

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Magisterský studijní program: strojírenská technologie

Zaměření: obrábění a montáž

Návrh a ověření experimentální tenzometrické sestavy na měření řezných sil a deformací při soustružení

Propsal and verify of experimental tensometric
maesurements and measuring of cutting forces and
deformations during turning

KOM 1025

Tomáš Linhart

Vedoucí práce: Prof. Ing. Jan Žížka, Csc.

Konzultant práce: Ing. Miroslav Svoboda, CSc. –TUL
Prof. Ing. Stanislav Holý, CSc.- ČVUT Praha

Počet stran: 79

Počet příloh: 3

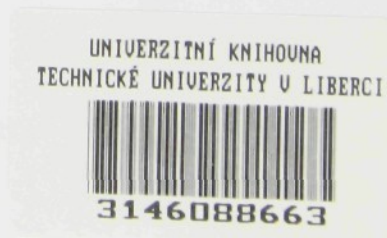
Počet tabulek: 30

Počet obrázků: 36

Počet modelů

nebo jiných příloh:

Počet diagramů: 20



Datum: 25. 5. 2007



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Studijní rok : 2005 / 2006

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: **Tomáš L I N H A R T**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Obor : 2303T002 Strojírenská technologie

Zaměření: Obrábění a montáž

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Návrh a ověření experimentální tenzometrické sestavy na měření řezných sil a deformací při soustružení.

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle diplomové práce doporučené metody pro vypracování)

1. Rešeršní část.
 - 1.1. Stávající stav měření řezných sil.
 - 1.2. Inteligentní řezný nástroj.
 - 1.3. Tenzometry.
2. Studium přístrojové problematiky – tenzometrické můstky.
3. vlastní návrh experimentálního řezného nástroje.
4. Návrh a provedení experimentů.
5. Zpracování a vyhodnocení naměřených dat.
6. Diskuse výsledků.
7. Závěr.

KOM

101

794, [46] a. pul.
zh., taby, grafy

V4P/075

Návrh a ověření experimentální tenzometrické sestavy na měření řezných sil a deformací při soustružení

ANOTACE:

Diplomová práce shrnuje informace o měření řezných sil a deformací při soustružení s použitím tzv. inteligentního soustružnického řezného nástroje. Měření je založeno na využití tenzometrických snímačů zapojených do dvou půlmůstků a snímání je provedeno měřicím zařízením Spider 8. Nově byl navržen prototyp soustružnického nože v jehož těle jsou integrovány snímače deformací a snímač teploty. V diplomové práci je popsána výroba nástroje, montáž snímačů a jejich vzájemné zapojení a připojení k měřicímu zařízení.

Prototyp soustružnického nože byl použit pro ověřovací testy funkčnosti celého systému a k následnému měření řezných sil.

Proposal and verify of experimental tensometric measurements and measuring of cutting forces and deformations during turning.

ANNOTATION:

The diplom thesis summarizes information about measurements of cutting forces and deformations during turning when using so called intelligent lathe tool. Measurements are based on using two strain-gauge half bridges and sampling is done by Spider 8 measuring equipment. Lathe tool prototype has been newly designed with integrated deformation sensors and temperature sensors in the body. The thesis describes tool manufacture, sensors installation and their overall connection to data logger and measuring device.

Lathe tool prototype has been used for system validation test and for subsequent cutting force measurement.

Klíčová slova: Soustružení, inteligentní řezný nástroj, tenzometr

zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 2007

Archivní označení zprávy:

Počet stran:	79
Počet příloh:	3
Počet obrázků:	36
Počet tabulek:	30
Počet diagramů:	20

Místopřísežné prohlášení

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

V Liberci, dne 25.5. 2007

Podpis



Poděkování:

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. Janu Žižkovi, CSc., za jeho pomoc s konstrukcí soustružnického nože a přípravy měření. Dále bych rád poděkoval vedoucímu katedry obrábění a montáže Doc. Ing. Janu Jersákovi, CSc., za ochotné lektorování této práce. Panu Doc. Ing. Miroslavu Svobodovi, CSc., za vytvoření programu požitého pro komunikaci mezi PC a Spiderem 8. Neméně tak panu Motyčkovi za technickou pomoc při výrobě experimentálního měřicího zařízení a kontrolních měřeních, panu Pulcovi za instruktáž obsluhy soustruhu SU50.

Za darování tenzometrů a úvodní instruktáž jejich montáže bych rád poděkoval Prof. Ing. Stanislavu Holému, CSc.



OBSAH

Obsah	5
Seznam použitých zkratk a symbolů	7
1. Inteligentní řezný nástroj	9
2. Inteligentní snímač pro inteligentní obrábění	11
3. Měřicí zařízení	13
3.1 Rozbor snímačů používaných při obrábění	14
3.1.1 Snímače sil	14
3.2 Odporové snímače	14
3.3 Způsob měření odporových změn	18
3.4 Piezoelektrické snímače	25
3.5 Snímače teploty	27
3.5.1 Termočlánky	27
3.5.1.1 Termočlánky umělé	28
3.5.1.2 Termočlánky poloumělé	29
3.5.1.3 Termočlánky přirozené	29
3.6 Termistory	30
4. Výroba experimentálního měřicího zařízení	31
4.1 Kontrola teplotní změny na tenzometry	42
5. Měření opotřebení nástroje	44
6. Experimentální část	47
6.1 Materiály použité při obrábění	47
6.2 Výpočet řezných sil nepřímou metodou	47

6.3 Použité přístroje, zařízení a pomůcky	51
6.4 Popis experimentu	52
6.4.1 Kalibrace experimentálního měřicího zařízení	55
7. Zpracování a vyhodnocení naměřených dat	57
7.1 Průběhy sil	70
7.2 Poměry sil F_d/F_f	73
7.3 Výpočet deformací pro nástrojovou ocel 19810	75
8. Závěr a hodnocení	76
Použitá literatura	78
Seznam příloh	79

2. Inteligentní snímač pro inteligentní obrábění [1,2]

Nezbytnou součástí monitorovacího systému je vhodný, pokud možno miniaturní a snímač, který by uměl zpracovávat signál a zároveň by měl obsahovat i matematický model uvádějící do vzájemného vztahu naměřené hodnoty k monitorovaným a řízeným proměnným a dále by měl být vybaven i strategií nutnou pro zpracování získané informace. Snímač s výše uvedenými vlastnostmi je často nazýván jako tzv. „inteligentní snímač“ a měl by v sobě obsahovat více způsobilostí než prostý převodník s předzesilovačem v jednoduchém monitorovacím zařízení. V praxi je používáno velké množství různých snímačů, proto aby byla pokryta celá šířka veličin charakterizujících proces obrábění, cílem je zvýšit spolehlivost a tak se pojistit proti selhání systému. Více snímačové pojetí monitorizace umožňuje zlepšit kvalitu získaných širších formací a to potom dovoluje, aby rozhodnutí rozhodovací jednotky bylo v reálném čase a samozřejmě správné.

Termín inteligentní obrábění není zatím jasně definován a není ani ve výčtu odborného názvosloví pro projektování a činnost takovýchto systémů. Inteligentní obráběcí stroj by měl být podle Prof. Moriwakiho [3] schopen zužítkovat zkušenosti a know-how nahromaděné během poslední operace, dále aplikovat vědomosti nahromaděné prostřednictvím procesu učení se a musí si poradit s nejistým vstupem. Na obr.1 je schématicky znázorněn vývoj obrábění od ručního k obrábění inteligentnímu

Ruční obráběcí stroje



Obráběcí stroje s (elektrickým) pohonem

analogově-mechanické řízení
(jednoduché mechanismy)

efektivnost
rychlost
přesnost



NC stroje

digitální řízení
(servomechanismy, snímače poloh)

předem určené parametry
integrace procesů
systematizace



Obráběcí stroje s adaptivní kontrolou

snímače

zpětná vazba o stavu obrábění
korekce procesu obrábění



Stroje řízené podle předem stanovených programů



Stroje řízené na základě vlastního rozhodnutí

Inteligentní obráběcí stroje

inteligentní zpracování informací

nejednoznačnost vstupů
samoučící se systém
hromadění poznatků
využití zkušeností

14-2

Obr. 1 Vývoj obrábění od ručního k inteligentnímu

3. Měřicí zařízení

Na kvalitě a spolehlivosti jednotlivých snímačů je závislá úspěšnost nasazení inteligentních řezných nástrojů na adaptivní řízení obráběcích strojů. I přes velký rozvoj elektroniky existují určité problémy spojené s jejím nasazením. Prvním problémem je velikost jednotlivých snímačů. Vzhledem k tomu, že je nutné nástroj vybavit několika různými senzory je velikost nástroje závislá na velikosti snímačů. Běžně dostupné snímače jsou zatím natolik velké (relativně), že je nutné pro výrobu prototypu nástroje použít většího průřezu tělesa nože než je běžné.

Snímače jsou umístěny ve stísněném prostoru, proto je nutné zajistit kvalitní elektrické izolování všech vodičů signálů od sebe navzájem. Jinak může docházet ke zkreslení výstupních signálů, k poruchám či dokonce ke zničení některých elektronických součástek. Ze stejných důvodů je potřeba zajistit i dokonalé izolování vodičů od tělesa nože. Vlastní vedení signálů od snímačů je třeba chránit před rušivým okolním elektromagnetickým vlněním. To lze zajistit použitím souosých vodičů. Napojení snímačů na vodiče signálů je nutné provést velmi precizně, protože se měří relativně malé změny elektrických veličin a samotné propojení může způsobit velké změny v elektronickém obvodu. Také je nutné zajistit kvalitní stabilizovaný zdroj napětí pro elektronické obvody, aby nedocházelo ke zkreslování výstupních signálů.

Velkým problémem je působení teplotního pole, které se šíří tělesem nože do nožového držáku a okolního prostředí. Množství tepla, které se dostává do nástroje je závislé na provozních podmínkách a během obrábění se mění. Dochází totiž ke změnám parametrů elektronického obvodu. Vlivem změny teploty se mění odpory vodičů a jednotlivých elektronických součástek. To způsobuje značné problémy především s teplotní kompenzací tenzometrických snímačů sil. Tím jak se nestejnoměrně šíří teplotní pole dochází i k nestejnoměrné změně teploty jednotlivých tenzometrů a jejich odporu, přičemž se u tenzometrů snažíme měřit velmi

malé změny odporu. Velikost vlivu teplotního pole na snímače je možné zjistit až při zkouškách prototypu inteligentního řezného nástroje.

3.1 ROZBOR SNÍMAČŮ POUŽÍVANÝCH PŘI OBRÁBĚNÍ

3.1.1 Snímače sil [4]

V současné době se používají především snímače elektrické. Vyznačují se velkými výhodami oproti ostatním dynamometrům. Jde především o možnost dálkového přenosu signálu a jeho následné zpracování mnoha různými způsoby (např. zesílení, usměrnění, derivování). Lze provádět snímání i na těžko přístupných místech. Stále probíhající miniaturizace vlastních snímačů umožňuje jejich aplikování na místa s nedostatkem prostoru, kde by nebylo možné nasadit jiné druhy dynamometrů.

Podle způsobu jakým dochází k přeměně deformace na elektrický signál dělíme snímače na parametrické a generátorové. Snímače parametrické jsou založeny na změně jednoho z parametrů elektrického obvodu. Je to odpor-R, indukčnost-L a kapacita-C. Nejvíce používaný je snímač odporový. Snímače generátorové samy generují napětí způsobené deformací snímače. Nejpoužívanějším generátorovým snímačem je snímač piezoelektrický. Tento snímač se vyznačuje vysokou citlivostí i při dynamickém zatěžování.

