



Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobitelnost materiálu a jakost povrchu obrobků při technologii frézování

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství

Autor práce: **Vojtěch Novák**

Vedoucí práce: doc. Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D.





The influence of repeated heat treatment on the machinability of the material and the surface quality of the workpieces during milling technology

Bachelor thesis

Study programme: B2301 – Mechanical Engineering

Study branch: 2301R000 – Mechanical Engineering

Author: **Vojtěch Novák**

Supervisor: doc. Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D.



Zadání

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobitelnost materiálu a jakost povrchu obrobků při technologii frézování

ANOTACE:

Předložená bakalářská práce zpracovaná na téma „Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobitelnost materiálu a jakost povrchu obrobků při technologii frézování“ přispívá poznatky o obrobitelnosti tepelně zpracovaného materiálu P265GH.

V teoretické části je rozebírána technologie frézování, problematika řezných sil, problematika úhlů u VBD a úhlů na nástroji, tepelné zpracování oceli, vznik teplot na nástroji, opotřebení VBD, drsnosti povrchů po obrábění ad.

Experimentální část začíná popsáním použitých strojů a zařízení pro jednotlivé experimenty, dále je zde popisována metodika experimentů a uvedení naměřených a zpracovaných výsledků.

Klíčová slova: FRÉZOVÁNÍ, ŘEZNÉ PODMÍNKY, ŘEZNÉ SÍLY, DRSNOST POVRCHU, OCEL P265GH

The influence of repeated heat treatment on the machinability of the material and the surface quality of the workpieces during milling technology

ANNOTATION:

The presented bachelor thesis with the topic of „The influence of repeated heat treatment on the machinability of the material and the surface quality of the workpieces





during milling technology“ contributes knowledge concerning machinability of heat treated material P265GH.

The theoretical section describes milling technology, problematics of power issues, problematics of the replaceable cutting insert (RCI) angles, heat treatment of steel, temperature rise of the tool, wearing out of the RCI, the surface roughness after machining and so on.

The experimental section begins with description of used machines for individual experiments, then it contains the methodology of experiments and reporting of measured and processed results.

Key words: MILLING TECHNOLOGY, CUTTING CONDITIONS, CUTTING POWERS, SURFACE ROUGHNESS, STEEL P265GH

Zpracovatel:	Technická univerzita v Liberci, Katedra obrábění a montáže
Dokončeno:	2017
Archivní označení zprávy:	1292
Počet stran:	80
Počet příloh:	5
Počet obrázků:	48
Počet tabulek:	21
Počet grafů:	16





Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou 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 bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou 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.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 1. 7. 2017

Podpis:





Katedra obrábění a montáže

Evidenční číslo práce: **KOM 1292**

Jméno a příjmení: **Vojtěch Novák**

Vedoucí práce: **Prof. Ing. et Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D.**

Konzultant: **Ing. Miloslav Ledvina**

Počet stran: 80
Počet příloh: 5
Počet tabulek: 21
Počet obrázků: 48
Počet grafů: 16





Poděkování

Zde bych rád poděkoval paní Prof. Ing. et Ing. Štěpánce Dvořáčkové, Ph.D. za velikou pomoc při psaní mé bakalářské práce a ochotu na veškerých konzultacích přinášejících důležité informace.

V druhé řadě děkuji mému konzultantovi Ing. Miloslavovi Ledvinovi za ochotu pomoci při měření experimentů a za pozitivní přístup k vykonávání potřebné práce.

Dále velmi děkuji mé matce Marii Novákové a mému otci Martinu Novákovi za veškerou psychickou i finanční podporu při studiiích, za rodinné zázemí a hlavně vůbec za možnost studovat vysokou školu.

Děkuji také mé sestře Ing. Barboře Novákové za vzor ve studování vysoké školy a za významnou podporu při stěžejních situacích v průběhu studií.

Děkuji mé partnerce Kristýně Harisové za veškerou láskyplnou podporu při studiiích, za trpělivost a za pomoc při vykonávání mé bakalářské práce.

V neposlední řadě děkuji všem, kteří mi jakýmkoli způsobem pomohli úspěšně zvládat problematiku vysoké školy a podporovali mě při studiiích bakalářského oboru fakulty strojní Technické univerzity v Liberci.

Vojtěch Novák



Obsah

Seznam použitých zkratk

1 Úvod

2 Teoretická část

2.1 Shrnutí poznatků o technologii frézování

2.1.1 Charakteristika frézování

2.1.1.1 Frézování čelní a válcové

2.1.1.2 Frézování sousledné a nesousledné

2.1.2 Řezný odpor a síly při čelním frézování

2.1.2.1 Způsoby určení řezných sil

2.1.2.1.1 Výpočtový způsob

2.1.2.1.2 Měřicí způsob

2.1.2.1.3 Dynamometry a jejich rozdělení

2.1.2.2 Řezné podmínky

2.1.2.2.1 Řezná síla

2.1.2.2.2 Hloubka řezu

2.1.2.2.3 Velikost posuvu

2.1.2.2.4 Materiál nástroje

2.1.2.2.5 Opatřebení břitu nástroje

2.1.3 Geometrie břitu frézy

2.1.3.1 Základní úhly zubu nástroje

2.1.4 Vznik třísky a její druhy

2.1.5 Teplo a teplota vzniklá při obrábění

2.2 Poznátky o tepelném zpracování hutních materiálů

2.2.1 Shrnutí poznatků o tepelném zpracování oceli žiháním

2.2.1.1 Normalizační žihání

2.3 Poznátky o obrobiteľnosti a jakosti povrchů

2.3.1 Definice obrobiteľnosti

2.3.2 Poznátky o drsnostech povrchů a jeho hodnocení

2.3.3 Nejčastější zjišťované parametry drsnosti

3 Experimentální část

3.1 Zkušební vzorky

3.1.1 Zkušební vzorky typu A

3.1.2 Zkušební vzorky typu B

- 3.1.3 Charakteristika oceli P265GH
- 3.2 Popis strojů a měřících zařízení
 - 3.2.1 Obráběcí stroj – NC frézka
 - 3.2.2 Nástroj – fréza
 - 3.3.2.1 Vyměnitelné břitové destičky
 - 3.2.3 Dynamometr Kistler
 - 3.2.3.1 Siloměr Force gauge
 - 3.2.4 Termočlánek typu K a jeho příslušenství
 - 3.2.5 Pásová pila
 - 3.2.6 Laboratorní profiloměr Mitutoyo
 - 3.2.7 Dílenský mikroskop Zeiss
 - 3.2.8 Ostatní nástroje a pomůcky
- 3.3 Řezné podmínky při experimentech
- 3.4 Metodika experimentů
 - 3.4.1 Metodika experimentu pro zjištění řezných sil
 - 3.4.1.1 Příprava zkušebních vzorků typu A
 - 3.4.1.2 Proces frézování
 - 3.4.1.3 Opatření vyměnitelných břitových destiček
 - 3.4.1.4 Zkoumání drsnosti obrobené plochy
 - 3.4.1.5 Porovnávání vzniklých třísek
 - 3.4.2 Metodika experimentu pro zjištění velikosti tepla
 - 3.4.2.1 Příprava zkušebních vzorků typu B
- 3.5 Vyhodnocení výsledků
 - 3.5.1 Zjištění řezných sil ve směru osy Y a Z
 - 3.5.2 Porovnání a vyhodnocení drsnosti povrchu
 - 3.5.3 Vyhodnocení velikosti opotřebení VBD
 - 3.5.4 Porovnání vzniklých třísek
 - 3.5.5 Výsledky velikosti naměřené teploty

4 Diskuze výsledků

5 Závěr

Použitá literatura

Přílohy

Seznam použitých zkratek

Označení	Jednotka	Popis
v	[m/s]	řezná rychlost
n	[ot/min]	otáčky nástroje
s	[mm]	posuv
s_s	[mm/s]	posuv za jednu sekundu
s_{ot}	[mm/ot]	posuv za jednu otáčku frézy
z	[-]	počet zubů frézy
h, a	[mm]	hloubka záběru frézy
a_1	[mm]	výška odřezávané vrstvy
f_z	[mm]	přísuv
v_x	[m/min]	řezná rychlost v ose x
v_y	[m/min]	řezná rychlost v ose y
v_z	[m/min]	řezná rychlost v ose z
F	[N]	celková složka řezné síly
F_x	[N]	složka řezné síly v ose x
F_y	[N]	složka řezné síly v ose y
F_z	[N]	složka řezné síly v ose z
φ	[°]	úhel pootočení zubu nástroje
p	[MPa]	měrný řezný odpor [MPa]
S_φ	[mm^2]	okamžitý průřez třísky odebíraný jedním zubem
b	[mm]	šířka třísky
HB	[HB]	drsnost podle Brinella
κ	[°]	úhlem nastavení hlavního ostří
λ_s	[°]	úhel sklonu ostří
γ	[°]	úhel čela
γ_o	[°]	ortogonální úhel čela
γ_P	[°]	axiální úhel čela
γ_f	[°]	radiální úhel čela
α	[°]	úhel hřbetu
β	[°]	úhel břítu
γ	[°]	úhel čela

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobitelnost materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

δ	[°]	úhel řezu
$Q_{\text{tř}}$	[J]	teplo vzniklé třením
Q_{def}	[J]	teplo vzniklé z práce plastických a pružných deformací
Q_{N}	[J]	teplo setrvané v nástroji
Q_{T}	[J]	teplo odvedené třískou
Q_{o}	[J]	teplo setrvané v obrobku
Q_{P}	[J]	teplo vysálané do okolí
$A_{\text{C1}}; A_{\text{C3}}$	[-]	křivky v metastabilním diagramu Fe-Fe ₃ C
Ra	[μm]	parametr drsnosti povrchu
Rz	[μm]	parametr drsnosti povrchu
Rt	[μm]	parametr drsnosti povrchu

1 Úvod

Frézování patří k nejčastějším obráběcím operacím v dnešním průmyslu. Touto metodou se obrábí rovinné, tvarové, pravoúhlé plochy ad. Pro kvalitní a efektivní výrobu je pro každý druh operace zapotřebí zvolit správné řezné podmínky. Ty vycházejí z vlastnosti nástroje, stroje a především z vlastnosti obráběného materiálu. Vlastnosti obráběného materiálu se odvíjí hlavně z jeho struktury a tepelných úprav, kterými daný materiál prošel při výrobě.

Předkládaná bakalářská práce má za cíl porovnání řezných podmínek u obrábění tepelně zpracované oceli P265GH a zjistit tak vliv jejího tepelného zpracování na obrábělnost materiálu a jakost obrobků.

Pro dosažení cíle bylo zvoleno pět druhů řezných podmínek, které se následně aplikovaly na osm různě tepelně zpracovaných vzorků z oceli P265GH. Dále se zvolila kritéria, na kterých se vlastnosti řezných podmínek pozorovaly. Mezi tyto kritéria patří např. vzniklé řezné síly při obrábění, vyprodukované teplo, vzniklé třísky, opotřebením břitů nástroje a drsnost obrobků.

Bakalářská práce je členěna do třech základních částí, a to do části teoretické, experimentální a závěrečné.

V teoretické části je popsána technologie frézování, otevřena problematika vzniku řezných sil, odůvodnění vzniku tepla při frézování, opotřebením břitů nástroje ad.

Experimentální část je věnována popisu strojů, nástrojů a zařízení použitých při vykonávání dílčích experimentů. Dále je zde popsána jednotlivá metodika experimentů a v závěru této části jsou uvedeny výsledky z jednotlivých měření.

V závěrečné části jsou pak naměřené hodnoty vyhodnoceny a jejich porovnáním mezi jednotlivými řeznými podmínkami jsou vyvozeny závěry.

2 Teoretická část

V teoretické části jsou shrnuty základní informace o technologii frézování a příslušná problematika ohledně této technologie. Dále je zde rozebráno tepelné zpracování hutních materiálů a ke konci kapitoly zde jsou uvedeny poznatky o drsnostech povrchů a jeho hodnocení.

2.1 Shrnutí poznatků o technologii frézování

2.1.1 Charakteristika frézování

Frézování je způsob obrábění zpravidla rovinných nebo tvarových povrchů rotujícím nástrojem, který má jeden nebo více břitů. Těleso nástroje je nejčastěji válcové, s břity umístěnými na obvodu a na čele. Rozeznáváme dva základní způsoby frézování, a to frézování válcové a frézování čelní.

Při frézováním válcovém je materiál odebírán obvodem válcové, popřípadě tvarové frézy. Osa frézy je rovnoběžná s obráběnou plochou. Při práci válcová fréza řeže zuby umístěnými na obvodě svého tělesa.

Při čelním frézování je osa nástroje kolmá k obráběné ploše. Při práci čelní fréza odebírá materiál zároveň na čele i obvodě frézy [8].



Obr. 1 – Proces čelního frézování [12]

2.1.1.1 Řezný pohyb při frézování

Řezný pohyb je složen ze dvou pohybů, a to z hlavního rotačního řezného pohybu, který vykonává fréza, a z pohybu posuvného, který je kolmý na osu otáčení nástroje a vykonává ho obrobek. Výsledná dráha obou těchto pohybů, tj. dráha

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

relativního pohybu břítu jednoho zubu frézy vzhledem k obrobku, je cykloida. Skutečná řezná rychlost, kterou je rychlost ostří břítu frézy po relativní dráze břítu oproti obrobku, se velmi málo liší od obvodové rychlosti frézy. Proto považujeme obvodovou rychlost frézy za řeznou rychlost a vypočteme ji ze vztahu:

$$v = \frac{D \cdot n}{1000} \text{ [m/s]}, \quad (2.1)$$

kde D je průměr frézy v [mm]; n jsou otáčky frézy [1/s].

Posuv se při frézování určuje buď:

- a) délkou, o kterou se posune obráběný materiál za sekundu - to je posuv za sekundu se značkou s_s a jednotkami [mm/s],
- b) délkou posuvu obráběného materiálu na jednu otáčku frézy se značkou s_{ot} a jednotkami [mm/ot],
- c) délkou, o kterou se posune obráběný materiál během záběru jednoho zubu - to je posuv na zub se značkou s_z s jednotkami [mm/zub] [8].

Hodnoty posuvu za sekundu a za jednu otáčku frézy se odvozují z hodnoty posuvu na zub, přičemž platí, že:

$$s_{ot} = s_z \cdot z, \quad (2.2)$$

kde z je počet zubů frézy

$$s_s = s_z \cdot z \cdot n. \quad (2.3)$$

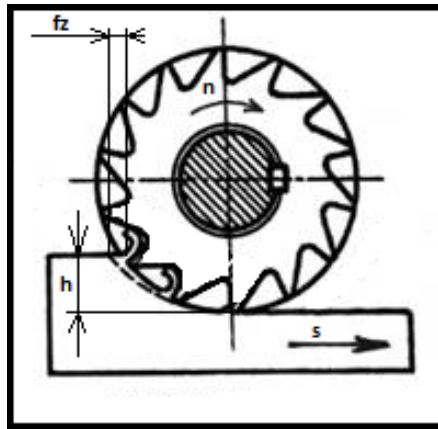
2.1.1.2 Frézování sousledné a nesousledné

Technologii obrábění dělíme na frézování sousledné, kde se fréza otáčí ve směru posuvu obrobku, a frézování nesousledné, při kterém se fréza otáčí proti směru posuvu obrobku. V praxi se především používá frézování nesousledné, kde se zejména u starých strojů zamezí nežádoucím účinkům vůle mechanismů stroje na obráběcí proces. Tyto dva způsoby obrábění mají vliv na odlišné tvoření třísky a na různý průběh řezných sil.

Při frézování nesousledném, kterému lze také říkat frézování zdola, zub začíná odebírat z obrobku nejdříve třísku minimální. V okamžiku odchodu zubu z materiálu má tříska maximální velikost. Je to patrné na obr. 2. Při malém posuvu se zub před záběrem pouze po obrobku klouže a deformuje povrchovou vrstvu. Vzniká tření a nežádoucí teplo, které má za důsledek odírání hřbetní plochy zubu, čímž se

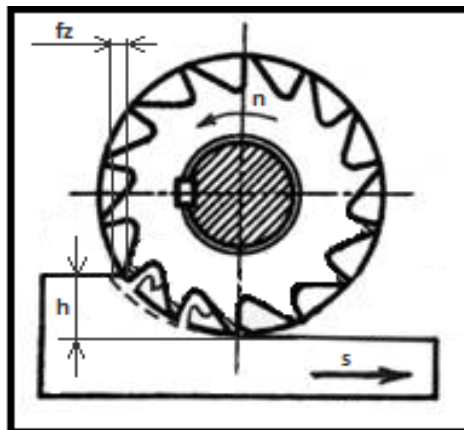
Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

zkracuje trvanlivost nástroje. K záběru zubu dojde až tehdy, kdy je velikost odebírané vrstvy větší než poloměr zaoblění zubu frézy nebo vyměnitelné břitové destičky. Aby se tomuto jevu předcházelo, musí být minimální posuv frézy 0,1 mm [1].



Obr. 2 – Schema nesousledného frézování [11]

Při sousledném frézování je tříška maximální při vstupu zubu do materiálu a lineárně se zmenšuje k minimu. Je to zřejmé z obr. 3. Tím je i tření na hřbetu zubu minimální. Problém ale nastává u řezných sil, které působí kladně ve směru otáčení. Tím tlačí obrobek ke stolu frézky o pohybovou vůli mezi pohybovým šroubem a maticí. Když ale zub vyjede ze záběru, stůl je posunut napřed o pohybovou vůli a zůstane stát. Obrobek se začne znovu unášet, až se vymezí vůle mezi pohybovým šroubem a maticí. Tento cyklus se při obrábění neustále opakuje a má za následek prudkého trhání stolu. Navíc se tímto nekontrolovatelně zvětšuje tloušťka třísky. Dále je zub vzniklými rázy nadměrně opotřebováván a fréza může být poškozena roztržením nebo poničením jejího trnu. Proto se tento způsob v praxi používá pouze u frézek s vymezenou vůlí posuvového mechanismu [1].



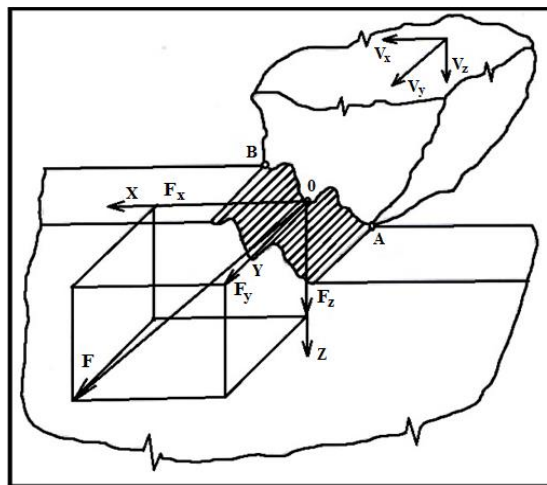
Obr. 3 – Schema sousledného frézování [11]

2.1.2 Řezný odpor a síly při čelním frézování

Řezný odpor definuje odpor, který vzniká při vstupu nástroje do materiálu obrobku. Velikost odporu je tedy závislá na struktuře a tvrdosti materiálu obrobku. Dále je velikost vystihována řeznými silami, které mají působiště na břitech nástroje. Na každém zubu působí jednotlivé síly, které při součtu dají výslednou řeznou sílu. Pro usnadnění výpočtů se výsledná řezná síla umísťuje do prostorového ortogonálního systému x, y, z a má obecný směr, viz obr. 4.

Zvolil se následující systém orientace os:

- počátek ortogonálního souřadnicového systému O je umístěn do poloviny vzdálenosti AB mezi špičkou a nejvzdálenějším místem styku ostří s obráběnou plochou,
- osa x se umísťuje horizontálně a rovnoběžně s vektorem posuvové rychlosti,
- osa y je kolmá na osu x ,
- osa z je kolmá k rovině os x a y a určuje velikost hloubky záběru nástroje [2].



Obr. 4 - Ortogonální systém a znázornění řezných sil [2]

Při frézování válcovou frézou s přímými zuby rozdělujeme výslednou sílu F připadající na jeden zub v záběru s obrobkem do těchto složek:

- složka F_x je hlavní složka řezné síly působící ve směru vektoru hlavního řezného pohybu, určuje velikost krouticího momentu a výkonu potřebného k frézování,
- složka F_y je radiální složka, která zatěžuje ložiska vřetena a obrobku,
- složka F_z je axiální složka, která zatěžuje vřeteno axiální silou a obrobek namáhá ohybem, při špatném uchycení obrobku může způsobovat vibrace.

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

Velikost hlavní složky řezné síly F působící na jeden zub, jehož poloha vzhledem k svislé ose frézy je určena úhlem φ , je určena vzorcem:

$$F_x = p \cdot S_\varphi \text{ [N]}, \quad (2.4)$$

kde p je měrný řezný odpor [MPa]; S_φ je okamžitý průřez třísky odebíraný jedním zubem [mm^2]. S_φ se dále nechá vyjádřit jako:

$$S_\varphi = b \cdot s_z \cdot \sin \varphi \text{ [mm}^2\text{]}, \quad (2.5)$$

kde b je šířka třísky [mm]; s_z je posuv na zub [mm/zub].

Po dosazení vzorce (2.5) do vzorce (2.4) dostaneme vztah (2.6):

$$F_x = p \cdot b \cdot s_z \cdot \sin \varphi \text{ [N]}. \quad (2.6)$$

Dále je možno určit radiální složku řezné síly F_y z její poměrné hodnoty:

$$\frac{F_y}{F_x} = (0,6 - 0,8). \quad (2.7)$$

Při frézování čelními válcovými frézami se hlavní složka řezné síly určí obdobně:

$$F_x = p \cdot S_\varphi \text{ [N]}, \quad (2.8)$$

kde p je měrný řezný odpor [MPa]; S_φ je okamžitý průřez třísky odebíraný jedním zubem [mm^2].

Průřez třísky se vypočítá ze vztahu:

$$S_\varphi = h \cdot s_z \cdot \sin \varphi \text{ [mm}^2\text{]}, \quad (2.9)$$

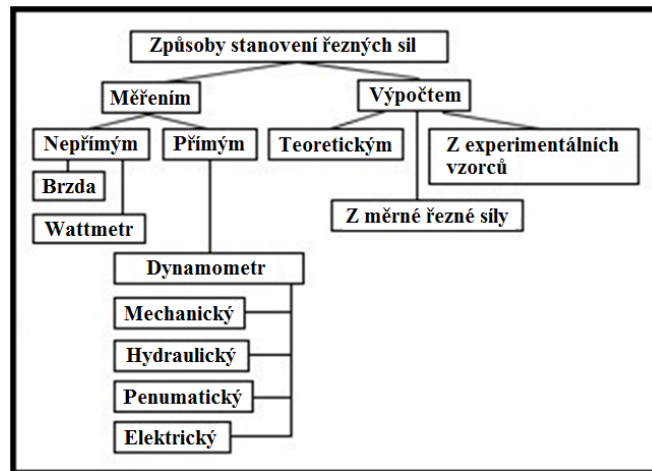
kde h je hloubka záběru [mm]; s_z je posuv na zub [mm/zub].

Konečný vztah pro výpočet řezné síly má pak tvar:

$$F_x = p \cdot h \cdot s_z \cdot \sin \varphi \text{ [N] [1]}. \quad (2.10)$$

2.1.2.1 Způsoby určení řezných sil

K názornému rozdělení způsobů určení sil je k dispozici schéma. Ze schématu je patrné, že se primárně síly určují dvojím způsobem, a to výpočtem nebo měřením viz obr. 5.



Obr. 5 – Schéma způsobů stanovení řezných sil [2]

2.1.2.1.1 Výpočtový způsob

Výpočtový způsob se používá před samotným procesem obrábění pro předběžné zjištění řezných sil. Je pak patrná vhodná volba stroje, nástroje nebo i potřebný čas pro obrábění. Nejznámější dosud používané metody lze rozdělit do tří skupin:

- stanovení řezné síly na základě teoretických výpočtů,
- výpočet řezné síly pomocí měrné řezné síly,
- výpočet metodou experimentálních rovnic [2].

Tyto uvedené metody byly postupně vylepšovány na základě zlepšování měřicí techniky a v poslední době díky používání elektroniky a počítačů.

