

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Digitalizace a ověření funkčnosti třísložkového
dynamometru**

Digitizing and Attestation of Three-part Dynamometer

Student:
Vedoucí bakalářské práce:

Lukáš Příkryl
Ing. Jiří Kratochvíl

Ostrava, 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Příkryl**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Digitalizace a ověření funkčnosti třísložkového dynamometru

Digitizing and Attestation of Three-part Dynamometer

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Typy a konstrukce dynamometrů.
3. Rozbor konstrukce daného dynamometru.
4. Digitalizace dynamometru.
5. Experimentální ověření funkčnosti dynamometru.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

NESLUŠAN, Miroslav; TUREK, Stanislav; BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; TABAČEK Marián. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábani*. Žilina : EDIS Žilina. 2007, 243s. ISBN 978-80-8070-711-8.

SANDVIK Coromant, technická redakce. *Příručka obrábění*. Praha : Scientia s.r.o. Praha, 1997, 910 s. ISBN 91-97 22 99-4-6.

WHITNEY, E. Dow. *CERAMICS CUTTING TOOLS – Materials, Development and Performance*. Gainesville : Noyes Publications, 1994. 353 s. ISBN 0-8155-1355-0.


KOCMAN, Karel; PROKOP, Jaroslav. *Technologie Obrábění*. Brno : Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno. 2001, 270s. ISBN 80-214-1996-2.

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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kratochvíl**

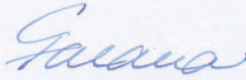
Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



prof. Dr. Ing. Josef Brychta
vedoucí katedry





prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem celou Bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího Bakalářské práce, uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 21.5. 2010

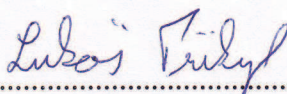
Lukáš Příkryl
.....

Lukáš Příkryl

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB - TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 11/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21.5.2010



.....

Lukáš Příkryl

Velký Týnec, Krátká 446, 783 72

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PŘIKRYL, Lukáš Digitalizace a ověření funkčnosti třísložkového dynamometru.
Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická
univerzita Ostrava, 2010, 41 stran.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Kratochvíl.

Bakalářská práce se zabývá digitalizací třísložkového dynamometru a následným experimentálním měření sil při soustružení, na digitalizovaném třísložkovém dynamometru v laboratořích Vysoké školy Báňské. Práce dále obsahuje přehled všeobecně známých poznatků o dynamometrech, jejich rozdělení, typy konstrukcí.

V první části práce, je teoretické rozdělení dynamometrů, ve druhé části je popsán rozbor konstrukce digitalizovaného třísložkového dynamometru. Třetí část se zabývá zpracováním experimentu na daném třísložkovém dynamometru, při soustružení těžko obrobitelné titanové slitiny Inconel, za použití keramických destiček Al₂O₃, Greenleaf a Kyocera v závislosti na řezné rychlosti a posuvu.

ANNOTATION OF BACHELOR'S WORK

PŘIKRYL, Lukáš Digitizing and Attestation of Three-part Dynamometer.
Department of Machining and Assembly, Faculty of Mechanical
Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava, 2010, 41
pages.

Bachelor's work, supervisor: Ing. Jiří Kratochvíl

Bachelor thesis deals with digitizing of free-components dynamometer and resulting experimental measuring of powers during turning work, on digitized three-components dynamometer in the laboratoř of Vysoká škola Báňská. Thesis farther contains summary of common pieces of knowledges about dynamometers, their separation, types of constructions.

Primarily there is theoretical separation of dynamometers, secondly dissection of three-components, resistive dynamometer is described. Third part deals with processing experiment on given three-components dynamometer, during turning work of hardly workable titanium alloy Inconel, while using ceramic slats Al₂O₃, Greenleaf and Kyocera depending on cutting velocity and shift.

OBSAH

OBSAH.....	1
SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK.....	3
1. Úvod	4
2. Všeobecná charakteristika dynamometrů.....	5
2. 1. Základní požadavky kladené na dynamometry.....	5
2. 2. Základní rozdělení dynamometrů.....	6
2. 3. Typy a konstrukce dynamometrů.....	6
2.3.1. Mechanické dynamometry.....	6
2.3.2. Hydraulické dynamometry.....	7
2.3.3. Pneumatické dynamometry.....	8
2.3.4. Elektrické dynamometry.....	8
2.3.5. Elektrické dynamometry indukční.....	8
2.3.6. Elektrické dynamometry kapacitní.....	10
2.3.7. Elektrické dynamometry odporové.....	10
2.3.8. Elektrické dynamometry piezoelektrické.....	13
2.3.9. Dvousložkový ele. odpor. dynamometr pro soustružení	13
2.3.10. Třísložkový ele. odpor. dynamometr pro soustružení.....	14
3. Rozbor konstrukce daného dynamometru.....	15
4. Síly při soustružení.....	18
4.1. Řezná síla.....	19
4.2. Měření složek síly řezání.....	20
5. Cejchování dynamometru.....	21
5.1. Postup při cejchování dynamometru.....	21
5.1.1. Cejchování složky F_c	22
5.1.2. Cejchování složky F_f	24
5.1.3. Cejchování složky F_p	26
6. Měření sil při soustružení.....	28
6. 1. Obráběný materiál INCONEL alloy 718.....	28
6. 2. Obrábění keramickou destičkou Al_2O_3 Disald D210.....	29
6. 3. Obrábění keramickou destičkou KYOCERA A66N.....	32

6. 4. Obrábění keramickou destičkou GREENLEAF WG – 300.....	35
7. Závěr.....	38
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	40

Seznam použitých značek

Symbol	Význam	jednotka
F_c	řezná síla působící kolmo na břit nástroje	[N]
F_f	posuvová síla, působící na hřbet nástroje	[N]
F_p	pasivní složka, působící ve směru osy nástroje	[N]
R	odpor cívky	[Ω]
ČSN	Česká státní norma	
L	indukčnost cívky	[H]
z	počet závitů cívky	[-]
R_m	odpor magnet. obvodu	[Ω]
j	imaginární jednotka	[-]
ω	kruhová frekvence	[rad.s ⁻¹]
C	kapacita kondenzátoru	[F]
S	plocha desek	[m ²]
a	vzdálenost mezi deskami	[m]
ε	dielektrická konstanta	[-]
Q	velikost elektrického náboje	[C]
K_p	piezoelektrická konstanta	[-]
P	potřebný výkon obráběcího stroje	[W]
U	napětí	[V]
m	hmotnost	[kg]
ρ	měrný odpor materiálu vodiče	[Ω m]
l	délka vodiče	[m]
v_c	řezná rychlost	[m.min ⁻¹]
f	posuv	[mm]
n	otáčky	[min ⁻¹]
a_p	hloubka řezu	[mm]
Z	impedance cívky	[Ω]

1. Úvod

Již při prvním nahlédnutí do mapy průmyslu České republiky je patrné, že jsou strojírenské závody rozptýleny po celé republice. Strojírenský průmysl má vedle průmyslu potravinářského a textilního, největší územní rozptyl výrobních jednotek. Strojírenství zahrnuje velké množství oborů v různě velkých závodech. Výrobně navazují nejen na hutní základnu, ale i vzájemně je mezi nimi často veliká propojenost. U mnoha strojírenských výrobních se uplatňuje dlouhá výrobní tradice.

Strojírenský průmysl má negativní vliv na životní prostředí. Na druhou stranu svými výrobky, výzkumem atd. může přispět k řešení problémů týkajících se životního prostředí. Strojírenský průmysl, jako nejsilnější odvětví našeho průmyslu s největším počtem pracovníků, výrazně ovlivňuje hospodářský růst. Dnešní vybavenost moderních a velkých strojírenských firem je v České republice na velice slušné úrovni. Největší podíl na celkové strojírenské výrobě mají obory jako je dopravní strojírenství, výroba strojů a zařízení, elektrotechnika a elektronika. Současný výzkum a vývoj obráběcích strojů, nástrojů, technologie opracování kovů, měřicí techniky atd. jde velice rychle směrem do předu. Na technologii výroby, přesnosti a způsobu měření jsou kladeny vysoké nároky, protože měřicí pomůcky a přístroje jsou nedílnou součástí výrobního procesu.

Bakalářská práce je zaměřená na digitalizaci(modernizaci) a ověření funkčnosti třísložkového dynamometru v laboratořích Vysoké školy báňské.

Podkladem k vypracování byly teoreticky a experimentálně získané poznatky z problematiky měření sil na třísložkovém dynamometru.

2. Všeobecná charakteristika dynamometrů

Dynamometr je přístroj, kterým měříme dynamické síly vznikající při řezném procesu, soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání. Může být i u jiných obráběcích procesů, kde dynamometr musí být přizpůsoben daným podmínkám. Zpravidla zachycujeme 3 základní složky, F_c – řezná síla, která působí zhora kolmo na břit nástroje, F_f – posuvová síla, která působí na hřbet nástroje a síla F_p – pasivní síla působící ve směru osy nástroje. Tyto složky nám přístroj dynamometr zachytává v dynamickém procesu. Řezný proces se v každém okamžiku mění, protože část geometrie toho nástroje prochází tvarovými změnami (nárustek, vměstky apod.). Samotný dynamometr musí zaručit nezávislost sledované veličiny na provozních vlastnostech přístroje. Dále musí být schopen měřit sledovanou veličinu ve zvoleném rozsahu s maximální přesností, musí zaručit stálost naměřených hodnot s časem i jejich reprodukovatelnost. Z těchto uvedených charakteristik vyplývají základní požadavky kladené na dynamometry.

2.1. Základní požadavky kladené na dynamometry

Tuhost dynamometrů - je dána velikostí zatěžující síly F , které způsobují deformaci (y). Velikost deformace závisí na tvaru a provedení deformačního elementu – čidla, na celkovém konstrukčním provedení dynamometru i na použité měřicí metodě. Dostatečná tuhost dynamometru je velmi důležitá při měření dynamickém. [3]

Citlivost dynamometrů - souvisí s citlivostí použité měřicí metody i s tuhostí konstrukčního provedení dynamometru, který musí mít takovou citlivost, aby nejmenší odečítaná jednotka při dodržení dostatečné přesnosti odečítání odpovídala celkové hodnotě měřené veličiny. [3]

Stálost údajů dynamometrů - je závislá na tuhosti, citlivosti a přesnosti od stanovení nulové polohy až po zachycení údajů o sledované veličině po celou dobu měření. [3]

Setrvačnost dynamometrů - závisí přímo úměrně na hmotě soustavy. A právě při dynamických měřeních, kdy je nutné sledovat jak skutečné hodnoty maximálních a minimálních hodnot měřené řezné síly, tak i její časový průběh, by měla být setrvačnost co možná nejmenší. [3]

Konstrukce dynamometrů – musí zajistit, aby se dané složky řezné síly vzájemně neovlivňovaly. [3]

2.2. Základní rozdělení dynamometrů

Dynamometry můžeme rozdělit podle následujících hledisek :

Podle počtu měřených složek řezné síly - to jsou dynamometry jednosložkové, dvousložkové, třísložkové a pro měření kroutících momentů. [1]

Podle aplikované měřicí metody - tzn. podle způsobu přenosu působení síly z deformačního členu na indikační, to jsou dynamometry mechanické, hydraulické, pneumatické, elektrické (indukční, kapacitní, odporové, využívající piezoelektrického jevu), optické. [1]

Podle obráběcí metody - to jsou dynamometry pro soustružení, frézování, vrtání, broušení, případně dynamometry univerzální. [1]

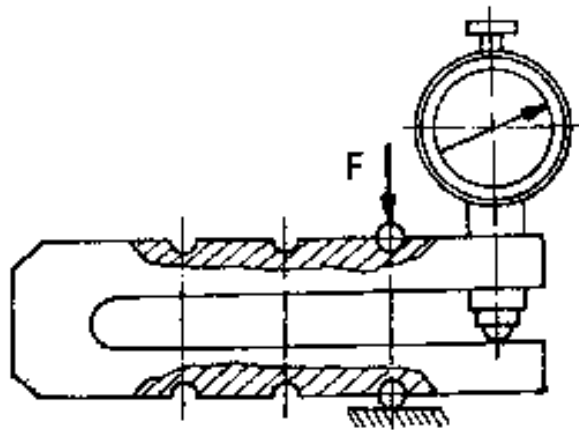
2.3. Typy a konstrukce dynamometrů

2.3.1. Mechanické dynamometry

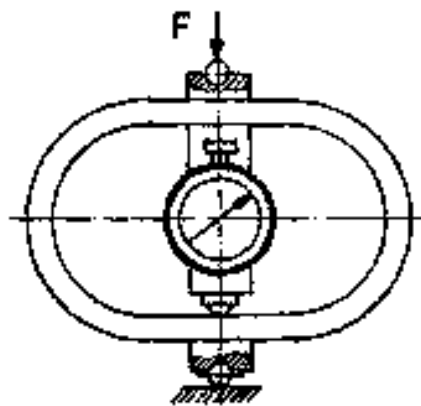
Používají se pro cejchování jiných druhů dynamometrů, protože u nich lze většinou vyloučit nežádoucí rušivé vlivy a jsou dále charakteristické naprosto lineárním vztahem mezi silou, kterou sledujeme a vlastními změřenými údaji.

U mechanických dynamometrů se působení síly přenáší přímo nebo znásobeně mechanickým převodem na měřicí prvek, jako je například číselníkový úchylkoměr. [1]

O velikosti síly se usuzuje z deformace siloměrných pružin, kroužků, třmenů, nosníků, membrán. Hlavními představiteli této skupiny dynamometrů jsou dynamometry třmenové dle obr.1. pro zatížení do 10 000 N a dynamometry prstencové dle obr.2. [1]



Obr.1. Mechanický dynamometr třmenový [1]



Obr.2. Mechanický dynamometr prstencový [1]

2.3.2. Hydraulické dynamometry

Podstatou hydraulických dynamometrů je přenos účinku měření síly nebo momentu na píst nebo membránu hydraulického obvodu, jejichž pohyb způsobuje změnu tlaku v kapalině. Tato změna je snímána pomocí manometru nebo jiného přístroje.