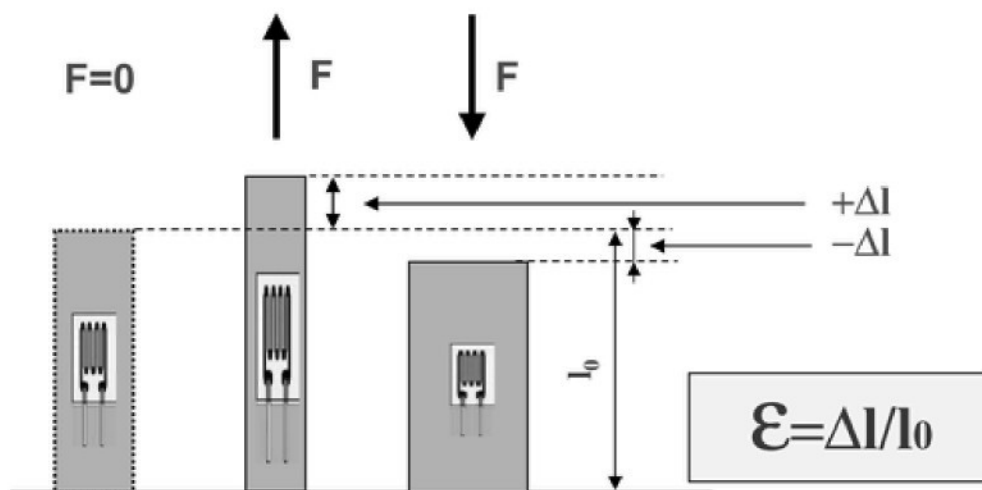
Celý dynamometr se skládá z vlastního tělesa dynamometru ve kterém jsou umístěny snímače a z elektrického obvodu na zpracování signálu ze snímačů.

3.2 ODPOROVÉ SNÍMAČE [4]

Jsou založeny na měření změny odporu tenzometru. Změny odporu tenzometru se docílí změnou tvaru tenzometru, která je způsobena deformací deformačního členu dynamometru. Tenzometr je na deformační

člen přilepen. Tenzometr je tvořen vinutím vodiče nebo polovodičovým elementem.

Tenzometry tvořené vinutím vodiče rozdělujeme na drátkové, foliové a napařované. Materiál vodiče je nejčastěji konstantan (slitina CuNi). Nezbytným předpokladem pro správnou funkci všech tenzometrů, je jeho dokonalé upevnění na měřené místo. V zásadě používáme lepidel doporučených výrobcem a dodržujeme předepsaný postup. Podložka, lepidlo (tmel) mezi podložkou a vinutím a rovněž technologie při vlastním lepení tenzometrů ovlivňuje jako celek převážnou měrou přesnost měření. Důležitým požadavkem je rovněž ochrana tenzometrů před vlhkostí, nečistotami a jinými vnějšími vlivy. K tomu se obvykle nanese přímo na tenzometr ochranný povlak z laku, včelího vosku apod. Současně musí být dokonalým krytem zajištěna bezpečnost proti poškození řeznou kapalinou a třískám.



Obr. 2 Závislost odporu kovů a polovodičů na deformaci [7]

Závislost odporu kovů na deformaci je podstatně méně výrazná než u polovodičů a vyjadřuje ji vztah (1).

$$\frac{\Delta R}{R} = K * \epsilon \quad (1)$$

ΔR	změna odporu tenzometru [Ω], způsobená deformací ε [m/m]
R	odpor nedeformovaného tenzometru [Ω]
K	součinitel deformační citlivosti (K-faktor)
ε	poměrná deformace [m/m]

Polovodiče mají závislost odporu na deformaci až stokrát výraznější než u kovů a vyjadřuje ji vztah (2).

$$\frac{\Delta R}{R} = C_1 \varepsilon + C_2 \varepsilon^2 \quad (2)$$

ΔR	změna odporu tenzometru [Ω], způsobená deformací ε [m/m]
R	odpor nedeformovaného tenzometru [Ω]
C_1, C_2	součinitel deformační citlivosti (K-faktor)
ε	poměrná deformace [m/m]

Drátkové tenzometry

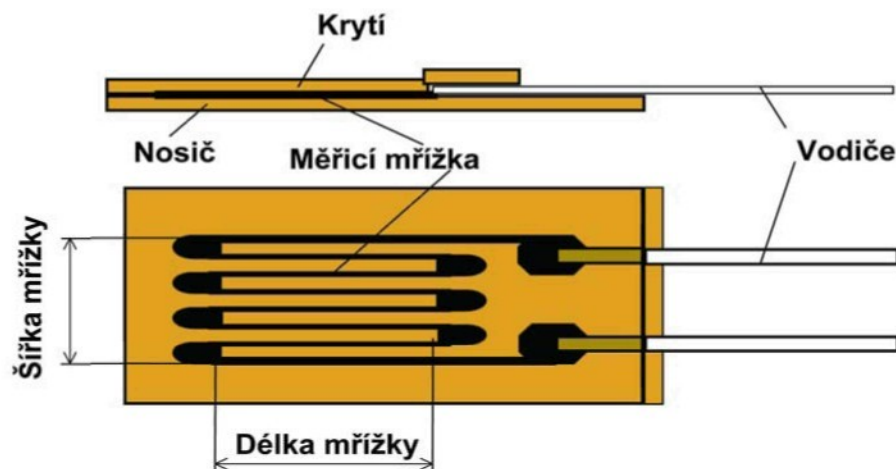
Měřicí mřížka je tvořena z odporového drátu o průměru 0,01 až 0,05mm a nalepena na tenkou nosnou izolační podložku z papíru nebo pryskyřice. K mřížce jsou připájeny měděné a posříbřené přívodní dráty pro připojení spojovacího kabelu. Vlastní tenzometr je potom přilepen speciálním acetátovým nebo pryskyřičným lepidlem na místo snímání deformace. Měřicí vinutí může být také ve tvaru spirály, vetkané do osnovy z umělého hedvábí nebo skleněné tkaniny.

Foliové tenzometry

Měřicí mřížka je tvořena z tenké fólie o tloušťce cca 0,012 až 0,015 mm, opatřena z jedné strany nosnou a izolační podkladovou vrstvou z plastické hmoty. Požadovaný tvar mřížky je vyroben fotochemickou cestou, která je analogická s technikou výroby plošných spojů v radiotechnice. Výhodou je možnost výroby tvarově složitých snímačů, miniaturizace rozměrů (minimální délka cca 0,4mm) při zachování velmi

malé příčné citlivosti. Fóliový tenzometr má v porovnání s drátkovým větší povrch vodiče (plochý), který lépe rozvádí teplo a dovoluje tím i větší proudové zatížení. Tyto snímače se vyznačují také dokonalejším spojením měřicí mřížky s nosnou folií a lepšími podmínkami pro převod deformace na mřížku, jsou proto stabilnější a přesnější než drátkové.

Schéma fóliového tenzometru HBM:



Obr. 3 Fóliový tenzometr [7]

Napařované tenzometry

Představují další, kvalitativně vyšší vývojový stupeň v odporové tenzometrii. Podstatou je postupné napařování jednotlivých vrstev (izolační, odporové, spojovací atd.), které spolu vytváří vlastní odporový snímač, a to přímo na měřené místo deformačního elementu. Napařování se provádí ve vysokém vakuu s použitím maskovací techniky. Tato technologie umožňuje vyrobit snímač velmi malých rozměrů a tloušťky která je pouze zlomek tloušťky fóliových tenzometrů. Při výrobě se postupuje tak, že se na vyleštěné měřené místo postupně nanese nejdříve podkladová izolační vrstva, dále vrstva pro spojovací a pájecí sekci a nakonec odporová vrstva v požadovaném uspořádání. Po dokončení se celý snímač pokryje

ochrannou vrstvou. Předností napařovacích tenzometrů jsou především velmi malé rozměry, dobrý odvod tepla izolační vrstvou (tloušťka pouze několik μm) a tím i relativně vysoký odpor (až 6000Ω) a jeho dlouhodobá stabilita, lineární charakteristika, minimální tečení, malá hystereze a konečně velmi dobrá stabilita nulové polohy při zapojení do úplného můstku, neboť všechny tenzometry jsou vyrobeny za stejných podmínek a se stejnou hodnotou jmenovitého odporu.

Polovodičové tenzometry

Jsou to tyčinky vyrobené z monokrystalu křemíku. Působením mechanické síly na takovýto tenzometr dochází k výrazným piezorezistivním změnám křemíku. Elektrický odpor křemíku je na mechanické zatěžování řádově citlivější než kovové tenzometry. Nevýhodou polovodičového tenzometru je velká závislost odporu na teplotě. Z toho vyplývá složitější teplotní kompenzace než u kovových tenzometrů. Vzhledem k anizotropii vlastností monokrystalu křemíku je velmi důležité v jaké rovině byla tyčinka z monokrystalu odříznuta. Piezorezistivní vlastnosti tenzometru jsou potom dány rovinou, ve které byla tyčinka odříznuta z monokrystalu křemíku. Při měření se sleduje závislost odporu na síle. Odpor se mění v závislosti na velikosti deformace pružného členu dynamometru na který je tenzometr přilepen.

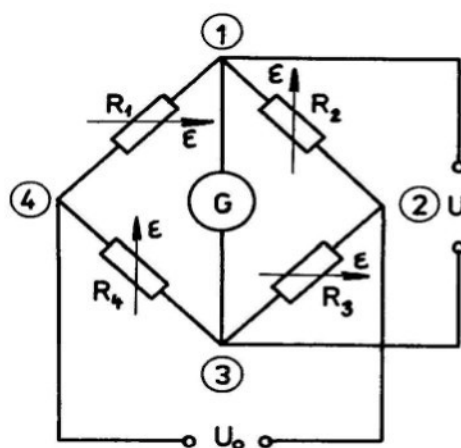
3.3 Způsob měření odporových změn [4]

Odporové změny tenzometru při jeho deformaci jsou velmi malé (řádově 10^{-4} až $10^{-2} \Omega$) a vyžadují proto stabilní i citlivé vstupní obvody a nezkreslující jednotky. Relativní změna odporu je u běžných kovových tenzometrů stejného řádu jako poměrná deformace. Pro měření tak malých změn odporu dnes používáme převážně můstkové metody (obr.4). Můstek tvoří odpory R_1, R_2, R_3 a R_4 . Je napájen v uzlových bodech 2 a 4 napájecím napětím U_0 a na tzv. měřicí diagonále mezi body 1 a 3 je indi-

kátor (galvanometr). Při tomto zapojení se i malá změna odporů R_1 až R_4 projeví změnou proudu protékajícího galvanometrem, jehož výchylka odpovídá změně napětí U . Neprochází-li galvanometrem žádný proud a tedy $U = 0$, je můstek vyvážen, což je možné pouze při splnění podmínky rovnováhy :

$$R_1 * R_3 = R_2 * R_4 \quad (3)$$

Jestliže se při vyváženém můstku změní jeden z odporů v ΔR , můstek se rozváží. Velikost této odporové změny lze určit dvěma způsoby:



Obr.4 Můstkové zapojení tenzometrů [4]

a) Nulovací metoda $U = 0$

- je založena na vyvažování můstku přidáním odporu do ostatních větví tak, aby nastal opět rovnovážný stav, při kterém je splněna podmínka rovnováhy a galvanometrem neprochází žádný proud. Tyto vyvážené můstky se nejčastěji používají ve spojení s automatickým vyvažováním pomocí servomechanismu. Podle typu se čas potřebný k vynulování pohybuje v rozmezí 1 až 30 sekund. Tato metoda je proto vhodná pouze pro statická měření. Jedná se o čistě kompenzační metodu, při které velikost odporové změny není závislá na napájecím napětí. Výhodou je vysoká přesnost (lepší než 0,5%), protože případné kolísání U_0 neovlivňuje přesnost měření.

b) Výhybková metoda $U \neq 0$

- je založena na stanovení výhybky galvanometru (indikačního přístroje), která je funkcí odporové změny. Velikost výstupního napětí U na měřicí diagonále můstku je přímo úměrná měřené deformaci a závislá na napájecím napětí U_0 . Při můstkovém zapojení se zpravidla volí $R_1=R_2=R_3=R_4$. Změní-li se potom jeden z odporů o ΔR , lze za určitých předpokladů vyjádřit výstupní napětí U na měřicí diagonále přibližným vztahem:

$$U = U_0 \frac{\Delta R}{4R} \quad (4)$$

Tyto nevyvážené můstky jsou použitelné pro statická, ale především pro dynamická měření. Umožňují použít registrační přístroj jako indikátor, kterým lze získat trvalý záznam a časový průběh měřené veličiny. Měření výhybkovou metodou je jednodušší a rychlejší, ale přesnost je nižší (přibližně 1%). Údaj indikátoru je totiž závislý na parametrech pomocných obvodů. Jsou to především velikost a stabilizace napájecího napětí a zesílení výstupního napětí. Výstupní signál na měřicí diagonále můstku je obvykle velmi slabý a nemůže být tedy přímo indikován. Před vstupem na vlastní měřicí zařízení vyžaduje signál zesílení.