2.1.2.1.2 Měřicí způsob

Tímto způsobem se složky řezné síly určují přesněji. Lze se i zabývat dynamikou procesu obrábění. Z naměřených hodnot lze zjistit měrnou řeznou sílu nebo řezné podmínky, které lze výpočtovým způsobem jen teoreticky vypočítat. Na obrázku 5 je ze schématu patrné, že měřicí způsob se dále dělí na:

- nepřímé měření sil, ze kterého řeznou sílu vypočítáme z naměřeného krouticího momentu na vřetení stroje nebo z příkonu stroje,
- přímé měření pomocí dynamometru [2].

2.1.2.1.3 Dynamometry a jejich rozdělení

Dynamometr je přístroj na měření řezných sil. Používá se pro zjištění jedné, dvou nebo všech třech složek řezné síly. Dále se také využívá ke zjištění krouticího momentu nejen u frézování. Dynamometry se rozdělují na dva základní typy, a to s pružným členem nebo bez pružného členu.

Dynamometry bez pružného členu jsou přesnější, protože nepřítomností pružného členu nedochází k nepřesnostem u naměřených hodnot. Mezi tyto přístroje patří například hydraulické, uhlíkové nebo piezoelektrické dynamometry. Na nejjednodušším principu pracuje například hydraulický dynamometr, který využívá manometru. Síla je vyhodnocena z tlaku, který působí na danou, určitou plochu. Výhodou je nezávislost hydraulických snímačů na elektrickém proudu a jejich jednoduchá konstrukce. Nevýhodou naopak je nutnost dobrého utěsnění hydraulické soustavy a jejich náchylnost na změnu teploty kapaliny.

Dynamometry s pružným členem pracují na principu deformace elastického členu. Napětí na deformovaném členu je pak měřeno a převáděno na výslednou hodnotu síly. Elastický prvek je vyroben většinou z nástrojové nebo nerezové oceli, beryliové mědi nebo hliníku. Do této skupiny patří například mechanické, pneumatické, kapacitní, indukční nebo tenzometrické dynamometry.

Mezi nejjednodušší měřiče patří mechanické dynamometry. Měřená síla působí na podélnou osu kovového válečku a pak hodnoty vzniklé délkovou deformací válečku jsou měřítkem působící síly. Hodnoty bývají odečítané většinou na úchylkoměru. Dále je pak z těchto hodnot zjištěna potřebná síla, která se zjišťuje pomocí interpolace mezi délkami naměřených a již dříve známých sil [1].

2.1.2.2 Řezné podmínky

Volba řezných podmínek je závislá se vstupními parametry, kterými jsou velikost řezné síly, hloubka řezu, velikost posuvu, materiál nástroje nebo břitových destiček, materiál obrobku, geometrie nástroje, chlazení a mazání procesu obrábění, opotřebení břitu nástroje a další [1].

2.1.2.2.1 Řezná síla

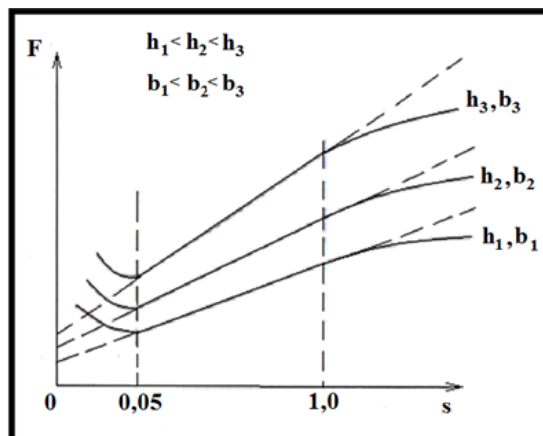
Řezná síla je řešena v předchozí kapitole. Je mimo jiné závislá na řezné rychlosti, a to tak, že při poklesu rychlosti se síla zvětšuje a opačně. Hranice je přibližně

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

100 [m/min]. Při vyšších rychlostech je už síla prakticky konstantní. Proto se v praxi využívají zejména nástroje se slinutým karbidem, které pracují při vyšších řezných rychlostech, a proto i s konstantní silou [1].

2.1.2.2.2 Hloubka řezu

U velikosti hloubky záběru nástroje se naopak složky řezné síly zvětšují skoro přímo úměrně. Proto při dvojnásobně větším odběru materiálu budou síly dvojnásobné. Lze to vidět v grafu na obr. 6, kde je znázorněna závislost řezné síly na posuvu. Podle velikosti posuvu pak stoupají přímky hloubky řezu pozvolněji nebo strměji. Dále se při větší hloubce záběru zvětšuje velikost odebírané třísky, která se pěchuje v zubové drážce, a tím se zvětšuje zatížení zubu. Stává se tak především u jemnozubých válcových fréz. Dochází k vyššímu zahřívání nástroje, ke zhoršení povrchu obrobku a může dojít i k vylomení zubu frézy. Proto se musí hloubka záběru volit podle daného typu frézy a parametrů břitových destiček [3].



Obr. 6 – Schéma způsobů stanovení řezných sil [3]

2.1.2.2.3 Velikost posuvu

Vzhledem k výkonu stroje je také důležitá závislost řezné síly na posuvu, kdy je lepšího využití výkonu stroje dosahováno při větších posuvech na zub. Posuv se udává v milimetrech za jednu minutu. Z posuvu za 1 minutu se pak snadno vypočítá posuv frézy za 1 její otáčku, a to vydělením minutového posuvu otáčkami za 1 minutu. Posuv za otáčku s_{ot} pak vypočteme ze vzorce [1]:

$$s_{ot} = \frac{s_1}{n} \text{ [mm/ot]}, \quad (2.11)$$

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

kde s_{ot} je posuv frézy za 1 otáčku; s_1 je posuv frézy v mm za 1 minutu; n jsou otáčky frézy za 1 minutu.

Protože ani posuv za 1 minutu a ani posuv za 1 otáčku frézy nedávají jasný přehled o zatížení jednotlivých břitů frézy, používá se často posuv na 1 zub frézy.

Vypočítáme jej z posuvu za 1 otáčku frézy vydělenou počtem zubů nástroje [3].

Posuv na zub vypočteme ze vzorce:

$$s_z = \frac{s_o}{z} = \frac{s_1}{n \cdot z} \quad [\text{mm/zub}], \quad (2.12)$$

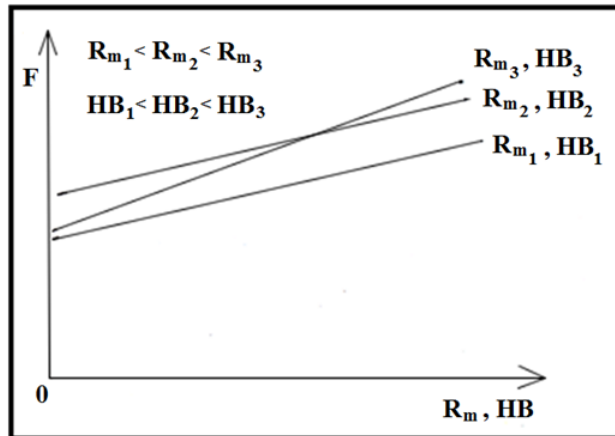
kde z je počet zubů frézy.

2.1.2.2.4 Materiál nástroje

Další vliv na řezné podmínky má materiál nástroje. U obrábění ocelí se vyskytují nejmenší řezné síly u nástroje s keramickými destičkami, které jsou o 5 až 10 [%] menší než u destiček ze slinutého karbidu. Naopak u fréz z rychlořezné oceli se síla přibližně zvýší o 5 [%] při shodných řezných podmínkách. U jiných obráběných materiálů je problematika ve změně koeficientu tření mezi hřbetem a obrobenou plochou, dále pak mezi třískou a nástrojem. Důležitá je také odolnost řezného nástroje proti opotřebení, zejména otěrem stykových ploch, kde pak může vznikat např. adheze, abraze, difúze, oxidace, plastická deformace povrchových vrstev břitu ad. Z tohoto důvodu jsou důležité tvrdé složky v nástrojovém materiálu. Čím je nástroj tvrdší, tím klesá řezná síla.

Materiál obrobku má vliv na řezné podmínky, zvláště jeho fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Tyto vlastnosti se mění s obsahem legujících prvků a strukturou. Při větší tvrdosti materiálů roste řezná síla. Schematicky to znázorňuje graf na obr. 7, kde je znázorněna závislost řezné síly na tvrdosti materiálu [3].

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování



Obr. 7 - Graf závislosti řezné síly na tvrdosti materiálu [2]

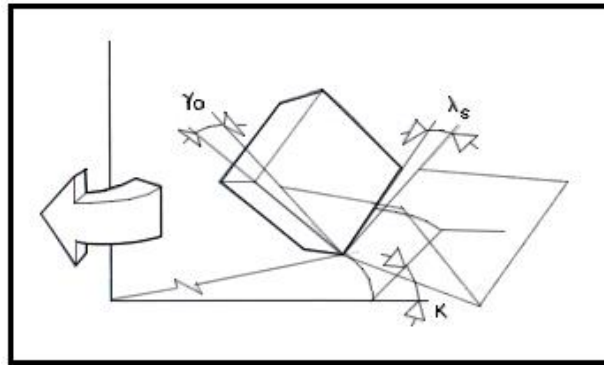
2.1.2.2.5 Opotřebení břitu nástroje

Dalším faktorem je opotřebení břitu řezného nástroje. Při obrábění se nejčastěji opotřebí styk nástroje mezi třískou nebo styk mezi obrobenou plochou. Díky tomu vzniká na čele výmol a na hřbetě opotřebovaná ploška. Ta se postupem času v záběru zvětšuje, a tím roste i potřebná řezná síla. Konkrétně u poškození hřbetu nástroje rostou všechny složky řezné síly úměrně o 30 až 50 [%]. Největší nárůst řezné síly pak nastává při lavinovitém opotřebení nebo např. ulomením břitu nástroje. Dále může dojít k opotřebení ve tvaru žlábků na čele břitu, k plastické deformaci břitu, k opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě břitu, k hřbenovité trhlině na ostří, k únavovému lomu, k vydrolování ostří, ke tvoření nárůstků ad. [4].

2.1.3 Geometrie břitu frézy s VBD

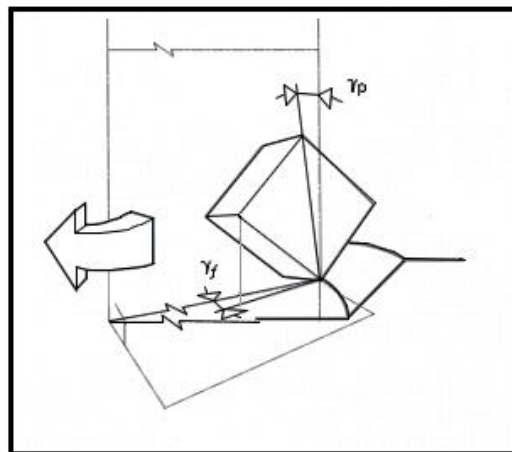
Geometrie břitu frézy má velký vliv na velikost řezné síly a na její rozklad do složek. Dále má vliv na drsnost obrobené plochy, na utváření a žádoucí odvod třísky, na přesnost obrábění, na trvanlivost nástroje a v neposlední řadě na hospodárnost obráběcího procesu. Geometrie je definovaná podle úhlů břitu, které se nacházejí v jednotlivých rovinách.

Mezi nejznámější úhly patří úhel mezi obráběnou plochou obrobku a hlavním ostřím. Nazývá se úhlem nastavení hlavního ostří κ . Další úhly jsou funkční úhly. Je to úhel sklonu ostří λ_s , který se měří v rovině rovnoběžné s hlavním ostřím, a ortogonální úhel čela γ_o . Tyto tři úhly především ovlivňují výkon stroje při obrábění, utváření třísky a její odchod. Efektivní úhel čela, neboli také ortogonální úhel čela, ovlivňuje řezné síly, a tím i potřebný příkon stroje. Úhly jsou patrné na obr. 8 [4].



Obr. 8 - Schéma znázornění funkčních úhlů u VBD [4]

Dále jsou na břitové destičce dva konstrukční úhly. Prvním je axiální úhel čela γ_p , který se měří v rovině rovnoběžné s osou rotace nástroje. Druhým je radiální úhel čela γ_f , který se měří k rovině kolmé k ose rotace nástroje. Úhly jsou zřejmé na obr. 9 [4].



Obr. 9 - Schéma znázornění konstrukčních úhlů u VBD [4]

U obrábění rovinných ploch frézováním rozlišujeme tři hlavní druhy geometrie, a to dvojitou negativní, dvojitou pozitivní a pozitivně negativní geometrii.

U dvojitě negativní geometrie v důsledku negativního radiálního i axiálního úhlu čela vznikají velké řezné síly. Úhel hřbetu čela vznikne díky sklonu břitové destičky. Proto lze po otočení využít k obrábění obě strany destičky, a tím dojde k jejímu efektivnímu využití. Díky velikým silám je potřeba dostatečná stabilita a vysoký příkon stroje. Lze takto obrábět materiály, při kterých vzniká velké mechanické zatížení břitu, jako jsou například šedé litiny nebo tvrdší ocele. Tato metoda obrábění je méně

vhodná pro měkčí materiály, které vytváří dlouhou třísku. Třísky se pak mohou hromadit v zubové mezeře a mít negativní vliv na obrábění.

Pozitivní axiální i radiální úhel čela se vyskytuje u tzv. dvojité pozitivní geometrie. Oproti dvojité negativní geometrii tato metoda umožňuje více způsobů obrábění, ale dovoluje použití jen jednostranných pozitivních VBD. Díky omezené tloušťce třísky a délce kontaktní plochy na břitové destičce, jsou potřeba k obrobení materiálu menší řezné síly. Proto je v porovnání s negativní geometrií fréz pro stejný řez potřeba menší výkon stroje, a proto lze použít i tenčí břitovou destičku. Destička vytváří vhodnou třísku, která se stáčí do krátkých šroubovic a lehce odchází ze zubové mezery nástroje. U obrábění materiálů, kde se vyskytuje problém s tvořením nárůstků, je tato geometrie často vhodným řešením k jeho odstranění.

Třetí typ geometrie je pozitivně negativní. Zde je axiální úhel čela pozitivní a radiální úhel čela negativní. Negativní úhel má vysokou odolnost proti lomu břitu a pozitivní axiální úhel čela dobře utváří třísky. Proto lze obrábět při velkých hloubkách řezu a vysokých posuvech na zub. Potřebný výkon stroje je nižší vzhledem ke dvojité negativní geometrii a vyšší vzhledem k dvojité pozitivní geometrii.

Tato geometrie umožňuje náročné operace vzhledem k materiálům obrobku a k podmínkám použití. Také díky snadnému odchodu třísek lze tento typ geometrie použít pro velké délky styku břitu s obrobkem, které se nejvíce vyskytují u stopkových fréz [4].

2.1.3.1 Základní úhly zubu nástroje

Základní úhly zubu nástroje jsou znázorněny na obrázku 10. Patří mezi ně:

1) Úhel hřbetu α – je to úhel svíraný mezi hřbetem zubu frézy a tečnou k obvodu nástroje. Jeho úkolem je snižovat tření hřbetu zubu na obráběné ploše. Čím větší je jeho hodnota, tím je tření menší. Jeho velikost je však omezena, aby nedocházelo k přílišnému zeslabování zubu, a tím snižování jeho pevnosti.

2) Úhel břitu β – je to úhel svíraný plochou hřbetu a plochou čela. Čím menší tento úhel je, tím je snadnější vnikání nástroje do materiálu. Jeho hodnota je omezena pevností břitu. Pro frézování měkkých a málo pevných materiálů má úhel β menší hodnotu. Naopak pro tvrdé a pevné materiály musí mít hodnotu větší, aby unesl zatížení vyvolané velkým řezným odporem.

3) Úhel čela γ – je to úhel, který svírá plocha čela břitu a spojnice špičky břitu se středem otáčení frézy. Usnadňuje tvoření třísky a vnikání břitu

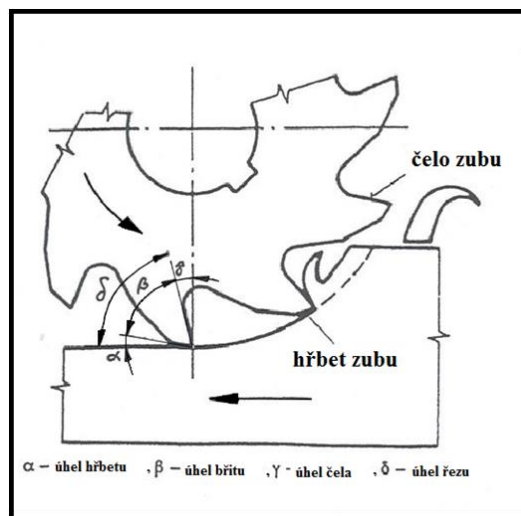
Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

do materiálu. S jeho rostoucí hodnotou se zeslabuje celý břit frézy, a proto je hodnota tabulkově omezena.

4) Úhel řezu δ – je to úhel, který svírá plocha čela a tečna k obvodu frézy. Nechá se také definovat jako součet úhlů břitu β a hřbetu α .

5) Úhel sklonu ostří λ – je to úhel, který svírá osa otáčení frézy a tečna k šroubovici břitu. Vyskytuje se u nástrojů s břity šroubovitými, šikmými, střídavými a šípovými.

6) Úhel nastavení κ – je to úhel, který se nachází mezi ostřím frézy a rovinou kolmou na osu jejího otáčení [20].

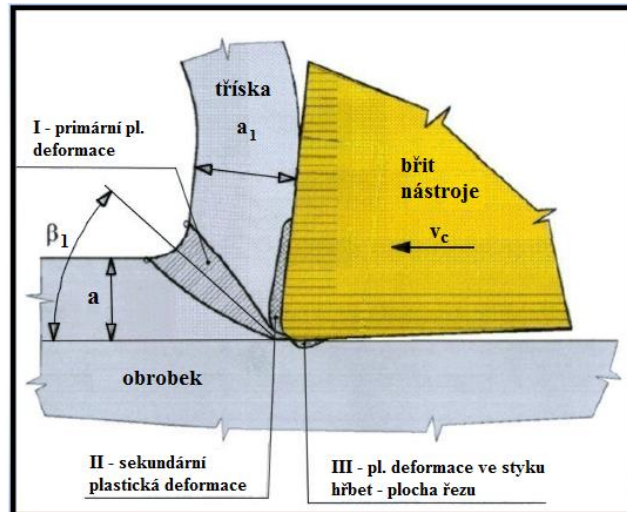


Obr. 10 - Geometrie břitu frézy z rychlořezné oceli [20]

2.1.4 Vznik třísky a její druhy

Pohybem břitu nástroje vůči obrobku vzniká silové působení, které oddělí materiál obrobku v hloubce odřezávané vrstvy. Tím vznikne tříska. Při obrábění většiny technických materiálů vzniká tzv. tříska tvářená. Při obrábění amorfních materiálů, dřeva, litých hornin apod. se vytváří tříska netvářená. Vzniku tvářené třísky předchází plastická deformace odřezávané vrstvy materiálu. Probíhá v oblasti primárních plastických deformací, ve které se mění energie na teplo, viz obr. 11 [6].

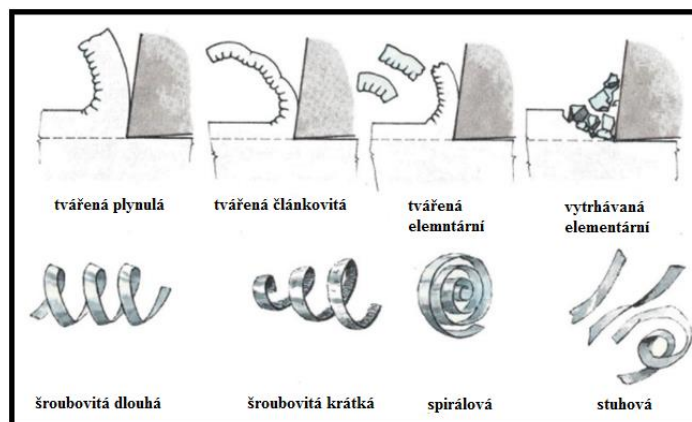
Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakosť povrchů obrobků při technologii frézování



Obr. 11 – Oblasti plastických deformací při tvorbě třísky [9]

V oblasti sekundárních plastických deformací dochází k adhezi mezi materiálem třísky a nástrojem. Je to způsobeno díky vysokému tlaku, teplotě a kovově čistým povrchům. Proto zde může docházet k vzniku nárustků. V oblasti terciálních plastických deformací je část materiálu stlačována pod ostří nástroje. Je to způsobeno díky zaoblení břitu nástroje. Dochází tak k plastické deformaci povrchu obrobku a jeho zahřívání. Zbytkové napětí na povrchu obrobku pak může být tlakové nebo tahové. Tlakové napětí je žádoucí, protože povrch obrobku zpevňuje. Naopak tahové napětí může povrch potřhat a zhoršit jeho kvalitu [6] [9].

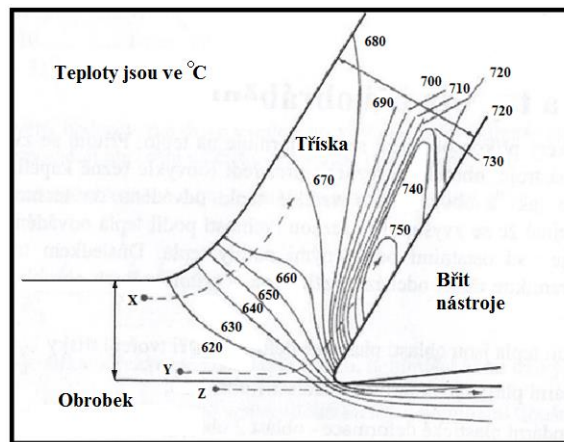
Mezi základní druhy třísek patří tvářená plynulá, tvářená člankovitá, tvářená elementární nebo vytrhávaná elementární, viz obr. 12. Na tvar třísky má hlavní vliv materiál obrobku a úhly na nástroji [10].



Obr. 12 – Přehled základních druhů třísek [10]

2.1.5 Teplo a teplota vzniklá při obrábění

Teplo při obrábění je jedním z velmi důležitých faktorů. Vzniklé teplo přímo ovlivňuje mechanické vlastnosti obrobku, otupení nástroje a v povrchových vrstvách ovlivňuje tření mezi nástrojem a obrobkem, zpevnění nebo pýchování povrchu. Množství vzniklého tepla je závislé na velikosti práce, která je potřeba vynaložit pro odebrání třísky. Teplo je pak odebráno bezprostředním okolím. Část tepla absorbuje nástroj, část obrobek a část je vysílána do okolí. Převážná část je avšak odvedena třískou. Názorně to můžeme vidět na obrázku 13 [14].



Obr. 13 - Rozložení teplot v tříске obrobku [14]

Velikost vzniklého tepla při procesu obrábění je v první řadě závislá na velikosti práce, která byla vynaložena na odebrání třísky. Tato práce vzniká při překonávání vnějšího tření a při překonávání plastické deformace. Teplo tedy vzniká v plasticky deformovaných částech třísky a na třecích plochách mezi nástrojem a obrobkem. Celkové množství pak lze vypočítat ze vzorce:

$$Q_{tř} + Q_{def} = Q_N + Q_T + Q_o + Q_P \quad (2.13)$$

kde $Q_{tř}$ je teplo vzniklé třením; Q_{def} je teplo vzniklé z práce plastických a pružných deformací; Q_N je teplo setrvané v nástroji; Q_T je teplo odvedené třískou; Q_o je teplo setrvané v obrobku a Q_P je teplo vysílané do okolí.

Velikost vzniklého tepla dále závisí na mechanicko-fyzikálních vlastnostech obráběného materiálu, na geometrii nástroje, na řezných podmínkách, na ostrosti nástroje a dalších faktorech [14].

2.2 Poznatky o tepelném zpracování hutních materiálů

Tepelné zpracování hutných materiálů je základní a podstatnou úpravou materiálů za účelem zlepšení jejich mechanických (pevnost, houževnatost), technologických (tváriteľnosť, obrobiteľnosť), ale i fyzikálních (elektrický odpor, magnetická indukce) vlastností.

