení hloubky řezu a tedy i posuvu, čímž získáme otvor o vysoké kvalitě a s hladkou plynulou třískou, viz obr. 7 C [22].

Oblasti extrémů a optima kvality je možno zanést do grafu závislosti otáček (obvodové rychlosti) a posuvu. Oblast optima většinou leží mezi sbíhajícími se křivkami a tato oblast se zužuje se zvětšujícími se otáčkami (obvodové rychlosti) nástroje [22].



Obr. 7 Vliv hloubky řezu na kvalitu vrtaných otvorů, a druhy vytvářených třísek při vrtání PMMA [22]

Teplo vznikající oddělováním materiálu je též závislé na hloubce řezu. Obr. 8 znázorňuje typický vztah mezi hloubkou řezu a měrným řezným odporem. Jakmile se hloubka řezu zmenšuje, pak rapidně narůstá měrný řezný odpor. Měrný řezný odpor je úměrný vyvíjenému teplu na jednotku objemu řezného povrchu. Proto se vytvářené teplo na jednotku objemu rapidně zvětšuje s klesající hloubkou řezu. V diagramu je též zanesena další závislá a tou je úhel čela γ . S klesajícím úhlem čela roste vývin tepla [22].



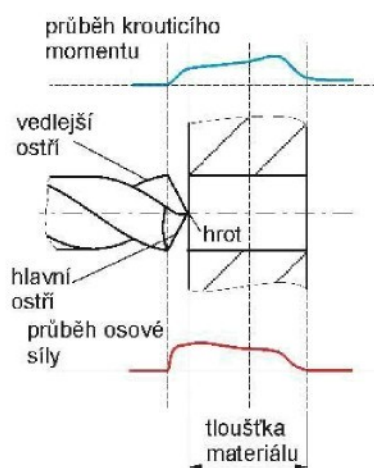
Obr. 8 Vliv hloubky řezu na měrný řezný odpor (dle [22])

V této souvislosti vykonávaná práce na jednotku objemu během obrábění se zákonitě též rapidně zvyšuje s poklesem hloubky řezu. Tento jev má za následek vývin nadměrného množství tepla a tím následně degradování obráběného plastu [22].

Z předchozích poznatků vyplývá, že řezné podmínky je třeba volit směrem k maximální hloubce řezu, ovšem s určitou mezí maxima, aby se napomáhalo zmenšování vývinu tepla vlivem oddělování materiálu.

Vliv hloubky řezu na kvalitu vrtaného otvoru. Je-li hloubka řezu příliš malá a řezná rychlost příliš velká vzrůstá teplo vznikající během vrtání, což má za následek gumování (natavování) třísky a obrobku u termoplastů nebo pro představu spalování u reaktoplastů, a tím i nedodržení úchytky kruhovitosti vrtaných otvorů. Tento výsledek je dosažen vlivem použití příliš malé hloubky řezu. A však, při příliš velké hloubce řezu, v okolí okrajů otvoru mohou vznikat trhliny [24].

Hodnoty krouticího momentu a osově síly v určitých místech tloušťky vrtaného materiálu jsou uvedeny na obr. 9. Krouticí moment se zvětšuje, dokud nezačnou vedlejší řezné ostří vrtat, dále je vzrůstání mírné s pronikáním vrtáku níže do hloubky vlivem vzrůstajícího tření mezi vrtákem a otvorem. Potom se krouticí moment zmenšuje, jakmile hrot vrtáku pronikne materiálem, avšak pokles krouticího momentu nedosáhne počáteční hodnoty z důvodu tření. Naproti tomu osová síla výrazně vzrůstá, jakmile hrot vrtáku dosáhne povrchu obráběného materiálu. Od tohoto místa má síla konstantní nebo jen o málo se zmenšující hodnotu až do místa, kde dochází k průniku hrotu vrtáku skrz celou tloušťku materiálu.

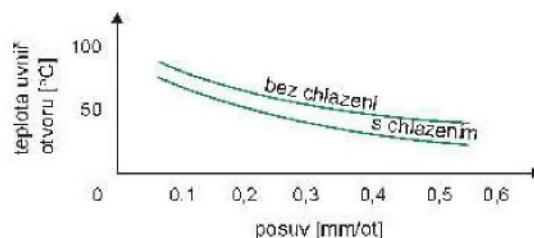


Obr. 9 Závislosti krouticího momentu a osově síly se vzrůstající hloubkou řezu (dle [24])

Vliv posuvu na otáčku

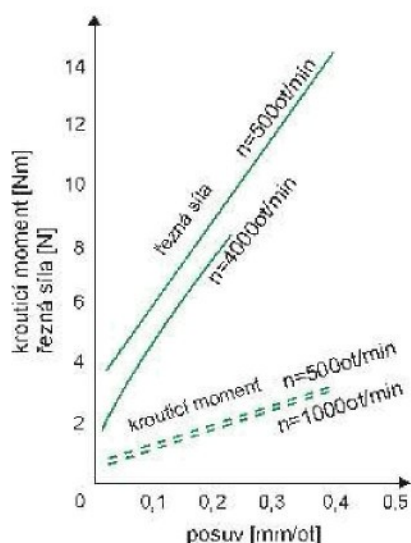
S rostoucím posuvem na otáčku (vzdálenost dosažena za 1 otáčku) roste po přímce i drsnost obráběného povrchu, oblast lze posunout směrem k lepším hodnotám drsnosti pomocí speciální geometrie vrtáku [24].

S klesajícím posuvem na otáčku vzrůstá vývin tepla (viz obr. 10) a vznikající třísky se lepí a taví na nástroj a obrobenou plochu. V grafu je také zanesen vliv chlazení na vývin tepla v otvoru (vnitřní plocha otvoru).



Obr. 10 Vliv posuvu na vývin tepla při obrábění PVC (dle [24])

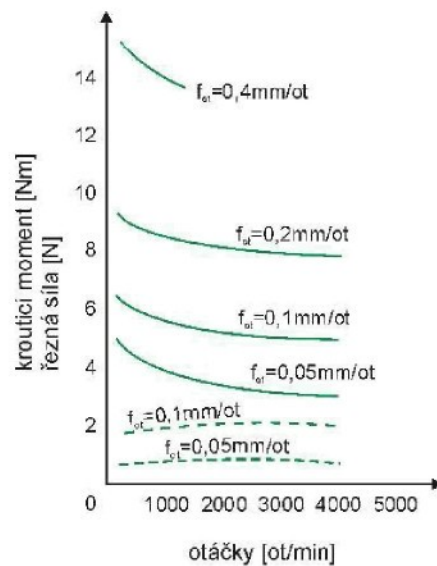
Vliv posuvu na krouticí moment a řeznou sílu je zobrazen na obr. 11. Lze uvést, že při rostoucím posuvu lineárně rostou obě závislé. V digramu je také zanesena další závislá, otáčky nástroje. S rostoucími otáčkami n vzrůstá krouticí moment i řezná síla.



Obr. 11 Vliv posuvu na krouticí moment, řeznou sílu a otáčky (dle [25])

Vliv otáček

Vliv otáček na krouticí moment a řeznou sílu je uveden na obr. 12. Řezná síla nepatrně klesá s rostoucími otáčkami. Krouticí moment je závislý na otáčkách vrtáku křivkovým parabolicky konkávním charakterem. Též při zvyšování posuvu rostou obě závislé. V diagramu čárkované křivky prezentují krouticí moment a plné křivky prezentují řeznou sílu. Posuv na otáčku je další závislou, která je též zanesena v grafu. Při rostoucím posuvu roste krouticí moment i řezná síla. Hodnoty uváděné na obr. 11 a obr. 12 byly získány při obrábění PC [25].



Obr. 12 Vliv otáček na krouticí moment a řeznou sílu (dle [25])

Vzhled obrobeného otvoru je též závislý na otáčkách nástroje. Při rostoucích otáčkách klesá kvalita otvoru [25].

S rostoucí rychlostí vrtání klesá po logaritmické křivce čas nutný k výrobě otvoru [24].