Napájení můstku může být provedeno stejnosměrným nebo střídavým proudem. Protože se však jednodušeji zesiluje střídavé napětí, používá většina tenzometrických můstků napájení tenzometrů střídavým proudem o nosné frekvenci řádově 200 až 400 Hz pro statická měření a 3 až 5 kHz pro dynamická měření. Při změně odporu tenzometru v důsledku jeho deformace se proto amplitudově moduluje nosná frekvence, tj. frekvence měřených kmitů tvoří obálku nosného základního kmitočtu. Nosná frekvence proto musí být vždy několikanásobně vyšší než frekvence měřená, aby nedocházelo ke zkreslení výstupního signálu. V praxi se ustálila u většiny střídavých můstků pro dynamická i statická měření nosná frekvence na 3 až 5 kHz.

U střídavého napětí však musíme vyvážit nejen ohmickou, ale také reaktanční složku celkové impedance. Můstek se proto vyvažuje postupně jak odporově, tak kapacitně. K tomuto účelu jsou můstky vybaveny vyvažovacími obvody. Výhodou střídavých můstků jsou především poměrně jednoduché zesilovače se stabilními charakteristikami a necitlivost na termoelektrická a galvanická napětí. Nevýhodou je vliv rozptylových kapacit přívodů a snímačů, který se začíná výrazně projevovat již při nosných frekvencích nad 2 až 3 kHz. V takovém případě je kapacitní vyvážení můstku zcela nezbytné.

Stejnoseměrné můstky se pro dynamometrická měření řezných sil používají poměrně málo. Důvodem je především obtížné zesílení a stabilizace výstupního signálu. Vyžadují proto vysoce kvalitní stejnosměrné zesilovače. Hlavní nevýhodou je změna nuly v závislosti na čase (tzv. drift), projevující se kolísáním výstupního napětí i při stálém napětí na vstupu. Další nevýhodou je vznik termoelektrických a galvanických napětí ve spojích z rozdílných kovových materiálů, které vedou k systematické chybě měření. Velký vliv má i citlivost na vnější rušivé elektromagnetické pole (nutnost stínění vodičů). Výhodou stejnosměrných můstků je prakticky úplné omezení citlivosti na rozptylové kapacity.

Moderní tenzometrické aparatury pracují s vysokou citlivostí a umožňují snímání deformace řádově 10^{-5} až 10^{-6} mm. Nejrozšířenější a nejuniverzálnější jsou dnes systémy s nosnou frekvencí 3 až 5 kHz, které umožňují prakticky využít pro mechanicko-elektrickou transformaci všech typů impedančních snímačů (tj. odporových, indukčních a kapacitních).

3.3.1 Zapojení tenzometrů do můstku

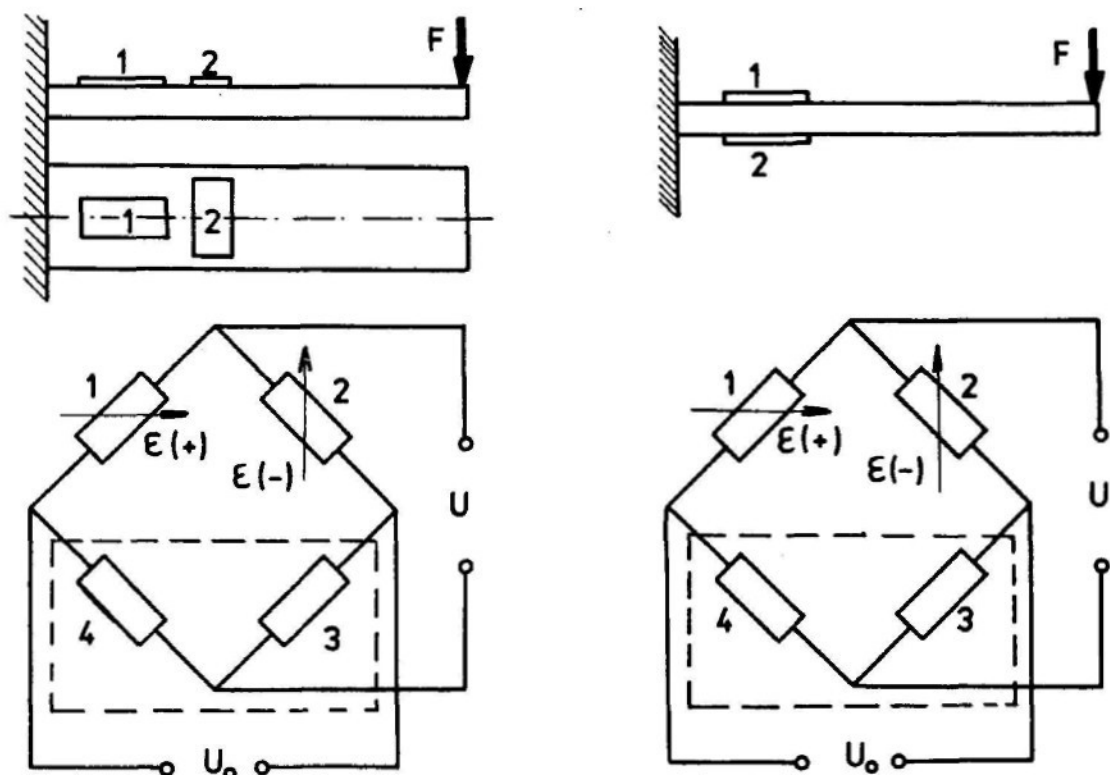
Při vhodném umístění tenzometrů na deformační element dynamometru je možno využít vlastností můstkového zapojení k vyrovnání nežádoucích parazitních vlivů na výsledek měření. Je to především kompenzace vlivu teploty a eliminace složek napětí, jež jsou nežádoucí pro separování měřené veličiny. Kompenzování teplotních a jiných odporových

změn se provádí buď pomocí kompenzačního tenzometru nebo můstkovým zapojením aktivních tenzometrů do polovičního nebo úplného můstku. Kompenzační tenzometr je umístěn na stejném deformačním elementu jako aktivní tenzometr, avšak není podroben napěťové deformaci. Jestliže při měření dojde ke změně teploty, vzniká jejím působením a volnou teplotní dilatací stejná odporová změna na aktivním i kompenzačním tenzometru. Jsou-li oba tyto snímače v obvodu můstku zapojeny vedle sebe, je odporová změna samotným můstkovým zapojením eliminována. Při dynamometrických měřeních řezných sil a momentů zpravidla používáme buď zapojení s jedním aktivním tenzometrem nebo zapojení do polovičního a úplného můstku.

a) Zapojení s jedním aktivním tenzometrem (obr.5a)

Na nosníku namáhaném silou F na ohyb je zatěžovaný tenzometr umístěn podél a namáhán na tah, kdežto nezatěžovaný tenzometr napříč v bezprostřední blízkosti zatěžovaného tenzometru a slouží k teplotní kompenzaci. Snímače jsou zapojeny v obvodu můstku vedle sebe a tím je odporová změna vlivem teploty eliminována samotným můstkovým zapojením. Ostatní dva tenzometry jsou obvykle pevně zabudovány v měřicí aparatuře. Výstupní napětí U na měřicí diagonále je v daném případě dáno přímo přibližným vztahem:

$$U = U_0 \frac{\Delta R}{4R} \quad (5)$$



a) Zapojení s jedním aktivním tenzometrem. b) Zapojení do polovičního můstku.

Obr.5 Zapojení tenzometrů do můstku [4]

b) Zapojení do polovičního můstku

Zapojení představuje použití dvou aktivních tenzometrů, jak je znázorněno v obr.5b, které snímají deformace stejné absolutní hodnoty, ale opačného znaménka. V daném případě je tenzometr 1 namáhán tahem a na protilehlé straně nosníku umístěný tenzometr 2 tlakem. Snímače jsou do obvodu můstku zapojeny vedle sebe a vzájemně teplotně kompenzovány. Jelikož se odpory mění v obráceném smyslu, je výsledná změna odporů dána součtem změn na obou aktivních tenzometrech. Výsledný signál je dvojnásobný oproti zapojení s jedním aktivním tenzometrem. Odporů 3 a 4 jsou opět pevně zabudovány v měřící aparatuře. Pro výstupní napětí na měřící diagonále pak platí vztah:

$$U = U_0 \frac{2\Delta R}{4R} = U_0 \frac{\Delta R}{2R} \quad (6)$$

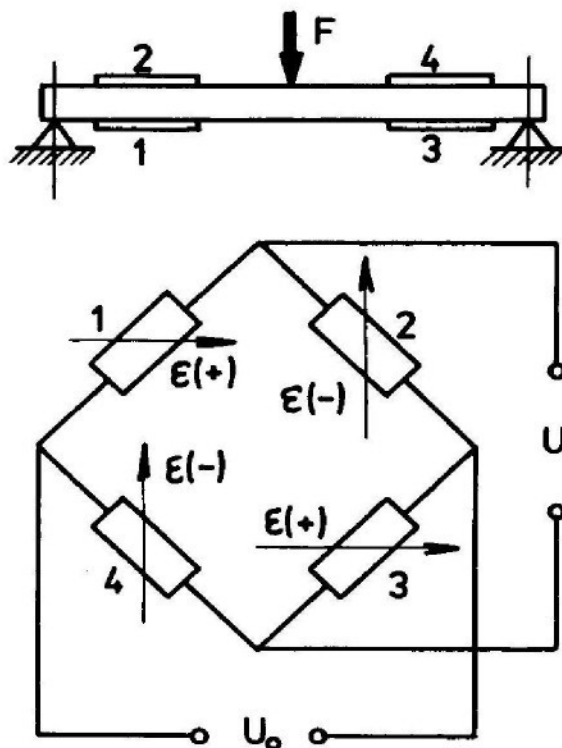
c) Zapojení do úplného můstku (obr.6)

Můstkové zapojení tvoří čtyři aktivní tenzometry, které snímají deformace absolutní hodnoty, ale vždy dva a dva opačného znaménka. Tenzometry 1 a 3 tah (+), tenzometry 2 a 4 tlak (-). Při tomto zapojení jsou všechny čtyři tenzometry tepelně kompenzovány a výsledná změna odporů na můstku je dána součtem změn na jednotlivých tenzometrech. Výsledný signál je pak čtyřnásobný oproti zapojení s jedním aktivním tenzometrem:

$$U = U_0 \frac{4\Delta R}{4R} = U_0 \frac{\Delta R}{R} \quad (7)$$

Z uvedeného rozboru vyplývá, že pro praktickou aplikaci je výhodné volit pokud možno vždy zapojení do úplného nebo polovičního můstku. Dokonalá eliminace nežádoucích vlivů na výsledky měření však nezávisí jenom na samotném můstkovém zapojení tenzometrů, ale do značné míry na celkovém provedení dynamometru. Volba vhodného deformačního elementu závisí především na celkové koncepci a na požadavcích na něho kladené. Pro jednosložkové dynamometry se používají obvykle jednoduché nosníky namáhané na ohyb, deformační válečky namáhané na tlak nebo deformační kroužky. Vícesložkové dynamometry mohou být potom konstruovány tak, že vždy každá složka působící síly je snímána zvlášť pomocí jednoduchých deformačních elementů. Přenos síly z pohyblivé části dynamometru na deformační element je u těchto typů proveden většinou pomocí kalených plošek a kuliček. To způsobuje nejenom přídavná namáhání a určité nepřesnosti, ale zejména při měření větších sil také posouvání nuly a změny základního nastavení. Po určité době provozu,

kdy vzniká ve stykové ploše důlek, se uvedené negativní vlivy na výsledky měření ještě zvětšují.