Výhodou je jednoduchá konstrukce a možnost měření více složek najednou. Nevýhodou naopak nízká citlivost a velká setrvačnost. [3]

2.3.3. Pneumatické dynamometry

U pneumatických dynamometrů je snímač deformace pneumatickým systémem klapka – tryska, který využívá dynamických vlastností vzduchu procházejícího štěrbinou. Principem je měření tlaku nebo průtok v závislosti na změně výtokového průřezu mezi klapkou a tryskou v deformačním elementu. [3]

2.3.4. Elektrické dynamometry

Elektrické dynamometry jsou jedny z nejrozšířenějších a nejpoužívanějších v technické praxi. Mezi základní přednosti elektrických dynamometrů patří :

- snadný přenos dálkového signálu
- možnost snímání signálů při rotujících a pohybujících se součástech
- využití miniaturních měřících elementů

Dle způsobu mechanicko-elektrické transformace je možné rozlišovat dva základní systémy elektrických dynamometrů:

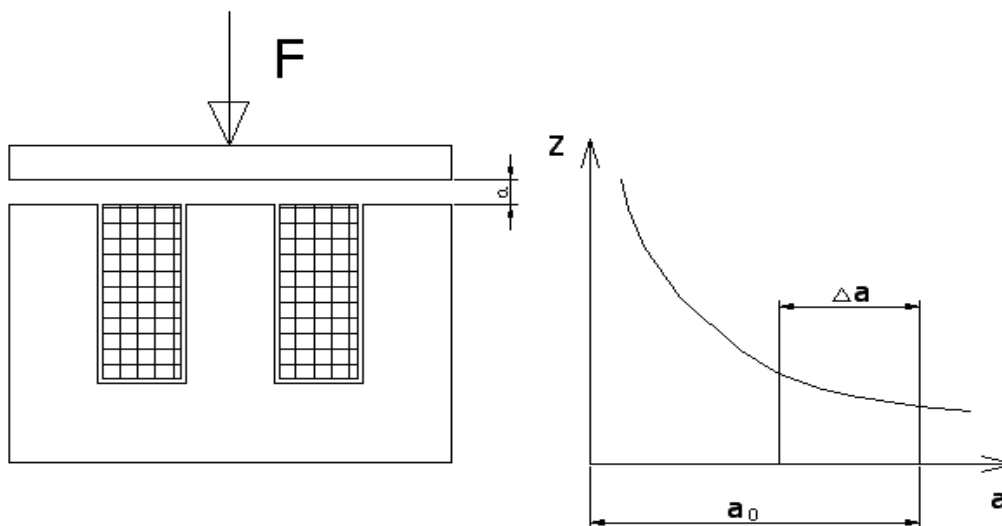
- systémy parametrické, které jsou založeny na změně jednoho parametru elektrického obvodu, L-indukčnosti, C-kapacity, R-odporu
- systémy generátorové, které jsou založeny na vzniku proudu nebo napětí při deformaci elementů. [3]

2.3.5. Elektrické dynamometry indukční

U těchto dynamometrů dochází v důsledku působení měřené síly ke změně indukčnosti v obvodu použitého snímače. Snímače pro indukční dynamometry s ohledem na uspořádání magnetického obvodu je možné rozdělit následovně:

- snímače s uzavřeným magnetickým obvodem,
- snímače s otevřeným magnetickým obvodem,
- snímače se stálým magnetickým obvodem.

V elektrických indukčních dynamometrech se převážně používají snímače pracující s malou vzduchovou mezerou. Schematické znázornění takového druhu indukčního snímače je znázorněno na Obr.3. [3]



Obr.3. [3]

Působením zátěžné síly F se mění šířka vzduchové mezery (a). Tím se mění impedance magnetického obvodu a v důsledku toho i indukčnost cívky. Změna indukčního odporu vyvolá změnu impedance cívky Z , pro kterou platí: [1]

$$Z = R + j \cdot \omega \cdot L = R + j \cdot \omega \cdot \frac{Z^2}{R_m} \quad (\Omega) \quad (2.1)$$

kde R ...odpor cívky

Lindukčnost cívky

zpočet závitů cívky

R_m ...odpor magnet.obvodu

jimaginární jednotka

ω ... kruhová frekvence

2.3.6. Elektrické dynamometry kapacitní

U těchto dynamometrů se využívá pro měření velikosti deformace změny kapacity snímačů. Nejjednodušším kapacitním snímačem je deskový kondenzátor, jehož kapacita C se dá stanovit dle vztahu: [1]

$$c = \varepsilon \cdot \frac{S}{a} \quad (\text{F}) \quad (2.2)$$

kde Splocha desek

avzdálenost mezi deskami

ε dielektrická konstanta

2.3.7. Elektrické dynamometry odporové

U elektrických odporových dynamometrů se využívá pro měření velikosti deformace změny odporu snímačů. Nejužívanějším odporovým snímačem jsou odporové tenzometry, kde je změna odporu způsobena deformací vodiče nebo polovodiče. Odporový tenzometr se deformuje spolu s deformačním elementem, neboť je s tímto elementem pevně spojen. Při měření deformace se využívá následujícího vztahu: [1]

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (\Omega) \quad (2.3)$$

kde R ...odpor vodiče

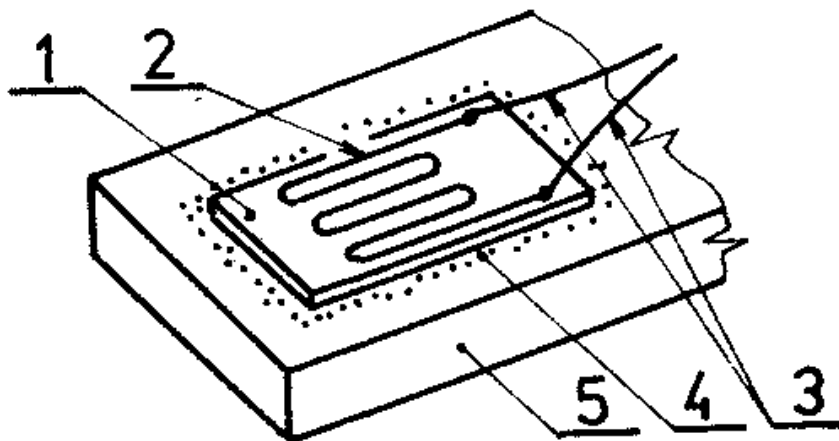
ρ měrný odpor materiálu vodiče

ldélka vodiče

Sprůřez vodiče

Nejpoužívanějším odporovým materiálem u kovových tenzometrů je konstantan (slitina Cu-Ni) s velkým měrným odporem a hodnotou součinitele deformační citlivosti $k=2$. Podle technologie výroby se dělí kovové tenzometry na drátkové, fóliové a napařované. [1]

Drátkové tenzometry – mají měřicí mřížku z odporového drátu o průměru 0,01 až 0,05 mm nalepenou na tenkou izolační podložku z papíru nebo z pryskyřice. K měřicí mřížce jsou připájeny měděné a postříbřené přívodní dráty. Drátkový tenzometr je potom přilepen na místo snímání deformace speciálním acetátovým nebo pryskyřicovým lepidlem. Měřicí mřížka může mít i tvar spirály, která je vetkaná do základového materiálu z umělého hedvábí nebo skleněné tkaniny. Odporový drátkový tenzometr je na Obr.4. [1]



Obr.4. [1]

- 1.....izolační podložka
- 2.....měřicí mřížka
- 3.....přívodní dráty
- 4.....speciální lepidlo
- 5.....deformační člen

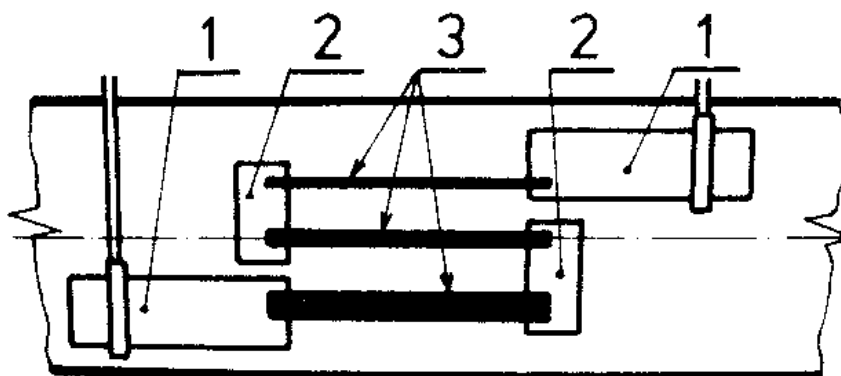
Drátkové odporové tenzometry mají malý rozptyl hodnoty odporu, součinitele deformační citlivosti i teplotních součinitelů. Tyto skutečnosti mají velký význam pro vyloučení rušivých vlivů při současném měření větším počtem tenzometrů.

Z těchto důvodů je použití drátkových tenzometrů při dynamickém měření sil nejrozšířenější. [1]

Fóliové tenzometry – liší se od drátkových tenzometrů technologií výroby. Měřicí mřížka je vytvořena z tenké fólie o tloušťce asi 0,012 až 0,015 mm. Požadovaný tvar měřicí mřížky je vyroben fotochemickou cestou, která je analogická metodě výroby tištěných spojů. [1]

Výhodou fóliových tenzometrů je jejich necitlivost vůči stranovým namáháním, poměrně velké přípustné zatížení proudové s ohledem na velké ochlazovací plochy a možnost vytvoření libovolného tvaru tenzometru. Fóliové odporové tenzometry se dále vyznačují dokonalejším spojením měřicí mřížky se základní fólií i lepšími podmínkami pro převod deformace na mřížku. Jsou proto v porovnání s odporovými tenzometry drátkovými přesnější a stabilnější. [1]

Napařovací tenzometry – představují v odporové tenzometrii další vyšší vývojový stupeň. Podstatou napařovacích odporových tenzometrů je postupné napařování jednotlivých vrstev přímo na měřené místo deformačního elementu. Napařování umožňuje vyrobit snímač velmi malých rozměrů a tloušťky. Postupuje se tak, že se na vyleštěné měřené místo nanáší postupně nejdříve vrstva izolační, potom vrstva pro spojovací a pájecí sekci a nakonec v požadovaném uspořádání vrstva odporová. Po dokončení se snímač pokryje ochrannou vrstvou. Provedení napařovacího tenzometru je na obr.5. [1]



Obr.5. [1]

- 1.....sekce pájení
- 2.....sekce spojovací
- 3.....sekce odporová

Výhody napařovacích tenzometrů jsou :

- velmi malé rozměry
- dlouhodobá stabilita
- dobrý odvod tepla izolační vrstvou
- minimální tečení

Vedle kovových tenzometrů se používají tenzometry polovodičové. Podstatou polovodičových tenzometrů je využití piezorezistentních vlastností některých polovodičových materiálů (např. křemík, germanium). Odporové polovodičové tenzometry se vyznačují vysokou hodnotou součinitele deformační citlivosti, která je při porovnání s odporovými kovovými snímači až o dva řády vyšší. [1]

2.3.8. Elektrické dynamometry piezoelektrické

Piezoelektrické dynamometry využívají pro snímání deformace piezoelektrického jevu, který je charakterizován vznikem elektrického náboje na povrchu některých krystalů při mechanickém zatížení. [1]

Pro stanovení velikosti vzniklého náboje platí :

$$Q = k_p \cdot F \quad (\text{C}) \quad (2.4)$$

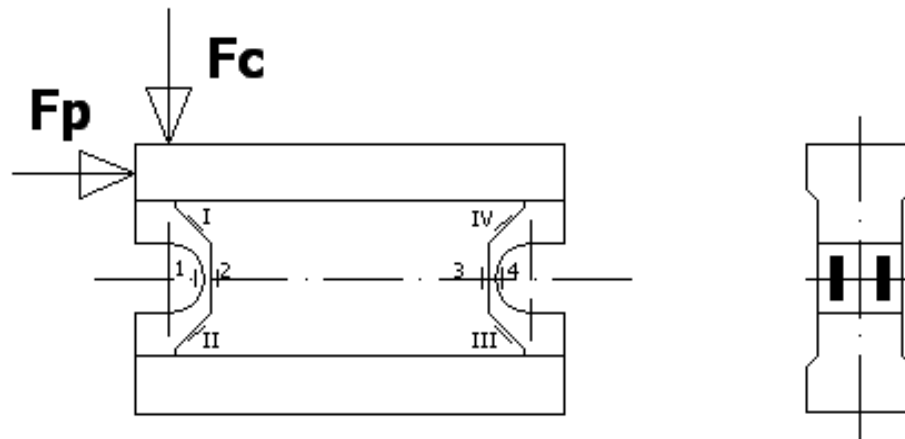
Qvelikost elektrického náboje

k_ppiezoelektrická konstanta

F.....síla zatěžující krystal

2.3.9. Dvousložkový elektrický odporový dynamometr pro soustružení

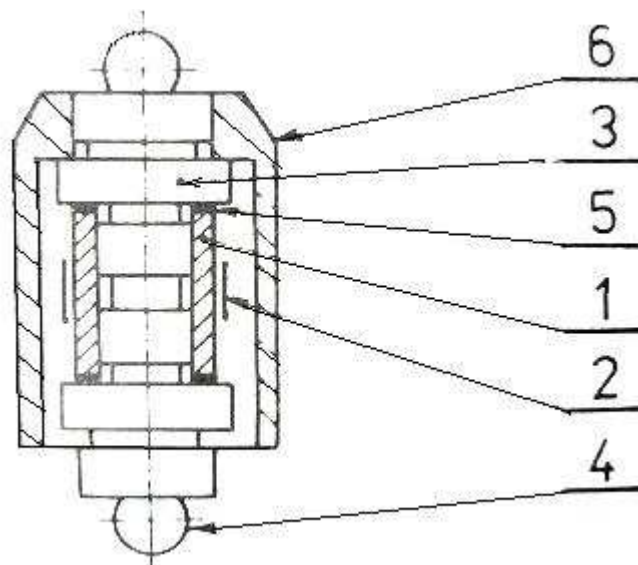
Dvousložkový dynamometr pro soustružení je konstruován jako držák soustružnického nástroje, ustavený na dva stejné měrné nosníky, souměrně umístěné k zatěžující síle. Tvar nosníku na obr.6. Tenzometry jsou nalepeny pouze na jednom z těchto měrných nosníků. Pro snímání deformace jsou použity tenzometry, které jsou umístěny na nosníku dle Obr.6. K lepení tenzometrů je použito epoxidové pryskyřice. Tenzometry pro snímání složky F_c jsou nalepeny do míst 1, 2, 3, 4, tenzometry pro snímání složky F_p jsou nalepeny do míst I, II, III a IV. [1]