Optimální podmínky vrtání

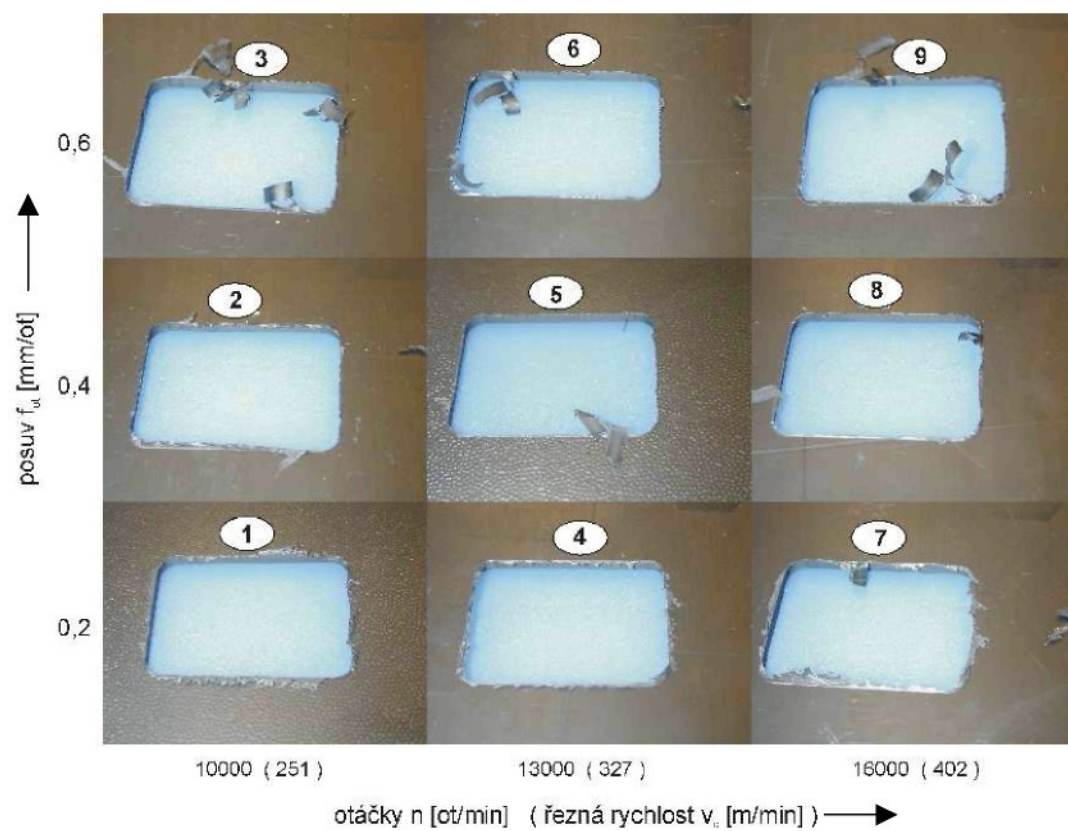
Nejdůležitějším faktorem při vrtání plastů je odstraňování třísek, aby se zabránilo vyvíjení tepla vznikajícího hlavně třením zachycovaných třísek mezi vrtákem a opracovaným materiálem. Základem pro volbu geometrie vrtáku nebo řezných podmínek je snadnost odchodu třísek z místa řezu. Při návrhu konstrukce vrtáku je třeba používat velké sklony úhlu šroubovice a široké leštěné drážky.

Příloha 2

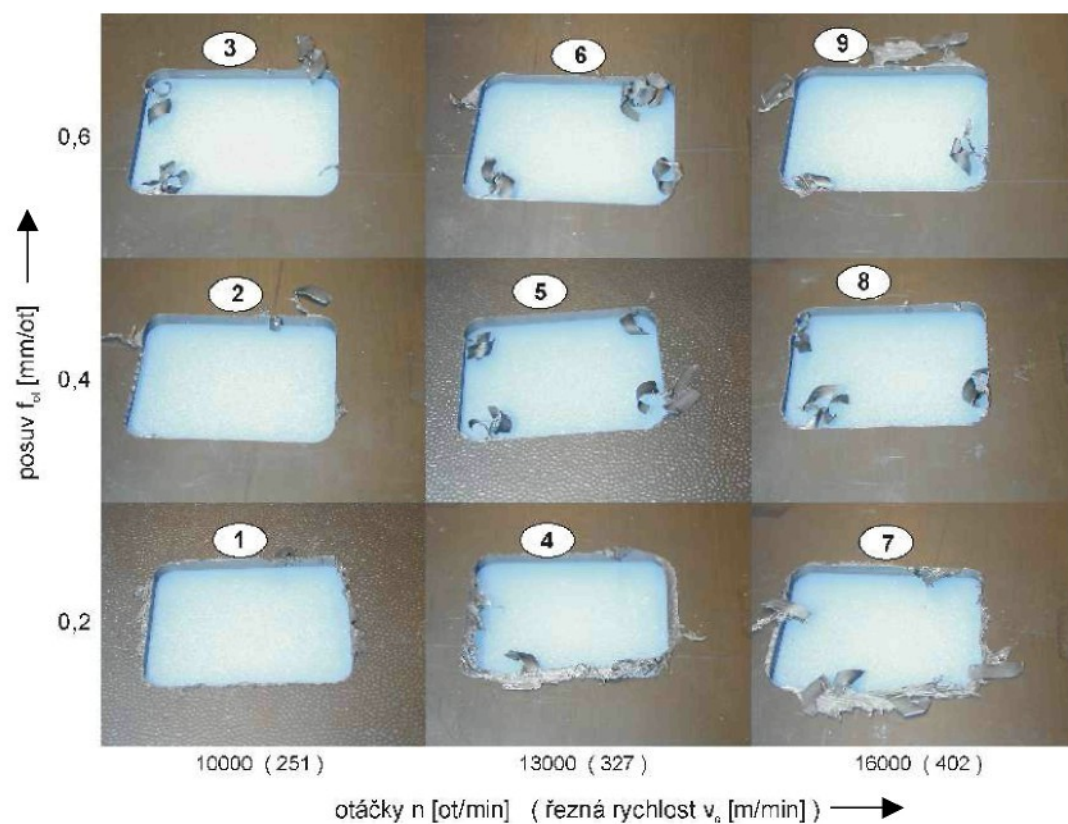
PŘÍLOHY K EXPERIMENTU Č.1

FRÉZOVÁNÍ POLYPROPYLENU JEDNOBŘITOU DRÁŽKOVACÍ FRÉZOU

Rozsah: 1 strana



Obr.1 Sousedné frézování otvorů při různých řezných podmínkách



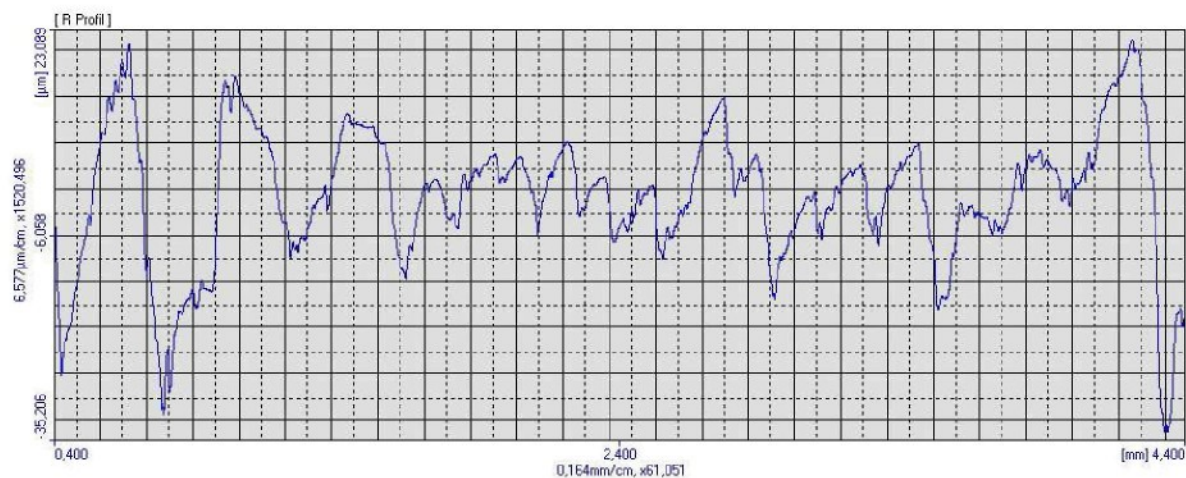
Obr.2 Nesousedné frézování otvorů při různých řezných podmínkách