Obr.6 Zapojení do úplného můstku [4]

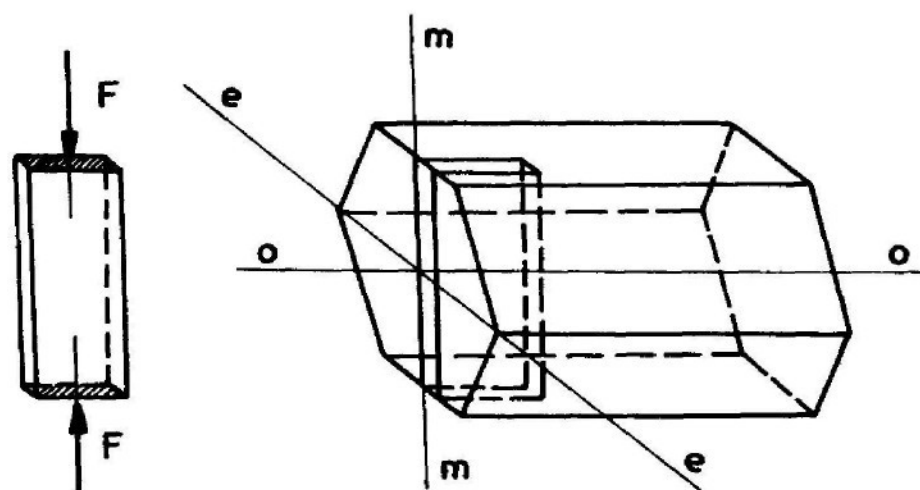
3.4 Piezoelektrické snímače [4]

Podstatou těchto dynamometrů je využívání piezoelektrického jevu pro snímání deformace. Tento jev je charakterizován vznikem elektrického náboje na povrchu některých krystalů při mechanickém namáhání ve směru určité krystalografické osy. K nejpoužívanějším piezoelektrickým materiálům patří v současné době především křemen a některé keramické materiály jako titanát barya a zirkonát olova, dále jsou to Seignetovy soli, fosforečnan amonný apod. Podstatou piezoelektrického snímače je měřicí destička, vhodně vyříznutá z krystalu. Například krystaly křemene s hexagonální mřížkou (obr.7) jsou orientovány podle tří hlavních os:

o-o...optická osa

e-e...elektrická osa

m-m...mechanická (neutrální) osa



Obr.7 Orientace os krystalu křemíku [4]

Při zatížení destičky např. tlakem ve směru mechanické osy, tj. kolmo na optickou a elektrickou osu, vzniknou vlivem deformace krystalu na protilehlých plochách stejně velké náboje s rozdílnou polarizací. Tahová napětí pak vedou k opačné polarizaci. Velikost tohoto náboje je dána vztahem:

$$q = k_p * F \quad (8)$$

k_p ...piezoelektrická konstanta

F ...síla působící na krystal

Důležitou vlastností všech piezoelektrických látek je jednak piezoelektrická konstanta a jednak tzv. Curieho teplota, při které přestává být látka piezoelektrická. U křemene se nemění piezoelektrická konstanta až do teploty 500 °C. Proto se pro přesné a spolehlivé snímače používá především křemene, který se kromě toho vyznačuje velkou pevností v tlaku (až 10² MPa). U piezoelektrických snímačů je vnější působící síla přímo zdrojem elektrického náboje a pracují proto na tzv. generátorovém principu. Konstrukčně jsou poměrně jednoduché, lehké a malých rozměrů. Nevýhodou piezoelektrických snímačů je jejich velký vnitřní odpor a vliv vnějších elektrostatických polí. Velkou výhodou je vysoká vlastní frekvence (50 až 70 kHz) a linearita v širokém rozsahu. Vzhledem k malým proudům, které můžeme ze snímače odebírat, používáme při měření zesilovače. Citlivost snímače je přímo úměrná jeho kapacitě. K tomu, aby byl snímač citlivý i při malých frekvencích, musí mít nábojový

snímač citlivý i při malých frekvencích, musí mít nábojový zesilovač vysoký vstupní odpor (řádově 10^8 až $10^9 \Omega$). Současně je třeba volit velmi kvalitní souosý propojovací kabel.

Piezoelektrické snímače jsou oproti ostatním při dané tuhosti podstatně citlivější a tedy i přesnější. Při použití těchto snímačů odpadá tak mnohdy složitý a ne vždy přesný výpočet deformačního elementu a zdlouhavé určování nejvýhodnějšího poměru mezi tuhostí a citlivostí. Deformační element lze tedy konstruovat s maximální tuhostí.

3.5 Snímače teploty [4]

Obecně lze k měření teploty využít jakéhokoliv fyzikálního jevu, který závisí na teplotě. Vzhledem ke specifickým podmínkám a složitosti procesu obrábění lze však pro experimentální studium používat jen některé fyzikální děje. Pro potřeby inteligentních řezných nástrojů jsou vhodné pouze metody elektrické, u kterých je možné signál dále vyhodnocovat pomocí PC. Vhodné fyzikální principy jsou tedy termoelektrický jev (použití termočlánků) a změna elektrického odporu (použití termistorů).

3.5.1 Termočlánky [4]

Podstatou termočlánků je elektrický obvod, který je složený ze dvou vodičů z různého materiálu a jejichž konce jsou vodivě dokonale spojeny. Jsou-li oba spoje udržovány vzájemně na rozdílných teplotách vznikne v obvodu termoelektrické napětí, které lze pro malé teplotní rozdíly vyjádřit vztahem:

$$U = \alpha_0 * \Delta\theta \quad (9)$$

U ...termoelektrické napětí

α_0 termoelektrický koeficient dvojice vodičů

$\Delta\theta$...teplotní rozdíl mezi oběma spoji

Velikost vznikajícího termonapětí však závisí nejen na rozdílu teplot mezi oběma spoji, ale také na druhu použitých vodičů, charakterizova-

ných termoelektrickým koeficientem vodiče. Termoelektrický koeficient termočlánu je roven algebraickému rozdílu hodnot koeficientů jednotlivých vodičů z termoelektrické řady. Závislost termonapětí na teplotě není přesně lineární, protože se s teplotou současně mění i termoelektrický koeficient. Pro termoelektrická měření teploty se používají prakticky jen některé dvojice kovů nebo slitin. Ty jsou sestaveny tak, aby vzniklé termonapětí bylo dostatečně velké v rozsahu teplot, pro něž je dvojice určena. Dále se od termočlánu požaduje pokud možno lineární charakteristika v daném měřicím rozsahu.

Při vlastním měření se jeden spoj termočlánu udržuje na známé teplotě a druhý konec je vystaven účinku měřené teploty. Termonapětí se měří milivoltmetrem nebo jiným vhodným přístrojem. Jednotlivé vodiče termočlánu musí být elektricky dobře izolované a chráněny proti mechanickému poškození.

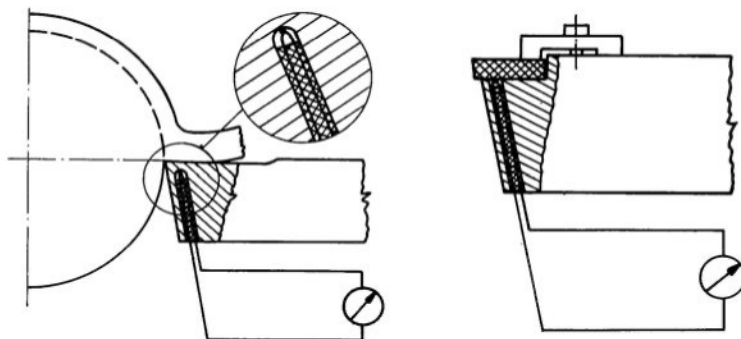
Pro měření teplot při obrábění se termočlánu používá nejen v klasickém provedení, ale využívá se také materiálu obrobku a nástroje jako vodiče v různých kombinacích. Existují tři základní provedení termočlánu:

- a) umělé,
- b) poloumělé,
- c) přirozené.

3.5.1.1 Termočlánu umělé [4]

Při tomto provedení používáme některého typu normalizovaného termočlánu, jehož měřicí konec je vhodně zabudován do místa měření teploty (obr.8). Srovnávací konec termoelektrického obvodu je obvykle přímo na svorkách indikačního přístroje. Pomocí umělých termočlánu můžeme stanovit teplotu v různých místech nástroje, s výjimkou stykových ploch bříty s třískou. Zabudování termočlánu do nástroje je však dosti pracné a jeho přítomnost mění do určité míry podmínky vedení tep-

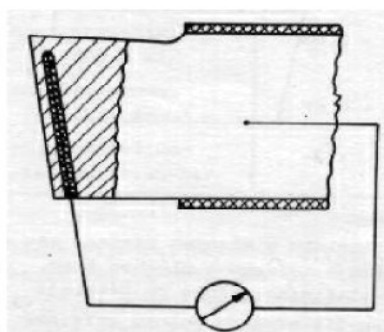
la. Výhodou umělých termočlánků je především známá charakteristika závislosti termonapětí na teplotě. Odpadá tak pracná kalibrace.



Obr.8 Způsob zabudování umělého termočlánku [4]

3.5.1.2 Termočlánky poloumělé [4]

Termočlánek tvoří při tomto provedení materiál nástroje a jeden cizí vodič, vodivě spojený s nástrojem v místě měření teploty (obr.9). Na rozdíl od umělých termočlánků mají poloumělé širší použití, vzhledem k malým rozměrům cizího vodiče (průměr 10^{-1} až 10^{-2} mm). Nevýhodou poloumělých termočlánků je, že pro každý materiál nástroje je nutno experimentálně stanovit kalibrační křivku.

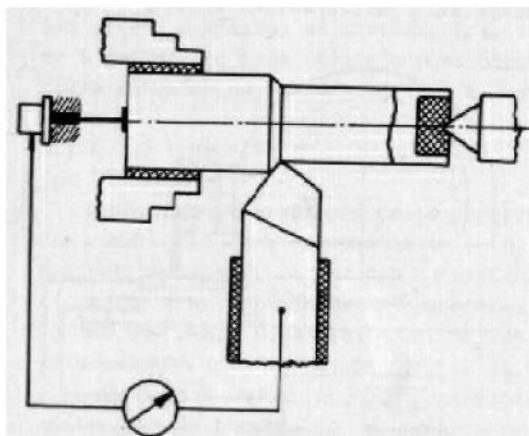


Obr. 9 Zapojení termočlánku poloumělého [4]

3.5.1.3 Termočlánky přirozené [4]

Termoelektrický obvod přirozeného termočlánku tvoří nejčastěji materiál nástroje a obrobku (obr.10). Měřicí konec tvoří přímo místo styku nástroje s obrobkem. Vznikající termonapětí je úměrné teplotě spoje, kte-

rá je nazývána teplotou řezání. Nutnou podmínkou pro funkci přirozeného termočláнку je vzájemné izolování nástroje a obrobku.



Obr. 10 Zapojení termočláнку přirozeného [4]

3.6 Termistory [4]

Měření teploty odporovými teploměry je založeno na principu měření elektrického odporu vodiče nebo polovodiče, jehož velikost se mění s teplotou. Charakteristika termistorů je lineární pouze v určitém rozsahu teplot. Relativní změna odporu termistoru je několikrát větší než u kovových vodičů. Termistory se zhotovují ve tvaru destiček, tyčinek a perliček. Pro měření změny odporu se používá můstkového zapojení. Termistor se zapojí do jedné z větví Wheatstoneova můstku napájeného stejnosměrným popř. střídavým proudem. Termistory se vyznačují vysokou citlivostí (až $10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}$), malými rozměry a vysokým vlastním odporem. Z hlediska měření teplot při obrábění je hlavním nedostatkem termistorů poměrně malý teplotní rozsah použití (přibližně – 60 až 200 $^{\circ}\text{C}$). Malá setrvačnost termistorů umožňuje stanovení časového průběhu teploty v měřeném místě.