Obr.6. [1]

2.3.10. Třísložkový elektrický odporový dynamometr pro soustružení

Třísložkový dynamometr se skládá z pláště o vysoké tuhosti, z tělesa držáku nože a z měřících článků, jejichž nedílnými součástmi jsou tenzometrické snímače. Samostatnou část stejně jako v předchozích dynamometrech představuje část elektrická. Proti vniknutí třísek k snímacím článkům je třísložkový dynamometr opatřen pevným krytem. Snímací článek je zachycen na obr.7. [1]



Obr.7. [1]

- 1..... deformační člen
- 2..... tenzometrický snímač
- 3..... víko článku
- 4..... kulička
- 5..... měkká podložka
- 6..... ochranný kryt

3. Rozbor konstrukce daného dynamometru

Bakalářská práce se bude zabývat digitalizací(modernizací) tříšložkového odporového dynamometru, využívající pro měření deformace snímače síly (odporové tenzometry C9A, C90A). Snímač C9A je použit při zachycení síly ve směru F_c a F_p . Snímač C90A je použit při zachycení posuvové síly F_f . Dynamometr byl zhotoven v roce 1993 na Vysoké škole báňské kolektivem zaměstnanců na katedře obrábění a montáže. Stávající dynamometry, které se doposud využívaly v laboratořích Vysoké školy báňské byly analogové, zde bylo výhodou, že se přímo na milivoltmetru vidělo, jak síly stoupají a klesají, naopak velkou nevýhodou bylo, že se naměřené hodnoty nedaly zpracovávat do grafu, nebyla možná komunikace z PC.

To bylo také hlavním důvodem proč se přistoupilo k modernizaci stávajícího tříšložkového analogového dynamometru na digitální. U digitálního provedení můžeme s využitím datalogeru ALMEMO bez problémů přijímat signály, sledovat opotřebení, teploty, povrchové napětí. Zásadní rozdíl je v tom, že můžeme vytvořit časové závislosti a to v analogové formě nebylo možné.

Účelem měření dynamických sil, je zjistit velikost řezných sil ve spojení s opotřebením nástroje. Na základě těchto kritérií stanovíme řezné podmínky, snížíme nebo naopak zvýšíme rychlost posuvu, zmenšíme hloubku třísky apod.

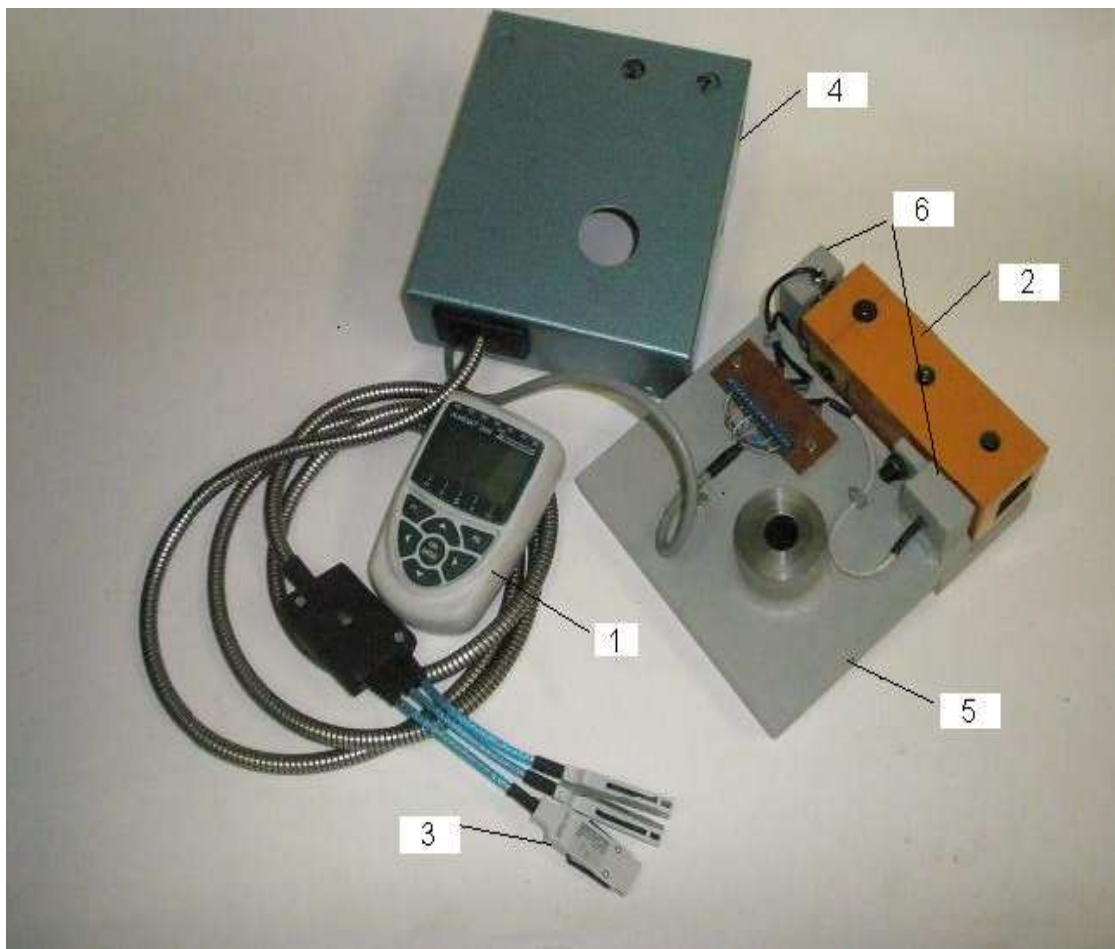
Samotný dynamometr se skládá z upínacího hranolu, do kterého se upevňuje nástroj(soustružnický nůž), dále se skládá z kardanového kříže, který zajišťuje pohyb upínacího hranolu do všech třech směrů tzn. F_c , F_f , F_p a umožňuje snímání sil. Kardan je ze spodní a horní strany připevněn čepem k upínacímu hranolu. Ve vertikální poloze je upnut dvěma pákami.

Zadní část kardanu slouží jako dosedací plocha pro měřící element, v našem případě jde o odporový tenzometr C9A pro zachycení sil ve směru osy nástroje F_p . Posuvovou složku síly F_f zachycuje další odporový tenzometr C90A, který je umístěn na boční straně upínacího hranolu. Stejně tak i třetí složka síly F_c je zachycena odporovým tenzometrem ve spodní části upínacího hranolu. Odporové tenzometry (snímače síly C9A, C90A viz obr.9).

Pro dosažení rovnoměrného rozložení sil, má každý tenzometrický můstek zajištěné stavitelné předpětí každého členu pro zachycení sil, každé složky odděleně (F_c , F_f , F_p , aby se jednotlivé složky vzájemně ovlivňovaly co nejméně). Dosedací plocha kardanu je kulová, o poloměru který se váže k horizontální ose kardanu, tzv. k ose naklápění upínacího hranolu, aby nedošlo ke zkreslení naměřených hodnot. Tyto tři části jsou zachyceny v tělese dynamometru. Na těleso dynamometru je nasazen kryt, mezi nímž a upínacím hranolem musí být dilatační mezera zajišťující nerušený pohyb hranolu, tzn. bez vzájemného styku. Všechny otvory jsou utěsněny pevným, odolným tmelem, který zabraňuje vnikání nečistot k měřícím elementům dynamometru.

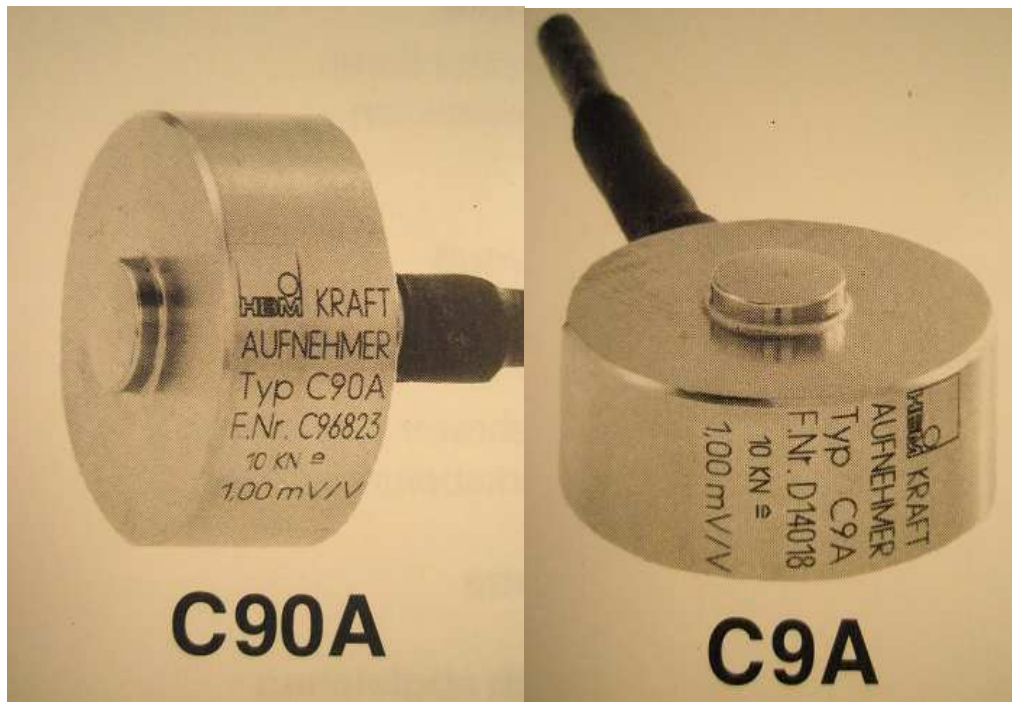
Po stránce elektrického zapojení je signál z tenzometrických můstků (C9A, C90A) vyveden stíněnými vodiči na sběrnici uvnitř tělesa dynamometru. Ze sběrnice je měřený signál rozveden do jednotlivých konektorů, kde je zesílen a zkomparován. Při napojení konektorů do převodníku ALMEMO se signál v analogové podobě převádí na digitální a dále zpracovává. Převodník disponuje kontrolním displejem pro mobilní měření v terénu s možností připojení k počítači, pro další zpracovávání naměřených hodnot v digitální podobě.

K převodníku můžeme též připojit další měřené veličiny. Množství měřených veličin je omezeno kapacitou vstupních částí přístroje.



Obr. 8. Třísložkový odporový dynamometr

- 1.....Digitální převodník ALMEMO
- 2.....Upínací hranol
- 3.....Konektory
- 4.....Kryt
- 5.....Těleso dynamometru
- 6.....Snímače síly (C90A, C9A).viz.obr. 9



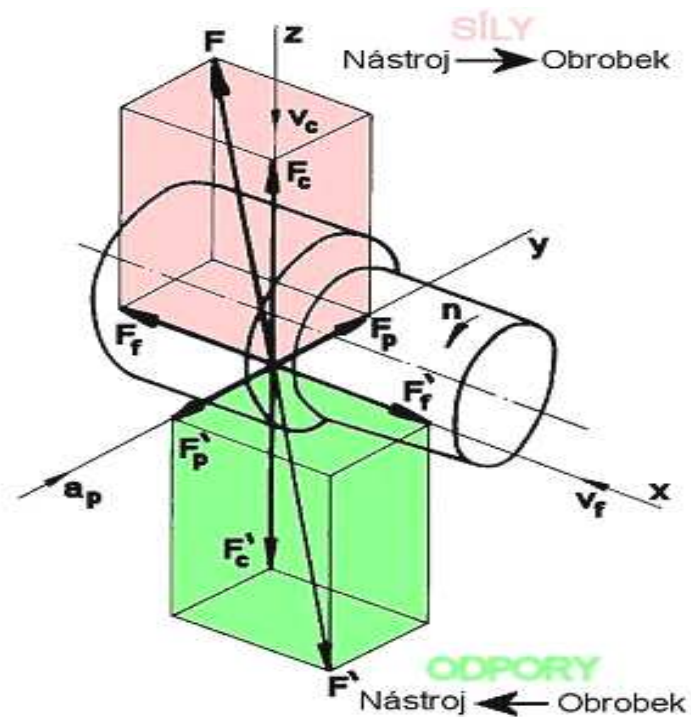
Obr.9. Snímače síly

4. Síly při soustružení

Soustružení je metoda obrábění pro výrobu převážně rotačních součástí, pomocí nástrojů (soustružnických nožů) různého provedení. Soustružení je ve strojírenství jedno z nejpoužívanějších způsobů obrábění.

Síla obrábění F je výslednicí dvou složek, a to aktivní složky řezání F_1 a složky pasivní F_2 . Aktivní složku řezání pak lze dále rozkládat na řeznou složku síly obrábění F_c a složku posuvu F_f .