Příloha 3

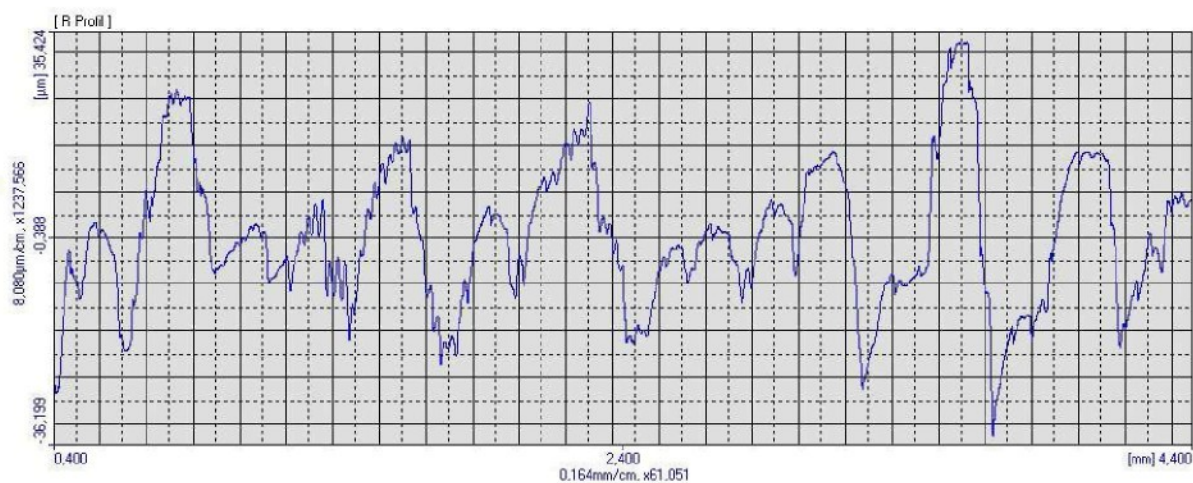
PŘÍLOHY K EXPERIMENTU Č.3

**OBRÁBĚNÍ MATERIÁLŮ SABIC 95610 A SABIC 108MF10
NEKONVENČNÍ OBRÁBĚCÍ METODOU (OBRÁBĚNÍ PAPRSKEM H₂O)**

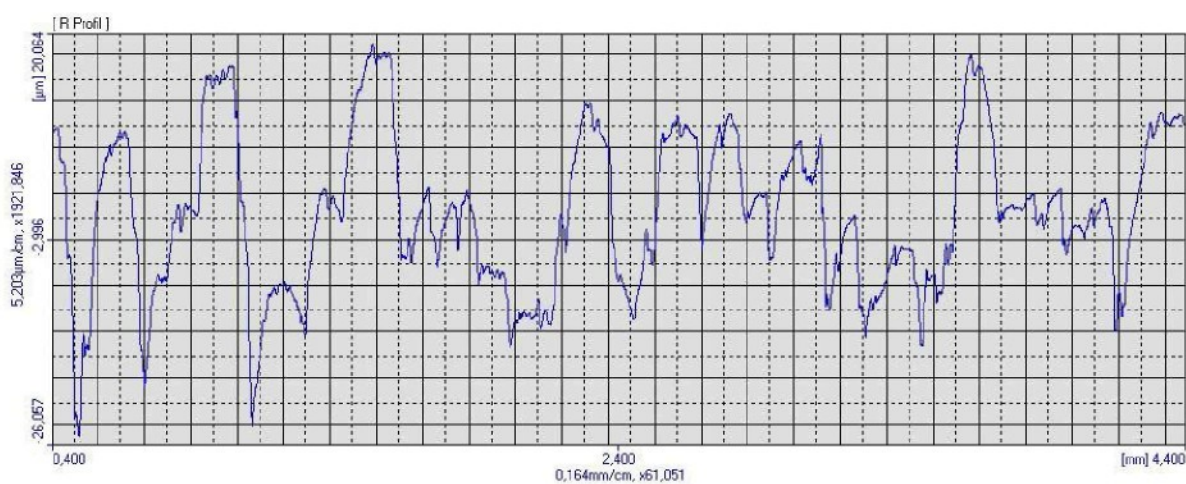
Rozsah: 3 strany



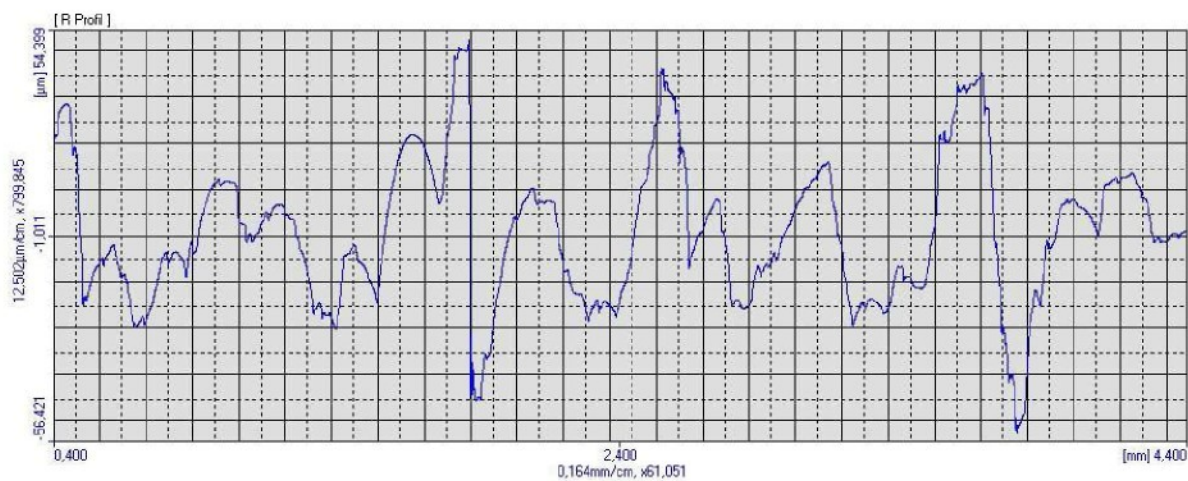
Obr. 1 Diagram drsnosti vzorku č.1 pro měření č.1a na mat. SABIC 108MF10



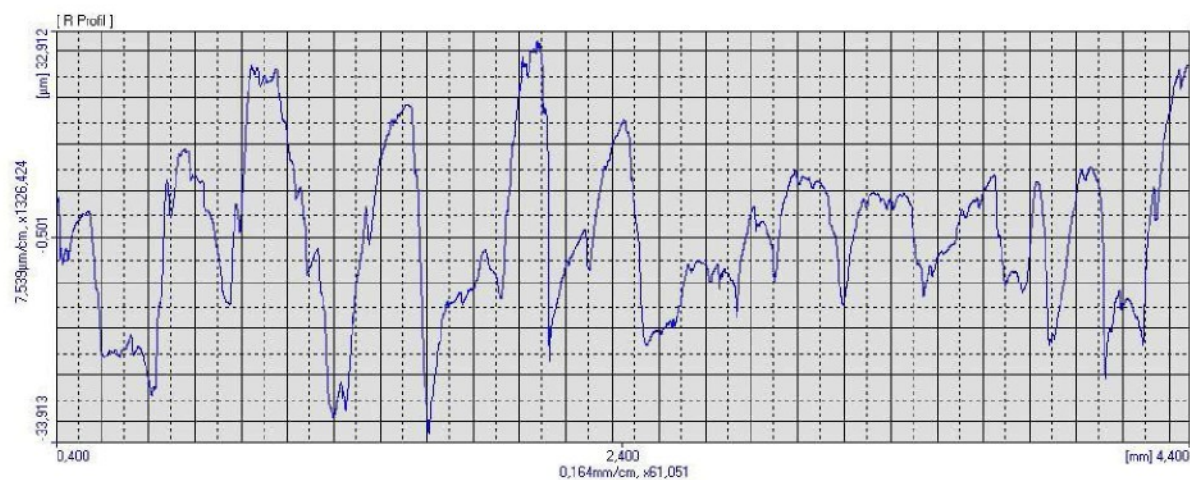
Obr. 2 Diagram drsnosti vzorku č.1 pro měření č.1b na mat. SABIC 108MF10



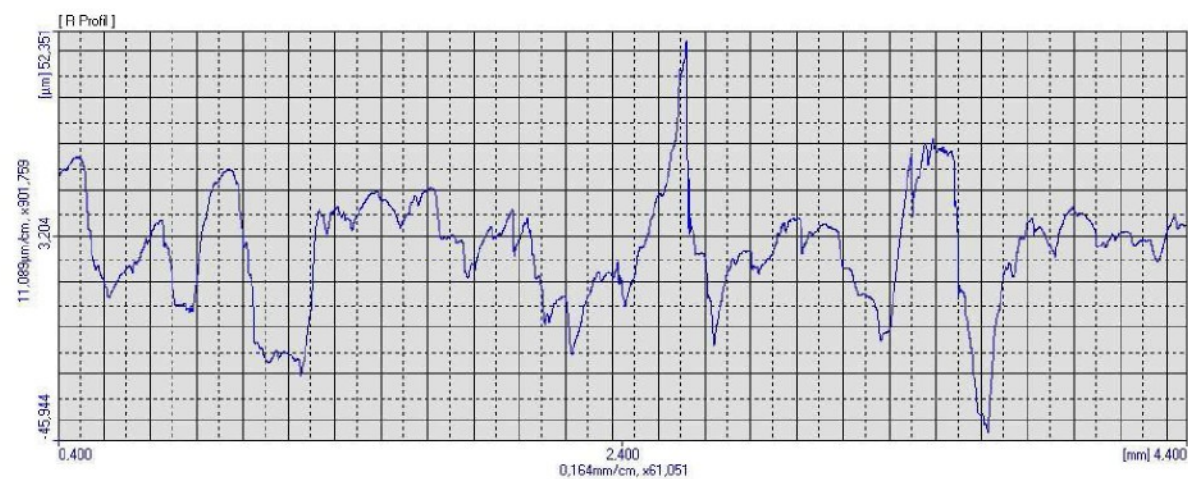
Obr. 3 Diagram drsnosti vzorku č.1 pro měření č.1c na mat. SABIC 108MF10