Materiál lze tepelně upravovat za tuhého nebo ještě tekutého stavu. V tekutém stavu se zlepšují zpravidla chemické vlastnosti, a to přidáním do roztaveného materiálu různých legujících prvků podle potřeby výsledných vlastností materiálu. V tuhém stavu se materiál upravuje ohřevem určitou rychlostí na danou teplotu, výdrži na této teplotě, rychlostí opětovného ochlazování na určitou teplotu a někdy také počtem opakování těchto dějů za sebou. Dále lze v tuhém stavu zpracovávat oceli chemicko-tepelnými úpravami. Při těchto operacích se po ohřátí sytí povrch materiálu různými přísadami. Mezi základní operace tepelných zpracování materiálu v tuhém stavu patří:

- a) žihání – zlepšuje stabilitu struktury materiálu,
- b) kalení – zvyšuje tvrdost materiálu,
- c) popouštění – snižuje vnitřní pnutí materiálu,
- d) cementování – je to chemicko-tepelné zpracování, při kterém je povrch materiálu za určité teploty sycen uhlíkem,
- e) nitridování - je to chemicko-tepelné zpracování, při kterém je povrch materiálu za určité teploty sycen dusíkem.

Mezi tepelné úpravy patří další operace, které se používají podle potřeby dosažení výsledných vlastností materiálu. Je to např. zušlechťování, patentování, rozpouštění, nitrocementování a další [21].

2.2.1 Shrnutí poznatků o tepelném zpracování oceli žiháním

Žihání je všeobecně takový proces, při kterém se materiál pomalu zahřeje na určitou teplotu. Na dané teplotě určitý čas zůstane a poté se začne pomalu ochlazovat. Tento proces obvykle umožní vznik rovnovážných struktur v materiálu a výsledkem je termodynamicky rovnovážnější stav. Dále lze rozdělit na dva základní druhy, kterými jsou žihání bez překrystalizace a žihání s překrystalizací. U žihání bez překrystalizace se materiál zahřívá jen pod teplotu 727 [°C], což je v diagramu Fe-Fe₃C, který je znázorněn na obrázku 15, pod křivkou A_{C1}. V těchto materiálech pak nedochází ke změnám struktury. Patří sem např. žihání k odstranění pnutí, rekrystalizační nebo

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

protivložkové. U žihání s překrytalizací dochází k ohřívání materiálu nad teplotu 727 [°C]. V diagramu Fe-Fe₃C tedy nad křivku A_{C1}, a tím dochází ke změně vnitřní struktury. Do této skupiny patří např. žihání normalizační, homogenizační nebo izotermické [7].



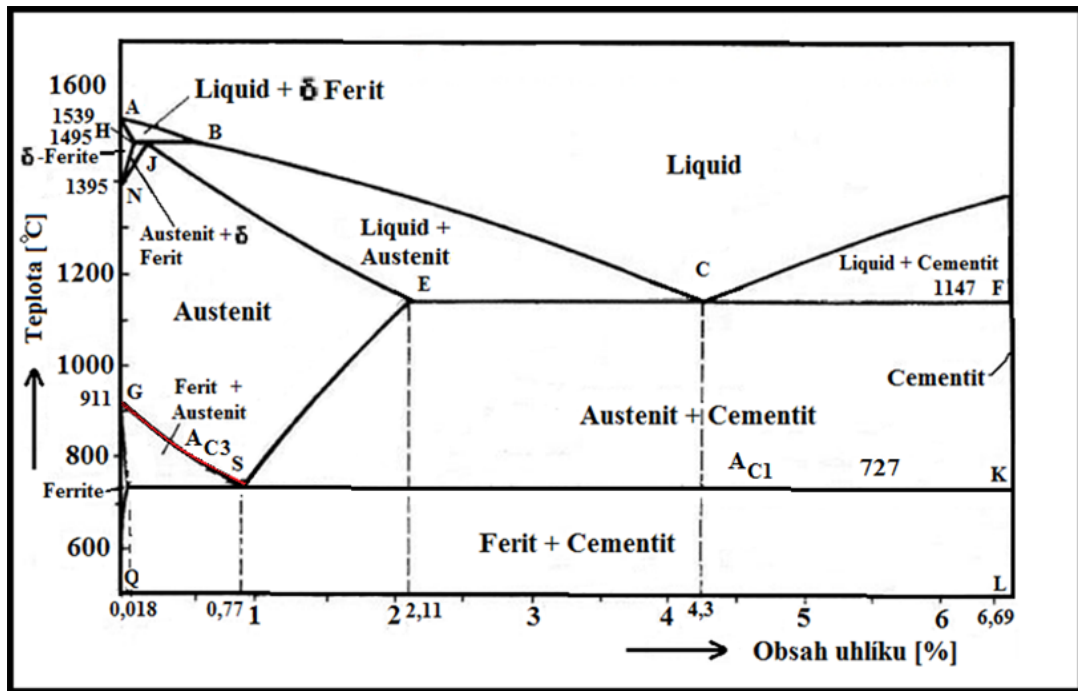
Obr. 14 – Žihací pec [17]

2.2.1.1 Normalizační žihání

Z hlediska teplot, při kterých byly tepelně upravovány zkoumané vzorky této bakalářské práce, je patrné, že byla prováděna tepelná úprava v oblasti žihání s překrytalizací, a to konkrétně v oblasti normalizačního žihání.

Při normalizačním žihání je hlavním účelem zjemnění hrubého zrna austenitu a vytvoření jemné rovnoměrné struktury. Hrubé zrno může v oceli vzniknout dlouhodobým žiháním za vysokých teplot, při odlévání nebo při tváření ve vysoké teplotě. Jednotlivé výrobky pak mají různě velká zrna, která se žiháním zjemní a dosáhne se jejich stejné velikosti. Doporučená teplota při normalizačním žihání je přibližně 50-80 [°C] nad křivku A_{C3} v diagramu Fe-Fe₃C. Po procesu je pak materiál volně ochlazován na vzduchu a u konstrukčních ocelí vzniká feriticko-perlitická struktura. U ocelí s vyšší prokalitelností, např. v tenkých stěnách obrobku, může vznikat bainit nebo i malé množství martenzitu. Zlepšení vlastností této struktury se pak řeší popouštěním [7].

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakosť povrchů obrobků při technologii frézování



Obr. 15 – Metastabilní fázový diagram železa a uhlíku Fe-Fe₃C [15]

2.3 Poznatky o obrobiteľnosti a jakosti povrchů

V této kapitole jsou témata charakteristické pro drsnost povrchu.

2.3.1 Definice obrobiteľnosti

Pojem obrobiteľnosť představuje míru schopnosti daného materiálu být zpracováván nějakou konkrétní metodou obrábění. Obrobiteľnosť materiálů je také chápána jako více faktorů, které charakterizují daný materiál. Tyto faktory pak mají vliv na náklady a výkon stroje při jeho obrábění. Je to tedy určitý vztah mezi nástrojem a obrobkem. K faktorům charakterizující obrobiteľnosť patří např. metalurgie materiálu, chemické složení materiálu, mechanické a fyzikální vlastnosti materiálu, tepelné zpracování materiálu, druhy legujících přísad, povrch materiálu obrobku, metoda obrábění, geometrie nástroje, vlastnosti a druh nástrojového materiálu, pracovní prostředí obrábění ad. Pro zjištění správné obrobiteľnosti lze použít několik metod. Mezi tyto metody patří například zjištění řezného odporu při obrábění, zahřívání břitu nástroje nebo VBD, zjištění nejvyšší řezné rychlosti pro dané obrábění, jakosť obrobené plochy apod. [4].

2.3.2 Poznatky o drsnostech povrchů a jeho hodnocení

Drsností povrchu jsou myšleny nerovnosti s relativně malou vzdáleností, které nevyhnutelně vznikly při výrobě nebo jejím vlivem. Jedná se tak o hloubku stop po nástroji. Nerovnosti povrchu materiálu se pak mění při jeho používání nebo při jeho korozi.

Jsou celkem tři způsoby hodnocení drsnosti povrchu, a to systém střední čáry, systém obalové čáry a systém matematických rozdílů. Všechny tyto systémy vycházejí ze zjištěného profilu povrchu. Liší se především vztažnou čarou, od níž se stanovuje drsnost povrchu. Mezi nejrozšířenější způsoby dnes patří systém střední čáry [6].

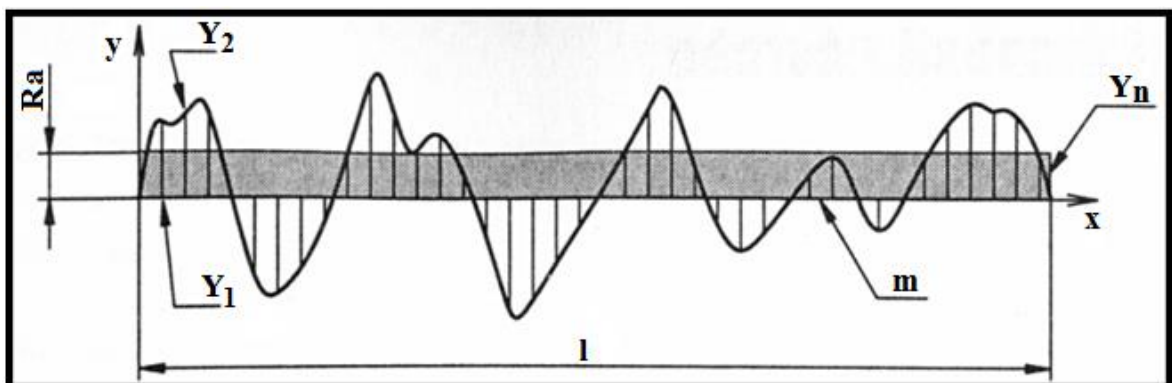
2.3.3 Nejčastější zjišťované parametry drsnosti

Mezi nejčastěji zjišťované hodnoty drsnosti patří parametry R_a , R_z , R_t . Tyto parametry budou i hodnoceny u zkoumaného povrchu vzorků. Všechny jsou udávány v mikrometrech.

Parametr drsnosti R_a je definován jako průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu v rozsahu jeho základní délky.

Druhým parametrem je parametr R_z . Je definovaný střední vzdálenost mezi pěti nejvyššími a pěti nejnižšími body zjištěného profilu v délce měřeného úseku od jeho střední čáry.

Posledním parametrem je hodnota R_t . Udává celkovou výšku profilu. Je definovaný jako součet nejvyššího výstupku a nejnižší prohlubně v rozsahu vyhodnocované délky [13].



Obr. 16 – Znárodnění drsnosti povrchu a parametru drsnosti R_a [13]

3 Experimentální část

Experimentální část je zaměřena na samotný experiment, který zkoumá vliv opakovaného tepelného zpracování materiálu na řezné síly při frézování, drsnost obrobených ploch, opotřebení řezného nástroje, tvar vzniklé třísky a na teplo vzniklé při frézování. Nejprve jsou v této kapitole popsány vzorky, dále zařízení, která byla k dílčím experimentům použita. Poté následuje samotná metodika experimentu a k závěru této podkapitoly jsou uvedeny dosažené výsledky při dílčích experimentech.

3.1 Zkušební vzorky

Zkušebních vzorků bylo celkem osm a všechny byly z materiálu P265GH, který je popsán v kapitole 3. 1. 1. Vzorky byly přejeté z předchozích experimentů z diplomové práce, u kterých byl každý z těchto vzorků jinak tepelně upravován:

Vzorek č. 1: Nebyl nijak tepelně upravován.

Vzorek č. 2: Prošel tepelnou úpravou normalizačního žíhání. Byl vložen do předem předehřáté pece na teplotu 460 [°C] a poté se teplota zvyšovala o 1,5 [°C] na konečnou teplotu 930 [°C]. Této teplotě byl vzorek vystaven 30 [min] a posléze chladl v otevřené peci. 2. vzorek tedy prošel jedním žíhacím cyklem.

Vzorek č. 3: Byl vložen do předehřáté pece na teplotu 400 [°C]. Teplota se poté zvyšovala o 1,7 [°C] na teplotu 840 [°C]. Při této teplotě byl vzorek v peci 30 [min] a pak chladl při otevřené peci. Po vychladnutí byl vzorek z pece vyndán a pec se znovu zahřála na 400 [°C]. Žíhací cyklus se opakoval. Tento vzorek takto prodělal celkem 5 žíhacích cyklů.

Vzorek č. 4: Prodělal 10 stejných žíhacích cyklů jako vzorek č. 3.

Vzorek č. 5: Prodělal 15 stejných žíhacích cyklů jako vzorek č. 3.

Vzorek č. 6: Prodělal 20 stejných žíhacích cyklů jako vzorek č. 3.

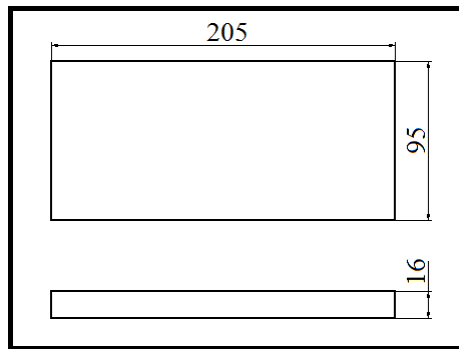
Vzorek č. 7: Prodělal 25 stejných žíhacích cyklů jako vzorek č. 3.

Vzorek č. 8: Prodělal 30 stejných žíhacích cyklů jako vzorek č. 3 [16].

Dále se těchto osm vzorků dělilo na vzorky typu A a na vzorky typu B. Strukturálně byly tyto vzorky naprosto stejné, jen měly jiný výchozí rozměr. Byly tedy ze stejného materiálu, prošly stejnou tepelnou úpravou a měly stejné číslování, příslušné počtu cyklů tepelného namáhání.

3.1.1 Zkušební vzorky typu A

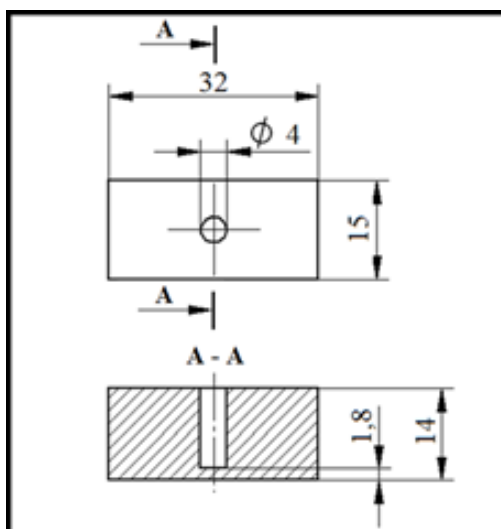
Těchto osm vzorků typu A bylo použito pro zjišťování řezných sil, drsnosti povrchu po obrábění, opotřebení vyměnitelných břitových destiček a tvaru vzniklých třísek při frézování. Vzorky už měly z předchozího experimentu vyhovující rozměry a jejich tvar se nemusel nijak upravovat. Rozměry jsou patrné z obrázků 17.



Obr. 17 – Rozměry vzorku typu A pro měření řezných sil a drsnosti povrchu po obrábění

3.1.2 Zkušební vzorky typu B

Vzorky typu B byly použity pro zjišťování teplot při obrábění materiálů. Pro experimenty této bakalářské práce ale neměly vyhovující rozměry, a proto se musely upravovat. Původně byly z tyče čtvercového profilu s rozměry 17x15 [mm] a délkou 192 [mm]. Příprava vzorků je více popsána v podkapitole 3.4.2.1.



Obr. 18 – Rozměry vzorků typu B



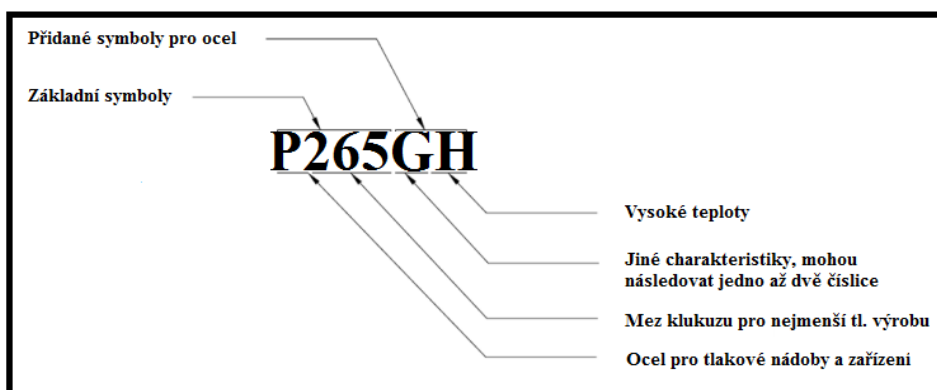
Obr. 19 – Reálná podoba vzorku

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

3.1.3 Charakteristika oceli P265GH

Tato ocel je dobře tvárná za tepla i za studena. Vyznačuje se dobrou svařitelností. Doporučená teplota pro její normalizační žihání je mezi teplotami 890 – 950 [°C]. Používá se v podmínkách, při kterých je vystavena teplotám až 450 [°C]. Tyto podmínky se vyskytují u trubek pro přepravu horkých kapalin, u výměníků tepla, u tlakových nádob pracujících za vysokých teplot a u horkovzdušných kotlů [16].

Značení této oceli vychází z normy ČSN EN 10027-1. Pro představuje je jednotlivé označení uvedeno na obrázku 20.



Obr. 20 – Popis označení oceli dle normy ČSN EN 10027-1.

Chemické složení oceli je pro přiblížení uvedeno v tabulce na obrázku 21.

Chemické složení	Prvek	C	Si	p	Mn	N	S
	Hodnota [%]		≤0,20	≤0,4	0,025	0,8-1,4	≤0,012

Obr. 21 – Chemické složení oceli P265GH

3.2 Popis strojů a měřících zařízení

V této podkapitole jsou popsány všechny stroje, přípravky, měřidla a měřící zařízení, které byly použity pro přípravu zkušebních vzorků a pro samotné měření dílčích experimentů. Všechny stroje, přípravky, měřidla a měřící zařízení byly k dispozici v laboratoři Katedry obrábění a montáže na Technické univerzitě v Liberci. Zde také probíhala všechna měření.

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrábělnost materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

3.2.1 Obráběcí stroj – NC frézka

Obrábění probíhalo na NC frézce FNG 32 od výrobce obráběcích strojů TOS Olomouc a.s. Frézka je konvenční, číslicově řízená s vertikálním vřetenem s rychloupínáním frézy. Tato frézka byla použita pro obrábění všech potřebných rovinných ploch. Dále za pomoci dynamometru Kistler na ní byly zjištěny řezné síly u vzorků typu A a za pomoci provozní jednotky PP65 vzniklé teplo při obrábění vzorků typu B.



Obr. 22 – NC Frézka FNG 32

Hlavní technické parametry dané frézky jsou uvedeny v tabulce 1.

Rozměr pracovní plochy	800 x 400 [mm]
Upínací drážky (počet; rozteč)	7; 14 x 50 [mm]
Maximální zatížení stolu	350 [kg]
Pracovní zdvih (podélný - X; příčný - Y; svislý - Z)	600; 400; 400 [mm]
Pracovní posuv X, Y	15 - 1000 [mm/min]
Pracovní posuv Z	6 - 400 [mm/min]
Rychloposuv X, Y	2000 [mm/min]
Rychloposuv Z	800 [mm/min]
Vertikální vřeteno	
Vzdálenost osy vřetene od vedení stojanu	250 - 650 [mm/min]
Rozsah otáček	50 - 4000 [ot/min]
Řazení otáček	Plynulé
Natočení vřetena	± 90°
Hloubka vysunutí pinoly	80 [mm]
Upínání nástroje	pneu-hydraulické
Stroj	
Výkon hlavního elektromotoru	4 [kw]
Výkon posuvného elektromotoru	1,1 [kw]
Celkový příkon	22 [kVA]
Hmotnost	2 500 [kg]
Plocha zabíraná strojem	2 070 x 2 120 [mm]
Výška	2 115 [mm]

Tab. 1 – Parametry NC Frézky FNG 32 [19]

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

3.2.2 Nástroj – fréza


Pro obrábění všech rovinných ploch při experimentech byla použita fréza s rychloupínací stopkou průměru 32 [mm]. Fréza je určená pro tři vyměnitelné břitové destičky. Avšak při obrábění povrchu pro zjištění řezných sil a při zjišťování tepelné bilance obrábění, byla pro jednoduchost použita jen jedna břitová destička. Odůvodnění bude dále popsáno v metodice.



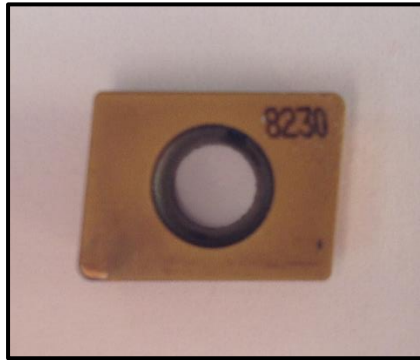
Obr. 23 – Rychloupínací fréza \varnothing 32 [mm]

3.2.2.1 Vyměnitelné břitové destičky

Pro veškeré obrábění rovinných ploch frézou průměru 32 [mm] byl použit jeden typ vyměnitelných břitových destiček od firmy Pramet s označením ADEW 120308SR; 8230. Destičky byly měněny za novou po každém dílčím experimentu, který bude dále popsán v metodice experimentu. Podrobné parametry břitových destiček jsou na obr. 24.

ADEW 120308SR ;8230					
80009111	3435 - 2197321	QTY: 10			
Gr. P20-P40	M20-M35	K20-K40	-	-	H15-H25
v_c 220-160	130-95	205-150	-	-	40-30
f_t 0,20-0,30	0,20-0,23	0,20-0,30	-	-	0,10-0,20
a_p 1,0 -10,0	1,0 -7,5	1,0 -10,0	-	-	0,3 -1,5
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-	<input type="checkbox"/>
STEEL	STAINLESS	CAST IRON	NON-FERROUS	SUPERALLOYS	HARD MATERIAL

Obr. 24 – Parametry vyměnitelných břitových destiček ADEW 120308SR; 8230



Obr. 25 – Vyměnitelná břitová destička ADEW 120308SR; 8230

3.2.3 Dynamometr Kistler

K měření velikosti řezných sil při experimentu byl použit piezoelektrický dynamometr Kistler s označením 9265B. Tento dynamometr využívá pro zjišťování zatěžující síly tzv. piezoelektrického jevu. Podstata jevu vychází ze schopnosti některých krystalů vytvářet na svém povrchu elektrický náboj při jejich deformování. Platí, že při zatěžování krystalu elektrický náboj roste přímo úměrně se zatěžující silou a při poklesu zatížení se lineárně zmenšuje. Mezi materiály, které mají tuto schopnost, patří např. křemen, Seignettovy soli nebo materiály na bázi titaničitanu barnatého. V dynamometru Kistler je tedy krystal vhodného tvaru, který při zatížení mění svůj elektrický náboj. Náboj se posléze změří a vyhodnotí se velikost zatěžující síly.

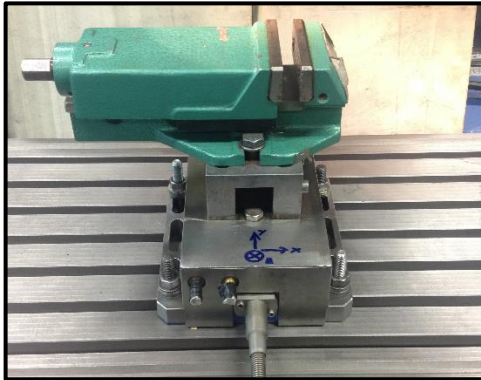
Celá měřicí soustava řezných sil se skládá z více komponentů. Dynamometr Kistler vytvoří při zatížení elektrický náboj (obr. 26). Informace o elektrickém náboji dále putují optickým kabelem do nábojového zesilovače 5019B (obr. 27), kde jsou zesíleny. Zesilovač pak dále pošle data do počítače, ve kterém je nainstalovaný program Labview 6. 1. Ten data přemění na hodnoty a finálně z nich vytvoří potřebné grafy. Tímto dynamometrem se nechají měřit síly při různých technologiích obrábění, jako jsou např. soustružení, vrtání, broušení apod.

3.2.3.1 Siloměr Force gauge

Před měřením řezných sil se nejprve dynamometr musel zkalibrovat. Kalibrace spočívala v působení na dynamometr danou známou silou, která se v softwaru Labview 6. 1 nastavila jako výchozí. Od této známé síly si program sám dále vyhodnocoval hodnoty sil, které získal ze zesilovače. Ke kalibraci byl použit siloměr Force gauge, který působil na dynamometr ze směrů všech tří os. Z osy X, Y a Z.