Typický rozklad řezné síly na složky je pro soustružení na obr.10. Poměr velikostí jednotlivých složek je dán především určitou technologií obrábění a geometrií nástroje. Ze všech složek síly řezání má zpravidla největší význam řezná složka F_c . Je základem pro formulaci omezujících podmínek, zejména při optimalizaci řezných parametrů. [3]



Obr.10 [14]

F_c – řezná síla (N)

F_f – posuvová síla (N)

F_p – pasivní síla (N)

F – celková řezná síla: (N)

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2} \quad (4.1)$$

Potřebný výkon obráběcího stroje P: (W)

$$P = \frac{F_c \cdot v_c}{\eta} \quad (4.2)$$

4.1. Řezná síla

Zkoumání řezných sil při obrábění kovů má nejen praktický, ale i teoretický význam. Teoretické poznatky o řezných silách umožňují upřesnit teorie o řezném procesu .

V praxi jsou zase poznatky o řezných silách důležité při konstruování nástrojů, při výpočtech a konstrukci obráběcích strojů apod. Současné zkoumání řezných sil v teorii obrábění kovů se opírá o měření, které se uskutečňuje dynamometry různého druhu a konstrukce. [2]

U vzorců pro výpočet řezné síly jsou známé teoretické poznatky, ve kterých vycházíme z fyzikálních konstant obráběných materiálů a z geometrie řezného nástroje. Řezná síla je dynamický jev, což znamená, že v časovém průběhu není konstantní. Řezná síla na začátku řezání roste až po určitém maximu. Toto maximum je charakteristické pro moment oddělení elementu třísky od základního materiálu. Potom síla poklesne, ale ne na nulovou hodnotu, protože před skončením posunutí elementu začne deformace dalšího elementu. [2]

Řeznou sílu můžeme vnímat jako statickou a dynamickou:

- a) ve statickém smyslu jde o určitou střední hodnotu mezi nejmenší a největší hodnotou kolísání řezné síly.
- b) v dynamickém smyslu jde o obraz velikosti řezné síly, zachycený ve změně, která je pro řeznou sílu charakteristická při celém řezném procesu. [2]

4.2. Měření složek síly řezání

Mechanismus tvorby třísky prokazuje, že při vnikání řezného klínu do materiálu obrobku vzniká v obráběném materiálu stav napjatosti, který způsobuje v mezní situaci jeho dělení. Proces tohoto dělení doprovází menší a nebo větší plastické, ale i elastické deformace. Kromě jevů deformačních se při tomto procesu prosazují i poměry silové. Poznání těchto silových poměrů procesu řezání nám umožní získat přehled o mechanickém namáhání soustavy obrábění, a tím i podklady pro řešení celé technologické soustavy, jak z hlediska pevnosti, tak i její tuhosti včetně dynamické stability řezného procesu. [3]

Dále je možné získat podklady pro určení příkonu obráběcího stroje, zajištění energetické účinnosti řezného procesu i posuzování jeho tepelných jevů. Pro hodnocení a posuzování těchto tepelných jevů při procesu řezání, pro hodnocení trvanlivosti řezného nástroje, respektive jeho životnosti, ale také pro posouzení podmínek přesnosti, jakož i celkové ekonomické bilance třískového obrábění. Zvláště významnou veličinou tohoto procesu je síla obrábění (řezání), kterou je nutno chápat jako veličinu časově proměnnou. Stav napjatosti v obráběném materiálu způsobuje řezný odpor R , který síla řezání (obrábění) musí při řezném procesu neustále překonávat. Pro podmínku rovnováhy platí: [3]

$$F = -R$$

F – síla obrábění (N)

R – řezný odpor (N)

5. Cejchování dynamometru

Správnost měření složek řezných sil i kroutících momentů s použitím dynamometrů zabezpečuje vedle celé řady faktorů i správnost cejchování. Cejchováním se rozumí porovnání údajů dynamometru se skutečnou hodnotou sledované veličiny. [1]

5.1. Postup při cejchování dynamometru

Dynamometr se zatěžuje postupně měřicí silou známé velikosti a na měřidle se odečítá odpovídající hodnota v (mV). Cejchování se provádí v celém měřicím rozsahu a to jak při zatěžování, tak i při odlehčování. Při cejchování třísložkového dynamometru je nutné aplikovat uvedený způsob cejchování pro řeznou složku F_c , pasivní složku F_p a posuvovou F_f .

Výsledky cejchování se postupně zpracovávají do tabulky. Ze získaných hodnot sestrojíme cejchovní křivku, která je grafickým vyjádřením závislosti mezi danou složkou řezné síly a odpovídající veličinou, v našem případě napětím U (mV). Při cejchování každé složky F_c , F_f , F_p je nutné dodržet vzdálenost vyložení přípravku 32 mm z upínacího hranolu od závěsu držáku závaží, z důvodu umístění tenzometrů v těle dynamometru a správnosti měření. Viz. obr.15.



Obr. 14. Digitální převodník
ALMEMO [4]



Obr.15. Vzdálenost vyložení přípravku
od závěsu držáku závaží.

5.1.1. Cejchování složky F_c

Dynamometr je upnut na stole tak, abychom mohli zatížit jeho složku F_c , tzn. klást závaží na držák, který je zavěšen kolmo dolů na přípravek v upínacím hranolu, viz. obr.11. Závaží se postupně nakládá na připravený držák a odečítáme hodnoty z digitálního převodníku ALMEMO viz obr.14. Stejně tak i při postupném sundávání závaží a odečítání hodnot z převodníku ALMEMO. Při cejchování složky F_c je nutné počítat z předpětím, které má tenzometr zachycující tuto složku ještě před zatížením samotným závažím. Měření při zatěžování a odlehčování proběhlo 5 krát, vzhledem k lepšímu a přesnějšímu statistickému zhodnocení. Hodnoty jsou zprůměrovány a zaneseny do tabulky 1.



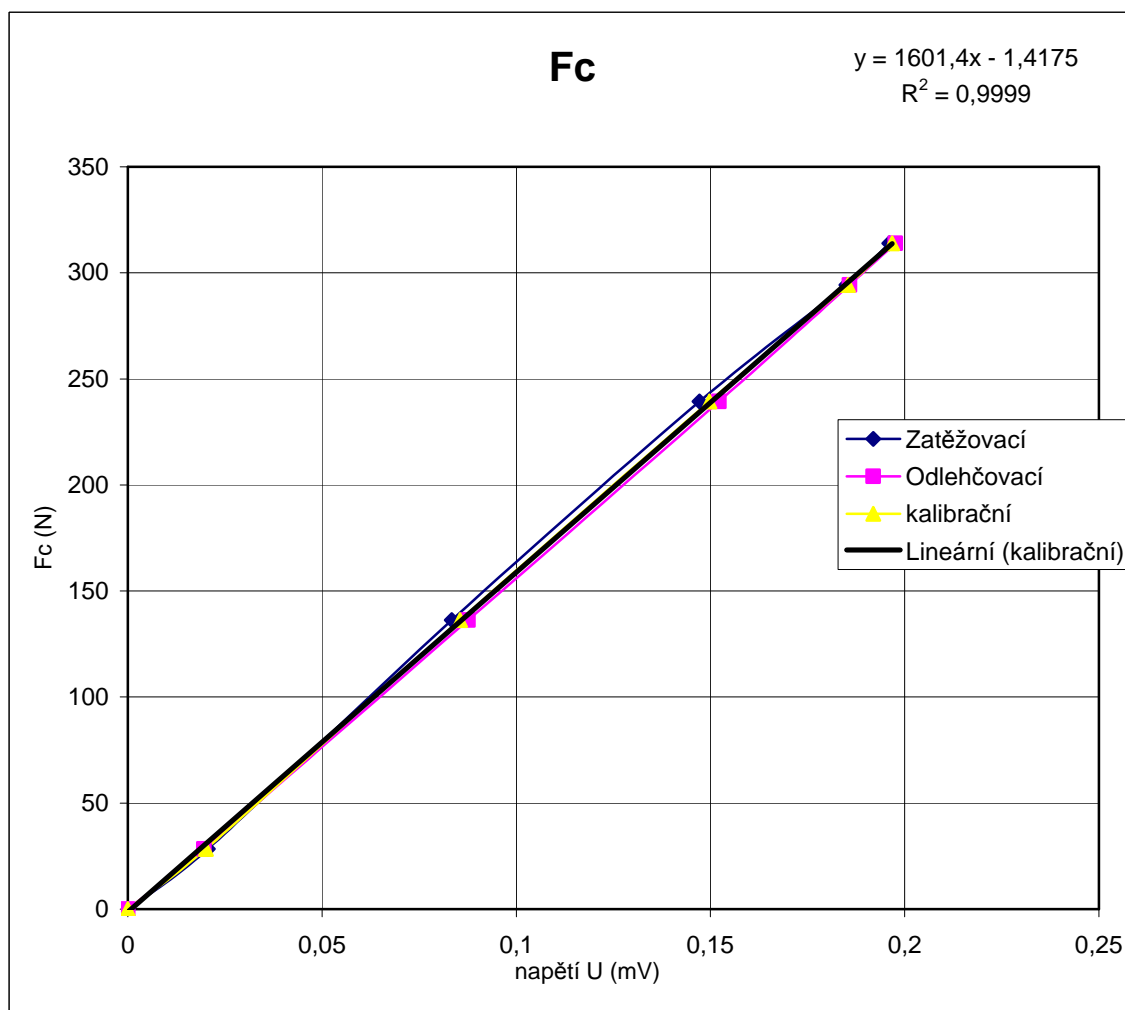
Zatěžování

Odlehčování

Obr.11. Zatěžování a odlehčování dynamometru při cejchování složky F_c

Tab.1. naměřené hodnoty při zatěžování složky F_c

zátěž m (kg)	Střední hodnota napětí U (mV)		F [N]
	zátěž.	odlehč.	
0	0,3372	0,3356	0
2,9	0,3578	0,3552	28,45
13,9	0,4206	0,4232	136,36
24,4	0,4844	0,4878	239,36
30	0,5222	0,5214	294,32
32	0,5332	0,5332	313,92

Cejchovní křivka síly F_c ,Graf.1. Závislost mezi danou složkou řezné síly F_c a napětím U [mV]

5.1.2. Cejchování složky F_f

Dynamometr musí být pootočen a upnut na stole tak, abychom mohli zatížit jeho složku F_f , tzn. klást závaží na držák, který je zavěšen na přípravku v upínacím hranolu dynamometru, viz obr.12. Závaží se postupně nakládá na připravený závěsný držák a odečítáme hodnoty z digitálního převodníku ALMEMO. Stejně tak i při postupném sundávání závaží. Cejchování složky F_f proběhlo 5 krát, vzhledem k lepšímu a přesnějšímu statistickému zhodnocení. Hodnoty jsou zprůměrovány a zaneseny do tabulky 2. Tenzometr zachycující složku F_f má jisté předpětí, se kterým je nutné počítat ještě před samotným měřením, tzv. nakládáním a sundáváním závaží.



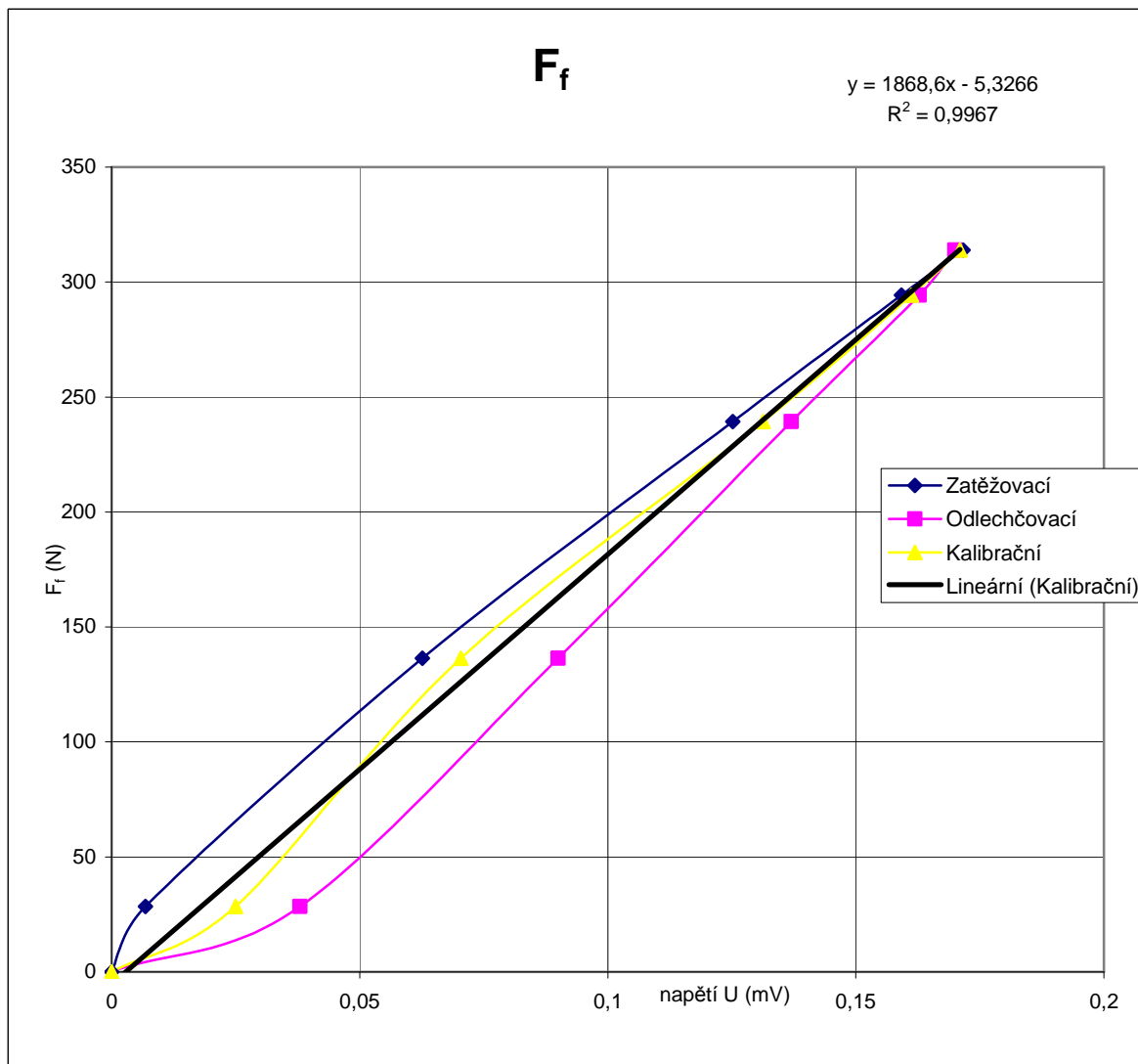
Zatěžování

Odlehčování

Obr.12. Zatěžování a odlehčování dynamometru při cejchování složky F_f

Tab.2. naměřené hodnoty při zatěžování složky F_f

zátěž m (kg)	Střední hodnota napětí U (mV)		F [N]
	zátěž.	odlehč.	
0	0,0234	0,0250	0
2,9	0,0302	0,1200	28,45
13,9	0,0860	0,1030	136,36
24,4	0,1486	0,1620	239,36
30	0,1826	0,1880	294,32
32	0,1950	0,1950	313,92

Cejchovní křivka síly F_f Graf.2. Závislost mezi danou složkou síly F_f a napětím U [mV]

5.1.3. Cejchování složky F_p

Dynamometr je upnut na stole tak, abychom mohli zatížit jeho složku F_p , obr.13. Závaží se klade na přípravek, který je upnut v upínacím hranolu tak, aby váha závaží působila na přípravek ve směru osy, viz obr.13. Závaží se postupně nakládá na připravený držák a odečítáme hodnoty z digitálního převodníku ALMEMO. Tímto způsobem postupujeme i při sundávání závaží. Stejně tak jako u předchozích složek F_c a F_f proběhlo cejchování složky F_p 5 krát, vzhledem k lepšímu a přesnějšímu statistickému zhodnocení a hodnoty jsou zprůměrovány a zaneseny do tabulky 3. Při cejchování složky F_p je nutné počítat z předpětím, které má tenzometr zachycující tuto složku ještě před zatížením samotným závažím.