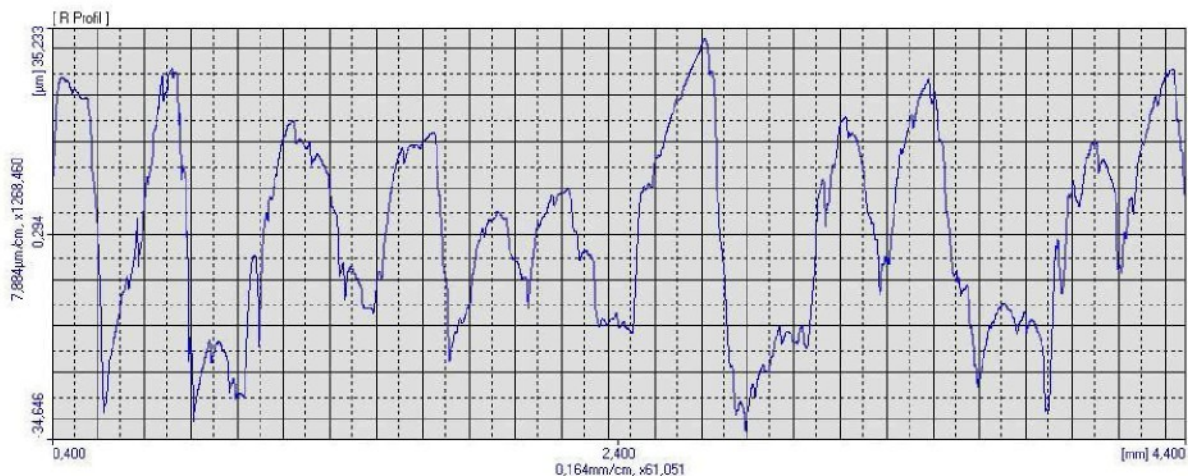
Obr. 4 Diagram drsnosti vzorku č.1 pro měření č.2a na mat. SABIC 108MF10



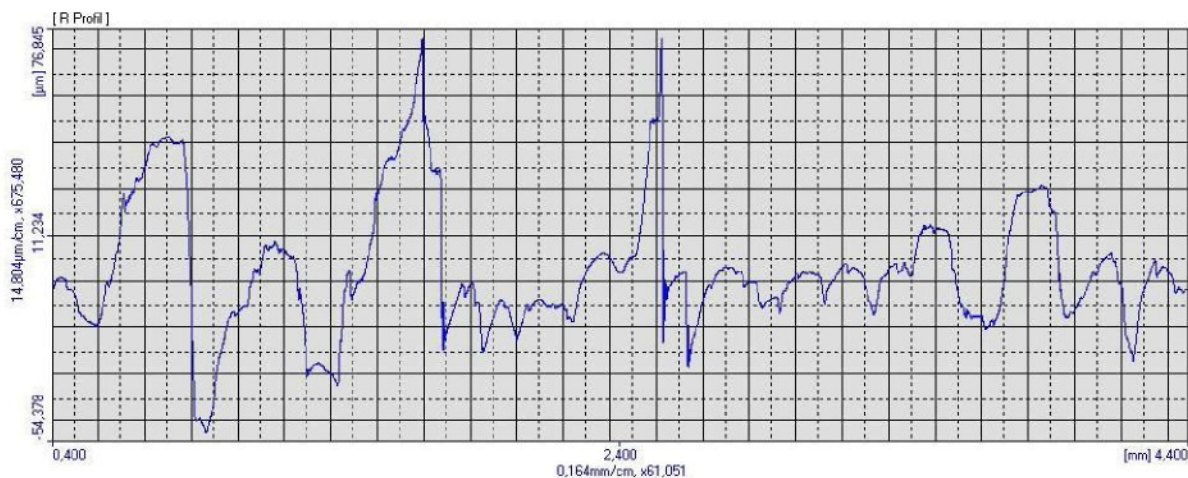
Obr. 5 Diagram drsnosti vzorku č.1 pro měření č.2b na mat. SABIC 108MF10



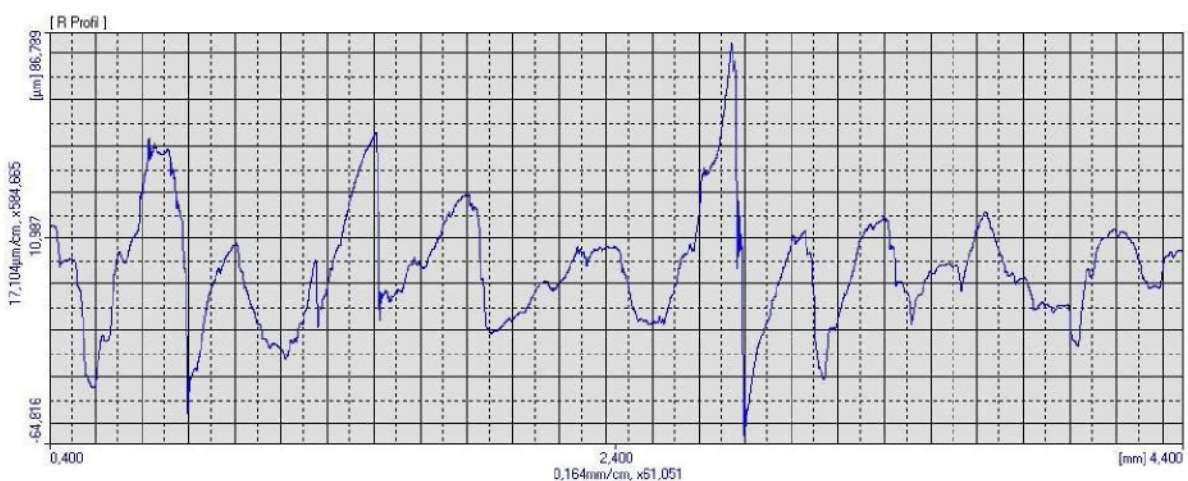
Obr. 6 Diagram drsnosti vzorku č.1 pro měření č.2c na mat. SABIC 108MF10



Obr. 7 Diagram drsnosti vzorku č.1 pro měření č.3a na mat. SABIC 108MF10



Obr. 8 Diagram drsnosti vzorku č.1 pro měření č.3b na mat. SABIC 108MF10



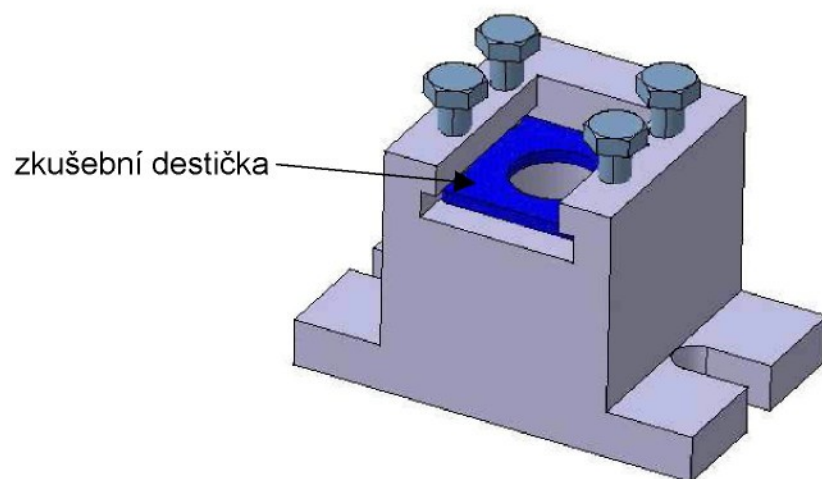
Obr. 9 Diagram drsnosti vzorku č.1 pro měření č.3c na mat. SABIC 108MF10

Příloha 4

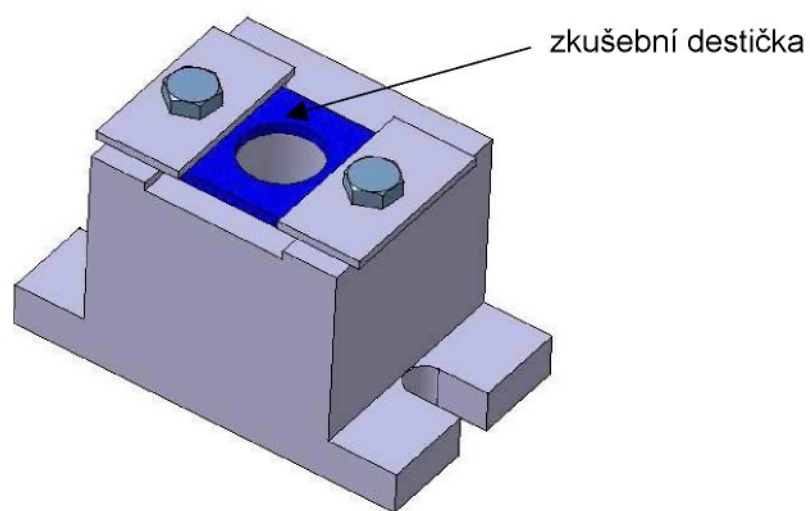
PŘÍLOHY K EXPERIMENTU Č.4

**OPTIMALIZOVANÉ OBRÁBĚNÍ MATERIÁLŮ SABIC 95610
A SABIC 95610 TRÍBŘITOU A ŠESTIBŘITOU FRÉZOU**

Rozsah: 12 stran



Obr. 1 Přípravek pro upínání vzorků, varianta 1.