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

Siloměr působil konkrétně silou 150 [N], která byla posléze v programu Labview 6. 1 nastavena.



Obr. 26 – Dynamometr Kistler



Obr. 27 – Nábojový zesilovač 5019B



Obr. 28 - Siloměr Force gauge

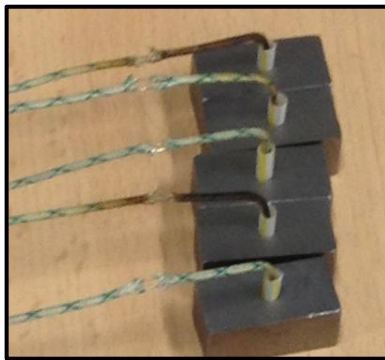
3.2.4 Termočlánek typu K a jeho příslušenství

Pro měření teplot při obrábění zkoumaných vzorků typu B, byly použity termočlánky typu K. Všeobecně je podstatou termočláunku zjistit teplotu přímo v místě řezu nebo bezprostředně blízko u místa řezu. Termočlánek je tvořen dvěma dráty z dvou různých materiálů. Dráty termočláunku jsou na srovnávacím konci zapojeny do sběrnice, ve které jsou propojeny i mezi sebou. Na jejich druhém, pevném konci jsou přivařeny přímo do místa řezu a také k sobě navzájem. Proto tvoří uzavřený elektrický obvod. Při změně teploty na pevném konci od teploty na srovnávacím konci vznikne v uzavřeném elektrickém obvodu termoelektrické napětí a obvodem začne protékat termoelektrický proud. Na srovnávacím konci je ve sběrnici dále připojený milivoltmetr, který vyhodnocuje velikost termoelektrického proudu. Velikost proudu je dále přeposílána do provozní jednotky PP65, ve které je vyhodnocena příslušná teplota, odpovídající velikosti proudu. Termočláneků je více typů a liší se použitím pro různý rozsah teplot.

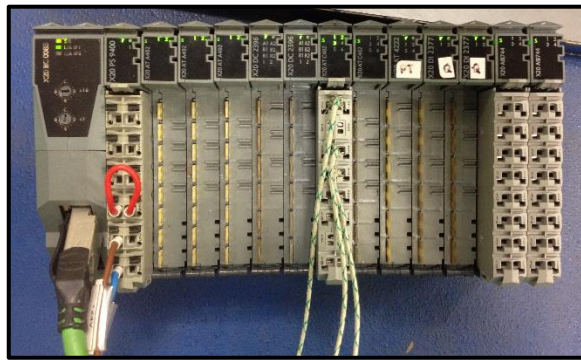
Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

Pro naše podmínky měření byl nejvhodnější termočlánek typu K, který je označen žlutou barvou a je tvořen z niklchromu a niklhlíniku.

Pro měření u experimentů bylo použito celkem 12 zmiňovaných termočlánků typu K. Termočlánky byly ve správném pořadí a ve správné polaritě na srovnávacím konci zapojeny do svorkovnic a dále do sběrnice. Ze sběrnice byla data přeposílána do provozní jednotky PP65 od firmy B&R, kde byla velikost elektrického proudu převedena na teplotu. Pro přivaření termočlánků do místa řezu byla použita kondenzátorová svářečka.



Obr. 29 – Termočlánek typu K navařený ve zkušebním vzorku



Obr. 30 – Sběrnice se svorkovnicemi



Obr. 31 – Provozní jednotka PP65 od firmy B&R



Obr. 32 – Kondenzátorová svářečka

3.2.5 Pásová pila

Vzorky typu B měly čtvercový profil s rozměry 17x15 [mm] a délku 192 [mm]. Avšak tato délka vzorku byla pro přesnost experimentu nevyhovující. Proto se každý vzorek rozřezal na 6 vzorků o délce 32 [mm]. K tomu byla použita pásová pila na kov typu ARG 300 Plus H.F. od firmy Pilous. Parametry pily jsou uvedeny v tabulce 2.

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

Rozměr pilového pásu	3 110 x 27 x 0,9 [mm]
Maximální rozměr řezu čtvercového průřezu 90°; 40°; 60°	300/230/150 [mm]
Maximální rozměr řezu obdelníkového průřezu 90°; 40°; 60°	360x290/250x290/155x155 [mm]
Maximální rozměr řezu kruhového průřezu 90°; 40°; 60°	300/240/155 [mm]
Výkon motoru 400 V	2,3 [kW]
Rychlost pilového pásu	15 - 90 [m/min]
Rozměry stroje	1600 x 950 x 1600 [mm]
Hmotnost stroje	570 [kg]

Tab. 2 – Parametry pásové pily na kov typu ARG 300 Plus H.F. od firmy Pilous [18]



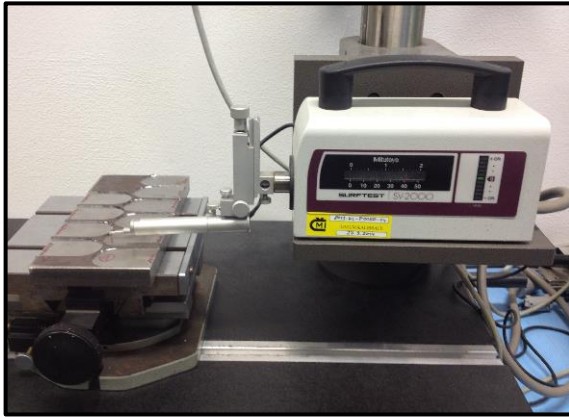
Obr. 33 – Pásová pila na kov

3.2.6 Laboratorní profiloměr Mitutoyo

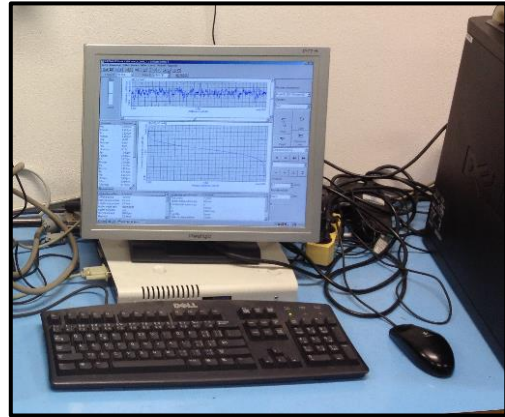
Jakost povrchu při dílčích experimentech byla měřena na laboratorním profiloměru Mitutoyo SV-2000 N2. Profiloměr pracuje na principu dotykového snímání povrchu. Je to realizováno díky hrotu, který se posouvá po zkoumaném povrchu. Díky nerovnostem na povrchu hrot koná i axiální pohyb. Ten je transformován v převodníku na elektrický signál, který je dále zpracováván na data do souřadnicového záznamu povrchu obrobku. Data jsou poté vyhodnocena na počítači v softwarovém programu

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

Surfpak-SV Verze 1.100, který vytvoří textovou i grafickou formu dat. Na profiloměru byly zkoumány parametry profilu Ra , Rz a Rt .



*Obr. 34 – Profiloměr Mitutoyo
SV-2000N2*

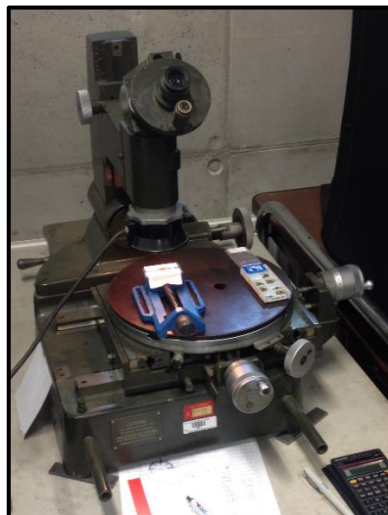


*Obr. 35 – Počítač s programem
Surfpak- SV Verze 1.100*

3.2.7 Dílenský mikroskop Zeiss

Na dílenském mikroskopu byla měřena velikost opotřebení vyměnitelných břitových destiček ADEW 120308SR; 8230, které byly použity na fríze průměru 32 [mm]. Měření probíhalo vždy po ukončení obrábění jednotlivých řezných podmínek.

Mikroskop je osazen dvěma mikrometrickými šrouby, které pohybují stolem mikroskopu v osách X a Y . Okulár mikroskopu je vybaven nitkovým křížem, díky kterému se přesněji zjišťovala míra opotřebení.



Obr. 36 – Dílenský mikroskop Zeiss

3.2.8 Ostatní nástroje a pomůcky

V této podkapitole jsou popsány další nástroje a pomůcky, které byly použity pro dané experimenty. Jejich využití bude podrobněji popsáno v metodice experimentu.

Skličidlo s rychloupínací stopkou

Skličidlo bylo použito při přípravě vzorků typu B při obrábění (obr. 18) a bylo upnuto do hlavy konvenční NC frézky FNG 32.

Navrtávák

Navrtávák byl upnut do skličidla s rychloupínací stopkou a byly ním navrtány vzorky typu B.

Vrták Ø 4 [mm]

Vrták Ø 4 [mm] byl použit pro vrtání děr do vzorku typu B.

Fréza Ø 4 [mm]

Dvoubřitá fréza z rychlořezné oceli byla použita pro zarovnání dna díry ve zkušebním vzorku. Nerovnost dna byla zapříčiněna předchozí operací vrtání.

Digitální posuvné měřítko

Měřítko bylo použito pro měření rozměrů vzorků při jejich přípravě. Parametry a hodnoty měřítka jsou napsány v tabulce 3.

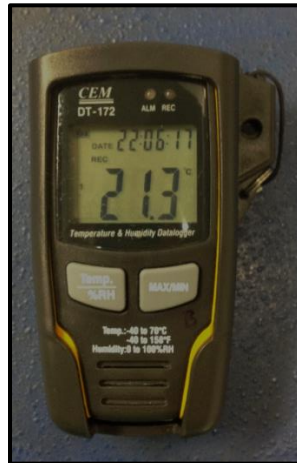
Parametr	Hodnota [mm]
Rozsah	0,25; 25 - 50
Rozlišení	0,001

Tab. 3 – Parametry a hodnoty digitálního posuvného měřítka

Datalogger CEM DT-172

Datalogger pro měření teploty a vlhkosti vzduchu byl použit při zjišťování teplot při obrábění. Byla z něho zjištěna okolní teplota a vlhkost v místnosti, která má vliv na teplotu vzorků.

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování



Obr. 37 – Datalogger CEM DT-172

Úhlová bruska a brusný kotouč

Úhlová bruska Narex EBU 15 G s řezným kotoučem GRINDING 150x1,0x22,23 byla použita pro očištění vzorků typu A.

Fréza Ø 63 [mm] s vyměnitelnými břitovými destičkami

Pro přípravu vzorku typu B byla použita fréza Ø 63 [mm] s vyměnitelnými břitovými destičkami. Fréza byla použita pro rychlejší a kvalitnější obrobení ploch než by bylo s frézou Ø 32 [mm].

3.3 Řezné podmínky při experimentech

Při zjišťování velikosti řezných sil u vzorků typu A, byly zvoleny řezné podmínky, které jsou zřehledněny v tabulce 4.

Počet parametrů řezných podmínek	Řezné podmínky pro zjištění řezných sil při frézování	Vzorek č.1	Vzorek č.2	Vzorek č.3	Vzorek č.4	Vzorek č.5	Vzorek č.6	Vzorek č.7	Vzorek č.8
1.	Posuv stolu frézky [mm/min]	25	25	25	25	25	25	25	25
	Otáčky frézy [1/min]	500	500	500	500	500	500	500	500
2.	Posuv stolu frézky [mm/min]	25	25	25	25	25	25	25	25
	Otáčky frézy [1/min]	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
3.	Posuv stolu frézky [mm/min]	25	25	25	25	25	25	25	25
	Otáčky frézy [1/min]	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
4.	Posuv stolu frézky [mm/min]	40	40	40	40	40	40	40	40
	Otáčky frézy [1/min]	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
5.	Posuv stolu frézky [mm/min]	55	55	55	55	55	55	55	55
	Otáčky frézy [1/min]	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Tab. 4 – Zvolené řezné podmínky pro zjištění velikosti řezných sil

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

Hĺoubka záběru 1 [mm], při frézování vzorků A, byla stejná pro všechny řezné podmínky.

Při frézování vzorků typu B, za účelem zjištění teplot při této operaci, byly zvoleny jedny řezné podmínky. Byl zvolen posuv stolu 25 [mm/min] a otáčky frézy 1000 [1/min]. Hĺoubka záběru byla 1,5 [mm].

3.4 Metodika experimentů

V podkapitole bude popsána jednotlivá metodika prováděných experimentů.

3.4.1 Metodika experimentu pro zjištění řezných sil

Zkoumané vzorky typu A nejdříve prošly přípravou a poté samotným obráběním podle daných řezných podmínek z tabulky 4. Dále se zjištěná data zpracovala a vyhodnotila. V konečné fázi byla měřena jakost obrobeného povrchu a typ vzniklých třísek při obrábění.

3.4.1.1 Příprava zkušebních vzorků typu A

Příprava zkušebních vzorků byla zahájena obroušením nečistot vzniklých při předchozí tepelné úpravě. Odebrala se přibližně vrstva široká 0,2 [mm]. Pro obdrušování nečistot byla použita úhlová bruska Narex EBU 15 G s řezným kotoučem GRINDIN 150x1,0x22,2. Dále se vzorky otřely suchým hadrem a byly připraveny pro obrábění.

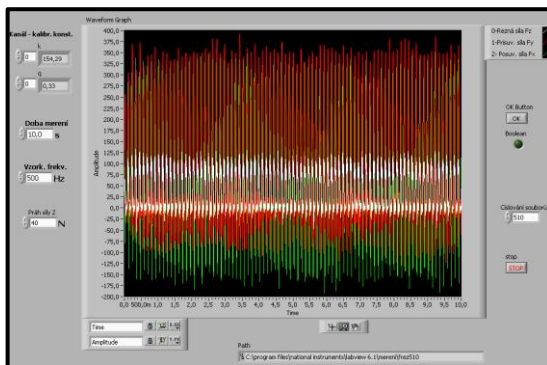


Obr. 38 – Příprava vzorku broušením úhlovou bruskou

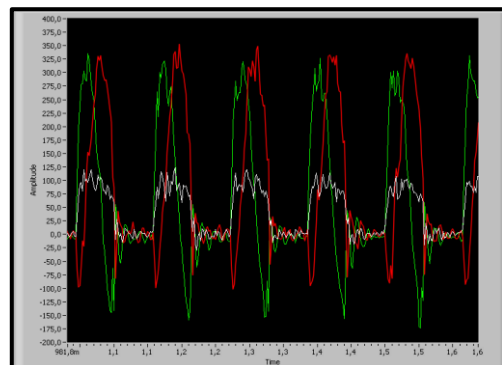
3.4.1.2 Proces frézování

Frézování probíhalo na NC frézce FNG 32 rychloupínací frézou $\varnothing 32$ [mm]. Do vřetena se upnula fréza s jednou břitovou destičkou ADEW 120308SR; 8230. V silovém grafu by totiž při záběru více než jedné břitové destičky bylo obtížné následně vyčíst příslušnou maximální sílu. Vzorek č. 1 typu A se upnul do svěraku, který byl uchycený v dynamometru Kistler na posuvném stole frézky. Na ovládacím panelu frézky byla nastavena řezná podmínka č. 1 z tabulky 4. Nástrojem se odjelo do výchozí pozice pro frézování a nastavila se hloubka záběru 1 [mm]. Dále se frézou zajelo do materiálu k ose její rotace, aby po zapnutí dynamometru byl už nástroj plně zatížen. Na dynamometru Kistler se nastavil interval snímání sil na 10 [s].

Měření sil proběhlo na pěti úsecích. Z každého úseku byl uložen jeden celkový graf (obr. 39) a z celkového grafu 5 podrobnějších silových grafů (obr. 40). Z podrobnějších grafů se dále zjistilo 5 maximálních hodnot sil v ose Y a v ose Z. Celkem tedy bylo zjištěno 125 hodnot sil pro obě dvě osy. Na grafech je síla v ose Y znázorněna červenou křivkou a síly v ose Z křivkou bílou.



Obr. 39 – Celkový graf z jednoho úseku



Obr. 40 – Podrobný silový graf

Následně se z povrchu obrobku a stolu frézky odebraly třísky, které vznikly při obrábění a uložily se do označených sáčků s parametry řezných podmínek. Frézka se dále připravila pro řeznou podmínku č. 2 tabulky 4. Najelo se na nový povrch obrobku a začalo se obrábět. Metodika obrábění a ukládání dat se opakovala. Na vzorku č. 1 typu A byly takto aplikovány všechny řezné podmínky (obr. 41). Po skončení obrábění byla vyměněna opotřebovaná břitová destička za novou a uložena pro měření jejího opotřebení. Vzorek č. 1 se vyjmul ze svěraku. Místo něj se upnul vzorek č. 2, na kterém se stejnou metodikou aplikovalo všech pět řezných podmínek. Stejným postupem obrábění a zjišťování dat se postupně obrobilo všech osm vzorků typu A.

Každých 125 naměřených hodnot se ukládalo do programu Excel. Pomocí aritmetického průměru se z prvních 100 hodnot u každého měření zjistila výsledná síla, která bude uvedena ve výsledcích. S použitím naprogramovaného programu Excel se dále zjistil konfidenční interval. Tento interval, při ideálně stejných měřicích podmínkách, na 95 % zaručuje shodu naměřených hodnot. Konfidenční interval byl počítán jen ze 100 hodnot kvůli malé kapacitě programu.



Obr. 41 – Obrábění vzorku 5. řeznými podmínkami podle tabulky 4

3.4.1.3 Opatření vyměnitelných břitových destiček

Mezi základní druhy opotřebení vyměnitelných břitových destiček (dále jen VBD) patří abraze, adheze difúze, oxidace, plastická deformace a křehký lom.

U abraze vzniká brusný otěr vlivem tvrdých mikročástic v obráběném materiálu nebo vlivem tvrdých mikročástic uvolňujících se z nástroje.

U adheze vzniká okamžité porušování mikrosvarových spojů na stýkajících se vrcholcích nerovností čela a třísky, v důsledku vysokých tlaků a teplot nebo kovově čistých styčných povrchů.

Difúzí se rozumí přemísťování mikročástic z obráběného do nástrojového materiálu a opačně. Tím vznikají nežádoucí chemické sloučeniny ve struktuře nástroje.

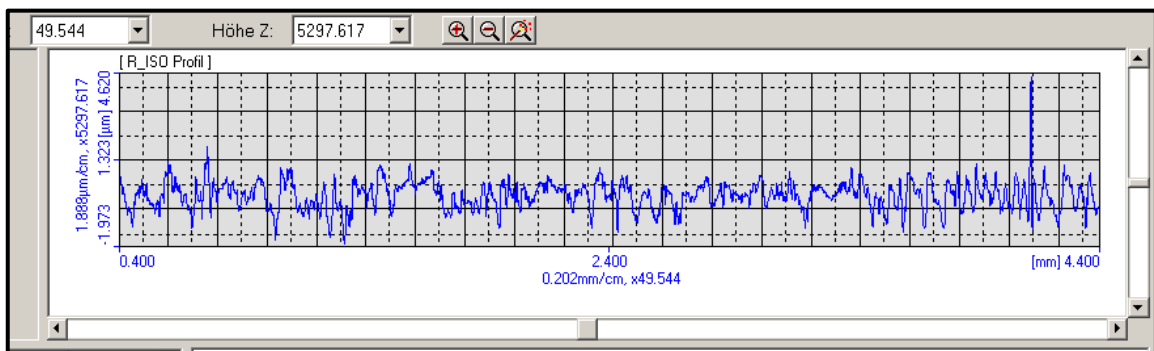
Plastická deformace má za následek vysoké tepelné a mechanické zatížení. Ve výsledku se toto opotřebení může projevit v lavinovém opotřebení.

Křehký lom má za důsledek vysokého nárůstu řezné síly a mechanického zatížení. Může se projevit na přerušovaném řezu, nebo jako nehomogenita a vměstky v obráběném materiálu.

Všechny tyto druhy opotřebení se u osmi VBD destiček zkoumala. Jedna destička byla použita na obrobení přesně jednoho vzorku typu A. Pořadí označení destiček odpovídá pořadí označení vzorků. Hodnotil se parametr opotřebení hlavního ostří VBD. Měření se provádělo na dílenském mikroskopu Zeiss, který má v okuláru přesný nitkový kříž. Zkoumaná destička se vždy upnula do malého svěráku a položila na pracovní stůl mikroskopu.

3.4.1.4 Zkoumání drsnosti obrobené plochy

Drsnost povrchu obrobené plochy se měřila u všech zvolených řezných podmínek a u všech vzorků typu A. Z každého povrchu bylo získáno 15 hodnot parametru Ra , Rz , Rt . Z těchto hodnot se vybralo prvních deset, ze kterých se aritmetickým průměrem získala výsledná hodnota a ze kterých se vypočítal konfidenční interval. Z průměrů a konfidenčních intervalů byly vytvořeny grafy, které jsou uvedeny ve výsledcích. K měření byl použit Laboratorní profiloměr Mitutoyo se softwarem Surfpack- SV Verze 1.100. Software vyhodnotil zmíněné parametry drsnosti Ra , Rz , Rt a schematicky vykreslil měřený povrch.



Obr. 42 – Názorná ukázka vykreslení měřeného programu od softwaru Surfpack SV

3.4.1.5 Porovnávání vzniklých třísek

Při frézování všech vzorků a při frézování každým z pěti parametrů řezných podmínek, byly sbírány vzniklé třísky. Třísky se pak z každého materiálu porovnávaly mezi sebou pro stejný parametr řezných podmínek. Hodnotil se jejich tvar, druh a ekonomické výhody.

3.4.2 Metodika experimentu pro zjištění velikosti tepla

Pro tuto metodiku se použily vzorky typu B, které díky svým nežádoucím rozměrům byly náročné na přípravu. Byla na nich provedena operace frézování, navrtávání, vrtání, řezání a navařování termočlánků. Podrobný popis experimentu je v dalších podkapitolách.

3.4.2.1 Příprava zkušebních vzorků typu B

Vzorky typu B mají čtvercový profil s výchozími rozměry 17 x 15 [mm] a délku 192 [mm]. Tato délka je pro měření teplot příliš velká a měření teploty by bylo nepřesné, proto se zvolila délka jen 36 [mm].

Nejprve se u daného polotovaru (hranolu) potřebovalo dosáhnout přesného rozměru výšky b , aby se do vzorku mohly přesně aplikovat termočlánky typu K. Proto se rozměr dlouhý 17 milimetrů obrobil na 14 milimetrů. Tento rozměr byl vyžadován pro jednoduchost u všech zkoumaných vzorku typu B. Pro snížení nákladů a času při obrábění byly obráběny dva až tři vzorky současně. Obrábění probíhalo na NC frézce FNG 32 frézou průměru 63 [mm] s vyměnitelnými břitovými destičkami (obr. 43). Vzorky se obrobily nejdříve z jedné strany, na které byla odebrána vrstva přibližně 1 [mm] a z druhé strany, kde se odebraly zbylé 2 [mm]. Dále se u všech vzorků pilováním zarovnal všechny hrany, které byly po frézování ostré. Pilování se provádělo v dílenském svěráku pilníkem na ocel (obr. 44).



Obr. 43 – Příprava vzorků typu B



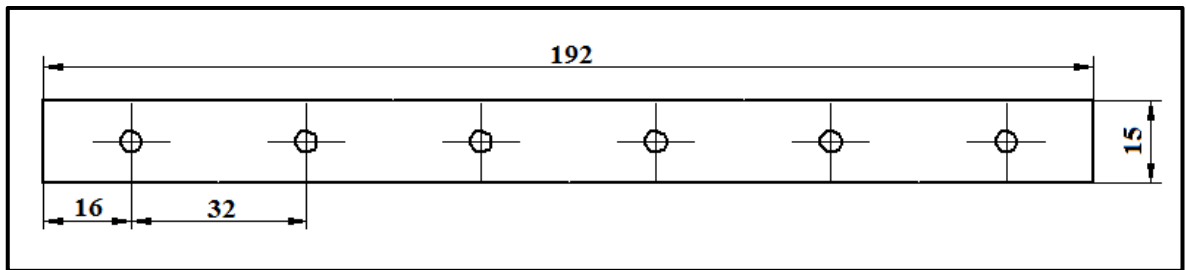
Obr. 44 – Pilování vzorků

Tři vzorky se znovu současně upnuly do svěráku NC frézky. Ve sklíčidle frézky bylo upnuto sklíčidlo s navrtávákem. Každý vzorek byl navrtaný do předem frézované plochy (obr. 45). Navrtání proběhlo v místech viditelných na obrázku 46.