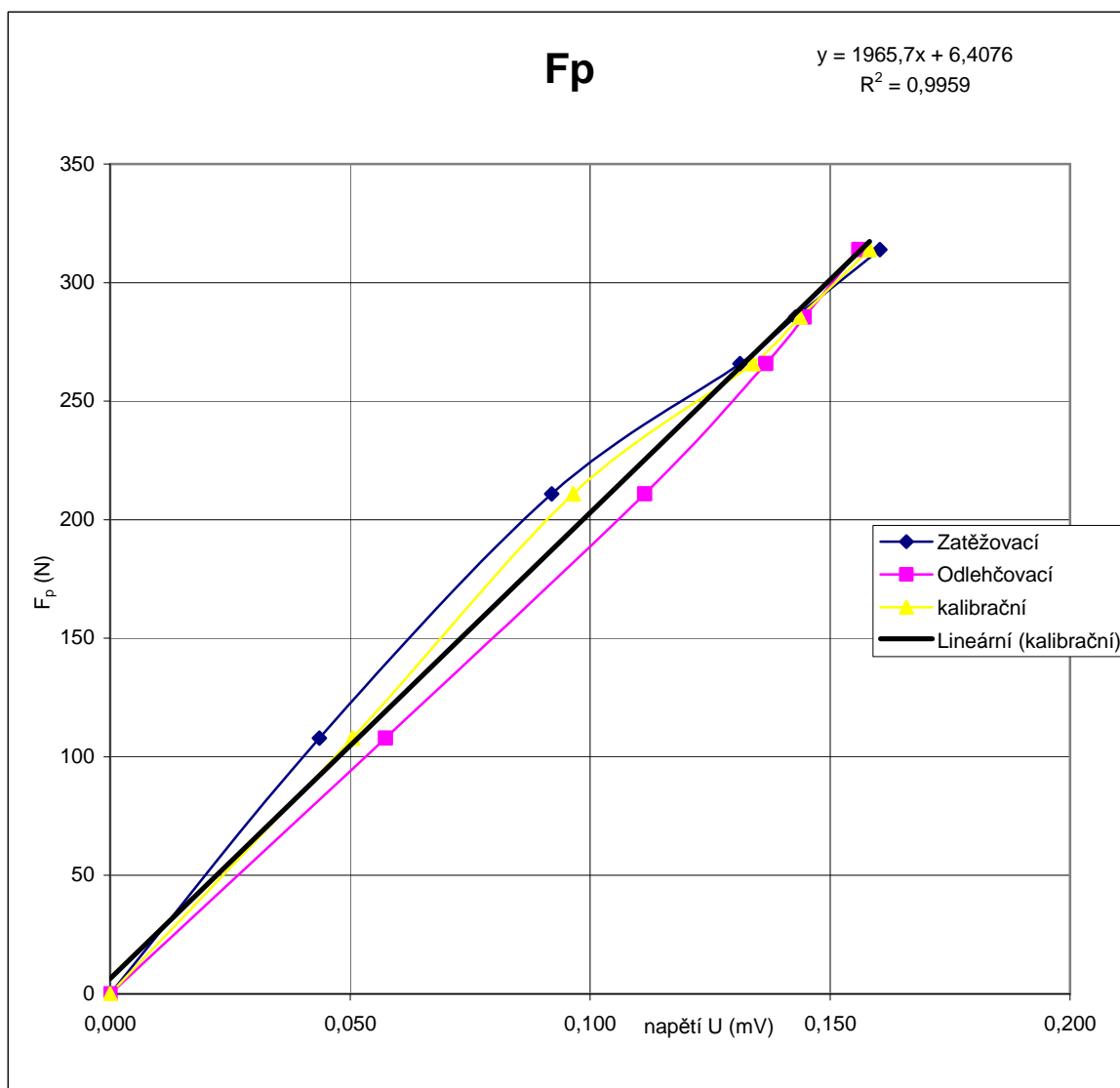
Zatěžování

Odlehčování

Obr.13. Zatěžování a odlehčování dynamometru při cejchování složky F_p

Tab.3. naměřené hodnoty při zatěžování složky F_p

zátěž m (kg)	Střední hodnota napětí U (mV)		F [N]
	zátěž.	odlehč.	
0	0,2008	0,2052	0
2,9	0,2444	0,2626	28,45
13,9	0,2824	0,3166	136,36
24,4	0,332	0,3418	239,36
30	0,3436	0,3498	294,32
32	0,3612	0,3612	313,92

Cejchovní křivka síly F_p ,Graf.3. Závislost mezi danou složkou síly F_p a napětím U [mV]

6. Měření sil při soustružení

Úkolem Bakalářské práce bylo prověřit funkčnost digitalizovaného dynamometru při soustružení. Experimentální měření se zabývalo obráběním těžce obrobitelného materiálu INCONEL alloy 718, na univerzálním hrotovém soustruhu MAŠSTROJ TROJAN C11 MV v laboratořích Vysoké školy báňské. Za použití keramických destiček Greenleaf WG – 300, Kyocera A66N a destičkou Al₂O₃ Disal D210 v závislosti na řezné rychlosti a posuvu.

6.1. Obráběný materiál INCONEL alloy 718

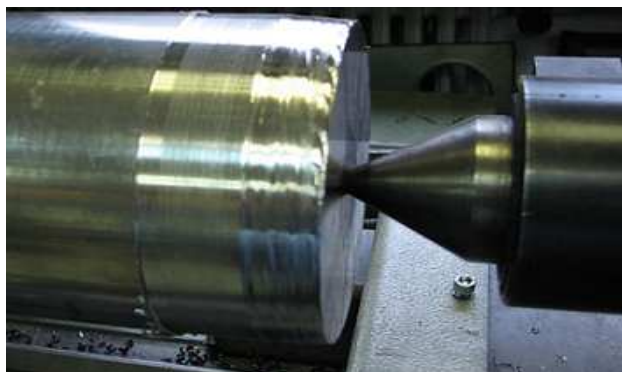
Jedná se o žáruvzdorný a žárovevný materiál, odolný proti opotřebení. Výrazně odolnější než železné slitiny. Slitiny na bázi Ni-Cr-Co + přísady Al, Ti popřípadě Mo, W, Nb. Vysoké meze tečení se dosahuje precipitačním vytvrzením fáze Ni₃Al v níž je rozpuštěn titan. Dalšími vyztužujícími fázemi jsou karbidy a karbonitridy. V některých aplikacích se k náhradě velkého množství niklu používá určité procento Fe. Ke zvýšení korozní odolnosti postačuje Mo. U třískového obrábění z důvodu odolnosti obráběného materiálu proti opotřebení vzniká velmi silný vývin tepla a tříska se velmi obtížně láme. Žáruvzdorné a žárovevné slitiny se používají na raketové, proudové motory, lopatky turbín, hřídele apod. Velké využití slitin typu INCONEL je na vrtných plošinách na moři i na vrtných věžích na pevnině, od vrtných potrubí a vrtných nástrojů až ke spalovacím stožárům. Slitiny INCONEL jsou obzvláště vhodné pro těžební otvory, kde prostředí kyselých plynů a ropy spolu s vysokou teplotou mohou způsobit vážné provozní problémy.

Chemické složení [%]:

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Ti	Nb+Ta	Co	B
0,015	0,015	0,35	0,002	0,002	21	2,99	53,55	0,53	0,1	1,15	4,96	1	0,002

Mez pevnosti: R_m = 1240 Mpa,

Tvrdość dle Rockwella: HRC = 36



Obr.16. materiál INCONEL alloy 718

6.2. Obrábění keramickou destičkou Al_2O_3 Disal D210

Směsná oxidová keramika na bázi (Al_2O_3 , ZrO_2 a CoO) - vyniká kromě tvrdosti a odolnosti proti opotřebení za vysokých teplot i zvýšenou houževnatostí. Je vhodná pro obrábění šedé, sférické i temperované litiny, konstrukčních, zušlechtěných i rychlořezných ocelí lehkým přerušovaným řezem. [13]

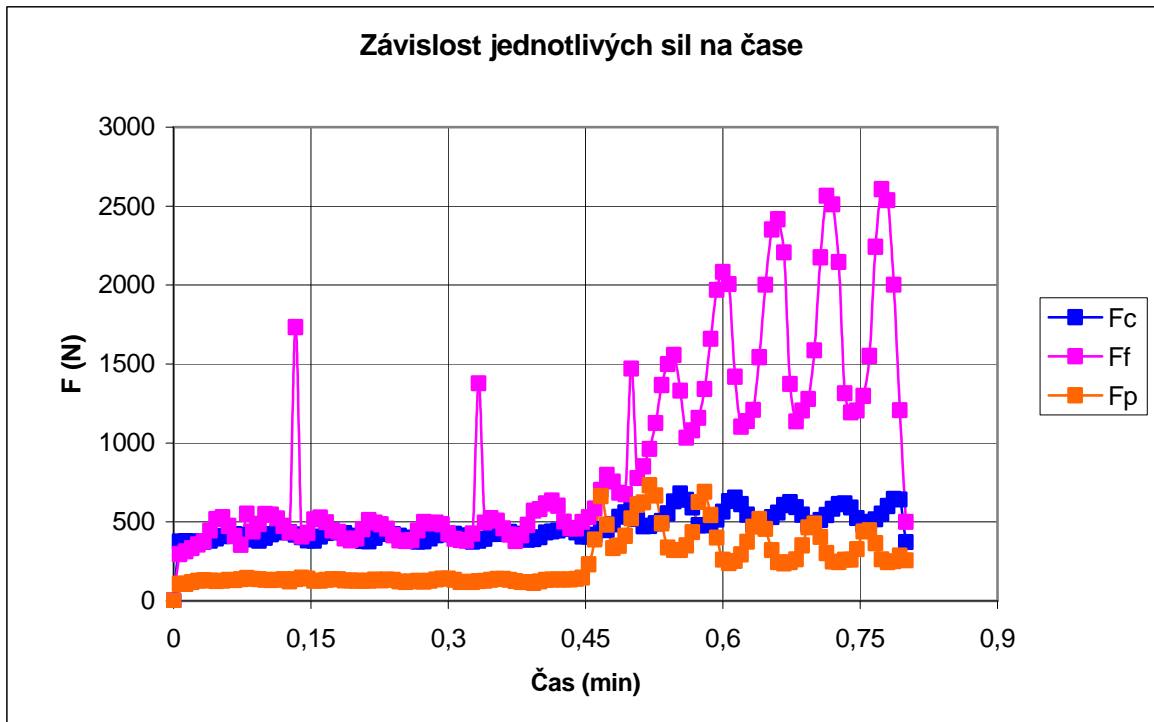
Obr.17. Keramická destička Al_2O_3 Disal D210

Tab.4. Síly zjištěné při daných parametrech obrábění

Keramika Al_2O_3	v_c	f	n	a_p	F_c	F_f	F_p
Disal D210	[m.min ⁻¹]	[mm]	[min ⁻¹]	[mm]	[N]	[N]	[N]
hrana 1	51,77	0,1	160	1	498	1750	350
hrana 2	101,93	0,1	315	1	890	1350	1100
hrana 3	161,79	0,1	500	1	1190	980	820
hrana 4	161,79	0,2	500	1	1100	930	480