5. Měření opotřebení nástroje [8]

Hodnota opotřebení řezného nástroje je jednou z nejdůležitějších veličin k posouzení vhodnosti a hospodárnosti zvolených řezných podmínek pro veškeré řezné nástroje.

Má velký vliv na jakost a kvalitu budoucího výrobku, případně polotovaru určeného pro další zpracování. Stav řezného nástroje je dán opotřebením ostří břitů. To se s délkou užívání nástroje zvětšuje, čímž se mění i jednotlivé parametry, pomocí kterých sledujeme výrobní proces.

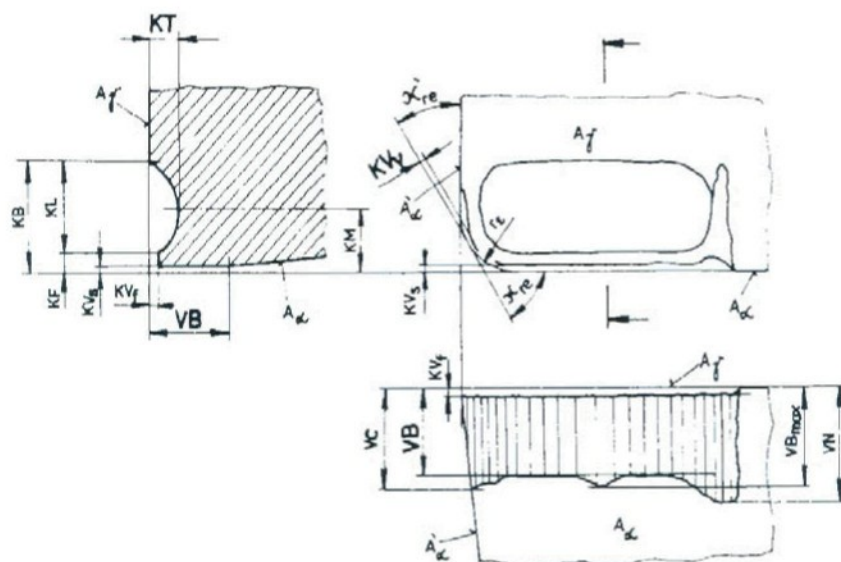
Otupení břitů nástroje můžeme zjišťovat pomocí délkových charakteristik dle obrázku 29:

VB – střední šířka opotřebení na hřbetu řezného nástroje [mm]

KT – hloubka výmolu na čele řezného nástroje [mm]

VN – maximální opotřebení hřbetu nástroje [mm]

KB – šířka výmolu měřená od původního ostří [mm]



Obr. 29 Kritéria opotřebení břitů řezného nástroje

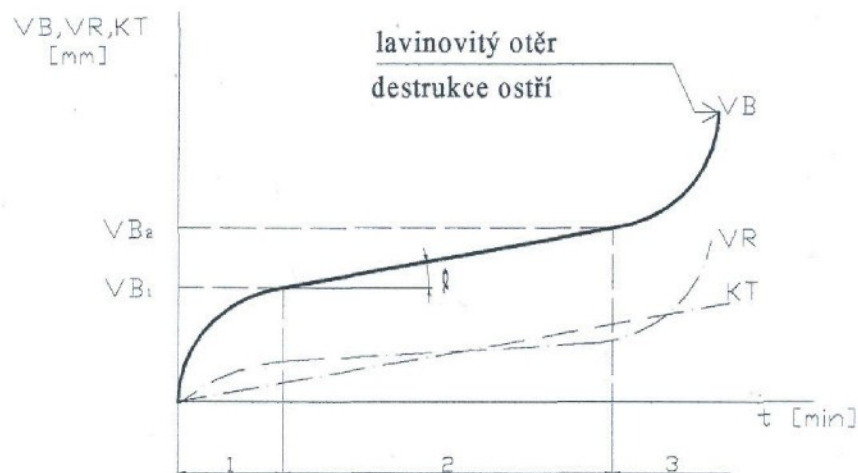
Měření parametrů opotřebení nástroje VB, VN, KB se provádí na univerzálním mikroskopu při deseti nebo vícenásobném zvětšení. Při měření je důležité, aby se přesně ztotožnila ryska nitkového kříže mikroskopu s površkou dříty nástroje a nedošlo tak k chybnému odečítání údajů. Pro

měření hloubky výmolu se používá také několik metod. K velmi přesnému měření se používá tisícinový číselníkový úchylkoměr se safírovým dotekem. Kromě přesnosti, je výhodou tohoto způsobu i to, že jej lze použít pro měření malých i velkých hodnot opotřebení bříty nástroje.

Při měření opotřebení nástroje je možno současně sledovat přítomnost nárůstku na bříty nástroje a vyhodnocovat jeho velikost. Pro přesné měření střední výšky nárůstku je výhodné také použít univerzální mikroskop.

Čím déle obrábíme, tím se zvyšuje opotřebení bříty nástroje. Průběh opotřebení bříty nástroje můžeme rozdělit do tří oblastí (obr.30):

1. **oblast – počáteční (zrychlené) otupování**, kdy materiál obrobku má s materiálem nástroje malou stykovou plochu a velký měrný tlak
2. **oblast – rovnoměrné otupování**, kdy opotřebení bříty nástroje roste téměř lineárně s časem
3. **oblast – zrychlené otupování**, kdy je materiál bříty již velmi opotřeben a další obrábění tímto nástrojem by vedlo k radikálnímu otupení, lavinovitému otěru a ke zničení bříty nástroje



Obr. 30 Průběh opotřebení bříty nástroje

Otupováním se mění původní tvar břitu i geometrie obráběcího nástroje. Míra a vzhled opotřebení závisí na mechanických vlastnostech materiálu obrobku a na řezných podmínkách. Čím více je břit otupen, tím se zvětšuje jeho styková plocha na hřbetě s obráběným materiálem a na čele nástroje se tvoří žlábek. Tato změna tvaru břitu nástroje ovlivňuje síly při obrábění, chvění, drsnost povrchu materiálu, odcházející tvar třísky apod..

Intenzita otupení roste vlivem otěrů, jež vznikají při obrábění (adhezní, brusný, difúzní, či plastický). Tím se vytvářejí nárůstky, dochází ke vzniku samobuzeného kmitání a k tvorbě nových chemických struktur.

Obráběcí nástroj lze považovat za opotřeбенý, jestliže není schopen obrábět v požadované jakosti nebo pokud by se břit nástroje dalším obráběním zcela zničil.

Důležitým faktorem je trvanlivost nástroje, což je doba, po kterou nástroj pracuje od svého naostření až po kritické otupení. Největší vliv na trvanlivost břitu nástroje má řezná rychlost. Závislost trvanlivosti (T) a řezné rychlosti (v_c)

$$\text{je dán vztahy: } T = \frac{C_T}{v_{cT}^m} \quad (10)$$

$$v_{cT} = \frac{C_v}{T^{\frac{1}{m}}} \quad (11)$$

Exponent m závisí na materiálu břitu nástroje, materiálu obrobku, na řezné rychlosti a na velikosti posuvu. Pro nástroje z nástrojové oceli bývá $m = 5 - 8$, pro slinutý karbid $m = 2,5 - 5$ a slinutý korund (řezná keramika) $m = 1,2 - 2,5$.

C_v, C_T – konstanty pro vztah trvanlivosti (T) a řezné rychlosti (v_c) můžeme použít Taylerův vztah v rozšířeném tvaru:

$$v_{cT} = \frac{C_v}{a_p^{x_v} * f^{y_v} * T^{\frac{1}{m}}} \quad (12)$$

C_v – konstanta zahrnující vlivy druhu obráběného materiálu, druhu materiálu břitu a další

a_p – hloubka řezu

f – posuv

x_v, y_v – exponenty závislé na posuvu a hloubce záběru

6. Experimentální část

Obráběné materiály [5]

Ze škály konstrukčních ocelí jsme vybrali dva zástupce běžně používaných nelegovaných ocelí 11600 a 12050.1, dále jednoho zástupce nízkolegovaných ocelí 15260 a z nástrojových ocelí 19810.

6.1 Materiály použité při obrábění

11600 – konstrukční ocel zušlechtěná, nelegovaná, obsah uhlíku max. 0,5%. Použití pro strojní součásti vystavené velkému tlaku, na výkovky hřídelí, ozubená kola, čepy, klíny, tyče. Minimální mez kluzu 314 MPa, mez pevnosti v tahu 588-706 MPa, tvrdost 250-280 HB

12050.1 – zušlechtěná ocel uhlíková, nelegovaná, obsah uhlíku 0,42-0,5%. Vhodná pro ozubená kola, čepy, vřetena soustruhů, šrouby, hřídele, ojnice aj. Mez kluzu pro tyče 305 MPa, minimální mez pevnosti v tahu 530 MPa, tvrdost 225 HB.

15260 – konstrukční nízkolegovaná ocel, obsah uhlíku 0,47-0,55%, legovací prvky mangan, křemík, chrom. Použití pro velmi namáhané strojní součásti, čepy, hřídele, vřetena. Mez kluzu 735 MPa, mez pevnosti v tahu 883-1030 MPa, tvrdost 269-317 HB.

19810 – nástrojová ocel, legovací prvky chrom, wolfram, vanad. Vhodná pro značně namáhané nástroje pro jemné a přesné obrábění ocelí a ocelí na odlitky o nižší a střední pevnosti, šedé litiny, mosazi, tvrdých hmot, soustružnické a upichovací nože, frézy, výstružníky.

6.2 Výpočet řezných sil nepřímou metodou [6]

Pro běžné měření v praxi obvykle vystačíme s méně přesnými výsledky určení střední hodnoty řezné síly. Pro tyto účely vyhovuje tzv. ne-

přímé měření řezných sil spočívající v tom, že měříme výkon nebo koutící moment na vřeteni obráběcího stroje a hlavní složku řezné síly vypočítáme.

Celkový výkon, potřebný pro odřezávání třísky P je dán součtem

$$P = P_c + P_f + P_p \quad (13)$$

kde

P_c - výkon potřebný pro hlavní řezný pohyb

P_f - výkon potřebný pro posuv

P_p - výkon potřebný pro přísuv

Výkon P je dán skalárním součinem síly a rychlosti. Platí

$$P = F_e \cdot v_e \quad (14)$$

kde

F_e – výsledná řezná síla

v_e – výsledná rychlost

Můžeme tedy psát:

$$P = F_c \cdot v_c + F_f \cdot f + F_p \cdot v_p \quad (15)$$

kde

F_c, F_f, F_p – složky řezné síly

v_c - řezná rychlost

f - rychlost posuvu

v_p – rychlost přísuvu

V tomto vztahu známe rychlosti v_c , v_p , f a užitečný výkon P změříme. Neznámými jsou tři složky řezné síly, které z tohoto jediného vztahu nelze určit. Provedeme proto následující úvahu o vzájemné velikosti jednotlivých sčítanců.

Poměr složek řezné síly je v literatuře udáván pro soustružení pravým uběracím nožem takto:

$$F_c : F_f : F_p = 1 : 0,25 : 0,4$$

Největší je tedy hlavní složka řezné síly F_c .