Obr. 2 Přípravek pro upínání vzorků, varianta 2.

číslo vzorku	otáčky [ot/min]	Posuv [mm/ot]	kvalita otvoru				průměr otvoru				průměr nástroje 28mm
			inlet	inner surf.	exit	škráb.	ihned	po 35 hod	po 48 hod	po 7 dnech	
1	1000	0,005	3	1	3 TM	B	28,0	27,9	27,9	27,9	
2	1000	0,01	3	1	3 TM	B	28,0	27,9	27,9	27,9	
3	1000	0,05	2	1	1	M	28,0	27,9	27,9	27,9	
III/4/III	1000	0,2	1(2)	1	1	B	28,0	28,0	28,0(27,9)	28,0(27,9)	
5	1000	0,4	2	1	2	S	28,0	28,0	28,0	28,0	
6	1000	0,6	2	1	3	S	28,0	28,0	28,0	28,0	
7	1000	0,8	2(1)	1	3	S	28,0	28,0	28,0	28,0	
8	1000	1	2(1)	1	2	M	28,0	28,0	28,0	28,0	
9	1000	1,2	2(1)	2	3	M	28,0	28,0	28,0	28,0	
10	1000	1,5	2	2	3	M	28,0	28,0	28,0	28,0	
11	2000	0,002	3	1	3 TM	B	28,0	27,9	27,9	27,9	
12	2000	0,005	2(1)	1	3 TM	B	28,0	27,9	27,9	27,9	
13	2000	0,025	2	1	2	B	28,0	27,9	27,9	27,9	
14	2000	0,1	2	1	1	M	28,0	27,9	27,9	27,9	
15	2000	0,2	2	1	1	M	28,0	28,0	28,0	28,0	
16	2000	0,3	2(1)	1	2	S	28,0	28,0	28,0	28,0	
17	2000	0,4	2(1)	1	3	S	28,0	28,0	28,0	28,0	
18	2000	0,5	2(1)	1	3	V	28,0	28,0	28,0	28,0	
19	2000	0,6	2(1)	1	3	V	28,0	28,0	28,0	28,0	
20	2000	0,75	2	1	3	S	28,0	28,0	28,0	28,0	
21	2000	1,5	3	2	3	M	28,0	28,0	28,0	28,0	
22	3000	0,13	2	1	2	M	28,0	27,9	27,9	28,0	
23	3000	0,27	2	1	2	S	28,0	27,9	27,9	28,0	
24	3000	0,47	2	2	2	V	28,0	28,0	28,0	28,0	
25	3000	0,53	2	2	3	V	28,0	28,0	28,0	28,0	
26	3000	0,87	2	2(1)	3	S	28,0	28,0	28,0	28,0	
27	3000	0,93	3	2	3	S	28,0	28,0	28,0	28,0	
28	5000	0,002	3 TV	2	2	B	N	N	N	N	
29	5000	0,01	3 TV	2	2	M	28,0	27,9	27,9	27,9	
30	5000	0,02	2	2	1	B	28,0	27,9	27,9	27,9	
31	5000	0,05	2	2	1	S	28,0	27,9	27,9	27,9	
32	5000	0,2	2(1)	1	3	S	28,0	27,9	27,9(28,0)	27,9(28,0)	
33	5000	0,4	2(1)	1	3	M	28,0	28,0	28,0	28,0	
III/34/III	5000	0,6	1	1	3	B	28,0	28,0	28,0	28,0	
35	5000	0,8	1(2)	2	3	S	28,0	28,0	28,0	28,0	
36	5000	1	1(2)	2	3	M	28,0	28,0	28,0	28,0	
37	5000	1,2	2	2	3	S	28,0	27,9	28,0	28,0	
38	8000	0,006	3 TS	3	1	M	N	N	N	N	
III/39/III	8000	0,025	2(1)	2	1	B	28,0	27,9	27,9	27,9	
40	8000	0,075	2(1)	2	1	M	28,0	27,9	27,9	27,9	
41	8000	0,125	2(1)	2	2	M	28,0	27,9	27,9	27,9	
42	8000	0,375	2(1)	3	3	S	28,0	28	27,9(28,0)	27,9(28,0)	
43	8000	0,6	2	2	3	V	28,0	28,0	28,0	28,0	
44	8000	0,8	2	2	3	V	28,0	28,0	28,0	28,0	
45	8000	1	3	2	3	S	28,0	28,0	28,0	28,0	
46	8000	1,4	3	2	3	S	28,0	28,0	28,0	28,0	
47	10000	0,005	3 TV	3	1	B	N	N	N	N	
48	10000	0,02	3 TV	2	1	M	28,0	27,9	27,9	27,9	
49	10000	0,06	1	2	1	M	28,0	27,9	27,9	27,9	
50	10000	0,3	2	2	3	M	28,0	27,9	28,0(27,9)	28,0(27,9)	
51	10000	0,6	2	1	3	S	28,0	28,0	28,0	28,0	
52	10000	1	2	1	3	S	28,0	28,0	28,0	28,0	
53	10000	1,4	3	2	3	B	28,0	28,0	28,0	28,0	

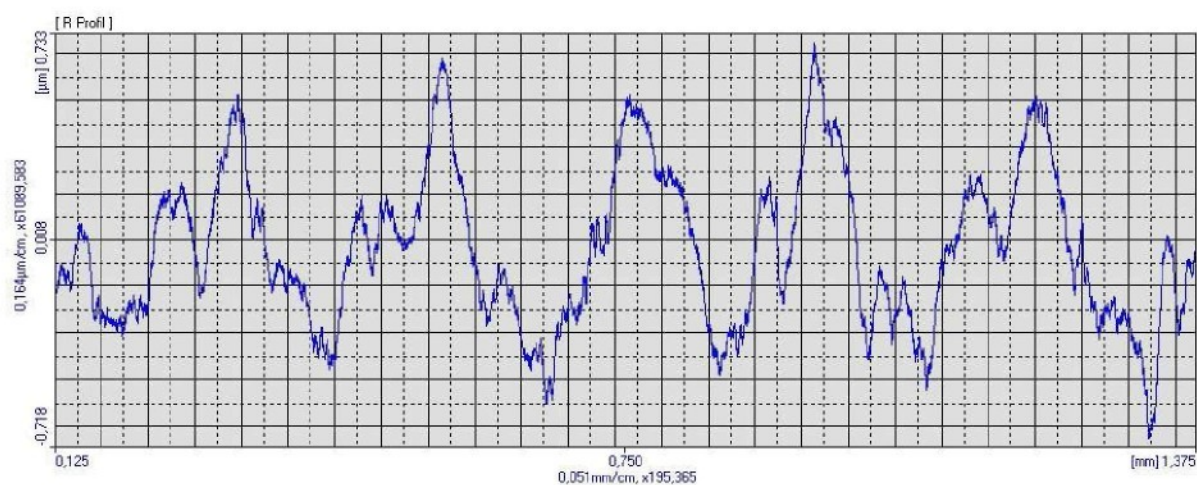
Tab. 1 Hodnoty otáček, posuvů, kvality a průměrů otvorů pro kombinaci 203

číslo vzorku	otáčky [ot/min]	posuv [mm/ot]	kvalita otvoru				průměr otvoru			
			inlet	inner surf.	exit	škráb.	ihned	po 35 hod	po 48 hod	po 7 dnech
1	500	0,05	3(2)	1	2	B	28,1	28,0	28,0	28,0
2	500	0,2	3(2)	1	2	B	28,1	28,0	28,0	28,0
3	500	0,4	3(2)	1	2	B	28,1	28,0	28,0	28,0
4	500	0,6	2(1)	1	2	M	28,1	28,0	28,0	28,0
5	500	1	1	1	2(1)	M	28,1	28,0	28,0	28,0
6	500	1,4	2	1	2(1)	M	28,1	28,0	28,0	28,0
7	1000	0,05	3	1	2(1)	B	28,1	28,0	28,0	28,0
///8///	1000	0,2	1	1	2(1)	B	28,1	28,0	28,0	28,0
9	1000	0,4	2(1)	1	2	M	28,1	28,0	28,0	28,0
10	1000	0,8	2(1)	1	2	M	28,1	28,0	28,0	28,0
11	1000	1	2	1	2	M	28,1	28,0	28,0	28,0
12	1000	1,4	3	1	2	M	28,1	28,0	28,0	28,0
13	1500	0,05	2	1	2	B	28,1	28,0	28,0	28,0
///14///	1500	0,1	1	1	2(1)	B	28,1	28,0	28,0	28,0
15	1500	0,2	1	1	2(1)	M	28,1	28,0	28,0	28,0
16	1500	0,3	1(2)	1	2(1)	M	28,1	28,0	28,0	28,0
///17///	1500	0,4	1(2)	1	1	B	28,1	28,1	28,0	28,0
///18///	1500	0,6	1(2)	1	1	B	28,1	28,0	28,0	28,0
19	1500	1	2(1)	1	1	M	28,1	28,0	28,0	28,0
20	2000	0,05	2	2(1)	2(1)	B	28,1	28,0	28,0	28,0
21	2000	0,2	2	1	2(1)	M	28,1	28,0	28,0	28,0
22	2000	0,4	2(1)	1	1	M	28,1	28,0	28,0	28,0
23	2000	0,6	2(1)	1	1	S	28,1	28,0	28,0	28,0
24	2000	1	2	1	2	V	28,1	28,0	28,0	28,0
25	2000	1,4	2	1	3	M	28,1	28,0	28,0	28,0
26	3000	0,05	2	2	2	B	28,1	28,0	28,0	28,0
27	3000	0,2	2(1)	2	2	M	28,1	28,0	28,0	28,0
28	3000	0,6	2	2	2	M	28,1	28,0	28,0	28,0
29	5000	0,05	3 TS	2	3	B	28,1	28,0	28,0	28,0
30	5000	0,2	2(3)	1	2(1)	S	28,1	28,0	28,0	28,0
31	5000	0,6	3	3	3	S	28,1	28,0	28,0	28,0
32	5000	1	3	3	3	S	28,1	28,0	28,0	28,0
33	5000	1,4	3	2	3(2)	M	28,1	28,0	28,0	28,0
34	8000	0,05	3 TS	2	2(1)	M	28,1	28,0	28,0	28,0
35	8000	0,2	3	3 TV	3 TS	V	28,1	28,0	28,0	28,0
36	8000	0,38	3	3 TV	3 TS	V	28,1	28,0	28,0	28,0
37	10000	0,01	3 TV	3 TS	2(1)	B	N	N	N	N
38	10000	0,05	3 TS	2	2(1)	B	28,1	28,0	28,0	28,0
39	10000	0,1	3	1	2	B	28,1	28,0	28,0	28,0
40	10000	0,2	3	3	3	V	28,1	28,0	28,0	28,0