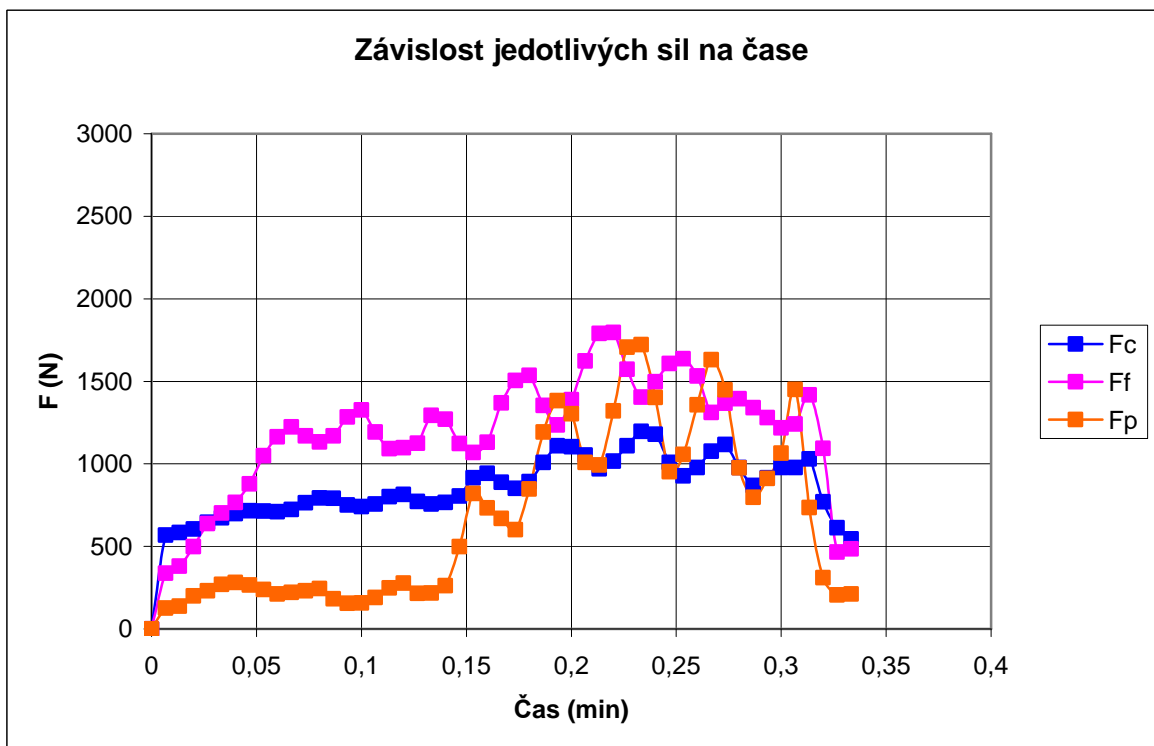
Graf .4. Grafické znázornění průběhů jednotlivých sil pro parametry obrábění hranou 1.

$$v_c = 51,77 \text{ m.min}^{-1}, f = 0,1\text{mm}, a_p = 1\text{mm}, n = 160 \text{ min}^{-1}$$



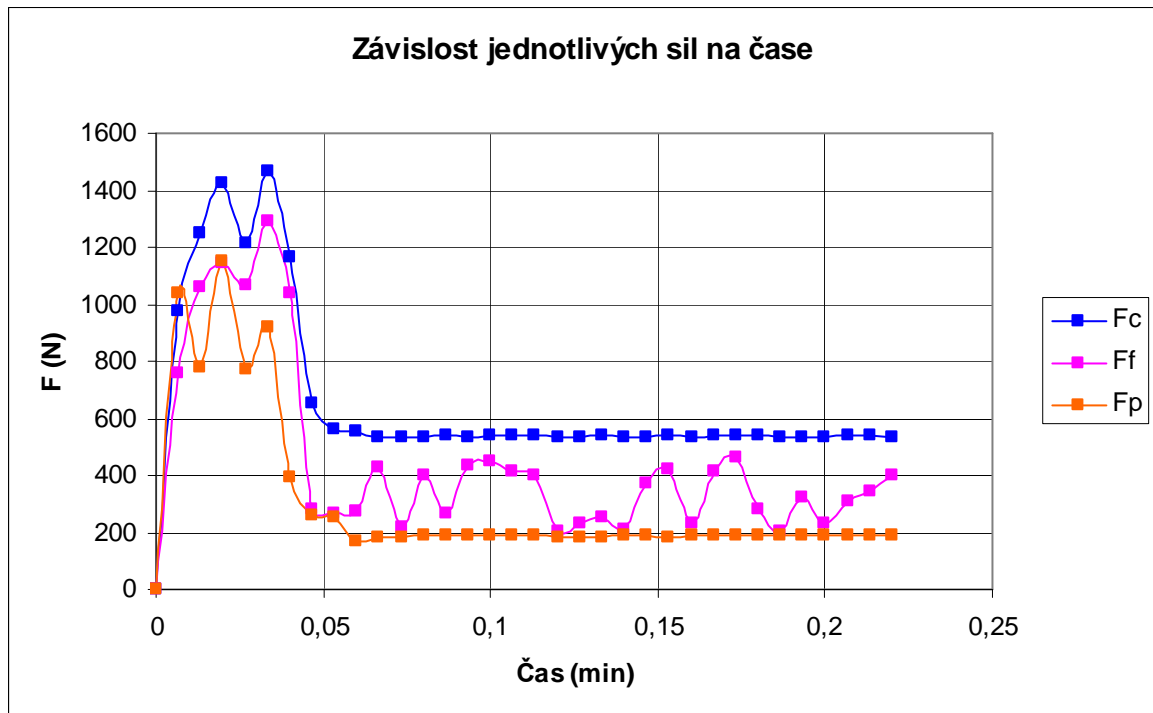
Graf .5. Grafické znázornění průběhů jednotlivých sil pro parametry obrábění hranou 2.

$$v_c = 101,93 \text{ m.min}^{-1}, f = 0,1\text{mm}, a_p = 1\text{mm}, n = 315 \text{ min}^{-1}$$



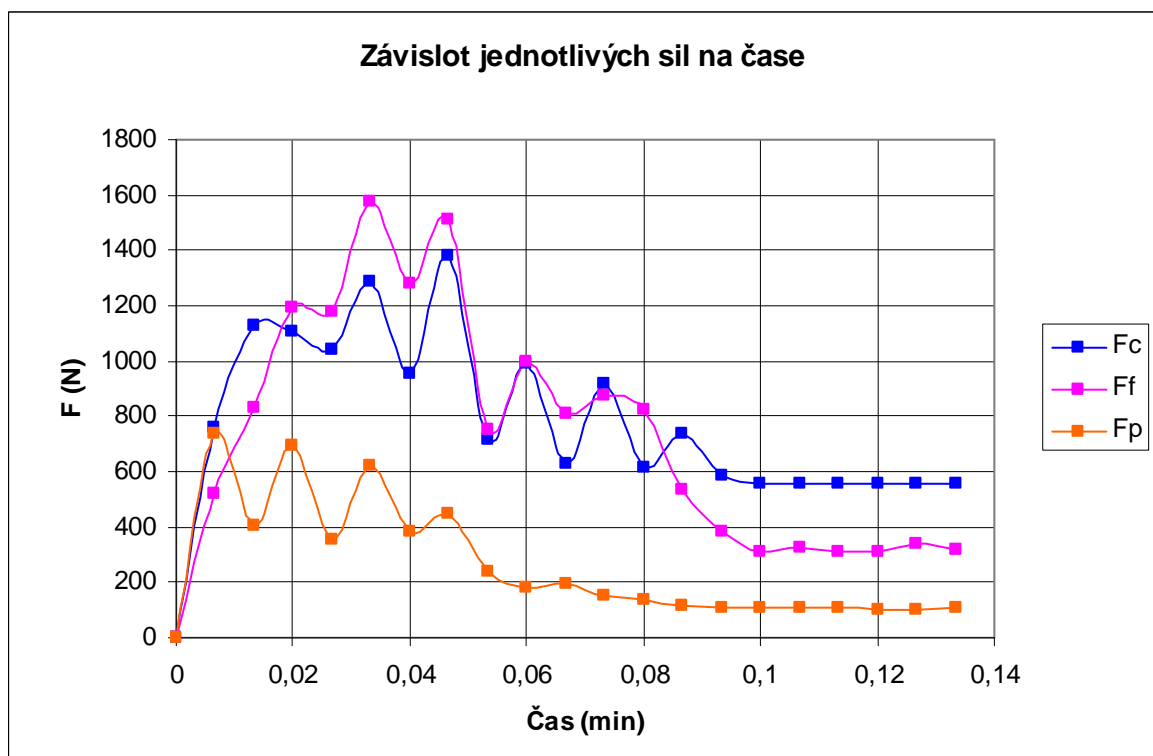
Graf.6. Grafické znázornění průběhů jednotlivých sil pro parametry obrábění hranou 3.

$$v_c = 161,79 \text{ m.min}^{-1}, f = 0,1 \text{ mm}, a_p = 1 \text{ mm}, n = 500 \text{ min}^{-1}$$



Graf.7. Grafické znázornění průběhů jednotlivých sil pro parametry obrábění hranou 4.

$$v_c = 161,79 \text{ m.min}^{-1}, f = 0,2 \text{ mm}, a_p = 1 \text{ mm}, n = 500 \text{ min}^{-1}$$



6.3. Obrábění keramickou destičkou KYOCERA A66N

Povlakovaná keramická destička od japonské firmy Kyocera, vhodná pro jemně přerušovaný řez při obrábění jak litin, tak i zušlechtěných a zpevněných ocelí a dalších materiálů za výhodných řezných podmínek. [12]



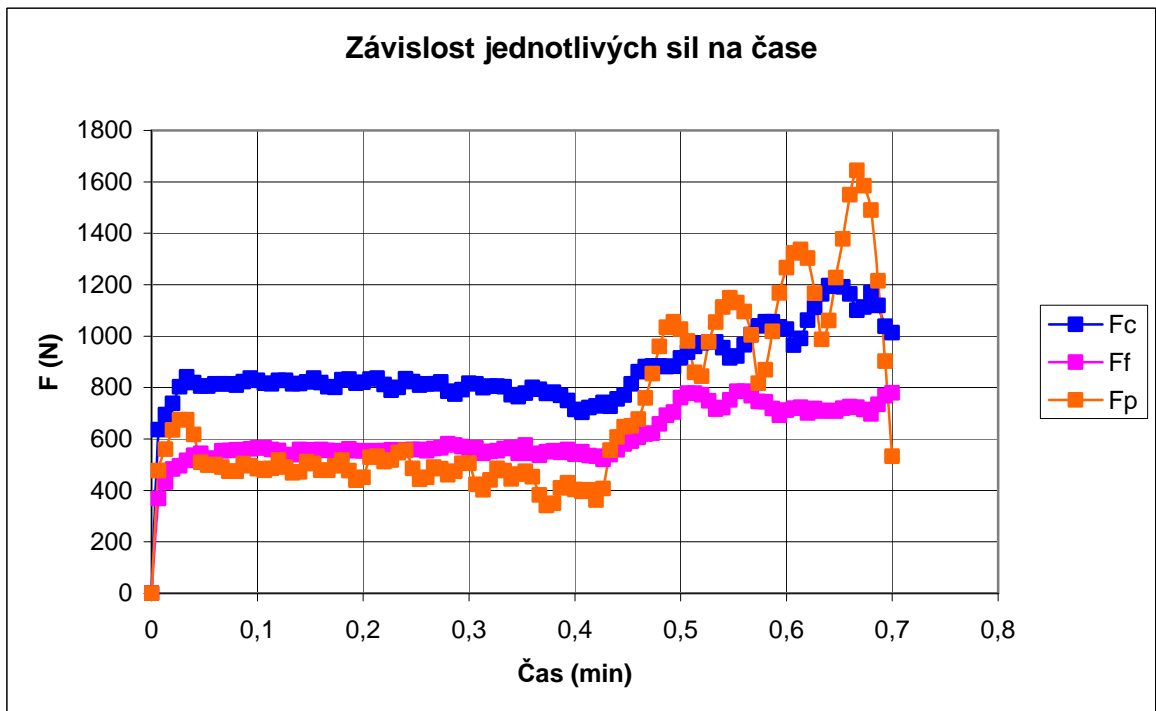
Obr.18. Keramická destička KYOCERA A66N

Tab.5. Síly zjištěné při daných parametrech obrábění

Keramika Kyocera A66N	v_c [m.min ⁻¹]	f [mm]	n [min ⁻¹]	a_p [mm]	F_c [N]	F_f [N]	F_p [N]
hrana 1	51,77	0,1	160	1	990	630	850
hrana 2	101,93	0,1	315	1	750	425	490
hrana 3	101,93	0,2	315	1	910	440	640
hrana 4	161,79	0,1	500	1	960	1250	1400

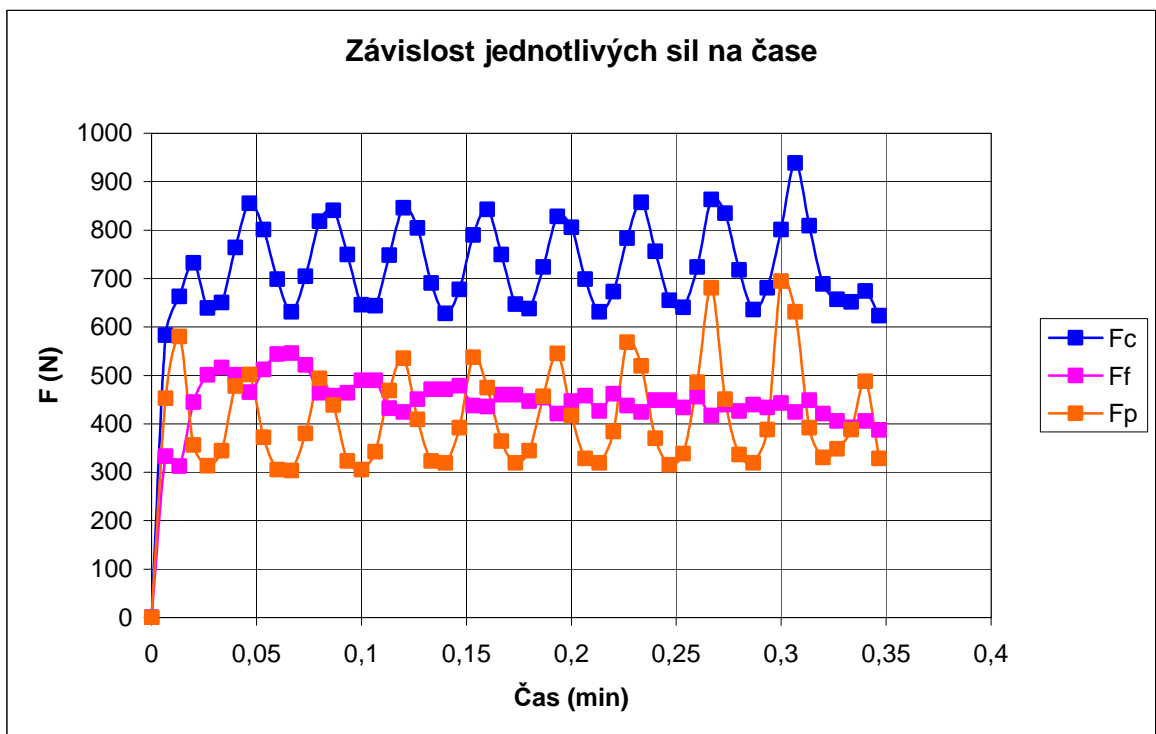
Graf .8. Grafické znázornění průběhů jednotlivých sil pro parametry obrábění hranou 1.