Velikosti příslušných rychlostí se pohybují řádově v hodnotách

$$v_c = (10^1 - 10^3) \text{ m.min}^{-1}$$

$$f, v_p = (10^1 - 10^3) \text{ mm.min}^{-1}$$

Jsou tedy hodnoty f a v_p řádu 10^{-3} velikosti řezné rychlosti v_c (v případě podélného soustružení je dokonce rychlost $v_p = 0$). Ve vztahu (12) můžeme, jak plyne z předchozí úvahy, položit

$$F_f \cdot f \approx 0 \text{ a } F_p \cdot v_p \approx 0$$

S tím, že při výpočtu P se nedopouštíme chyby větší než 0,1%. Tato chyba je při technickém měření zcela zanedbatelná. Vztah (12) se pak zjednoduší na

$$P = F_c \cdot v_c \quad (16)$$

Odtud

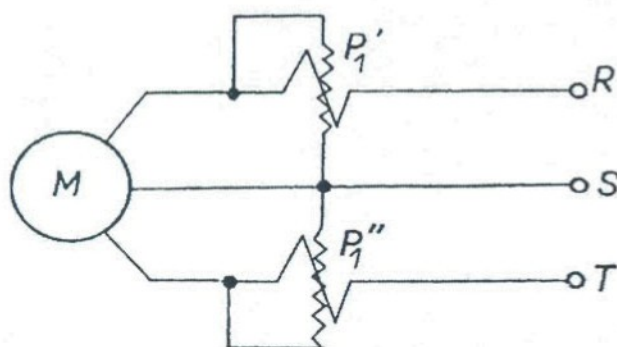
$$F_c = P / v_c \quad (17)$$

Zbývá tedy změřit P . Ten určíme přibližně jako rozdíl příkonu stroje při obrábění P_1 a při běhu naprázdno P_0

$$P = P_1 - P_0 \quad (18)$$

Metodika měření

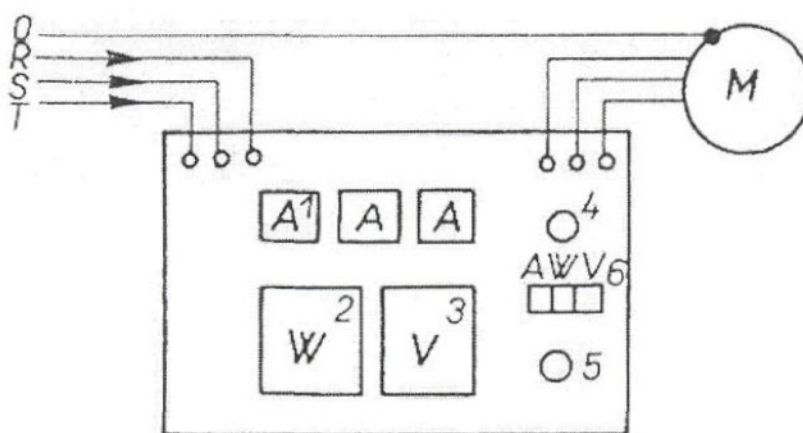
Většina obráběcích strojů je poháněna třífázovým asynchronním elektromotorem s kotvou nakrátko a musíme tedy měřit příkon ve třífázové soustavě. Obvykle se používá metody měření pomocí dvou wattmetrů (obr. 31). Výsledný příkon je pak dán algebraickým součtem výkonů měřených jednotlivými wattmetry.



Obr. 31 Měření příkonu dvěma wattmetry

Protože se výkon ve třífázové soustavě měří v technické praxi často. Používá se speciálního zařízení, tzv. měřicího kufru, který má vestavěný sdružený wattmetr. Sdružený wattmetr obsahuje systémy obou wattmetrů a napěťové cívky jsou na společné ose. Výsledné natočení obou napěťových cívek a tím i ručičky wattmetru odpovídá celkovému výkonu soustavy (obr. 32). K levým svorkám kufru připojíme síť, k pravým měřený spotřebič (motor).

Přepínače rozsahů nastavíme na požadované hodnoty. V okénku 6 čteme hodnoty konstant, kterými násobíme údaje ampérmetrů, voltmetru i wattmetru, abychom dostali proud v ampérech, napětí ve voltech a výkon ve wattech. Podle zadání úlohy nastavíme na stroji konstantní hodnoty a postupně měříme hodnotu proměnnou, např. otáčky obrobku. Pro každé otáčky odečteme příkon stroje naprázdno (nástroj není v záběru, posuv je zapnut) a příkon stroje při řezání. Rozdíl obou příkonů je P , ze kterého vypočítáme F_c . Podobně postupujeme při změně posuvů a hloubky řezu.



Obr. 32 Měřicí kufr (1 – ampérmetr, 2 – wattmetr, 3 – voltmetr, 4,5 přepínače rozsahů, 6 – konstanty)

6.3 Použité přístroje, zařízení a pomůcky

Měření bylo prováděno v laboratořích katedry obrábění a montáže TU Liberec na soustruhu TOS Lipník SU50/1500 v.č. 3020764 vyrobeného v roce 1954. Jako obráběcí nástroj bylo použito experimentální měřicí zařízení popsané v kapitole „Výroba experimentálního měřicího zařízení“. Pro zapojení měřicí aparatury bylo dále zapotřebí propojovacího kabelu s výstupy RS232-C, zemnicí kabel, PC opatřeným softwarem „spider-mer“ a programovatelné měřicí zařízení Spider 8 firmy HBM.

Pro kontrolu zapojení experimentálního měřicího zařízení a určení teploty byl použit multimetr T-YAN my-64 v.č.121503602. Opatření bylo měřeno na mikroskopu Carl Zeiss Jena. Kalibrace EMZ byla provedena ve dvou osách pomocí siloměrné vidlice, kde zatížení 10 kN odpovídalo 1,92 mm. Posuvným měřítkem byly změřeny průměry jednotlivých materiálů. Pro kontrolu celého měření byl použit měřicí kufr QW II vyrobený firmou Metra Blansko v.č. 6217078. Ke zpracování naměřených hodnot byl použit PC s programem Excel.

Program pro komunikaci mezi PC a Spiderem 8

Pro snímání signálu vycházejícího z EMZ byl použit Spider 8. K jeho nastavení a definování požadovaných hodnot bylo potřeba vytvořit vhodný program.

Funkcí programu bylo snímat změnu odporu tenzometrů a pomocí nastavitelné konstanty přepočítat na sílu. Celý průběh měření se skládá z doby náběhu měření ve které dojde k ustálení řezných sil. Tato doba byla zvolena 10s. V další etapě probíhá samotné měření sil, ze kterého se zaznamenávají výsledné hodnoty. V poslední části nastává doběh v časovém úseku 5s. Po celou dobu byly síly snímány se vzorkováním 30 měření za sekundu a znázorňovány i v grafické hodnotě na monitoru (obr. 33).



Obr. 33 Spuštěný program pro snímání z EMZ

Údaje o materiálech před obráběním a stanovení řezných podmínek

Materiál [ČSN]	Průměr [mm]	Otáčky [min ⁻¹]	Řezná rychlost [m.min ⁻¹]
11600	64,2	900	181,4
12050.1	72,3	900	204,3
15260	87,0	710	193,9
19810	47,0	1120	165,2

Tab. 2 Navržení otáček a stanovení řezné rychlosti

Experimentální měření bylo uskutečněno při téměř konstantní řezné rychlosti s obměnou řezných otáček.

Ve všech sériích experimentů a pro všechny materiály byly zvoleny stejné hloubky řezu $a_p = 0,4$ mm, 0,8 mm a 1,2 mm. Rychlost posuvu byla stanovena pro všechna měření $f = 0.15$ mm.ot⁻¹.

Obrábění probíhalo třemi břitovými destičkami s různým opotřebením břitu.

Břítová destička	Opotřebení na hřbetu VB [mm]	
	Před experimentem	Po experimentu
Stav I	0,00	0,17
Stav II	0,12	0,30
Stav III	2,48	2,51

Tab.3 Přehled opotřebení břítových destiček

6.4 Popis experimentu

U všech materiálů bylo potřeba nejprve připravit dostatečně dlouhou a souvislou obráběnou plochu, potřebnou pro samotný experiment měřený v časovém úseku délky 30s. V dalším kroku byl změřen pomocí posuvného měřítka průměry obrobků a dopočítal otáčky (viz tab.2).

Experimentální měřicí zařízení upnout do nožové hlavy s vyložení 65mm, důkladně elektricky odizolovat pomocí izolačních podložek a funkčnost tohoto celku proměřil pomocí multimetru. Provést kontrolní obrábění s opotřebenou břítovou destičkou ($VB=4,85\text{mm}$) při hloubce řezu $a_p = 1.2\text{ [mm]}$ s použitím materiálu ČSN 11600 a znova překontroloval celou funkčnost izolačních prvků.

Během samotného kontrolního měření byla snímána i teplota pomocí teploměru umístěného před horním tenzometrem (viz. kapitola „Výroba experimentálního měřicího zařízení“) a multimetru nastaveného na snímání teploty.

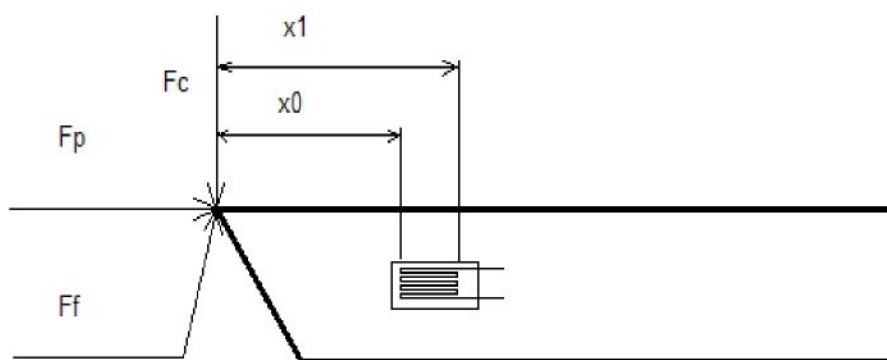
Nejprve byl pomocí kabelu (vstup RS 232) připojen PC se Spiderem 8 a experimentální měřicí zařízení zapojeno tak, aby dvojice tenzometrů (1, 3) byla na vstupu kanál 1 a druhá dvojice (2, 4) na kanálu 2.

V dalším kroku bylo nutné provést zemnicí propojení mezi soustruhem a Spiderem 8, aby nedocházelo k rušení signálu.

Po upnutí prvního obrobku pro měření byla znova obrobena plocha v celé délce pro zaručení úchytky polohy (obvodové házení) tento postup se vždy opakoval při výměně za další obrobek.

Na každém obrobku byla naměřena série experimentů s třemi různými hloubkami řezu (a_p) a třemi různě opotřeбенými břitovými destičkami (tab. 3). Během měření byly odečítány hodnoty sil vycházející z EMZ a zároveň i hodnotu výkonu na měřicím kufru QW II. Každý experiment se zopakoval podruhé a za výsledek měření je uváděn jejich průměr.

Dále byla hodnota sil přepočítaná na deformace vzniklé pod tenzometry. Ve výpočtu bylo zanedbáno osové posunutí špičky břitu a za bod působení síly byla považována osa nástroje (obr. 34).



Obr. 34 Schéma umístění jednoho tenzometru

Konstanty: šířka (výška) nože	$b = 32 \text{ mm}$
modul pružnosti v tahu	$E = 210\,000 \text{ MPa}$
délka tenzometru	$l = 6 \text{ mm}$
vzdálenost k začátku tenzometru	$x_0 = 38 \text{ mm}$
vzdálenost do konce tenzometru	$x_1 = 44 \text{ mm}$
průřezový modul v ohybu	$W_0 [\text{mm}^{-3}]$

Výpočet deformace

$$\Delta l = \frac{x_1^2 - x_0^2}{2 * E * W_0} \quad (19)$$

$$W_0 = \frac{b^3}{6} \quad (20)$$

6.4.1 Kalibrace experimentálního měřicího zařízení

Pro snímání sil bylo potřeba provést kalibraci ENZ a to ve dvou osách. Ve směru síly F_f a síly F_c . Postup kalibrace spočíval v zapojení celé měřicí soustavy a zatížení pomocí siloměrné vidlice v jednotlivých osách působení řezných sil. Zatížení se provádělo pomocí malého šroubového zvedáku, jehož zakončení je tvořeno hrotem, který vytvoří bodové zatížení na siloměrné vidlici. Pro řeznou sílu F_c byla působící síla vytvořena v opačném směru než působí samotná řezná síla (obr. 35).