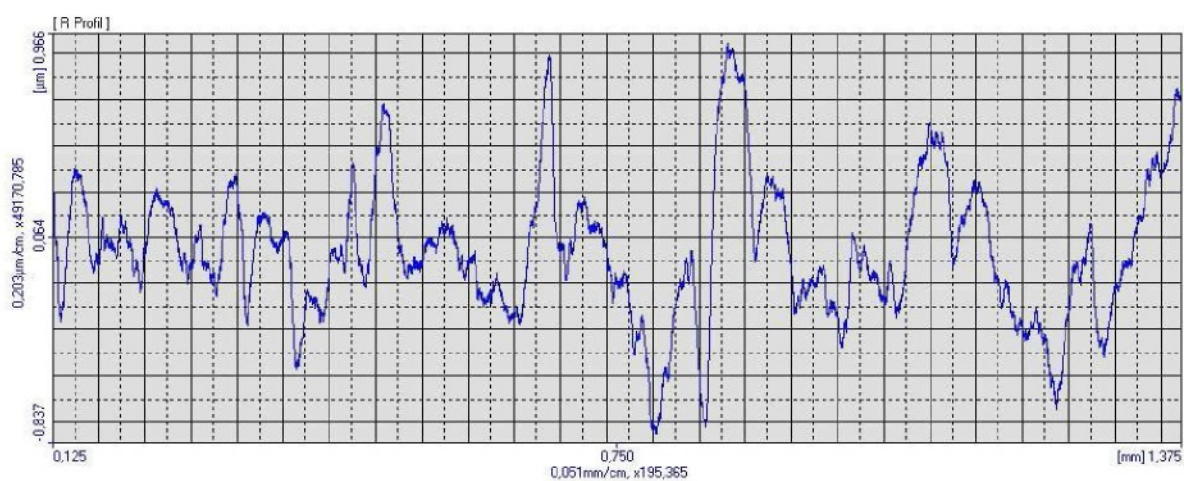
Tab. 2 Hodnoty otáček, posuvů, kvality a průměrů otvorů pro kombinaci 506

číslo vzorku	otáčky [ot/min]	Posuv [mm/ot]	kvalita otvoru				průměr otvoru průměr nás troje 28mm			
			inlet	inner surf.	exit	škráb.	ihned	po 35hod	po 48hod	po 7 dnech
///1///	500	0,05	2(1)	1	1	B	28,1	28,0	28,0	28,0
2	500	0,2	2(1)	1	1	M	28,1	28,0	28,0	28,0
3	500	0,4	2	1	1	M	28,1	28,0	28,0	28,0
4	500	0,6	2(3)	1	1	M	28,1	28,0	28,0	28,0
5	500	1	2(3)	1	3	M	28,1	28,0	28,0	28,0
6	500	1,4	2(3)	1	3	M	28,1	28,1	28,0	28,0
7	1000	0,05	2	1	1	B	28,1	28,0	28,0	28,0
8	1000	0,2	2	1	1	M	28,1	28,0	28,0	28,0
9	1000	0,4	2	1	1	M	28,1	28,0	28,0	28,0
///10///	1000	0,8	1(2)	1	1	M	28,1	28,0	28,0	28,0
11	1000	1	2	1	3	M	28,1	28,0	28,0	28,0
12	1000	1,4	2	1	3	M	28,1	28,0	28,0	28,0
13	1500	0,05	2(3)	1	2	B	28,1	28,0	28,0	28,0
14	1500	0,1	2	1	1	M	28,1	28,0	28,0	28,0
///15///	1500	0,2	1	1	1	M	28,1	28,0	28,0	28,0
16	1500	0,4	2(1)	1	1	M	28,1	28,0	28,0	28,0
17	1500	0,6	2	2	2	M	28,1	28,0	28,0	28,0
18	5000	0,02	3 TS	2	1	M	28,1	28,0	28,0	28,0
19	5000	0,05	2(1)	2	1	S	28,1	28,0	28,0	28,0
20	5000	0,6	3 TS	3	3	S	28,1	28,0	28,0	28,0

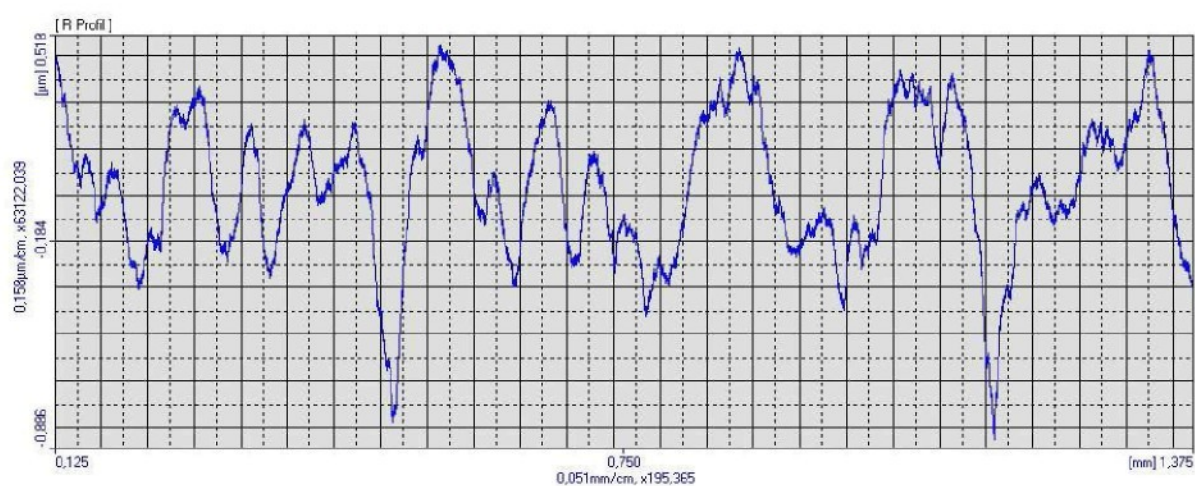
Tab. 3 Hodnoty otáček, posuvů, kvality a průměrů otvorů pro kombinaci 206



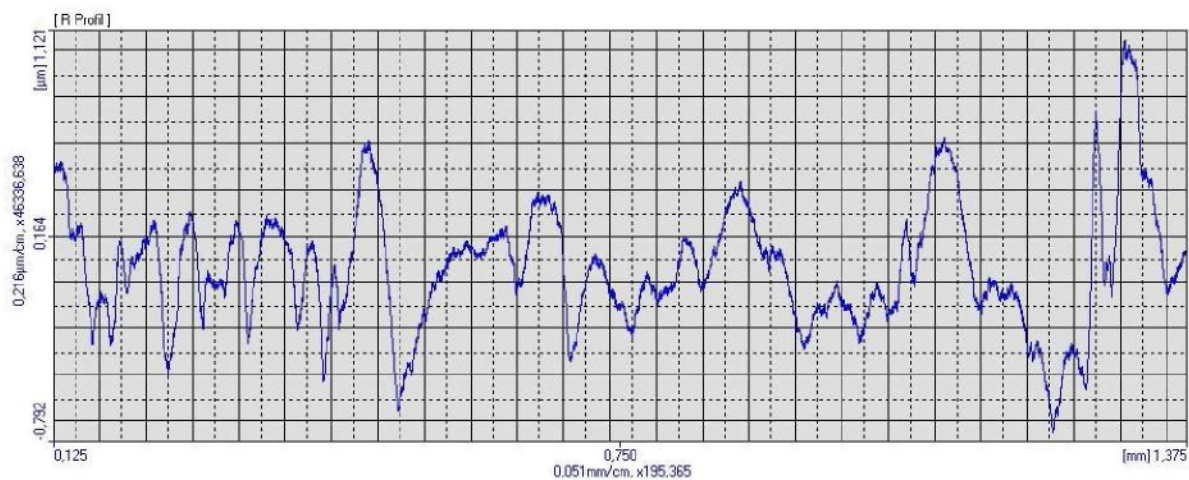
Obr. 3 Diagram drsnosti povrchu otvoru pro měření č. 1 na mat. SABIC 108MF10