$$v_c = 51,77 \text{ m.min}^{-1}, f = 0,1 \text{ mm}, a_p = 1 \text{ mm}, n = 160 \text{ min}^{-1}$$



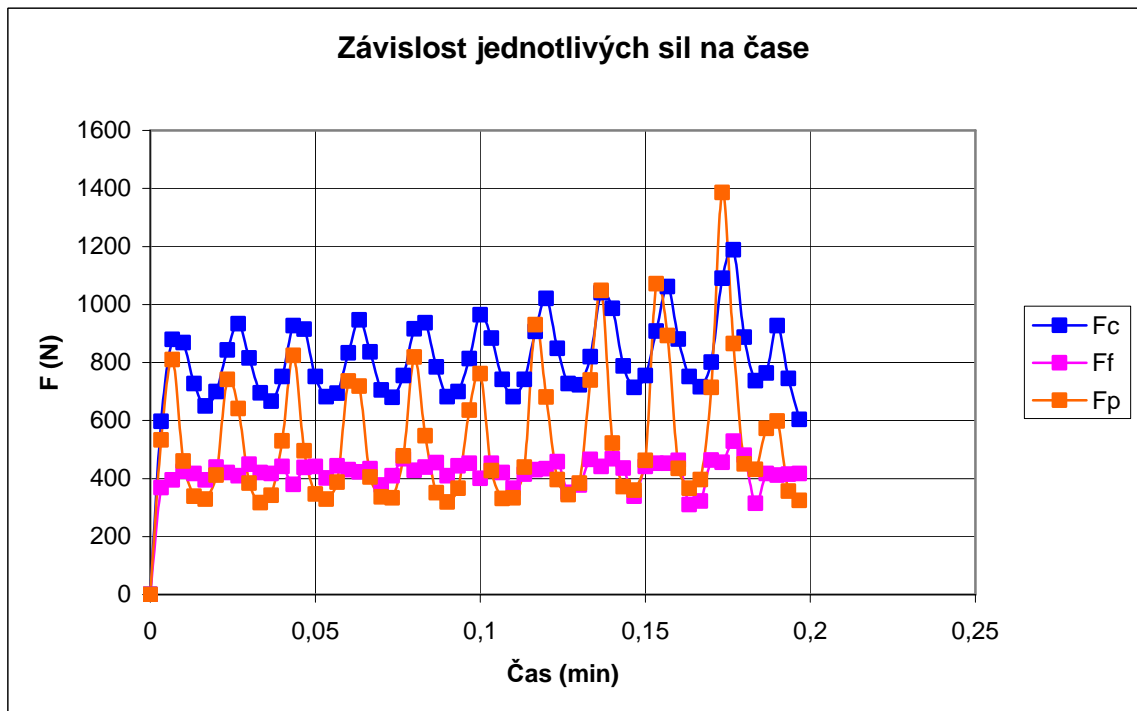
Graf .9. Grafické znázornění průběhů jednotlivých sil pro parametry obrábění hranou 2.

$$v_c = 101,93 \text{ m.min}^{-1}, f = 0,1 \text{ mm}, a_p = 1 \text{ mm}, n = 315 \text{ min}^{-1}$$



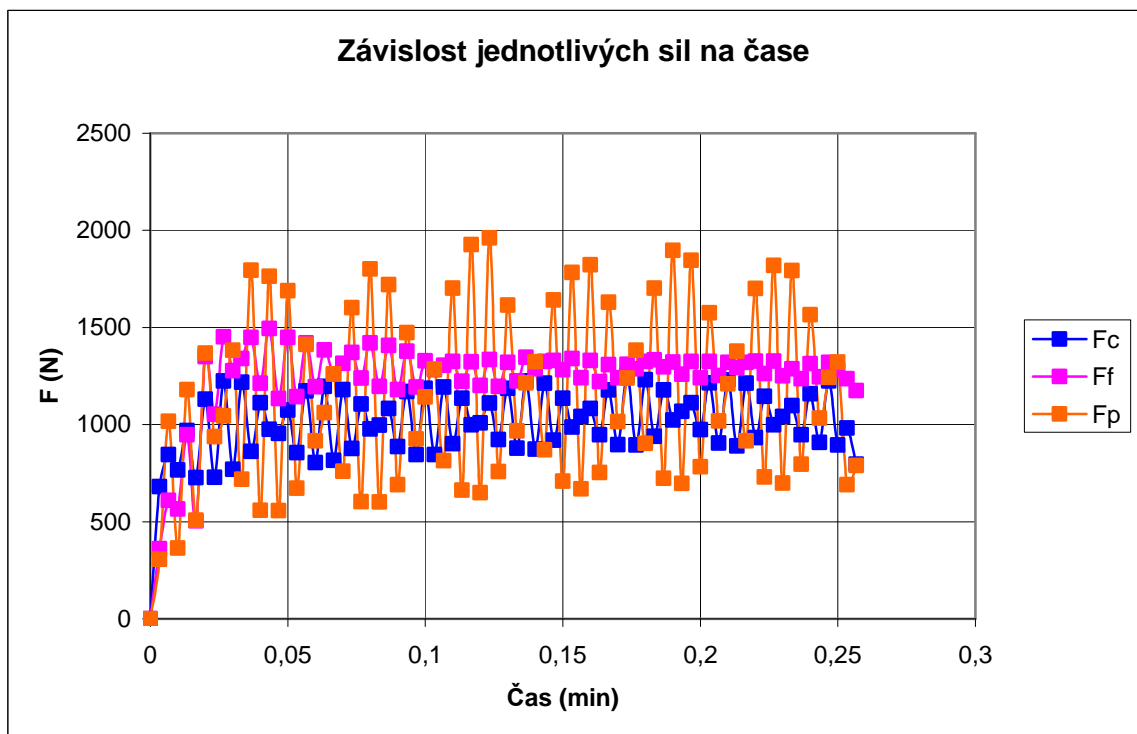
Graf .10. Grafické znázornění průběhů jednotlivých sil pro parametry obrábění hranou 3.

$$v_c = 101,93 \text{ m.min}^{-1}, f = 0,2 \text{ mm}, a_p = 1 \text{ mm}, n = 315 \text{ min}^{-1}$$



Graf .11. Grafické znázornění průběhů jednotlivých sil pro parametry obrábění hranou 4.

$$v_c = 161,79 \text{ m.min}^{-1}, f = 0,1 \text{ mm}, a_p = 1 \text{ mm}, n = 500 \text{ min}^{-1}$$



6.4. Obrábění keramickou destičkou Greenleaf WG – 300

Keramické břitové destičky Greenleaf WG – 300 jsou ideální pro hrubování a dokončování tak tvrdých materiálů jako je Inconel 718 a další speciální slitiny na bázi niklu a titanu. Jsou velmi účinné při obrábění nikl – kobaltických super slitin a dalších tvrdých materiálů až 10 krát vyšší než karbid. Typickou oblastí použití jsou nejvíce odolné materiály tvrdosti výše 40 dle Rockwella. Jsou to nástroje s vláknem vyztužené keramiky vyrobené americkou firmou Greenleaf. [11]



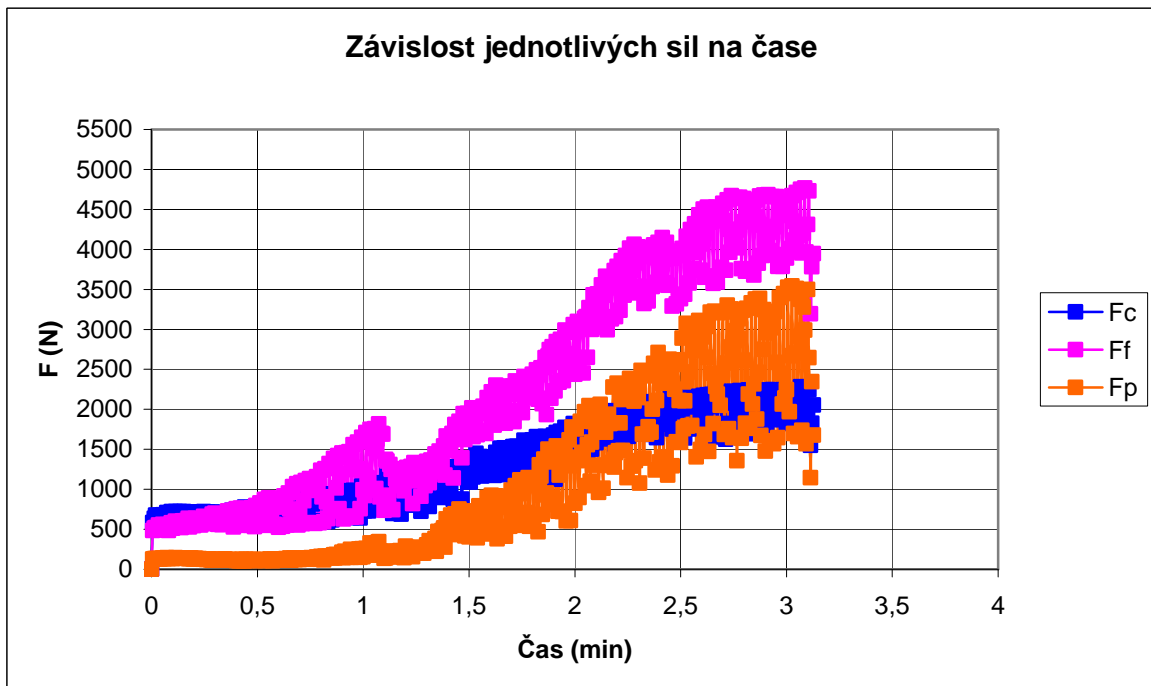
Obr.19. Keramická destička GREENLEAF WG - 300

Tab.6. Síly zjištěné při daných parametrech obrábění

Keram. GREENLEAF WG - 300	v_c [m.min ⁻¹]	f [mm]	n [min ⁻¹]	a_p [mm]	F_c [N]	F_f [N]	F_p [N]
hrana 1	16,18	0,1	50	1	1950	4030	2650
hrana 2	51,77	0,1	160	1	1190	1050	1420
hrana 3	101,93	0,1	315	1	820	1120	330
hrana 4	161,79	0,1	500	1	790	1410	520

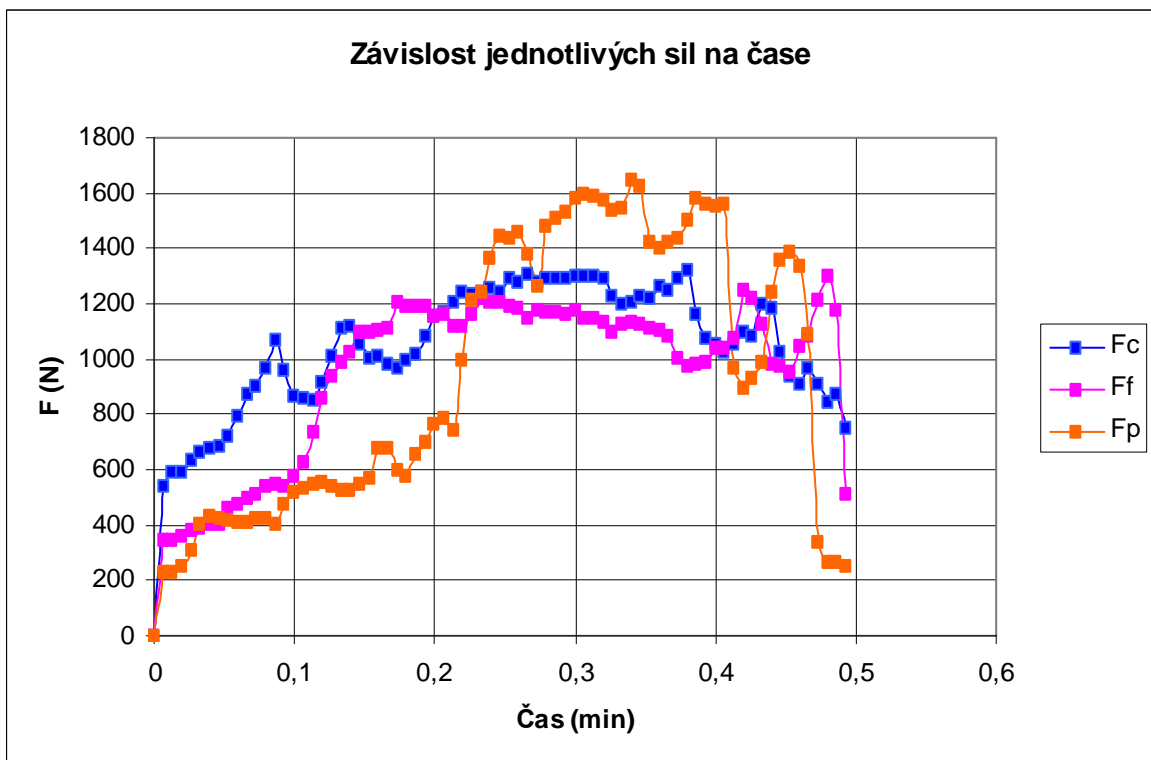
Graf .12. Grafické znázornění průběhů jednotlivých sil pro parametry obrábění hranou 1.