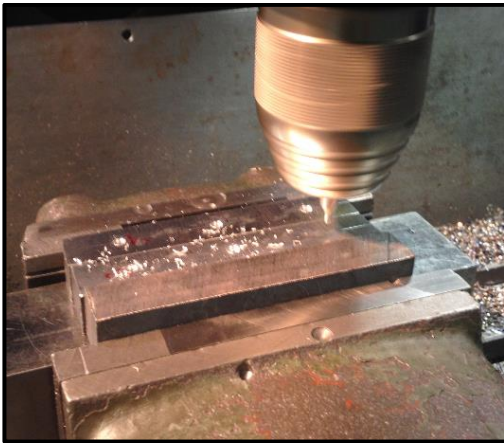
Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

Po navrtání se ve sklíčidle vyměnil navrtávák za vrták $\varnothing 4$ [mm]. Vrtákem se do navrtaných děr vytvořila díra hluboká 12 [mm] (obr. 47). Po vrtání se ve sklíčidle vyměnil vrták za dvoubřitou frézu z rychlořezné oceli $\varnothing 4$ [mm]. Frézou se zarovnal dno díry po předešlém vrtání, aby se na něm lépe vytvořil svar při navařování termočlánku typu K. Frézovalo se do přesné hloubky 12,2 [mm].

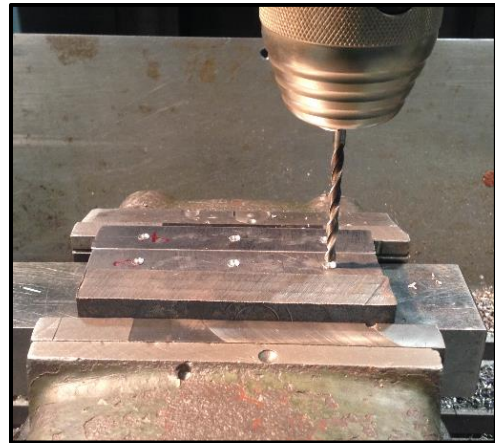
S takto vyfrézovanými dírami byl dále každý vzorek rozřezaný na šest konečných vzorků typu B. Rozměry vzorků jsou uvedeny na obrázku 18. Řezání probíhalo na pásové pile typu ARG 300 Plus. Po procesu řezání byly u všech vzorků znovu opilovány potřebné hrany. Opilování probíhalo v dílenském svěráku pilníkem na ocel.



Obr. 46 – Umístění děr na nenařezaném vzorku



Obr. 45 – Navrtávání zkušebních vzorků



Obr. 47 – Vrtání zkušebního vzorku

Takto obrobené vzorky byly dále připraveny k navařování termočlánků typu K. Termočlánky se navařovaly na dno děr ve vzorcích. U této operace bylo důležité, aby se elektricky nabytý termočlánek, při zavádění do díry vzorku, nedotkl stěny díry. Došlo by totiž ihned k jeho navaření do nežádoucího místa. Proto se na stěny děr vzorků zasunuly elektrické izolanty, v podobě plastových brček dlouhých přibližně 8 – 10 [mm].

K navařování termočlánků byla použita kondenzátorová svářečka, která se pro jeden výboj sváření nabíjela po dobu 30 [s]. Po navaření se vždy tři vzorky sériově upnuly do svěráku frézky FNG 32. Počet obráběných vzorků, při jednom chodu frézky, byl limitovaný technickými parametry svěráku. Po upnutí vzorků se volný konec termočlánků zapojil do svorkovnice a ta dále byla připojena do sběrnice. Ve sběrnici při měření docházelo k převodu [mV] na [°C] a data pak dále pokračovala do provozní jednotky PP65. Jako nástroj byla použita fréza Ø 32 [mm] s jednou vyměnitelnou břitovou destičkou s označením ADEW 120308SR; 8230. Pro obrábění byla zvolena pouze jedna řezná podmínka, a to číslo 2 z tabulky 4. Hloubka záběru frézky se nastavila na 1,5 [mm]. Proto mezi vznikajícím teplem na nástroji a termočlánkem byla vzdálenost 0,3 [mm]. Termočlánek tak byl blízko místa řezu a spolehlivě udával velikost tepla.

Provozní jednotka se vždy zapnula před spuštěním posuvu stolu frézky. Po skončení frézování se vzorky nechaly přibližně 3 minuty vychladnout a poté se jednotka vypnula. Data z jednotky byly transformovány na flash disk. Dále byla z šesti dat pro šest vzorků každého materiálu vyřazena jedna nejnižší hodnota. Dále byly z hodnot vypočteny konfidenční intervaly a vytvořeny grafy.



Obr. 48 – Frézování třech vzorků typu B s termočlánky typu K

3.5 Vyhodnocení výsledků

V této podkapitole je zanesen souhrn všech výsledků měření. Jedná se o výsledky z experimentu:

- a) zjištění řezných sil ve směru osy Y při frézování vzorků A u pěti řezných podmínek,
- b) zjištění řezných sil ve směru osy Z při frézování vzorků A u pěti řezných podmínek,
- c) vyhodnocení parametrů drsnosti R_a , R_z a R_t u všech obrobených ploch vzorků typu A po obrábění pěti řeznými podmínkami,
- d) vyhodnocení velikosti opotřebení vyměnitelných břitových destiček,
- e) porovnání vzniklých třísek mezi vzorky typu A při jednotlivých řezných podmínkách
- f) zjištění velikosti vzniklého tepla při obrábění vzorků typu B jedněmi řeznými podmínkami.

3.5.1 Zjištění řezných sil ve směru osy Y a Z

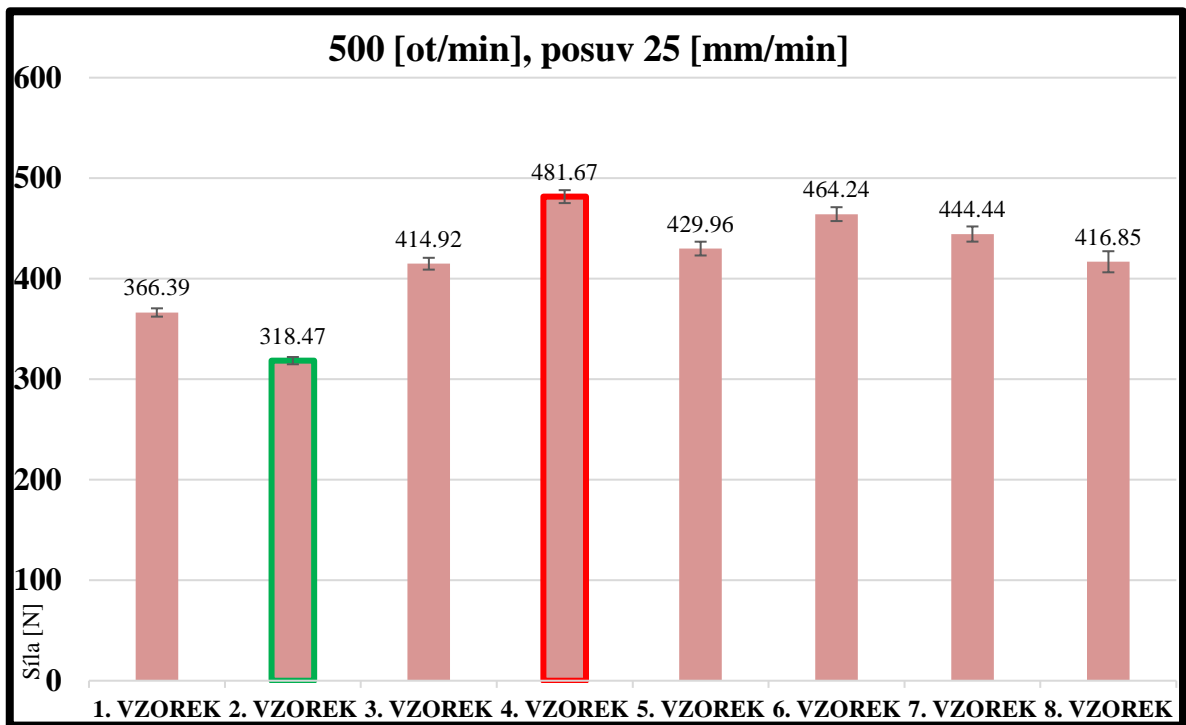
Tyto síly byly měřeny na všech vzorkách typu A se zvolnými řeznými podmínkami z tabulky 4. Například při frézování prvními řeznými podmínkami z tabulky 4 u prvního vzorku typu A, bylo po skončení obrábění z 20 grafů vyčteno dohromady 100 hodnot. Z těchto hodnot se vytvořil aritmetický průměr a vypočítal konfidenční interval. Jednotlivé řezné podmínky pak byly pro každý materiál porovnávány mezi sebou. Nejprve byly zpracovány hodnoty sil pro osu Y a poté hodnoty pro osu Z .

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakosť povrchů obrobků při technologii frézování

Síla v ose Y pro 1. řezné podmínky s posuvem 25 [mm/min] a s otáčkami 500 [1/min] pro 8 vzorků typu A

500 [ot/min] posuv 25 [mm/min]	1. VZOREK		2. VZOREK		3. VZOREK		4. VZOREK		5. VZOREK		6. VZOREK		7. VZOREK		8. VZOREK	
	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.
SÍLA F_y	366,39	4,12	318,47	3,61	414,92	5,88	481,67	6,44	429,96	6,86	464,24	6,91	444,44	7,55	416,85	10,49

Tab. 5 – Řezná síla F_y při posuvu 25 [mm/min] a otáčkách 500 [1/min]



Graf 1 – Řezná síla F_y při posuvu 25 [mm/min] a otáčkách 500 [1/min]

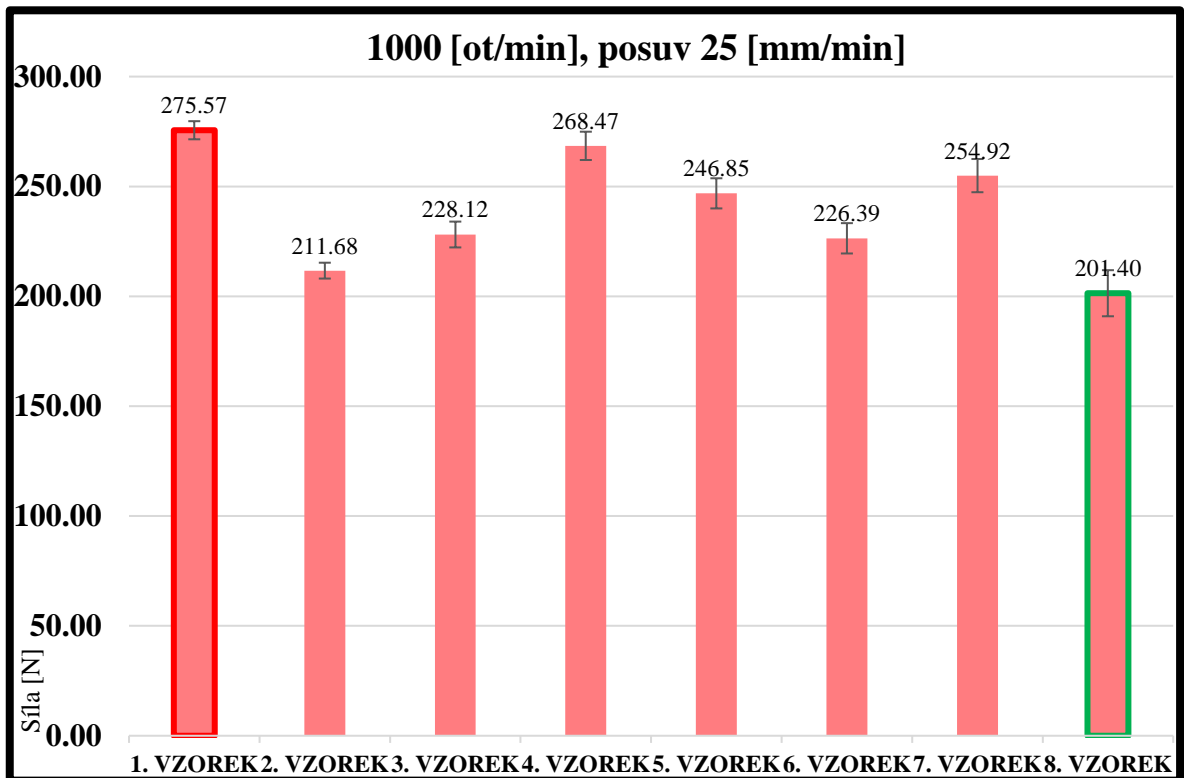
Z grafu 1 a tabulky 5 je patrné, že 2. vzorek, který byl jednou normalizačně žíhaný, vyžaduje pro dané řezné parametry nejnižší řeznou sílu. Naopak 4. vzorek s 10 žíhacími cykly, vyžaduje pro dané řezné podmínky nejvyšší řezné síly.

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

Síla v ose Y pro 2. řezné podmínky s posuvem 25 [mm/min] a s otáčkami 1000 [1/min] pro 8 vzorků typu A

1000 [ot/min] posuv 25 [mm/min]	1. VZOREK		2. VZOREK		3. VZOREK		4. VZOREK		5. VZOREK		6. VZOREK		7. VZOREK		8. VZOREK	
	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.
SÍLA Fy	275,57	10,91	211,68	4,94	228,12	5,37	268,47	5,58	246,85	5,11	226,39	5,35	254,92	5,66	201,40	5,65

Tab. 6 – Řezná síla Fy při posuvu 25 [mm/min] a otáčkách 1000 [1/min]



Graf 2 – Řezná síla Fy při posuvu 25 [mm/min] a otáčkách 1000 [1/min]

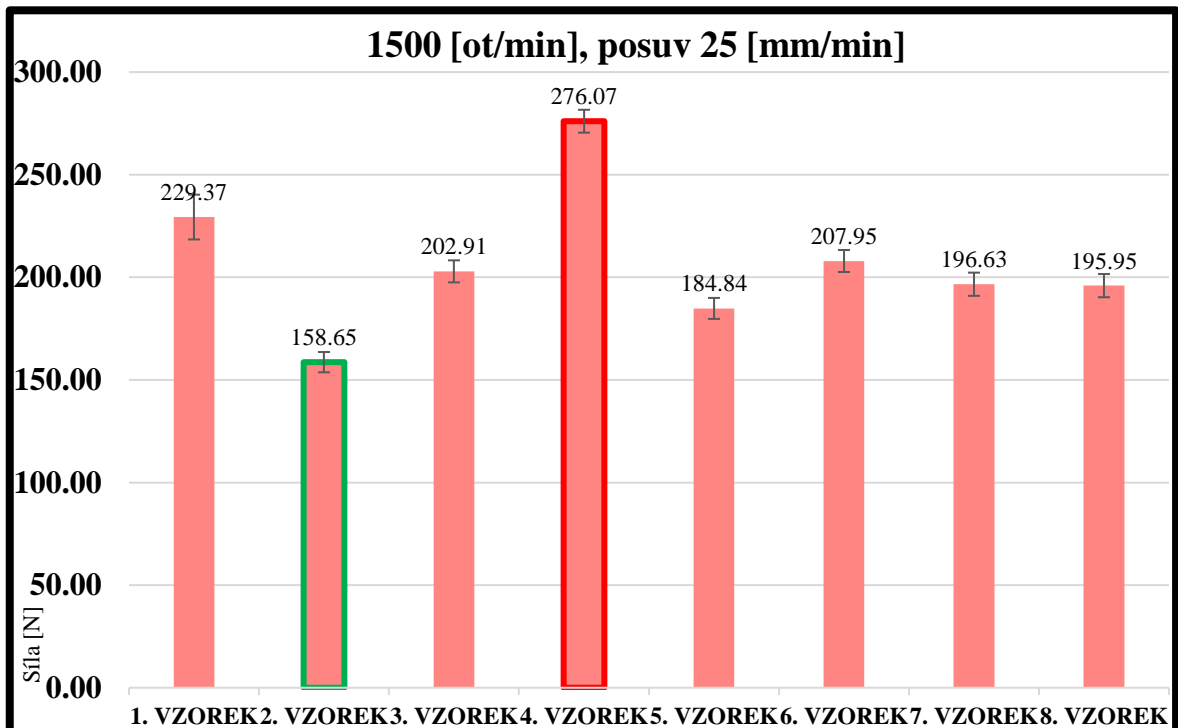
Z tabulky 6 a grafu 2 je patrné, že 1. vzorek při daných řezných podmínkách vyžaduje nejvyšší řeznou sílu. Naopak 8. vzorek s počtem 30 žihacích cyklů vyžaduje pro dané řezné podmínky nejnižší řeznou sílu. Porovnáním hodnot z tabulky 5 s hodnotami z tabulky 6 je patrné, že při dvojnásobně vyšších otáčkách a stejném posuvu, velikost řezné síly klesne přibližně o 25 - 48 [%]. Záleží na druhu vzorku. Je to způsobeno tím, že při stejné velikosti posuvu a vyšších otáčkách frézy, břitová destička odebírá menší průřez třísky.

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

Síla v ose Y pro 3. řezné podmínky s posuvem 25 [mm/min] a s otáčkami 1500 [1/min] pro 8 vzorků typu A

1500 [ot/min] posuv 25 [mm/min]	1. VZOREK		2. VZOREK		3. VZOREK		4. VZOREK		5. VZOREK		6. VZOREK		7. VZOREK		8. VZOREK	
	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.
SÍLA Fy	229,37	13,70	158,65	5,96	202,91	11,83	276,07	17,26	184,84	10,52	207,95	12,51	196,63	10,45	195,95	7,47

Tab. 7 – Řezná síla Fy při posuvu 25 [mm/min] a otáčkách 1500 [1/min]



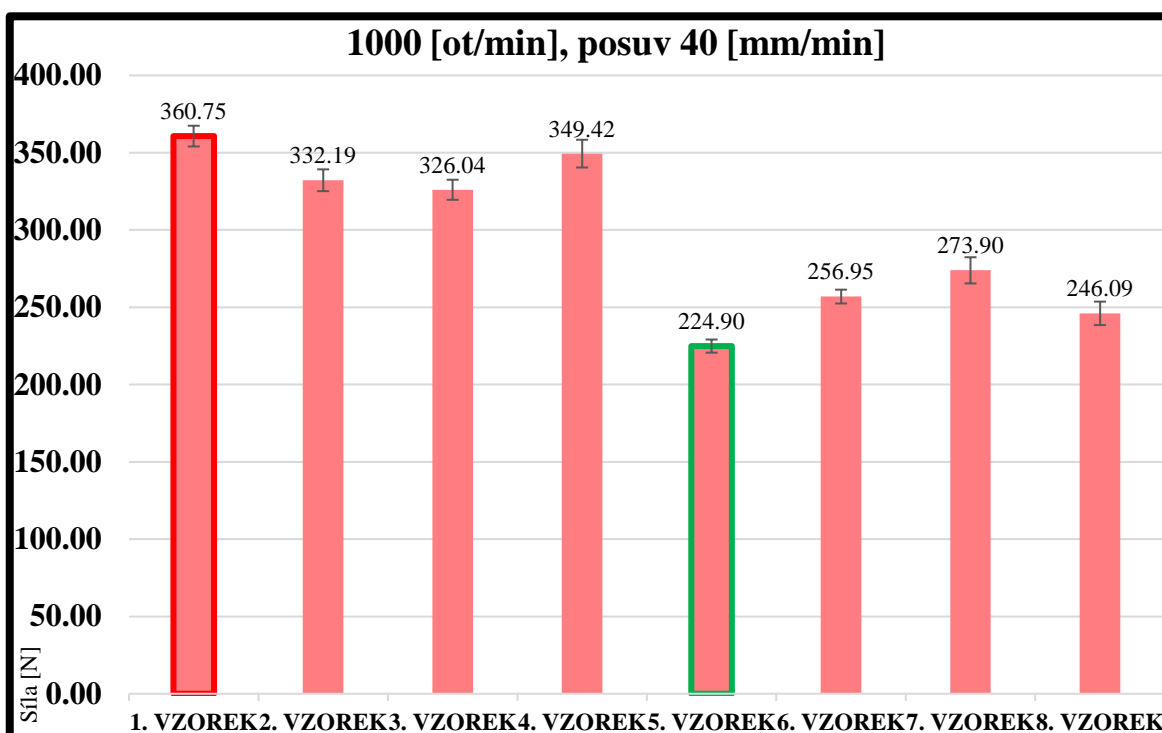
Graf 3 – Řezná síla Fy při posuvu 25 [mm/min] a otáčkách 1500 [1/min]

Z tabulky č. 7 je zřejmé, že maximální a minimální velikost vzniklé řezné síly je u stejných vzorků jako v tabulce 5 pro 1. řezné podmínky. Řezná síla je tedy u 2. vzorku nejnižší a u 4. vzorku nejvyšší. Rozdíl je ale v tom, že se řezná síla u 2. vzorku zmenšila přibližně o 49,8 [%]. U 4. vzorku se hodnota řezné síly zmenšila přibližně o 57,3 [%] oproti 1. řezným podmínkám. Oproti 2. řezné podmínce se ale síla zvýšila přibližně o 2,8 [%].

Síla v ose Y pro 4. řezné podmínky s posuvem 40 [mm/min] a s otáčkami 1000 [1/min] pro 8 vzorků typu A

1000 [ot/min] posuv 40 [mm/min]	1. VZOREK		2. VZOREK		3. VZOREK		4. VZOREK		5. VZOREK		6. VZOREK		7. VZOREK		8. VZOREK	
	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.
SÍLA Fy	360,75	6,71	332,19	7,05	326,04	6,49	349,42	8,97	224,90	4,26	256,95	4,46	273,90	8,47	246,09	7,59

Tab. 8 – Řezná síla Fy při posuvu 40 [mm/min] a otáčkách 1000 [1/min]



Graf 4 – Řezná síla Fy při posuvu 40 [mm/min] a otáčkách 1000 [1/min]

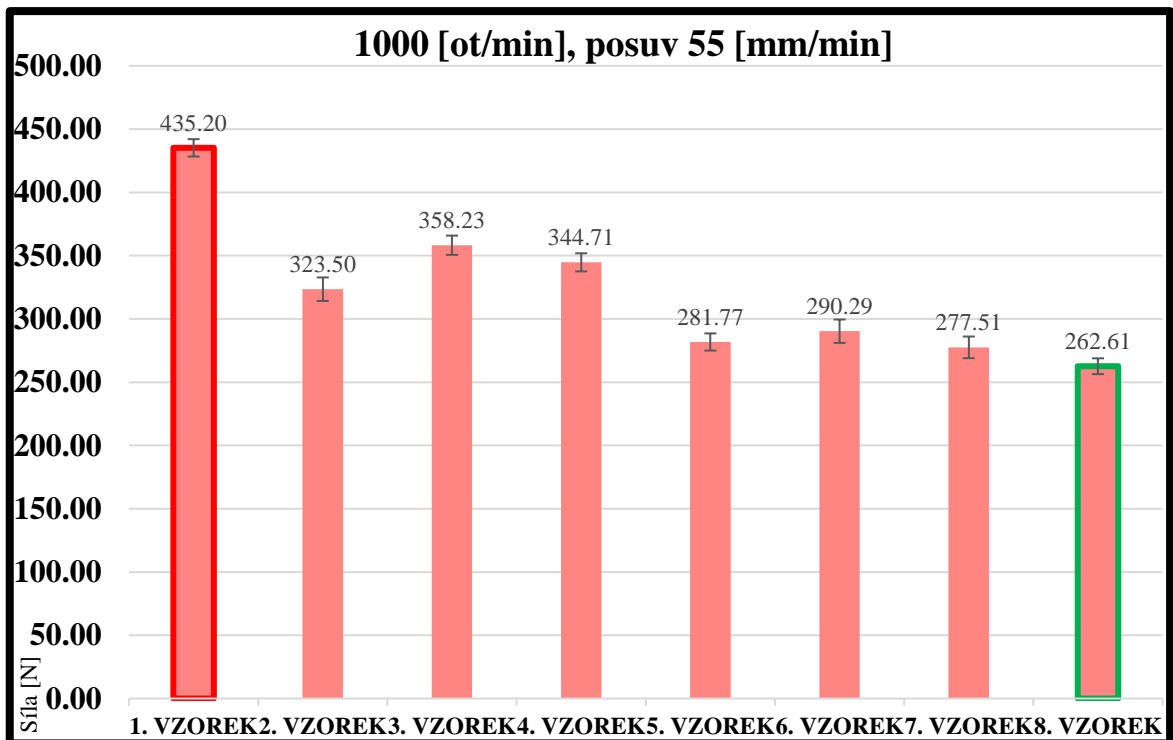
Ve srovnání s velikostmi řezných sil v tabulce 6 s řeznými silami uvedených v tabulce 8 je zřejmé, že velikost složek řezných sil Fy u 7 vzorků roste. Klesá jen u vzorku č. 5 přibližně o 8,9 [%], a proto má vzorek nejnižší hodnotu řezné síly pro dané měření. Z toho vyplývá, že zvýšení posuvu o 60 [%] má na každý vzorek jiný vliv. **To dokazuje, že opakované tepelné zpracování má vliv na jednotlivé řezné podmínky.** Kdyby nemělo vliv, tak se všechny materiály chovají podobně. Maximální řezná síla je nejvyšší u vzorku č. 1.