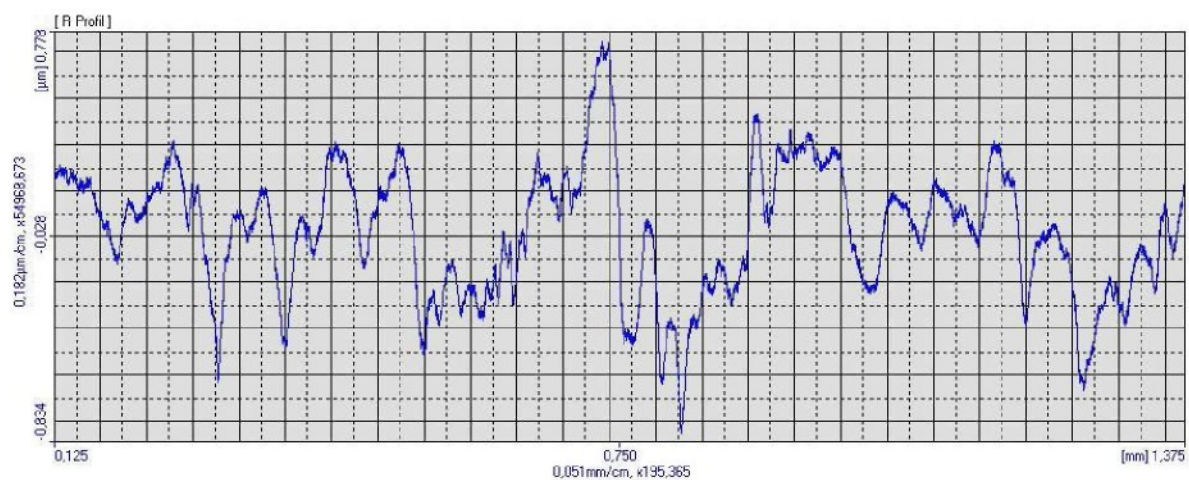
Obr. 4 Diagram drsnosti povrchu otvoru pro měření č. 2 na mat. SABIC 108MF10



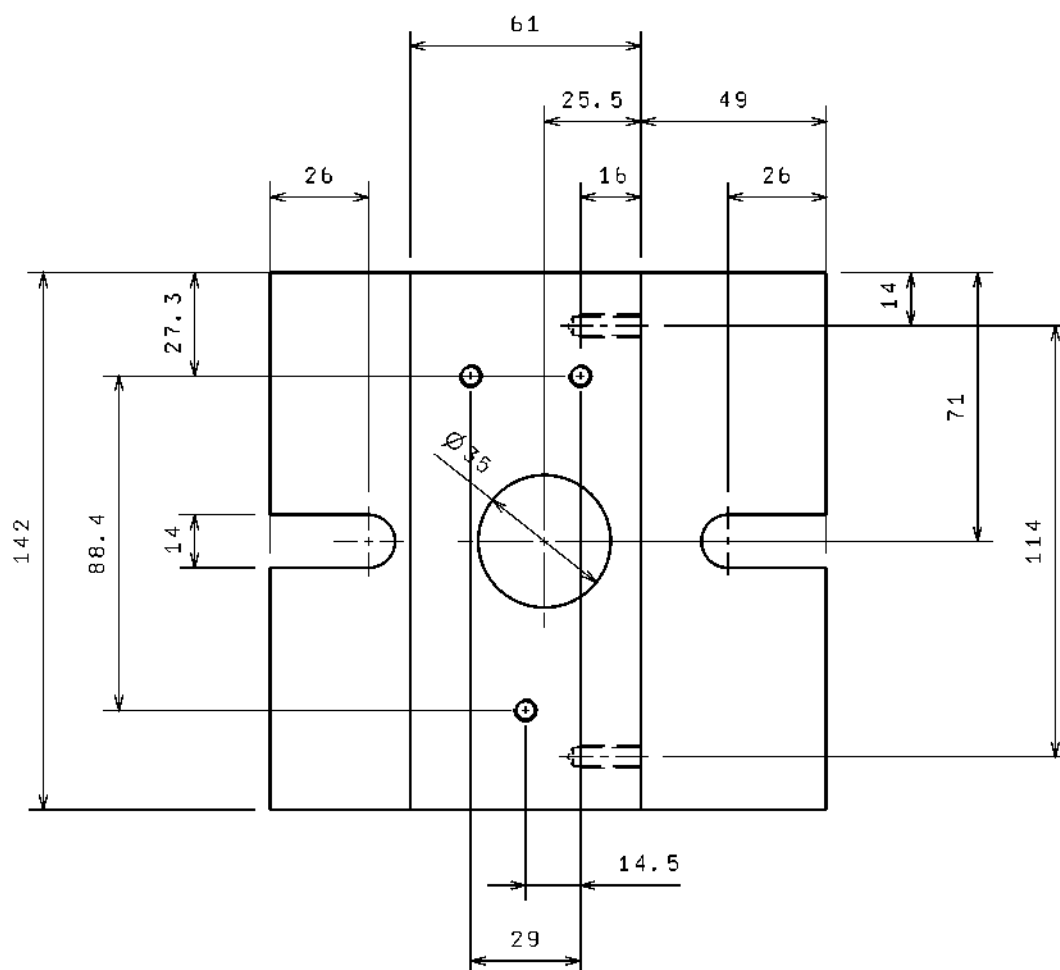
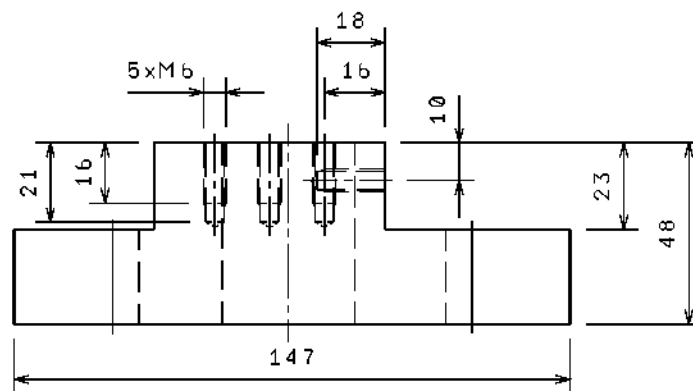
Obr. 5 Diagram drsnosti povrchu otvoru pro měření č. 3 na mat. SABIC 108MF10



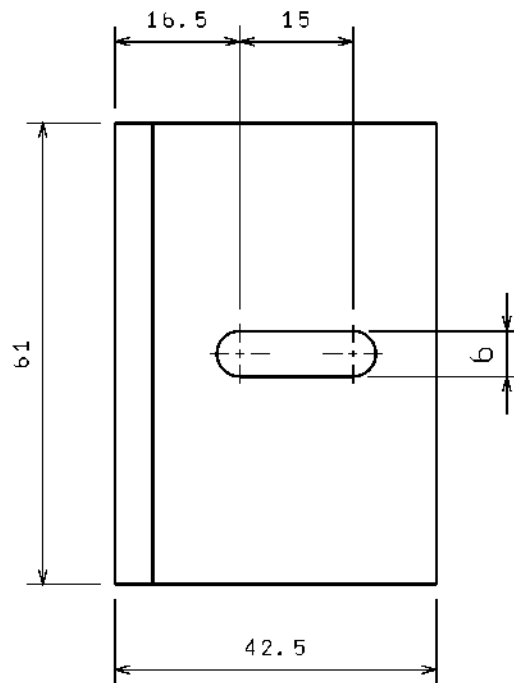
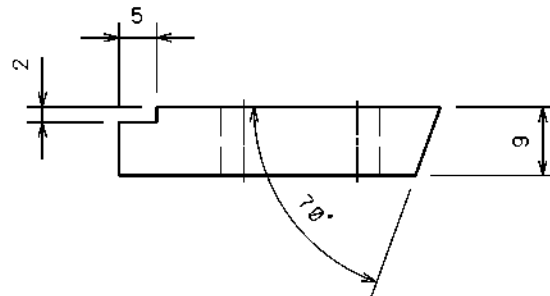
Obr. 6 Diagram drsnosti povrchu otvoru pro měření č. 4 na mat. SABIC 108MF10