Obr. 35 Kalibrace síly F_c



Obr. 36 kalibrace síly F_f

Pro kalibraci síli F_f bylo použito stejného vybavení. Pro opření šroubového zvedáku bylo použito univerzální sklíčidlo (obr. 36). Kalibrace probíhala stejně jako samotné měření. Po spuštění programu se vyvodila potřebná síla (v našem případě 100, 150, 250 N) a v celé délce měření se zatížení neměnilo. Pak na displeji se znázornila už naměřená síla. Ze známého zatížení a znázorněné síly se spočítal úpravný koeficient, s jehož pomocí se síla přepočetla. Toto měření se vždy opakovalo třikrát a jako konečný koeficient byl brán jejich průměr.

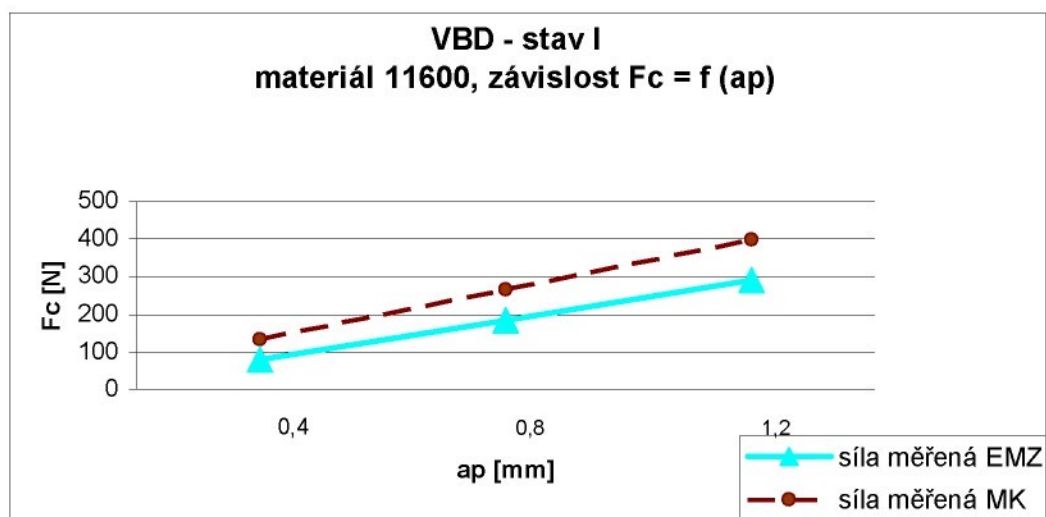
7. Zpracování a vyhodnocení naměřených dat

V této kapitole je prováděno shrnutí naměřených a dopočítaných výsledků řezných sil zjištěných z tenzometrů EMZ a z měřicího kufru. Poznamenejme, že hodnoty z měřicího kufru nelze brát za etalonové, vzhledem k možnostem nastavení velikosti konstanty. Jsou hodnoceny síly působící od posunové síly F_f a hlavní složky řezné síly F_c . Přísluvnou sílu F_p jsme v tomto experimentu zanedbali.

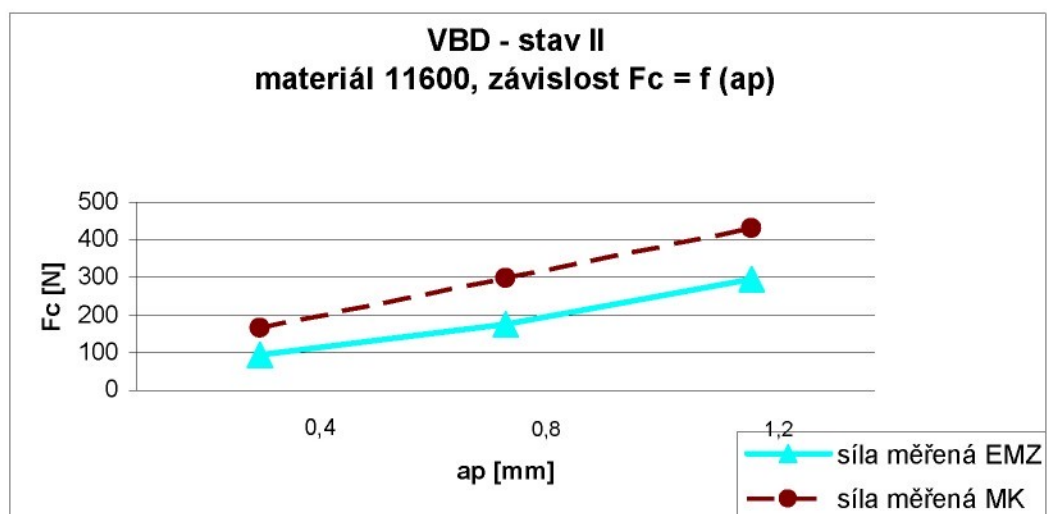
V dané části jsou uvedeny grafy sil naměřených tenzometrickou soustavou umístěnou na experimentálním měřicím zařízení (označené silnější čarou), dále hodnoty dopočítaných sil z měřicího kufru (čára přerušovaná).

V jednotlivých grafech je vždy na vodorovné ose znázorněna hloubka řezu a na svislé velikost hlavní řezné síly F_c . Pro jednotlivé materiály se graf třikrát opakuje vždy s jinou břitovou destičkou a to s nulovým opotřebením, mírným a značným. Pro celý experiment byly k dispozici pouze čtyři VBD a to tři pro samotné měření a jedna pro přípravu materiálu.

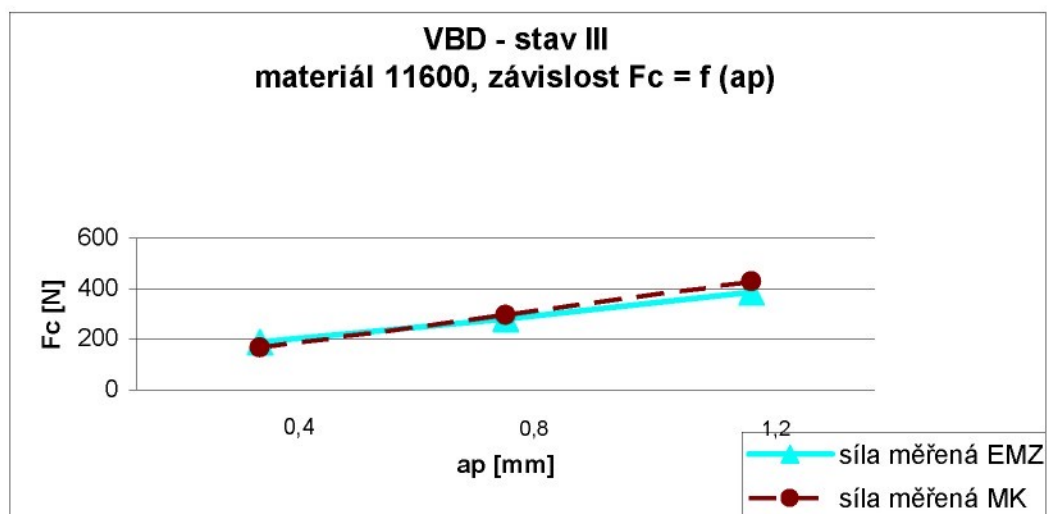
Pokus č. 1 - materiál 11600



Graf 1. Materiál 11600, VBD stav I



Graf 2. Materiál 11600, VBD stav II



Graf 3. Materiál 11600, VBD stav III

břitová destička stav I							
$F_c=f(ap)$ $D=64.2$ mm $n=900\text{min}^{-1}$ $f=0.15\text{mm.ot}^{-1}$							
ap[mm]	d0	d1	d	k	P [W]	v_c [m.min ⁻¹]	F_c [N]
0,4	12	14	2	200	400	181,43	132,28
0,8	12	16	4	200	800	181,43	264,57
1,2	12	18	6	200	1200	181,43	396,85

Tab.4. Síla F_c získaná z MK pro VBD stav I

břitová destička stav I						
$F_c=f(ap)$ $D=64.2$ mm $n=900\text{min}^{-1}$ $f=0.15\text{mm.ot}^{-1}$						
ap[mm]	Fc1[N]	Fc2[N]	Fc[N]	Ff1[N]	Ff2[N]	Ff[N]
0,4	80,92	74,95	77,94	48,31	41,58	44,95
0,8	188,25	177,79	183,02	110,06	103,83	106,95
1,2	292,33	291,33	291,83	174,54	176,29	175,42

Tab. 5. Síly F_c a F_f získané z EMZ pro VBD stav I

břitová destička stav II							
$F_c=f(ap)$ $D=64.2$ mm $n=900\text{min}^{-1}$ $f=0.15\text{mm.ot}^{-1}$							
ap[mm]	d0	d1	d	k	P [W]	v_c [m.min ⁻¹]	F_c [N]
0,4	12	14,5	2,5	200	500	181,43	165,35
0,8	12	16,5	4,5	200	900	181,43	297,64
1,2	12	18,5	6,5	200	1300	181,43	429,92

Tab.6. Síla F_c získaná z MK pro VBD stav II

břitová destička stav II						
$F_c=f(ap)$ $D=64.2$ mm $n=900\text{min}^{-1}$ $f=0.15\text{mm.ot}^{-1}$						
ap[mm]	Fc1[N]	Fc2[N]	Fc[N]	Ff1[N]	Ff2[N]	Ff[N]
0,4	95,87	92,63	94,25	59,26	62,00	60,63
0,8	170,07	180,03	175,05	104,08	106,57	105,33
1,2	298,55	295,81	297,18	183,26	180,28	181,77

Tab. 7. Síly F_c a F_f získané z EMZ pro VBD stav II

břitová destička stav III							
$F_c=f(ap)$ $D=64.2$ mm $n=900\text{min}^{-1}$ $f=0.15\text{mm.ot}^{-1}$							
ap[mm]	d0	d1	d	k	P [W]	v_c [m.min ⁻¹]	F_c [N]
0,4	12	14,5	2,5	200	500	181,43	165,35
0,8	12	16,5	4,5	200	900	181,43	297,64
1,2	12	18,5	6,5	200	1300	181,43	429,92

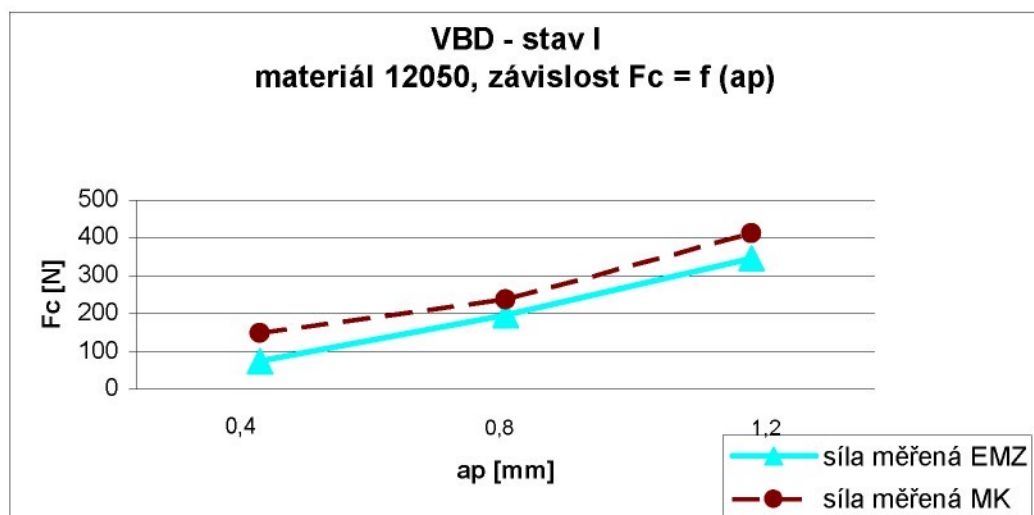
Tab.8. Síla F_c získaná z MK pro VBD stav III

břitová destička stav III						
$F_c=f(a_p)$ $D=64.2$ mm $n=900\text{min}^{-1}$ $f=0.15\text{mm.ot}^{-1}$						
$a_p[\text{mm}]$	$F_{c1}[\text{N}]$	$F_{c2}[\text{N}]$	$F_c[\text{N}]$	$F_{f1}[\text{N}]$	$F_{f2}[\text{N}]$	$F_f[\text{N}]$
0,4	193,47	183,02	188,25	15,69	3,38	9,54
0,8	283,61	279,38	281,50	167,57	143,92	155,75
1,2	382,96	391,93	387,45	247,01	252,98	250,00