$$v_c = 16,18 \text{ m.min}^{-1}, f = 0,1 \text{ mm}, a_p = 1 \text{ mm}, n = 50 \text{ min}^{-1}$$



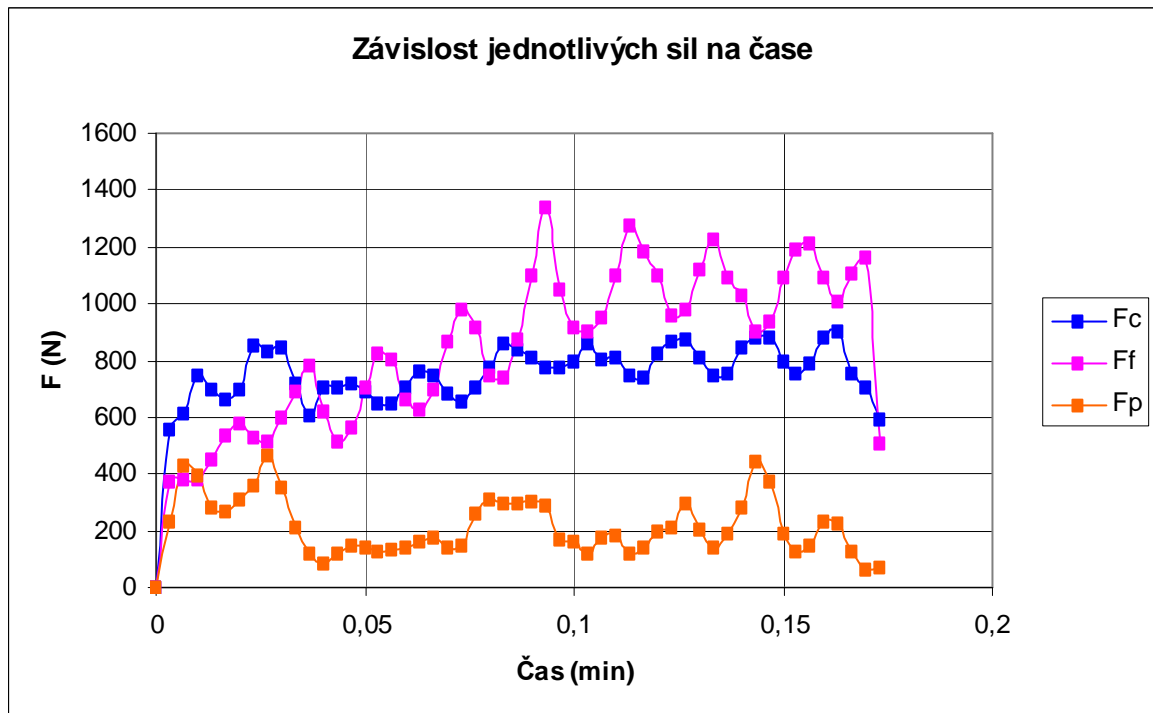
Graf .13. Grafické znázornění průběhů jednotlivých sil pro parametry obrábění hranou 2.

$$v_c = 51,77 \text{ m.min}^{-1}, f = 0,1 \text{ mm}, a_p = 1 \text{ mm}, n = 160 \text{ min}^{-1}$$



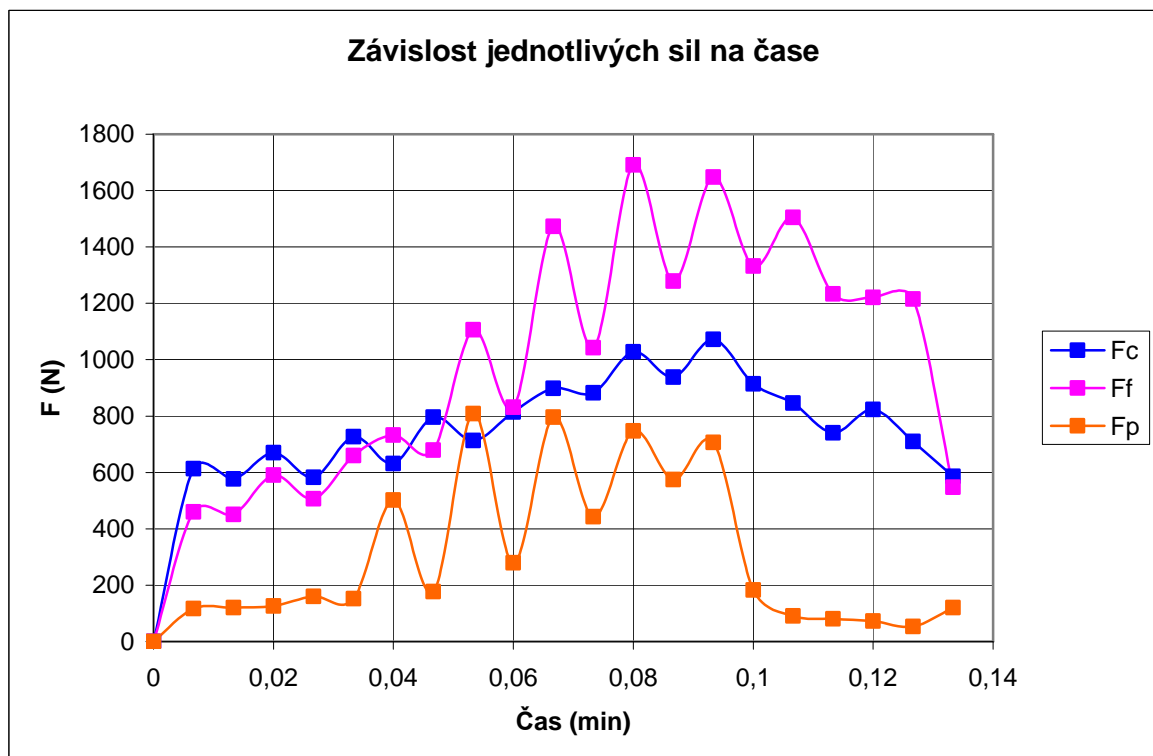
Graf .14. Grafické znázornění průběhů jednotlivých sil pro parametry obrábění hranou 3.

$$v_c = 101,93 \text{ m.min}^{-1}, f = 0,1 \text{ mm}, a_p = 1 \text{ mm}, n = 315 \text{ min}^{-1}$$



Graf .15. Grafické znázornění průběhů jednotlivých sil pro parametry obrábění hranou 4.

$$v_c = 161,79 \text{ m.min}^{-1}, f = 0,1 \text{ mm}, a_p = 1 \text{ mm}, n = 500 \text{ min}^{-1}$$



7. Závěr

Bakalářská práce se zabývala digitalizací tříslložkového odporového dynamometru a jeho následným ověřením, při měření sil, na univerzálním hrotovém soustruhu MAŠSTROJ TROJAN C11 MV v laboratořích Vysoké školy báňské. Hlavním důvodem proč se přistoupilo k digitalizaci původního dynamometru na digitální, je možnost komunikace s PC, kde můžeme vytvořit závislosti síly na čase, viz Grafy 4 až 15. Při měření sil můžeme s využitím datalogeru ALMEMO zároveň sledovat teploty, vlhkost, případně další fyzikální a chemické veličiny. To na dříve používaném dynamometru nebylo možné, protože se na milivoltmetru odečítala jedna výchylka v mV.

Následně byla ověřena funkčnost digitalizovaného dynamometru při experimentu na těžce obrobitelné slitině Inconel alloy 718, za použití tří různých keramických břitových destiček, Greenleaf WG – 300, Kyocera A66N a keramikou Al_2O_3 Disald D210. Na každé břitové destičce byly prováděny 4 měření, za různých parametrů obrábění (řezná rychlost, posuv). Z hlediska sil, bylo experimentálním měřením zjištěno, že při použití břitové keramické destičky Al_2O_3 je nejmenší řezná síla $F_c = 498$ N a pasivní síla $F_p = 350$ N při řezné rychlosti $v_c = 51,77$ m.min⁻¹ a posuvu $f = 0,1$ mm. Posuvová síla $F_f = 930$ N byla nejmenší při nejvyšší zkoušené řezné rychlosti $v_c = 161,79$ m.min⁻¹ a posuvu $f = 0,2$ mm. Viz. tab. 4.

U keramické břitové destičky Kyocera A66N je vidět, že nejmenší síly F_c , F_f a F_p jsou při řezné rychlosti $v_c = 101,93$ m.min⁻¹ a posuvu $f = 0,1$ mm. Viz. tab. 5.

Při použití břitové destičky Greenleaf WG-300, bylo experimentem zjištěno, že nejmenší řezná síla $F_c = 790$ N, je při řezné rychlosti $v_c = 161,79$ m.min⁻¹ a posuvu $f = 0,1$ mm. Posuvová síla $F_f = 1120$ N a pasivní síla $F_p = 330$ N je nejmenší při řezné rychlosti $v_c = 101,93$ m.min⁻¹ a posuvu $f = 0,1$ mm. Viz. tab. 6.

Z hlediska nejmenších sil na destičku, které byly zjištěny při experimentu Bakalářské práce, bych doporučil břitovou destičku Kyocera A66N při parametrech obrábění (řezná rychlost $v_c = 101,93$ m.min⁻¹, posuv $f = 0,1$ mm).

Z hlediska trvanlivosti a opotřebení se zabývala Bakalářská práce viz. kolega Daniel Skokan.

Síly které byly experimentem zjištěny jsou ovlivněné vibracemi soustavy (stroj, nástroj, obrobek, přípravek). Vzhledem k tomu, že slitina Inconel je velice obtížně obrobitelná a dynamometr je pružný člen, dojde ke snadnému rozkmitání.

Při upnutí nástroje přímo do nožové hlavy, by nedocházelo k tak velkému rozkmitu a síly by vycházely odlišně.

Digitalizovaný tříoskový dynamometr, kterým se práce zabývala, bude dále sloužit pro výzkum sil na katedře obrábění a montáže. Bude využíván v předmětu Experimentální metody v obrábění a také v diplomových a disertačních pracích, studenty Vysoké školy báňské.

Seznam použité a studované literatury

- [1] BILÍK O., KUBIŠ M., *Návody ke cvičení z teorie obrábění*. Ostrava: VŠB-TU-Ostrava, 1991, 131 s., ISBN 80-7078-121-1.
- [2] NESLUŠAN M., *Sústruženie kalených ocelí*. Žilina: EDIS Žilina, 2009, 253 s., ISBN 978-80-554-104-1.
- [3] NESLUŠAN M., TUREK S., BRYCHTA J., ČEP R., TABAČEK M., *Experimentálne metódy v triaskovom obrábaní*. Žilina: EDIS Žilina, 2007, 349 s., ISBN 978-80-8070-711-8
- [4] Ahlborn.cz [online]. c2010 [cit. 2010-05-10]. *Dataloger univerzální ALMEMO 2590-4S*. Dostupné z WWW: <<http://www.ahlborn.cz/cs/produkt/dataloger-univerzalni-almemo-2590-4s>>.
- [5] BILÍK O., *Obrábění I-1.díl*. Ostrava: VŠB-TU-Ostrava, 2001, 136 s.
- [6] BILÍK O., *Obrábění I-2.díl*. Ostrava: VŠB-TU-Ostrava, 2002, 97 s.
- [7] MÁDL J., SCHUBERT V., *Experimentální metody a optimalizace v teorii obrábění*. České vysoké učení technické v Praze: tiskařské závody Olomouc, 1985, 171 s.,
- [8] FOREJT M., HUMÁR A., PÍŠKA M., JANÍČEK L., *Experimentální metody*. Brno: 2003,
- [9] Bibus.cz [online]. c2010 [cit. 2010-05-10]. *Vlastnosti a přehled slitin niklu*. Dostupné z WWW: <<http://www.bibus.cz/cz/?pg=vypis-produktu&id=310>>.
- [10] mmspektrum.com [online]. c2001 [cit. 2010-05-10]. *Britové destičky pro vysoce produktivní obrábění*. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/britove-desticky-pro-vysoce-produktivni-obrabeni>>.
- [11] www.greenleafglobalsupport.com [online]. c2007 [cit. 2010-05-10]. *Obrábění Nikl-slitin*. Dostupné z WWW: <http://translate.googleusercontent.com/translate_c?hl=cs&langpair=en|cs&u=http://www.greenleafglobalsupport.com/wcsstore/Greenleaf/upload/docs/ExcelsatorMilIData.pdf&rurl=translate.google.cz&usg=ALkJrhgajUyIJLg0Yi-Ht23BDL70rNdr1A>.
- [12] www.mmspektrum.com [online]. c2001 [cit. 2010-05-10]. *Řezné materiály na bázi keramiky a slinutých karbidů*. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/britove-desticky-z-cermetu>>.

-
- [13] www.sgac-turnov.cz [online]. c2005-2007 [cit. 2010-05-10]. *Břítové destičky z řezné keramiky*. Dostupné z WWW: <<http://www.sgac-turnov.cz/index.php?content=210□=cs>>.
- [14] ČEP R., *Technologie obrábění* [online]. Prezentace, Dostupné z WWW: <<http://homel.vsb.cz/~cep77/>>.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Jiřímu Kratochvílovi, za jeho cenné rady, profesionální a kvalitní přístup při spolupráci na vypracování bakalářské práce. Zároveň bych rád poděkoval panu Jiřímu Hampejsovi, za uvedení do problematiky praktické části, cenné rady a podklady k vypracování bakalářské práce a také Vysoké škole báňské, která mi umožnila pracovat na daném projektu v laboratořích školy a poskytla měřicí zařízení pro vytvoření experimentální části.

V Ostravě dne 21.5.2010

Luboš Trápek
.....