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

Síla v ose Y pro 5. řezné podmínky s posuvem 55 [mm/min] a s otáčkami 1000 [1/min] pro 8 vzorků typu A

1000 [ot/min] posuv 55 [mm/min]	1. VZOREK		2. VZOREK		3. VZOREK		4. VZOREK		5. VZOREK		6. VZOREK		7. VZOREK		8. VZOREK	
	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.
SÍLA F _y	435,20	6,85	323,50	9,28	358,23	7,61	344,71	7,16	281,77	6,77	290,29	9,25	277,51	8,55	262,61	6,25

Tab. 9 – Řezná síla F_y při posuvu 55 [mm/min] a otáčkách 1000 [1/min]



Graf 5 – Řezná síla F_y při posuvu 45 [mm/min] a otáčkách 1000 [1/min]

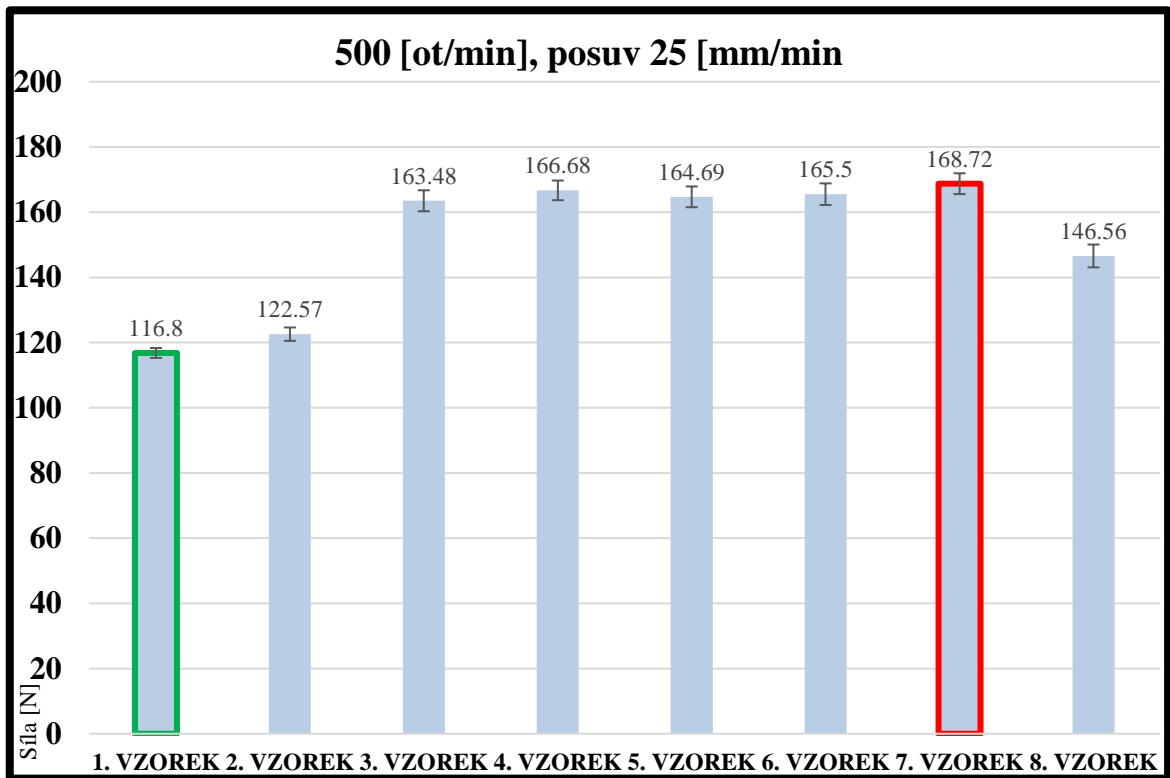
U této řezné podmínky je zřejmé, že oproti 4. řezné podmínce hodnoty řezných sil u vzorku č. 1, 3, 5, 6, 7 a 8 jsou větší. Nižší jsou pouze u vzorků č. 2 a 4. Maximální síla je stále u 1. vzorku a je přibližně větší o 20,6 [%] než u 4. řezných podmínek. Minimální síla je u 8. vzorku a je přibližně o 6,7 [%] větší, než u 4. řezné podmínky.

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

Síla v ose Z pro 1. řezné podmínky s posuvem 25 [mm/min] a s otáčkami 500 [1/min] pro 8 vzorků typu A

500 [ot/min] posuv 25 [mm/min]	1. VZOREK		2. VZOREK		3. VZOREK		4. VZOREK		5. VZOREK		6. VZOREK		7. VZOREK		8. VZOREK	
	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.
SÍLA Fz	116,80	1,52	122,57	2,05	163,48	3,22	166,68	3,02	164,69	3,18	165,50	3,32	168,72	3,19	146,56	3,50

Tab. 10 – Řezná síla Fz při posuvu 25 [mm/min] a otáčkách 500 [1/min]



Graf 6 – Řezná síla Fz při posuvu 25 [mm/min] a otáčkách 500 [1/min]

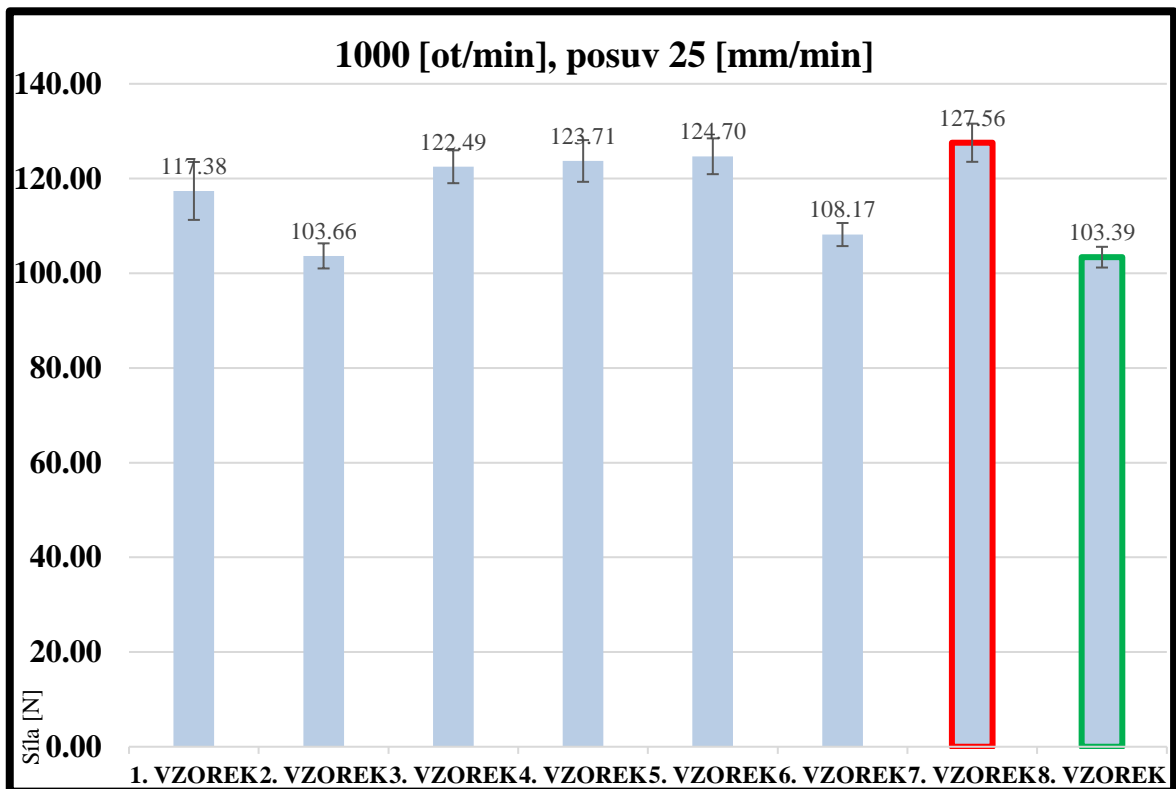
Pro 1. řeznou podmínku je síla F_z oproti síle F_y výrazně menší. Znamená to, že při 1. řezné podmínce je hlavní řezná síla F rozložena více do směru osy Y . Nejnižší řezná síla je u vzorku č. 1 a naopak nejvyšší u vzorku č. 7.

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

Síla v ose Z pro 2. řezné podmínky s posuvem 25 [mm/min] a s otáčkami 1000 [1/min] pro 8 vzorků typu A

1000 [ot/min] posuv 25 [mm/min]	1. VZOREK		2. VZOREK		3. VZOREK		4. VZOREK		5. VZOREK		6. VZOREK		7. VZOREK		8. VZOREK	
	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.
SÍLA Fz	117,38	6,11	103,66	2,65	122,49	3,48	123,71	4,41	124,70	3,78	108,17	2,44	127,56	4,03	103,39	2,19

Tab. 11 – Řezná síla Fz při posuvu 25 [mm/min] a otáčkách 1000 [1/min]



Graf 7 – Řezná síla Fz při posuvu 25 [mm/min] a otáčkách 1000 [1/min]

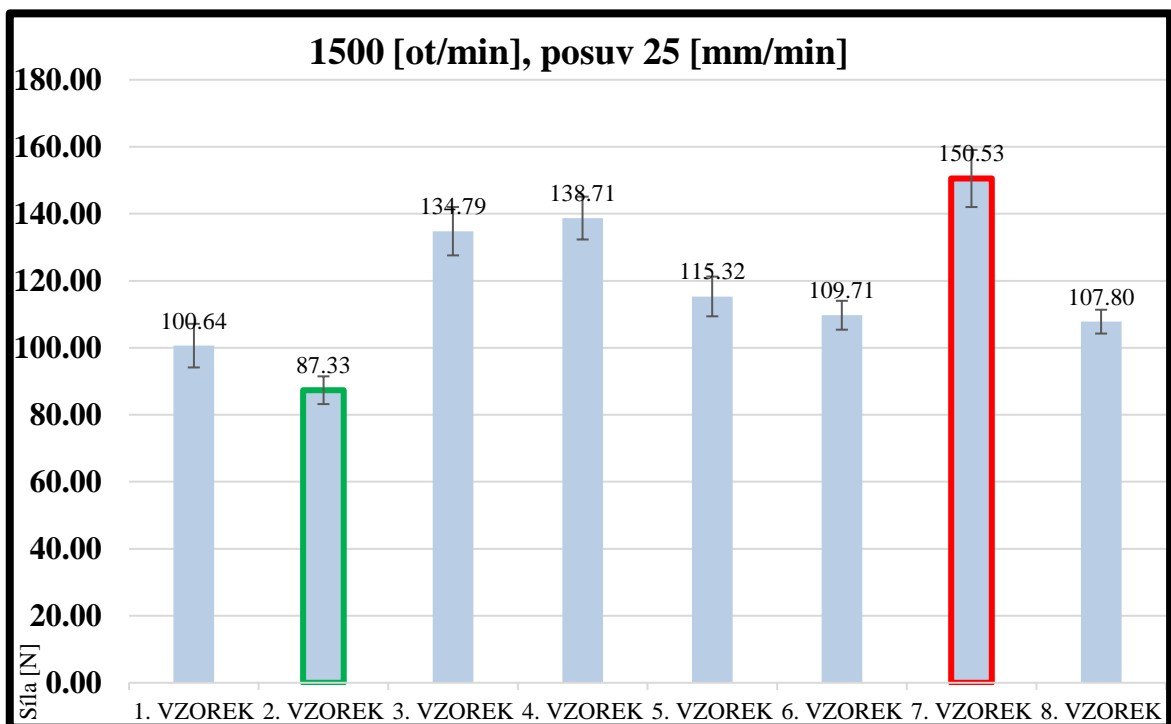
Z tabulky 11 je patrné, že nejvyšší řezná síla byla naměřena také u vzorku č. 7. Zajímavostí je, že u všech vzorků, kromě 1. vzorku, síla klesla přibližně o 15 – 35 [%]. U prvního vzorku naopak síla vzrostla přibližně o 0,5 [%].

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

Síla v ose Z pro 3. řezné podmínky s posuvem 25 [mm/min] a s otáčkami 1500 [1/min] pro 8 vzorků typu A

1500 [ot/min] posuv 25 [mm/min]	1. VZOREK		2. VZOREK		3. VZOREK		4. VZOREK		5. VZOREK		6. VZOREK		7. VZOREK		8. VZOREK	
	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.
SÍLA Fz	100,64	6,51	87,33	4,14	134,79	7,21	138,71	6,39	115,32	5,93	109,71	4,31	150,53	8,52	107,80	3,56

Tab. 12 – Řezná síla Fz při posuvu 25 [mm/min] a otáčkách 1500 [1/min]



Graf 8 – Řezná síla Fz při posuvu 25 [mm/min] a otáčkách 1500 [1/min]

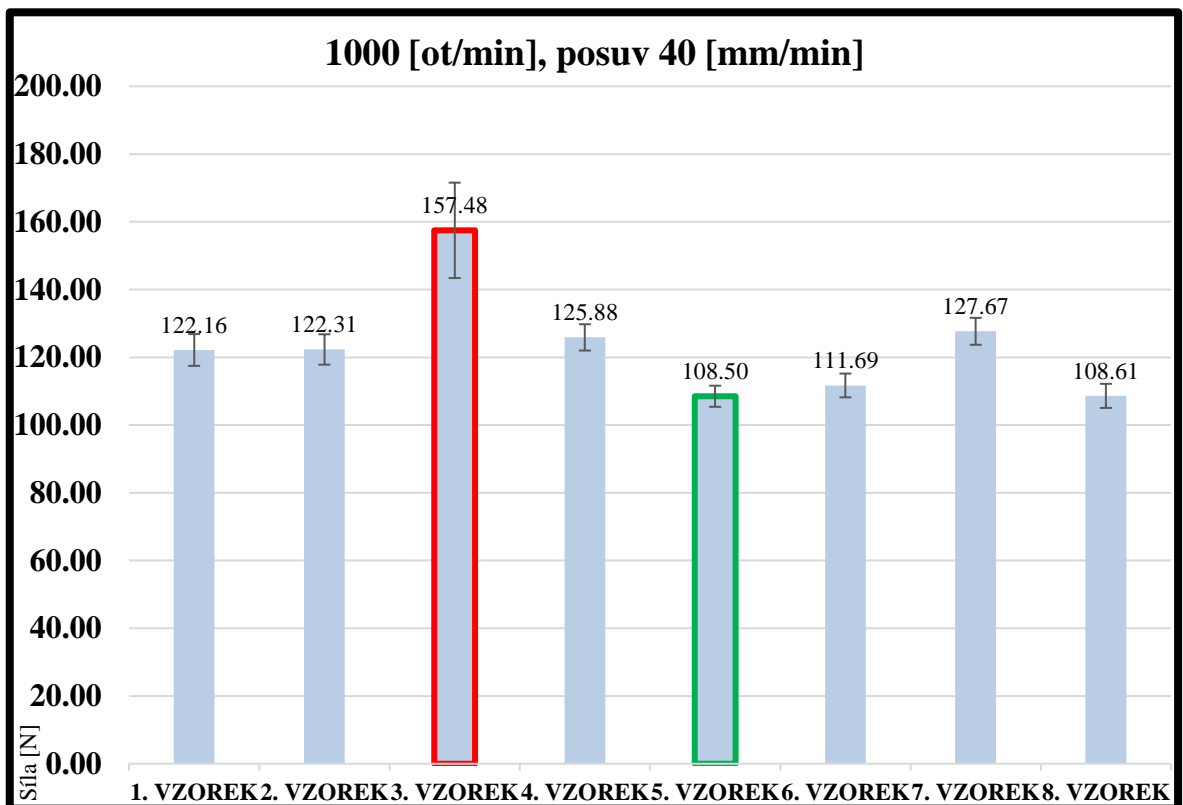
U 3. Řezné podmínky a u složky řezné síly F_z nastává další zajímavá situace. Oproti složce řezné síly F_y , u které se při 3. řezné podmínky naměřené hodnoty stále zmenšovaly, se zde síly F_z zmenšují pouze u 1. 2. a 5. vzorku. U zbylých pěti vzorků se síly zvětšují mnohdy až o 18 [%]. Je to způsobeno tím, že se hlavní řezná síla F , při zvětšujících se otáčkách frézy, stále více rozkládá ze složky F_y do složky F_z . Maximální naměřená síla zůstává u 7. vzorku. Minimální síla byla naměřena u 2. vzorku, kde se síla se zvětšujícími otáčkami frézy stále zmenšuje.

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

Síla v ose Z pro 4. řezné podmínky s posuvem 40 [mm/min] a s otáčkami 1000 [1/min] pro 8 vzorků typu A

1000 [ot/min] posuv 40 [mm/min]	1. VZOREK		2. VZOREK		3. VZOREK		4. VZOREK		5. VZOREK		6. VZOREK		7. VZOREK		8. VZOREK	
	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.
SÍLA Fz	122,16	4,69	122,31	4,49	157,48	14,08	125,88	3,88	108,50	3,12	111,69	3,51	127,67	3,98	108,61	3,56

Tab. 13 – Řezná síla Fz při posuvu 40 [mm/min] a otáčkami 1000 [1/min]



Graf 9 – Řezná síla Fz při posuvu 40 [mm/min] a otáčkách 1000 [1/min]

Z tabulky 13 je patrné, že se hodnoty složek řezných sil, oproti hodnotám v tab. 11, stále zvětšují. Jen u vzorku č. 7 je velikost řezné síly skoro totožná a u vzorku č. 5 naopak klesla přibližně o 13 [%]. Tím se stala minimální silou pro dané měření. Maximální řezná síla byla naměřena u vzorku č. 3 a oproti řezné síle v tab. 11 se zvýšila o 28 [%].

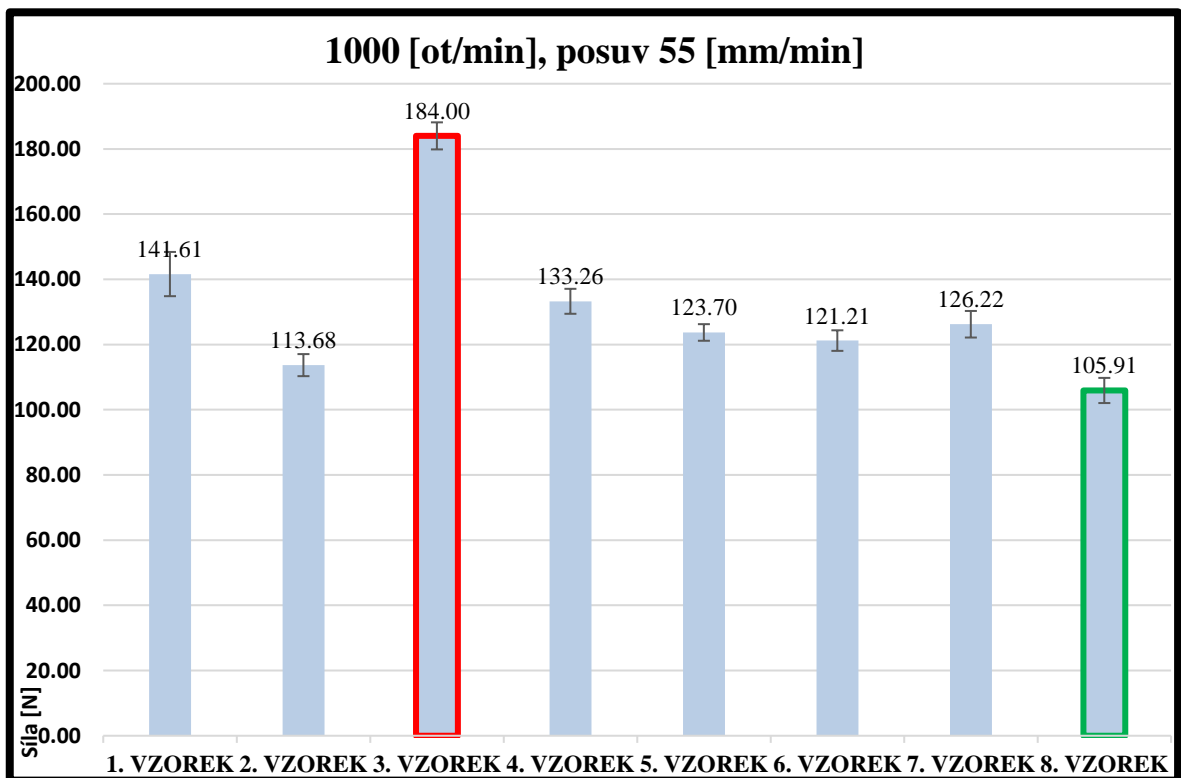
Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

Síla v ose Z pro 5. řezné podmínky s posuvem 55 [mm/min] a s otáčkami

1000 [1/min] pro 8 vzorků typu A

1000 [ot/min] posuv 55 [mm/min]	1. VZOREK		2. VZOREK		3. VZOREK		4. VZOREK		5. VZOREK		6. VZOREK		7. VZOREK		8. VZOREK	
	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.	SÍLA	K.I.
SÍLA Fz	141,61	6,78	113,68	3,38	184,00	4,15	133,26	3,83	123,70	2,54	121,21	3,15	126,22	4,07	105,91	3,86

Tab. 14 – Řezná síla Fz při posuvu 55 [mm/min] a otáčkách 1000 [1/min]



Graf 10 – Řezná síla Fz při posuvu 55 [mm/min] a otáčkách 1000 [1/min]

Pro 5. řezné podmínky byla naměřena největší hodnota řezné síly u vzorku č. 3. Oproti 4. řezným podmínkám stoupla o 16 [%]. Naopak minimální hodnota byla naměřena znovu u vzorku č. 8, jak tomu bylo u 2. řezné podmínky. Oproti 2. řezné podmínce hodnota stoupla ale jen přibližně o 2,4 [%]. Oproti 4. řezné podmínce pak naopak klesla přibližně o 2,49 [%].

Dílčí závěr

U posuvové složky řezné síly F_y je z tabulky 5 a tabulky 6 patrné, že při zvýšení otáček o 100 [%] se síla zmenší u všech osmi zkoumaných materiálů v průměru o 42,66 [%]. Dále je z tabulky 7 zřejmé, že se při zvýšením otáček o 200 [%], ze základních 500 [ot/min], u některých vzorků síla dále nepatrně zmenší. Například ale u vzorku č. 4 se síla naopak nepatrně zvýší přibližně o 2,8 [%]. Podle toho usuzuji, že by se řezné síly, při dalším zvyšování otáček, začaly u každého vzorku pozvolna zvyšovat. To dokazuje fakt, že opakované tepelné zpracování vzorků má vliv na velikosti řezných sil při obrábění.