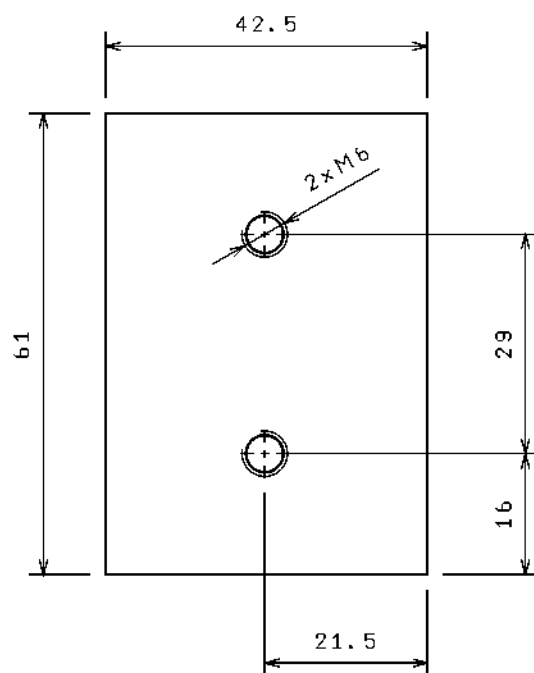
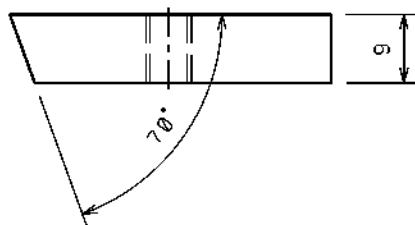
Obr. 7 Diagram drsnosti povrchu otvoru pro měření č. 5 na mat. SABIC 108MF10



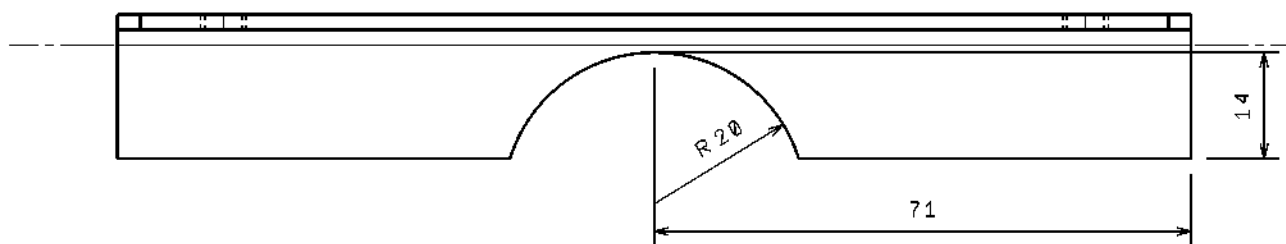
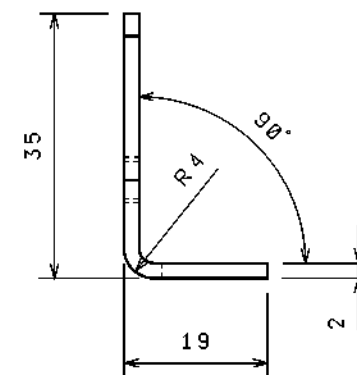
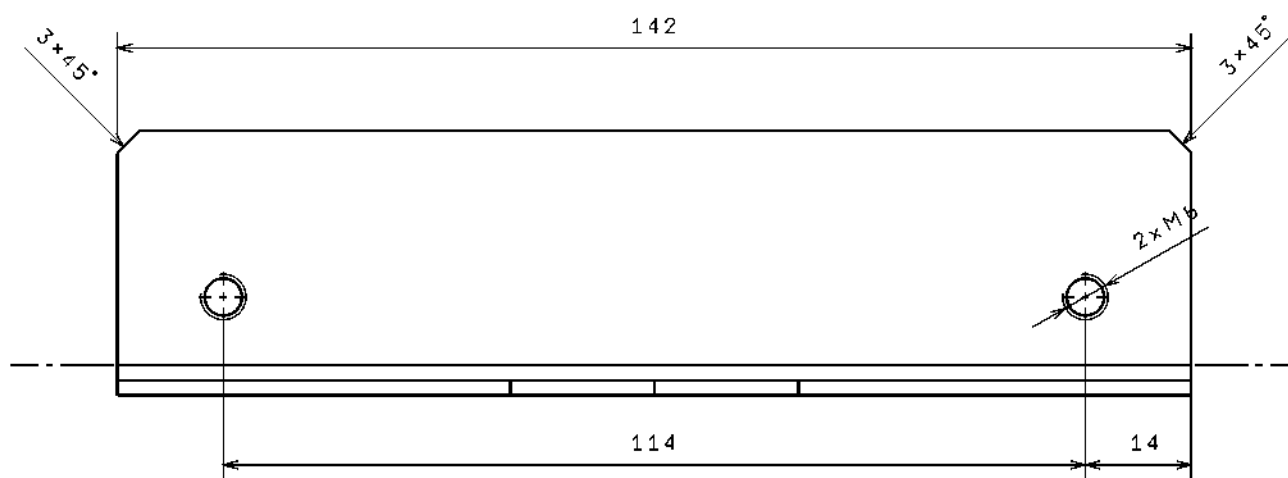
vypracoval: Cón Jan	měřítka: 1:2
datum: 25.4.2005	materiál:
název výkresu:	číslo výkresu:
ZÁKLAD	UP-01-05



vypracoval: Cón Jan	měřítko: 1:1
datum: 25.4.2005	materiál:
název výkresu:	číslo výkresu:
UPÍNKA1	UP-02-05



vypracoval: Cón Jan	měřítko: 1:1
datum: 25.4.2005	materiál:
název výkresu:	číslo výkresu:
UPÍNKA2	UP-03-05

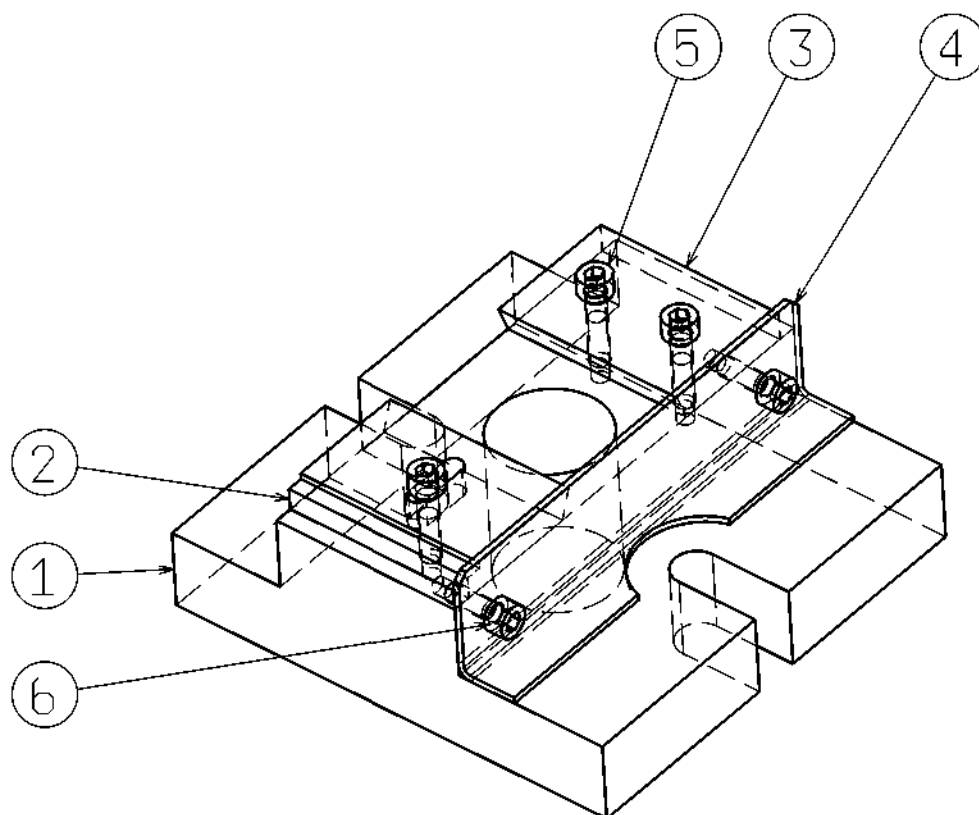


vypracoval: Cón Jan
datum: 25.4.2005
název výkresu:

měřítko: 1:1
materiál:
číslo výkresu:

PLECH

UP-04-05



poz.	název-rozměr	výkres-norma	materiál	množ.	hmot.
1	základ-142x147x48	UP-01-05		1	
2	upínka1-61x42,5x9	UP-02-05		1	
3	upínka2-61x42,5x9	UP-03-05		1	
4	plech-142x35x19	UP-04-05		1	
5	šroub M6x25	ISO 4762		3	
6	šroub M6x16	ISO 4762		2	

vypracoval: Cón Jan
datum: 25.4.2005
název výkresu:

měřítko: 1:2
materiál:
číslo výkresu:

SESTAVA UP

UP-05SES-05