3.5.2 Porovnání a vyhodnocení drsnosti povrchu

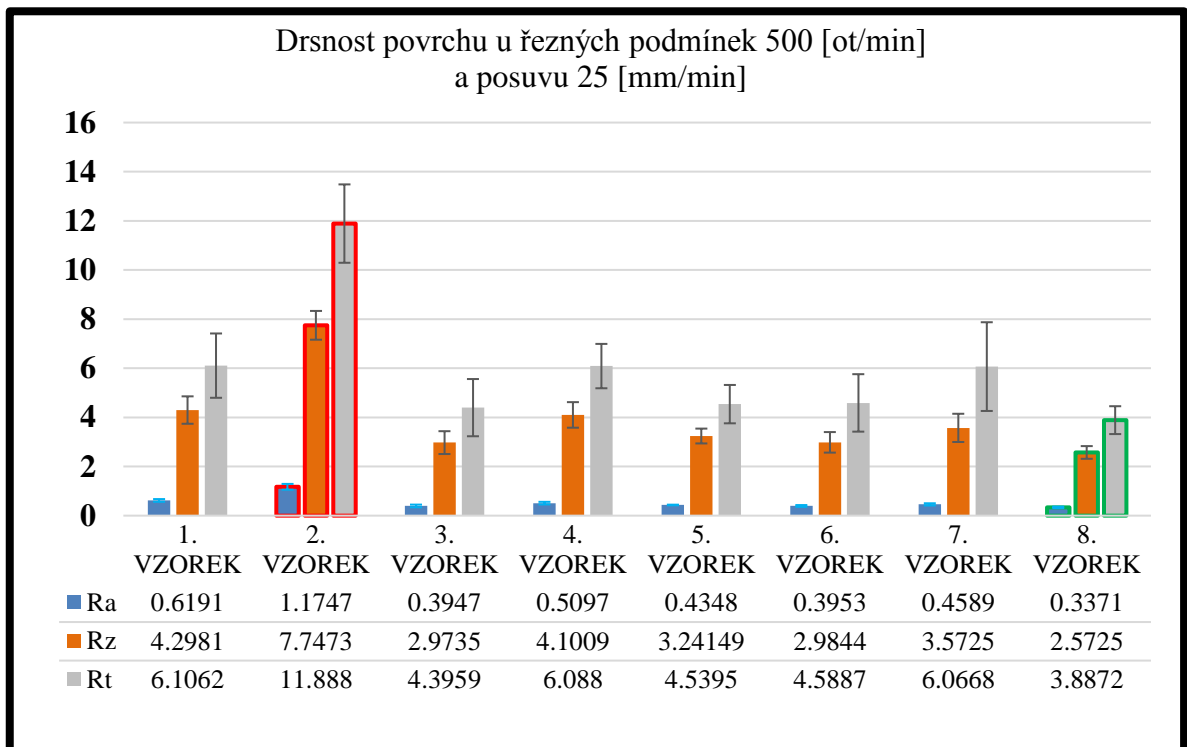
V této podkapitole budou porovnávány naměřené parametry drsností R_a , R_z a R_t , které jsou uváděny v [μm]. Parametry byly měřeny na každém vzorku typu A a pro každou z pěti řezných podmínek. Přesně definované řezné podmínky jsou v tabulce 4. Z každého obrobeného povrchu bylo zjištěno pomocí profiloměru Mitutoyo a programu Surfpack 15 hodnot parametrů drsnosti R_a , R_z a R_t . Jejich průměry budou uvedeny v následujících tabulkách.

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakosť povrchů obrobků při technologii frézování

Hodnoty naměřených drsností pro 1. řezné podmínky

Hodnoty naměřených drsností povrchu Ra, Rt, Rz			1. VZOREK		2. VZOREK		3. VZOREK		4. VZOREK		5. VZOREK		6. VZOREK		7. VZOREK		8. VZOREK	
ot. 500 [ot/min] posuv 25 [mm/min]	Ra	K. I.	0,619	0,055	1,175	0,118	0,395	0,055	0,51	0,053	0,435	0,013	0,395	0,036	0,459	0,045	0,337	0,031
	Rz	K. I.	4,298	0,558	7,747	0,586	2,974	0,465	4,101	0,52	3,241	0,302	2,984	0,418	3,573	0,574	2,573	0,258
	Rt	K. I.	6,106	1,309	11,89	1,595	4,396	1,164	6,088	0,903	4,54	0,781	4,589	1,17	6,067	1,806	3,887	0,567

Tab. 15 – Parametry drsnosti Ra, Rz a Rt pro 1. řezné podmínky



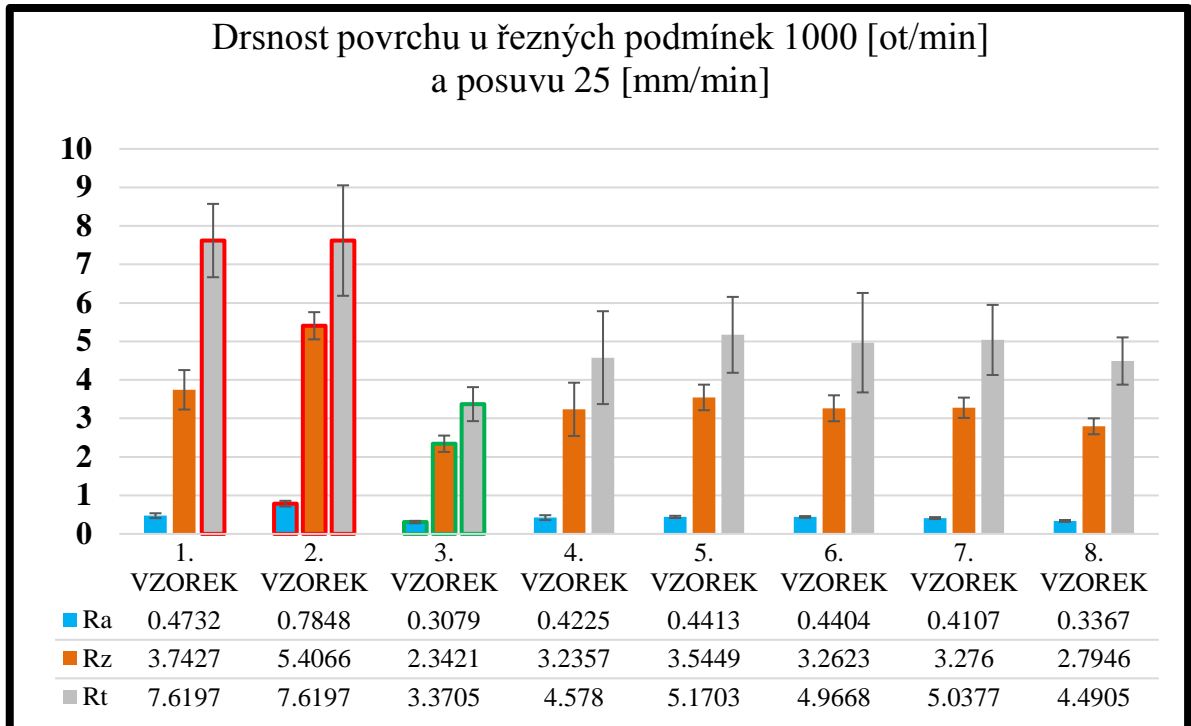
Graf 11 – Parametry drsnosti Ra, Rz a Rt pro 1. řezné podmínky

Pro 1. řezné podmínky vyšly nejlepší hodnoty povrchu u 8. vzorku. Naopak nejvyšší hodnoty vyšly u 2. vzorku.

Hodnoty naměřených drsností pro 2. řezné podmínky

Hodnoty naměřených drsností povrchu Ra, Rt, Rz			1. VZOREK		2. VZOREK		3. VZOREK		4. VZOREK		5. VZOREK		6. VZOREK		7. VZOREK		8. VZOREK	
ot. 1000 [ot/min] posuv 25 [mm/min]	Ra	K. I.	0,473	0,063	0,785	0,075	0,308	0,032	0,423	0,063	0,441	0,028	0,44	0,022	0,411	0,025	0,337	0,024
	Rz	K. I.	3,743	0,513	5,407	0,353	2,342	0,212	3,236	0,692	3,545	0,332	3,262	0,337	3,276	0,264	2,795	0,207
	Rt	K. I.	7,62	0,953	7,62	1,435	3,371	0,442	4,578	1,206	5,17	0,986	4,967	1,292	5,038	0,911	4,491	0,614

Tab. 16 – Parametry drsnosti Ra, Rz a Rt pro 2. řezné podmínky



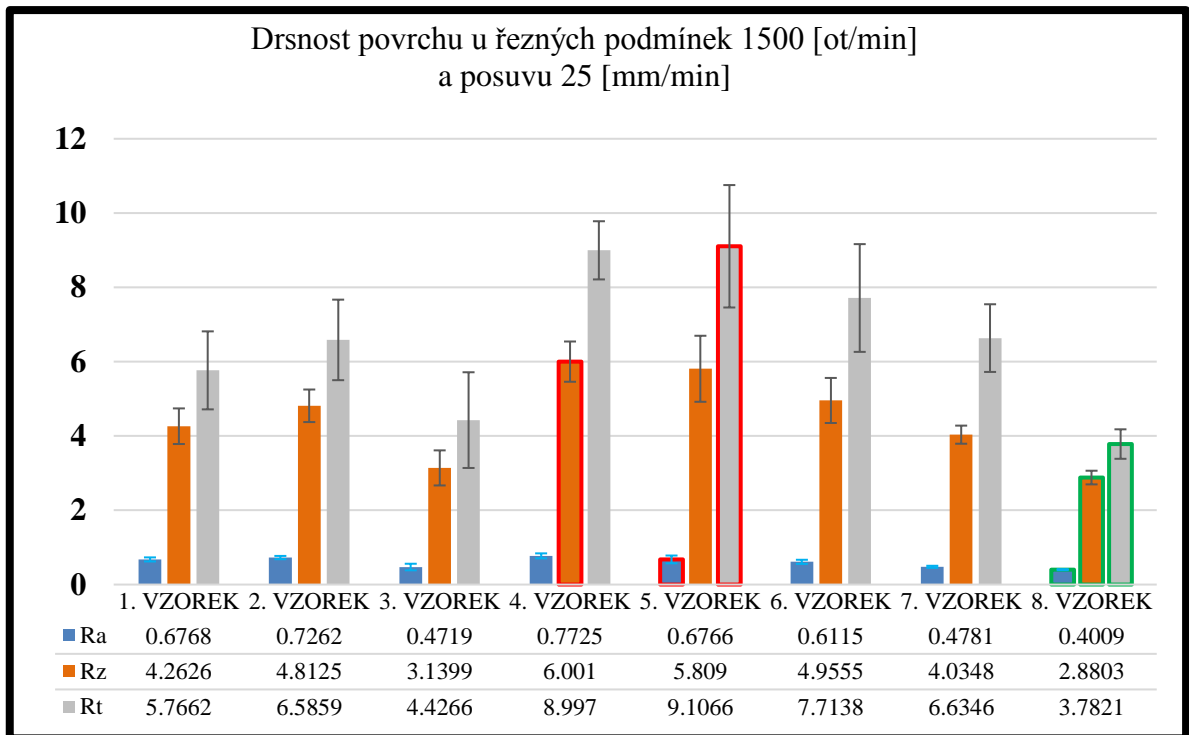
Graf 12 – Parametry drsnosti Ra, Rz a Rt pro 2. řezné podmínky

U 2. řezných podmínek je zajímavostí to, že parametr drsnosti *Rt* vyšel pro první a druhý vzorek stejný a zároveň největší pro danou řeznou podmínku. Zbylé dva parametry drsnosti byly naměřeny nejvyšší u vzorku č. 2. Všechny tři parametry drsnosti jsou pak nejmenší u vzorku č. 3.

Hodnoty naměřených drsností pro 3. řezné podmínky

Hodnoty naměřených drsností povrchu Ra, Rt, Rz			1. VZOREK		2. VZOREK		3. VZOREK		4. VZOREK		5. VZOREK		6. VZOREK		7. VZOREK		8. VZOREK	
ot. 1500 [ot/min] posuv 25 [mm/min]	Ra	K. I.	0,677	0,055	0,726	0,044	0,472	0,088	0,773	0,067	0,677	0,105	0,612	0,056	0,478	0,028	0,401	0,015
	Rz	K. I.	4,263	0,479	4,813	0,438	3,14	0,472	6,001	0,542	5,809	0,889	4,956	0,607	4,035	0,244	2,88	0,184
	Rt	K. I.	5,766	1,05	6,586	1,084	4,427	1,288	8,997	0,783	9,107	1,648	7,714	1,45	6,635	0,911	3,782	0,397

Tab. 17 – Parametry drsnosti Ra, Rz a Rt pro 3. řezné podmínky



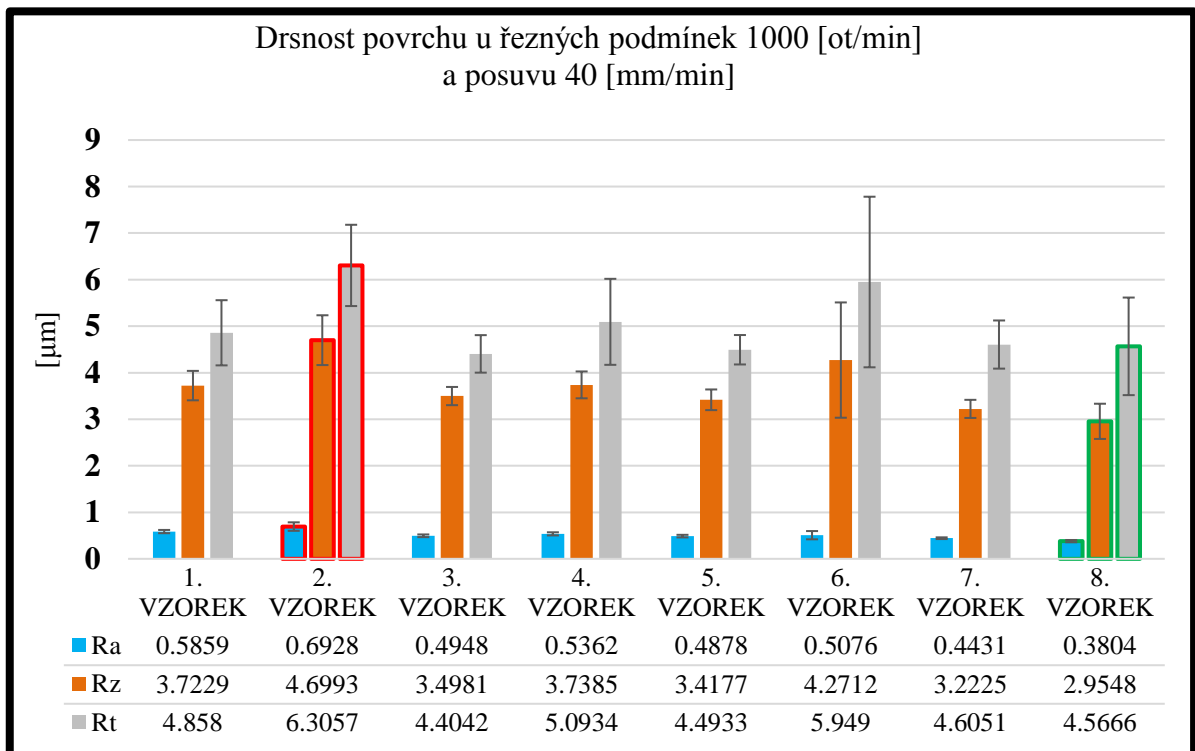
Graf 13 – Parametry drsnosti Ra, Rz a Rt pro 3. řezné podmínky

Nejnižší parametry drsnosti byly naměřeny u vzorku č. 8 pro 3. řezné podmínky. Zvláštností je, že nejvyšší drsnost Rz byla naměřena pro jiný vzorek než drsnosti Ra a Rt. Konkrétně to bylo pro 4. vzorek, kdežto zbylé dvě drsnosti byly nejvyšší u vzorku č. 5.

Hodnoty naměřených drsností pro 4. řezné podmínky

Hodnoty naměřených drsností povrchu Ra, Rt, Rz			1. VZOREK		2. VZOREK		3. VZOREK		4. VZOREK		5. VZOREK		6. VZOREK		7. VZOREK		8. VZOREK	
ot. 1000 [ot/min] posuv 40 [mm/min]	Ra	K. I.	0,586	0,035	0,693	0,091	0,495	0,029	0,536	0,034	0,488	0,028	0,508	0,089	0,443	0,018	0,38	0,024
	Rz	K. I.	3,723	0,316	4,699	0,535	3,498	0,196	3,739	0,289	3,418	0,222	4,271	1,239	3,223	0,195	2,955	0,378
	Rt	K. I.	4,858	0,701	6,306	0,874	4,404	0,403	5,093	0,924	4,493	0,316	5,949	1,833	4,605	0,517	4,567	1,049

Tab. 18 – Parametry drsnosti Ra, Rz a Rt pro 4. řezné podmínky



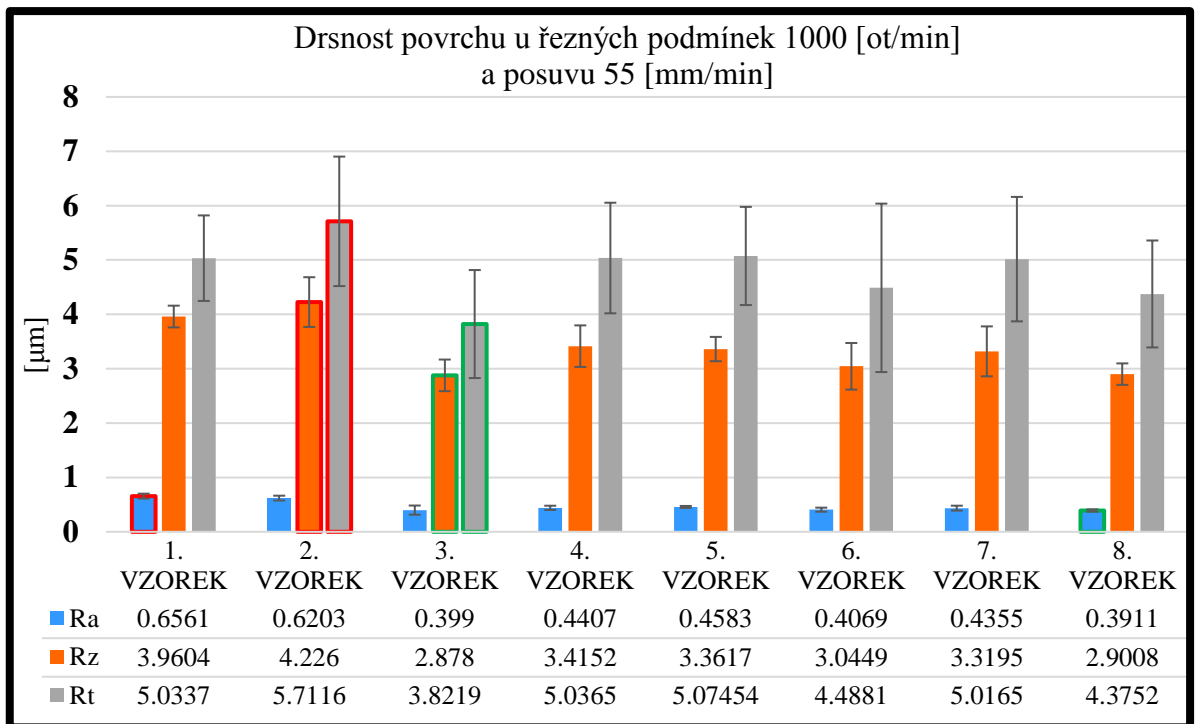
Graf 14 – Parametry drsnosti Ra, Rz a Rt pro 4. řezné podmínky

Z tabulky 18 je zřejmé, že opět nejmenší parametry drsnosti, a tím i nejlepší povrch, měl vzorek č. 8. Naopak nejhorší parametry pro 4. řezné podmínky byly naměřeny u vzorku č. 2.

Hodnoty naměřených drsností pro 5. řezné podmínky

Hodnoty naměřených drsností povrchu Ra, Rt, Rz			1. VZOREK		2. VZOREK		3. VZOREK		4. VZOREK		5. VZOREK		6. VZOREK		7. VZOREK		8. VZOREK	
ot. 1000 [ot/min] posuv 55 [mm/min]	Ra	K. I.	0,656	0,046	0,62	0,044	0,399	0,084	0,441	0,039	0,458	0,017	0,407	0,037	0,436	0,045	0,391	0,021
	Rz	K. I.	3,96	0,2	4,226	0,457	2,878	0,291	3,415	0,382	3,362	0,224	3,045	0,429	3,32	0,459	2,901	0,198
	Rt	K. I.	5,034	0,787	5,712	1,191	3,822	0,994	5,037	1,017	5,075	0,903	4,488	1,55	5,017	1,145	4,375	0,984

Tab. 19 – Parametry drsnosti Ra, Rz a Rt pro 5. řezné podmínky



Graf 15 – Parametry drsnosti Ra, Rz a Rt pro 5. řezné podmínky

Z tabulky 19 je patrné, že nejlepší naměřená drsnost Ra byla u vzorku č. 8. Naopak nejhorší drsnost Ra byla u vzorku č. 1. Drsnosti povrchu Rz a Rt jsou nejlepší u vzorku č. 3 a nejhorší u vzorku č. 2.

Dílčí výsledky

Nejlepším povrchem byl nejčastěji vyhodnocen povrch u vzorku č. 8. Bylo tomu u 1. 3. 4. a v případě jen parametru Ra i 5. zvolené řezné podmínky. Naopak u 1. 2. 4. a částečně 5. zvolené řezné podmínky byl jako nejhorší vyhodnocen povrch u vzorku č. 2. Z toho vyplývá, že vzorek s jedním cyklem žihání má v porovnání s ostatními vzorky

nejhorší kvalitu obrobené plochy. Oproti tomu vzorek č. 8, který prodělal 30 žihacích cyklů, má kvalitu obrobené plochy nejlepší.

3.5.3 Vyhodnocení velikosti opotřebení VBD

Každý vzorek typu A byl frézovaný svojí břitovou destičkou. Celkem bylo získáno osm VBD, ze kterých se následovně zjišťovala velikost opotřebení. Každá destička obrobila plochu délky přibližně 850 [mm] a šířky 32 [mm], což je 27 200 [mm²].

U všech VBD bylo zjištěno jen abrazivní a adhezivní opotřebení. Velikost opotřebení je dáno v tabulce 20.

Vzorek	Velikost opotřebení [mm]
1.	0,07
2.	0,068
3.	0,065
4.	0,06
5.	0,06
6.	0,06
7.	0,06
8.	0,055

Tab. 20 – Velikost opotřebení VBD

Z tabulky 20 vyplývá, že největší opotřebení VBD bylo po obrobení vzorku č. 1. Nejmenší opotřebení břitových destiček pak bylo u vzorku č. 8, což má souvislost s parametry drsnosti povrchu, které byly u vzorku č. 8 také vyhodnoceny jako nejlepší. Velikosti opotřebení VBD tedy odpovídají tepelnému zpracování vzorků.

3.5.4 Porovnání vzniklých třísek

Nasbírané třísky se porovnávaly mezi sebou z hlediska zvolených pěti řezných podmínek. Všechny třísky byly vyhodnoceny jako druh tvářené elementární třísky. Třísky se lišily pouze u řezných podmínek, minimálně pak mezi samotnými vzorky. Lišily se především v barvě a délce, která byla rozdílná přibližně o 1 - 3 [mm].

U 1. řezných podmínek byly třísky zpravidla delší a měly stříbrnou barvu. Bylo to způsobeno větším průřezem odebírané třísky při malém posuvu 25 [mm/min] a při nízkých otáčkách 500 [1/min]. Při procesu obrábění tak nevznikalo příliš velké teplo a třísky se nezabarvovaly.

U 2. řezných podmínek byla délka třísky kratší a barva se změnila na zlatou, až lehce modrou. Bylo to způsobeno vyššími otáčkami frézy a tím i vyšším teplem při obrábění.

Při otáčkách 1500 [1/min] a posuvu 25 [mm/min] byly třísky drobné a zbarvené většinou do tmavě modré barvy. Bylo to způsobeno vyšším odvodem tepla třískou z místa řezu.

4. řezné podmínky vytvářely třísku stejné délky jako u 2. řezné podmínky. Barva byla totožná, ale jejich tvar se lehce lišil. Třísky byly totiž méně zakřivené.

U poslední 5. řezné podmínky měly třísky totožnou barvu jako u předchozího parametru, lišily se ale ještě více tvarem. Bylo to zapříčiněno vysokým posuvem 55 [mm/min], který třísku při odřezávání více pěchoval, a tříska se nekroutila.

Z celkového pohledu, byla mezi třískami od 1. až do 8. vzorku změna v barvě. U vzorku č. 1 byly všechny třísky tmavě modré barvy. U vzorku č. 2 se barva postupně zesvětlovala, až vzorek č. 8 měl barvu nejsvětlejší.

Fotografie všech pozorovaných třísek jsou zdokumentovány v příloze.

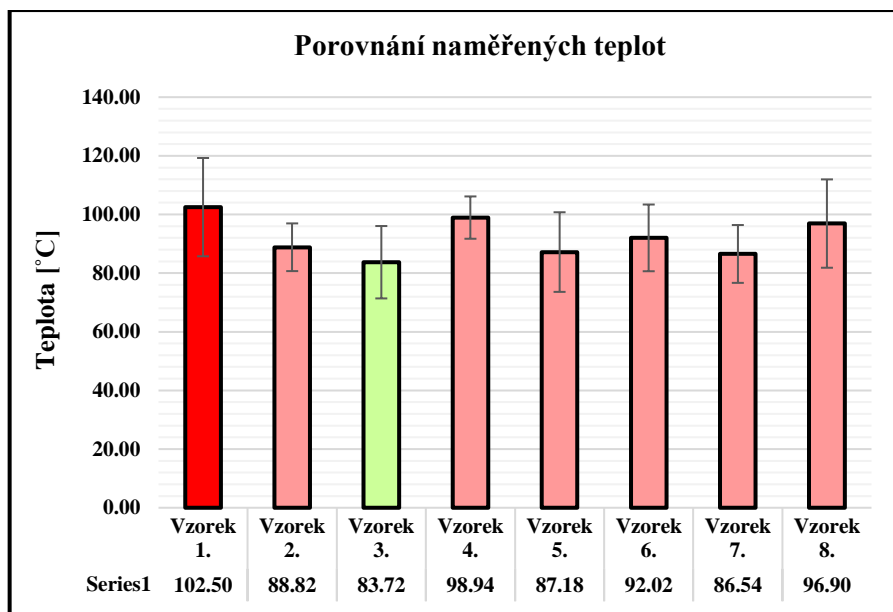
3.5.5 Výsledky velikosti naměřené teploty

Měření teploty se provádělo pro 2. řezné podmínky z tab. 4. tj. posuvem stolu frézky 25 [mm/min] a otáčkami frézy 1000 [1/min]. Měření bylo aplikováno u všech 8 daných materiálů, u kterých bylo od každého materiálu šest zkušebních vzorků typu B. Z naměřených šesti hodnot, od každého materiálu, byla nejnižší teplota vyřazena. Ze zbylých pěti hodnot, teploty T1, T2, T3, T4 a T5, byl vytvořen aritmetický průměr. Pomocí programu v Excelu byl dále z aritmetického průměru vypočítán konfidenční interval, který je popsán v podkapitole 3. 5. 1. 2. Hodnoty teplot pro každý materiál jsou patrné na grafu 16 a v tabulce 21. Při vykonávání tohoto experimentu byla okolní teplota v laboratoři naměřena přibližně 21,3 [°C].

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

	T1	T2	T3	T4	T5	Výsledná průměrná teplota	Konfidenční inter.
Vzorek 1.	97,1	105,6	110	115,3	84,5	102,50	16,76
Vzorek 2.	89,3	97,4	80,9	88	88,5	88,82	8,13
Vzorek 3.	79,7	87,4	70,6	93,9	87	83,72	12,34
Vzorek 4.	96	105,2	98,3	102,9	92,3	98,94	7,21
Vzorek 5.	79	75,7	95,6	87,8	97,8	87,18	13,58
Vzorek 6.	88,8	90	95,6	81,9	103,8	92,02	11,37
Vzorek 7.	92,2	95,9	79,4	82,5	82,7	86,54	9,86
Vzorek 8.	89,2	84	103,7	96,6	111	96,90	15,06

Tab. 21 – Průběh velikostí teplot pro posuv 25 [mm/min] a otáčky 1000 [1/min]



Graf 16 – Průběh velikostí teplot pro posuv 25 [mm/min] a otáčky 1000 [1/min]

4 Diskuze výsledků

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo posoudit u vybraných vzorků vliv opakovaného tepelného zpracování na jejich obrobiteľnosť a jakost povrchu při technologii frézování.

Pro dosažení daného cíle bylo na začátku všech experimentů zvoleno pět základních řezných podmínek. Rozdíly mezi jednotlivými řeznými podmínkami byly v posuvech stolu frézky a v otáčkách frézy. Těchto pět řezných podmínek bylo aplikováno na obrábění 8 tepelně zpracovaných vzorků. Všechny vzorky byly ze stejného materiálu, ale každý prošel jiným počtem cyklů tepelného zpracování. Jediný, který nebyl nijak tepelně upravován, byl vzorek č. 1. Představoval tedy tepelně

neupravenou ocel s označením P265GH, která je odolná proti tepelnému namáhání a díky tomu se využívá u tepelně namáhaných průmyslových výrobků. Každému druhu tepelného zpracování byly vystaveny celkem dva vzorky, vzorek typu A a vzorek typu B. Tyto vzorky jsou ze stejného materiálu, prošly stejným tepelným zpracováním, ale mají jiné rozměry. Podrobněji je tato problematika popsána v podkapitole 3. 1.

Aby se rozdílů řezných podmínek na obráběných vzorcích mohly nějak projevit, byla zvolena kritéria, na kterých se rozdíl poměřoval. Jako hodnotící kritéria byla zvolena:

- řezná síla v ose Y u všech zvolených druhů řezných podmínek,
- řezná síla v ose Z u všech zvolených druhů řezných podmínek,
- vznik tepla při obrábění u jedné zvolené řezné podmínky,
- jakost obrobeného povrchu u všech zvolených druhů řezných podmínek,
- opotřebení VBD u osmi vzorků,
- porovnání vzniklých třísek u všech druhů řezných podmínek.

Pro tyto kritéria byla dále zpracována metodika provedení jednotlivých experimentů, která je popsána v podkapitole 3. 5. Podle metodiky se dané experimenty vykonaly. Zjištěná data a hodnoty z příslušných experimentů se zanesla do tabulek a grafů. V podkapitole 3. 6. byly dále vyhodnoceny výsledky s dílčími závěry. Tyto výsledky zde budou znovu rozebrány a zhodnoceny.

Řezná síla v ose Y

Řezná síla v ose Y byla měřena podle metodiky v podkapitole 3. 5. 1. 2. Od každého měřeného vzorku byly zjištěny a vypočteny síly příslušící určitému parametru zvolných řezných podmínek. 5 řezných podmínek bylo dále hodnoceno mezi sebou pro každý vzorek a vyhodnocovaly se nejnižší a nejvyšší řezné síly.

Vyšlo najevo, že při 1. řezné podmínce z tabulky 4 byla zapotřebí nejnižší řezná síla u vzorku č. 2. Naopak největší síla byla naměřena u vzorku č. 4.

Se zvyšujícími se otáčkami frézy, u 2. řezné podmínky, byl patrný pokles sil u všech vzorků. Při vyšších otáčkách a stejné velikosti posuvu totiž jedna VBD ubírá menší průřez třísky a je potřeba menší velikost řezné síly. Minimální síla se přesunula ke vzorku č. 8 a maximální ke vzorku č. 1. U těchto řezných podmínek se začínalo projevovat tepelné zpracování jednotlivých vzorků. Kdyby totiž byly stejné, řezná síla by u každého vzorku rostla nebo klesala přímoúměrně.

S dalším zvyšováním otáček frézy se řezné síly v ose Y zmenšovaly celkem u sedmi vzorků. U vzorku č. 4 se naopak velikost síly zvyšovala a stala se tak největší pro dané řezné podmínky. Nejnižší síla se vrátila zpátky ke vzorku č. 2.

U 4. řezné podmínky, kde jsou otáčky konstantní 1000 [1/min] a zvyšuje se pouze posuvová rychlost na 40 [mm/min], se řezné síly zvyšovaly u sedmi vzorků. U vzorku č. 5 se naopak zmenšily a byly nejnižší pro dané řezné podmínky.

Při dalším zvětšováním posuvové rychlosti na 55 [mm/min] se řezné síly zvětšovaly už jen u šesti zkoumaných vzorků. U vzorku č. 2 a č. 4 se naopak zmenšovaly přibližně o 1,8 [%]. Z toho je zřejmé, že u tepelně zpracovaného materiálu zvyšování posuvu nemá na řezné síly takový vliv jako na materiál, který nebyl tepelně zpracovaný. Dokazuje to i fakt, že při 4. a 5. řezné podmínce byly nejvyšší řezné síly naměřeny u materiálu č. 1, který neprošel žádnou tepelnou úpravou.

Řezná síla v ose Z

Řezná síla v ose Z byla měřena podle metodiky v podkapitole 3. 5. 1. 2

Pro 1. řezné podmínky vyšla nejvyšší a nejnižší řezná síla překvapivě u jiných materiálů než u řezné síly v ose Y . Nejnižší síla tak vyšla pro vzorek č. 1 a nevyšší naopak pro vzorek č. 7.

U zvyšujících se otáček při posuvu 2. řezné podmínky se řezné síly zmenšily u všech vzorků. Nastala tak stejná situace jako u řezných sil ve směru osy Y . Nejvyšší velikost řezných sil stále zůstala u vzorku č. 7. Nejnižší velikost pak nastala u vzorku č. 8.

Při 3. řezné podmínce měly řezné síly u vzorků č. 1, 2 a 5 klesající tendenci, kde u vzorku č. 2 byla naměřena vůbec nejnižší hodnota. U zbylých vzorků řezná síla naopak stoupala. Zajímavostí je, že u 1. 2. a 3. řezné podmínky byly nejvyšší řezné síly naměřeny vždy u vzorku č. 7. Je to odlišný průběh řezných sil než u stejných řezných podmínek pro řezné síly v ose Y .

Při zvětšujícím se posuvu stolu frézky na 40 [mm/min] a při konstantních otáčkách 1000 [1/min] se řezná síla zvětšila u sedmi vzorků. Nejvyšší naměřená velikost síly byla u vzorku č. 3. Stejně jako tomu bylo u řezné složky v ose Y pro 4. řezné podmínky, tak i zde měla hodnota řezné složky pro vzorek č. 5 jako jediná klesající tendenci a byla pro dané řezné podmínky vyhodnocena jako nejnižší. U těchto řezných podmínek je poprvé vidět závislost řezné složky F_y na složce F_z .

U 5. řezné podmínky, kde se posuv stolu frézky zvýšil až 55 [mm/min], vzrostly síly u vzorků č. 1, 3, 4, 5, a 6. Nejvyšší síla zůstala stále u vzorku č. 3. U ostatních vzorků řezná síla klesla. Zajímavé je, že jako u řezné složky síly F_y tak i zde zůstává pro 4. a 5. řeznou podmínku nejvyšší síla u stejného materiálu. Další zajímavostí je fakt, že pro obě složky řezných sil F_y a F_z je u 4. řezné podmínky nejnižší síla u vzorku č. 5 a u 5. řezné podmínky u vzorku č. 8.

Z takto porovnávaných řezných podmínek byla zjištěna u mnohých materiálů závislost řezné složky F_y na složce F_z . Dále bylo zjištěno, že tepelné zpracování dané ocele má u mnohých řezných podmínek vliv na zmenšení řezné síly.

Vznik tepla při obrábění

Velikost tepla T_1 , T_2 , T_3 , T_4 a T_5 se měřila pro všech osm vzorků typu B. Metodika přípravy vzorků je popsána v podkapitole 3. 5. 2. 1. Z každých pěti naměřených hodnot byla aritmetickým průměrem vypočtena jedna výsledná hodnota, ze které byl vypočítán konfidenční interval. Ve výsledku tedy byla zjištěna pro každý materiál jedna výsledná hodnota s jedním intervalem. Pro obrábění se použily 2. řezné podmínky.

Ve výsledku bylo zjištěno, že největší teplo vzniklo u materiálu č. 1 a nejmenší teplo u materiálu č. 3. Shodou okolností vyšla složka řezné síly F_y pro 2. řezné podmínky také nejvyšší pro materiál č. 1. Z těchto faktů je zřejmé, že při obrábění vzniká u vysoké řezné síly i vysoká řezná teplota.

Drsnost obrobeného povrchu

Drsnost povrch po obrábění byla zjišťována parametry drsnosti R_a , R_z a R_t . Podrobné popsání experimentu je v podkapitole 3. 5. 1. 4. Vyhodnocení nejlepších a nejhorších výsledků je patrné v podkapitole 3. 6. 2. U 1. 2. 4. a 5. řezné podmínky byl jako nejhorší povrch vyhodnocen u vzorku č. 2. Bylo to zapříčiněno pravděpodobně tím, že vzorek č. 2 byl mezi osmi porovnávanými vzorky nejměkčí. Oproti ostatním vzorkům z povrchu vzorku č. 2 při obrábění byly třísky „vytrhávány“ a tím zhoršovaly jeho kvalitu. U 1. 3. 4. a částečně u 5. řezné podmínky byl nejlepší povrch vyhodnocen u vzorku č. 8. Tento vzorek byl mimo jiné vyhodnocen jako vzorek s nejnižšími řeznými silami u řezné složky F_z a zároveň u složky F_y u 2. a 5. zvolené řezné podmínky.

Míra opotřebení VBD

Míra opotřebení VBD byla hodnocena z hlediska velikosti opotřebení hřbetu destičky. Postupováno bylo podle metodiky, která je uvedena v kapitole 3. 5. 1. 3. Z výsledku je pak dále patrné, že největší opotřebení destičky nastává při obrábění vzorku č. 1. Nastává to právě díky tomu, že vzorek č. 1 neprošel žádným tepelným zpracováním a má proto nejspíše nejvyšší tvrdost.

Plocha každého obráběného vzorku nebyla příliš velká a díky tomu u VBD nastalo jen opotřebení adhezí. Při vyšším zatěžování by se pak u obrábění některých z materiálů mohl vytvořit na VBD nárůstek nebo by mohlo nastat opotřebení plastickým lomem.

Porovnání vzniklých třísek

Vzniklé třísky po každém frézování pěti řeznými podmínkami byly u každého z osmi vzorků shromažďovány a posléze vyhodnoceny podle podkapitoly 3. 6. 4. Třísky byly vyhodnoceny jako druhem tvářené elementární třísky. Po obrábění každého materiálu byl tvar třísek obdobný. Při 1. řezných podmínkách byla délka třísek nejvyšší a zmenšovala se zvyšováním se otáček frézy přibližně na polovinu. Při větších posuvech, u 5. řezné podmínky, se měnil hlavně tvar třísek. Ty se méně zakrucovaly, což bylo pravděpodobně zapříčiněno větším pýchováním třísky při odstraňování z obrobku.

Porovnáním tvaru a vzhledu mezi osmi vzorky, byla zjištěna změna jen v barvě vzniklých třísek. Ta se měnila vzhledem k předchozímu tepelnému zpracování jednotlivých vzorků. Z hlediska ekonomiky je v průmyslu nejžádanější většinou vznik krátkých třísek. Ty se pak lépe skladují a transportují. Z tohoto hlediska by proto byly nejlépe využity 3. řezné podmínky.

5 Závěr

Předložená bakalářská práce na téma „Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování“ přispívá k rozšíření poznatků o vlivu tepelného zpracování materiálu na vliv jeho obrábění.

Hlavním cílem bylo zjistit vliv osmi tepelně zpracovaných vzorků na složku řezné síly F_y a F_z , vliv na drsnost obrobenej plochy, velikost vzniklého tepla, vznik druhu třísek a opotřebení břitových destiček při frézování.

Práce je členěna do dvou hlavních částí a dílčích podkapitol.

V teoretické části je rozebírána technologie frézování, problematika řezných sil, problematika úhlů u VBD a úhlů na nástroji, tepelné zpracování oceli, vznik teplot na nástroji, opotřebení VBD, drsnosti povrchů po obrábění ad.

Experimentální část začíná popsáním použitých strojů a zařízení pro jednotlivé experimenty, dále je zde popisována metodika experimentů a uvedení naměřených a zpracovaných výsledků.

Z dílčích naměřených hodnot byly vyvozeny tyto závěry:

Složka řezné síly v ose Y byla nejnižší u materiálu č. 2 pro minimální zvolené otáčky u 1. řezné podmínky, přibližně 318,47 [N], a pro maximální zvolené otáčky u 3. řezné podmínky, 158,65 [N]. Nejnižší složka řezné síly byla pak u 2. a 5. zvolené řezné podmínky zjištěna u vzorku č. 8. Pro stejné řezné podmínky a pro stejný vzorek byla síla zjištěna i pro složku řezné síly F_x . Dále se nejvyšší naměřené síly u složky F_y střídaly mezi 1. a 4. materiálem. U 2. 3. a 4. řezné podmínky byly největší řezné síly zjištěny pro materiál č. 1. U 1. a 5. řezné podmínky pak pro materiál č. 4. Z toho je zřejmé, že materiál č. 4 byl hned po materiálu č. 1 druhým nejhůře obrobiteľným.

U složky řezné síly v ose Z byl jako nejhůře obrobiteľný materiál vyhodnocen vzorek č. 3 a to pro 1. 2. a 3. řezné podmínky, kde hodnota řezné síly dosahovala až 168,72 [N]. Druhý nejhůře obrobiteľný materiál byl pak vyhodnocen pro 4. a 5. řezné podmínky, kterým byl vzorek č. 7. Hodnota řezné síly u tohoto vzorku dosahovala až na hodnotu 184 [N]. Pro složku řezné síly F_z pak nejnižší naměřené hodnoty pro 5 řezných podmínek byly u vzorku č. 1, 2, 5 a 8. Vůbec nejnižší hodnota byla naměřena pro 3. řezné podmínky u vzorku č. 2 a to přesně 87,33 [N].

Z těchto faktů vyplývá, že u složky F_y mělo tepelné zpracování oceli pozitivní vliv u 2. 3. a 4. řezné podmínky, kde byla nejvyšší naměřená síla u tepelně nezpracovaného materiálu č. 1, a to 435,2 [N]. Následně vyplývá, že na složku F_z mělo tepelné zpracování naopak spíše negativní vliv. Celkově je ale u zvyšujícího se posuvu 5. řezných podmínek zjištěno, že u obou složek F_y a F_z má tepelné zpracování oceli významné zlepšení na obrobiteľnosť materiálu. Oproti tepelně neupravovanému vzorku č. 1 se totiž obě složky řezné síly u některých vzorků zmenšují.

Vzhledem ke vznikům teplot u 2. řezné podmínky při procesu frézování, jsou jasné zlepšení zaznamenány u tepelně zpracovaných vzorků. Vzorek č. 1 nebyl tepelně upravovaný a vytváří při obrábění největší teplotu, které je přibližně 102,5 [°C]. Naopak pětikrát cyklicky žíhaný vzorek č. 3 vyvíjí teplotu nejnižší, a to přibližně 83,72 [°C].

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

Pro trvanlivost VBD je tepelná úprava vzorků také přínosná. Nejvyšší opotřebenění bylo u vzorku č. 1, přibližně 0,07 [mm], a nejnižší u vzorku č. 8, přibližně 0,055 [mm]. U těchto parametrů je jasně vidět, že čím vícekrát je vzorek cyklicky žíhaný, tím lepší vliv má na opotřebenění nástroje.

Na drsnost obrobenej plochy má jeden cyklus tepelné úpravy zhoršující vliv. Je to zjištěno z naměřených parametrů u vzorku č. 2. Při maximálních třiceti počtech cyklicky tepelného namáhání je kvalita povrchu naopak vyhodnocena jako nejlepší s parametrem drsnosti $R_a = 0,401$ [μm], $R_z = 2,88$ [μm] a $R_t = 3,782$ [μm].

Tato zjištěná problematika, u tepelně zpracovaných vzorků oceli P265GH, je v praxi významná zejména u firem, které repasují teplem narušené součástky z této oceli. Ze zvolených řezných podmínek, u této bakalářské práce, mohou dále kalkulovat řezné podmínky pro své obráběcí stroje nebo alespoň očekávat, jak se teplem narušená součástka bude při obrábění chovat a jaký to bude mít vliv např. na drsnost jejího povrchu.

Použitá literatura

- [1] ŠTRAJBL, Jan. *Příručka frézaře*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962.
- [2] GAZDA, Jaromír. *Teorie obrábění: průvodce tvorbou třísky*. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009.
- [3] GAZDA, Jaromír. *Teorie obrábění: Řezné síly při obrábění*. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1993.
- [4] KUDELA, Miroslav. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. Praha: Scientia, 1997.
- [5] STRYAL, Jaroslav. *Hodnocení vlivu procesních kapalin na technologii čelního frézování antikorozi oceli [CD-ROM]*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2013.
- [6] VIGNER, Miloslav a Zdeněk PŘIKRYL. *Obrábění*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984.
- [7] JECH, Jaroslav. *Tepelné zpracování oceli: metalografická příručka*. 3. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1977.
- [8] DRÁB, Vojtěch. *Technologie: Návody ke cvičení*. sv. 1. 2. vyd. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1987.
- [9] JERSÁK, Jan. *Soubory ke stažení* [online]. Katedra obrábění a montáže, Technická univerzita v Liberci. [cit. 4. června 2017].
Dostupné z: <http://www.kom.tul.cz/download.php>
- [10] ELUC. *Vznik třísek a její druhy* [online]. [cit. 6. června 2017].
Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1190>

Vliv opakovaného tepelného zpracování na obrobiteľnosť materiálu a jakost povrchů obrobků při technologii frézování

[11] Arhetektura armastatud linna. *Frézování sousledné* [online]. [cit. 6. června 2017]. Dostupné z: <http://ehitusmaaruse.bststroy.ru/frzovn-sousledn/>

[12] Mecanizados Burani. *Obrázek procesu frézování* [online]. [cit. 12. června 2017]. Dostupné z: http://www.buranimecanizados.com.ar/detalle_producto.php?id_producto=230%20Bura ni%20Mecanizados%20Fresado

[13] OVMT. *Drsnost povrchu* [online]. [cit. 12. června 2017]. Dostupné z: <http://files.ovmt.webnode.cz/200000030-3094f328a0/Drsnost%20povrchu.pdf>

[14] KOREJS, Michal. *Účinek procesních plynů na technologii frézování a kvalitu obrobených součástí* [CD-ROM]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014.

[15] KMT studijní podklady. *SOUSTAVA železo – uhlík* [Power Point]. Technická univerzita v Liberci. [cit. 6. června 2017]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_bakalari/NOM1/NOM%20I.htm

[16] ADOLF, Tomáš. *Vliv opakované resmaltace na mechanické vlastnosti a celkovou degradaci oceli P265GH* [CD-ROM]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016.

[17] Kompas. *Žihání, normalizační žihání* [online]. [cit. 15. června 2017]. Dostupné z: <https://cz.kompass.com/p/zihani-normalizacni-zihani/df624df-3df1-48a5-8f76-cdf13e18716a/>

[18] Produktový list Pilous spol. s. r.o. *Pilous ARG 300 – pásová pila na kov*. [online]. [cit. 15. června 2017]. Dostupný z: <http://www.pilous.cz/metal/pasove-pily-na-kov/hydraulicko-gravitacni/arg-300-plus-hf/>

[19] Produktový list TOS Olomouc s. r. o. *Nástrojářská frézka FNG 32* [online]. [cit. 15. června 2017]. Dostupný z: <http://www.tos-olomouc.cz/files/oc/produktove-informace/fng32.pdf>

[20] DOLANSKÝ, Pavel. *Účinek procesních plynů a kapalin na technologii frézování a kvalitu obrobených součástí* [CD-ROM]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015.

[21] HLUCHÝ, Miroslav, Rudolf PAŇÁK a Oldřich MODRÁČEK. *Strojírenská technologie 1. 2. díl, Metalografie a tepelné zpracování. 3., přeprac. vyd. Praha: Scientia, 2002.*

Přílohy

Příloha P1: Grafy a tabulky složky řezné síly v ose *Y*

Příloha P2: Grafy a tabulky složky řezné síly v ose *Z*

Příloha P3: Grafy a tabulky pro naměřenou drsnost *Ra*, *Rz* a *Rt*

Příloha P4: Grafy a tabulky pro naměřenou teplotu T1, T2, T3, T4, T5

Příloha P5: Fotografie třísek vzniklých při frézování zkušebních vzorků pěti zvolenými řeznými podmínkami