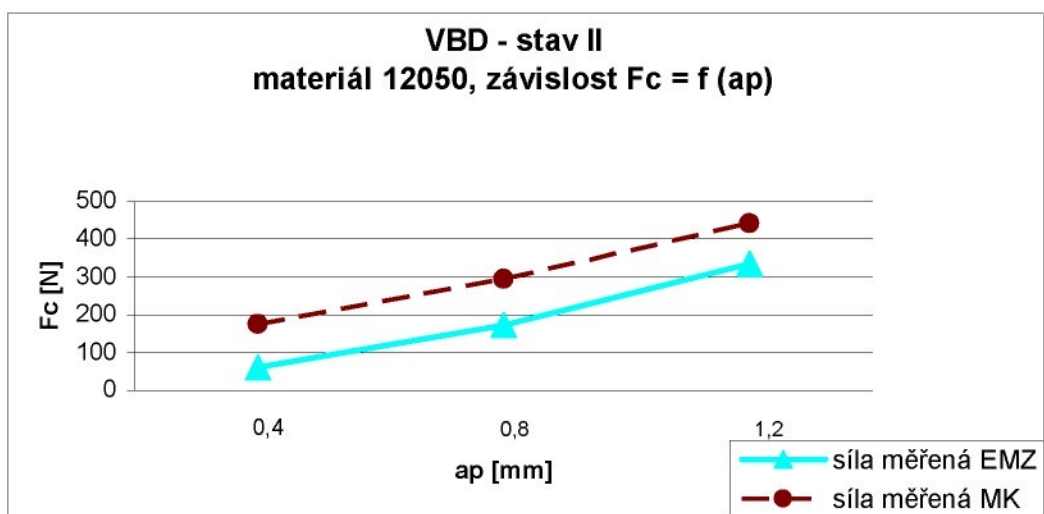
Tab. 9. Síly F_c a F_f získané z EMZ pro VBD stav III

Z průběhů křivek řezné síly F_c naměřené na EMZ a měřicím kufrem vidíme, že u všech měřených stavů mají křivky stejný průběh. Obě síly mají s hloubkou řezu vzestupnou tendenci. Pro stav břitové destičky I a II je křivka měřená EMZ vždy položena níže, než kontrolní měření pomocí měřicího kufru. Největší rozdíl síly pro stav VBD I a II nastává u největší hloubky záběru. Pro stav III jsou křivky sil téměř totožné.

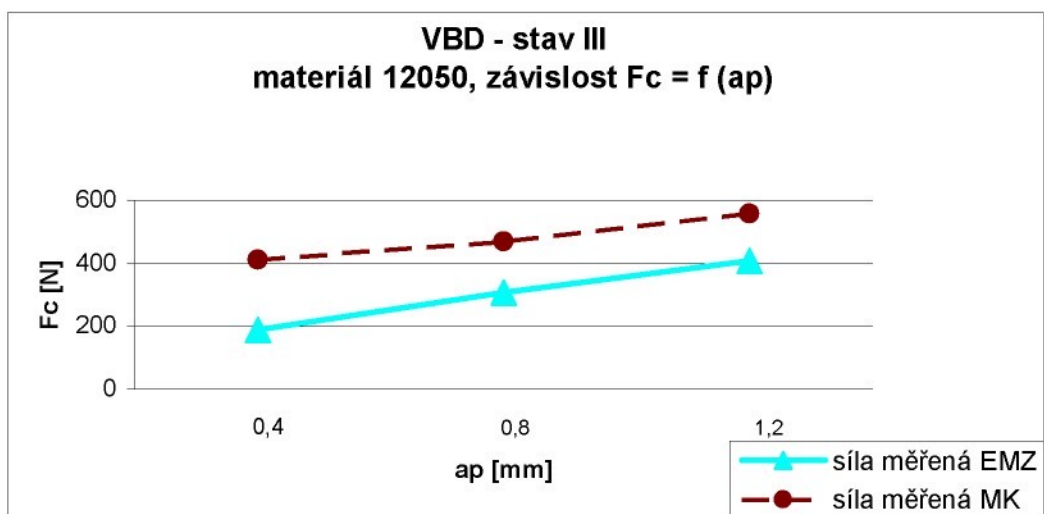
Pokus č. 2 - materiál 12050



Graf 4. Materiál 12050, VBD stav I



Graf 5. Materiál 12050, VBD stav II



Graf 6. Materiál 12050, VBD stav III

břitová destička stav I							
$F_c=f(ap)$ $D=72,3$ mm $n=900\text{min}^{-1}$ $f=0.15\text{mm.ot}^{-1}$							
ap[mm]	d0	d1	d	k	P [W]	v_c [m.min ⁻¹]	F_c [N]
0,4	12	14,5	2,5	200	500	204,32	146,83
0,8	12	16	4	200	800	204,32	234,93
1,2	12	19	7	200	1400	204,32	411,12

Tab.10. Síla F_c získaná z MK pro VBD stav I

břitová destička stav I						
$F_c=f(ap)$ $D=72,3\text{mm}$ $n=900\text{min}^{-1}$ $f=0,15\text{mm.ot}^{-1}$						
ap[mm]	Fc1[N]	Fc2[N]	Fc[N]	Ff1[N]	Ff2[N]	Ff[N]
0,4	70,22	75,45	72,84	35,61	31,13	33,37
0,8	174,55	216,13	195,34	93,62	83,42	88,52
1,2	338,14	352,09	345,12	156,12	160,36	158,24

Tab. 11. Síly F_c a F_f získané z EMZ pro VBD stav I

břitová destička stav II							
$F_c=f(ap)$ $D=72,3\text{ mm}$ $n=900\text{min}^{-1}$ $f=0,15\text{mm.ot}^{-1}$							
ap[mm]	d0	d1	d	k	P [W]	$v_c [\text{m.min}^{-1}]$	F_c [N]
0,4	12	15	3	200	600	204,32	176,19
0,8	12	17	5	200	1000	204,32	293,66
1,2	12	19,5	7,5	200	1500	204,32	440,49

Tab.12. Síla F_c získaná z MK pro VBD stav II

břitová destička stav II						
$F_c=f(ap)$ $D=72,3\text{mm}$ $n=900\text{min}^{-1}$ $f=0,15\text{mm.ot}^{-1}$						
ap[mm]	Fc1[N]	Fc2[N]	Fc[N]	Ff1[N]	Ff2[N]	Ff[N]
0,4	63,74	60,51	62,13	34,61	33,32	33,96
0,8	175,55	170,57	173,06	103,09	111,80	107,45
1,2	308,26	361,30	334,78	185,26	180,77	183,02

Tab. 13. Síly F_c a F_f získané z EMZ pro VBD stav II

břitová destička stav III							
$F_c=f(ap)$ $D=72,3\text{ mm}$ $n=900\text{min}^{-1}$ $f=0,15\text{mm.ot}^{-1}$							
ap[mm]	d0	d1	d	k	P [W]	$v_c [\text{m.min}^{-1}]$	F_c [N]
0,4	12	19	7	200	1400	204,32	411,12
0,8	12	20	8	200	1600	204,32	469,85
1,2	12	21,5	9,5	200	1900	204,32	557,95

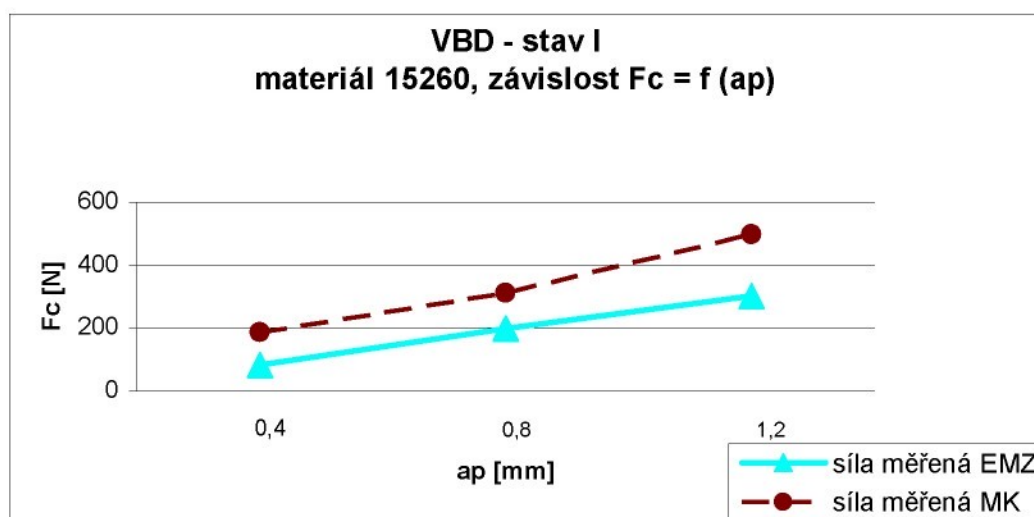
Tab.14. Síla F_c získaná z MK pro VBD stav III

břitová destička stav III						
$F_c=f(a_p)$ $D=72,3\text{mm}$ $n=900\text{min}^{-1}$ $f=0.15\text{mm.ot}^{-1}$						
$a_p[\text{mm}]$	$F_{c1}[\text{N}]$	$F_{c2}[\text{N}]$	$F_c[\text{N}]$	$F_{f1}[\text{N}]$	$F_{f2}[\text{N}]$	$F_f[\text{N}]$
0,4	195,47	179,28	187,38	43,33	34,11	38,72
0,8	289,59	328,18	308,89	222,86	206,42	214,64
1,2	375,99	439,98	407,99	322,95	319,47	321,21

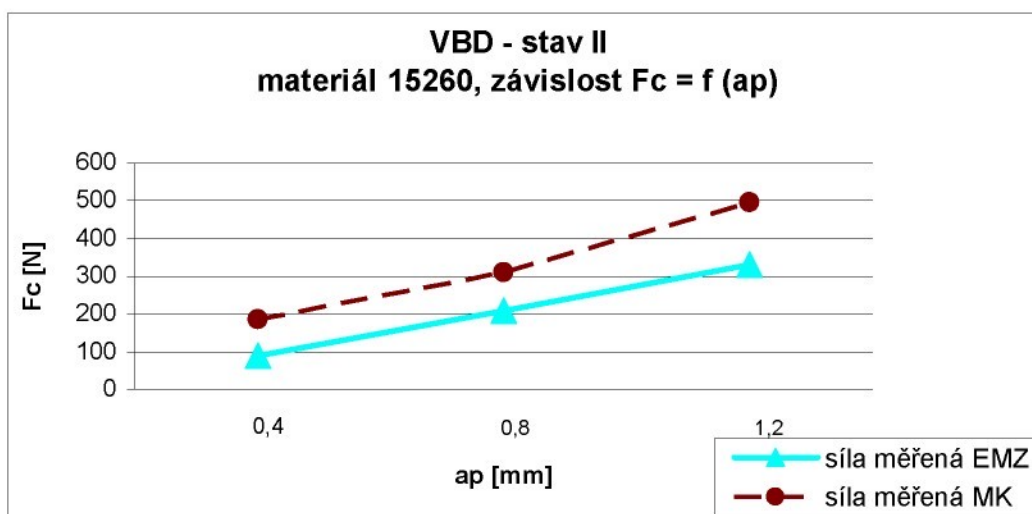
Tab. 15. Síly F_c a F_f získané z EMZ pro VBD stav III

Průběhy hlavní řezné síly F_c probíhá téměř totožným způsobem jako u materiálu 11600. Síla má opět s větší hloubkou řezu rostoucí charakter a síla spočítaná z hodnot měřených měřicím kufrem je vyšší, ale má stejný průběh jako naměřené síly z EMZ. U tohoto materiálu se více projevuje růst sil s opotřebením nástroje.

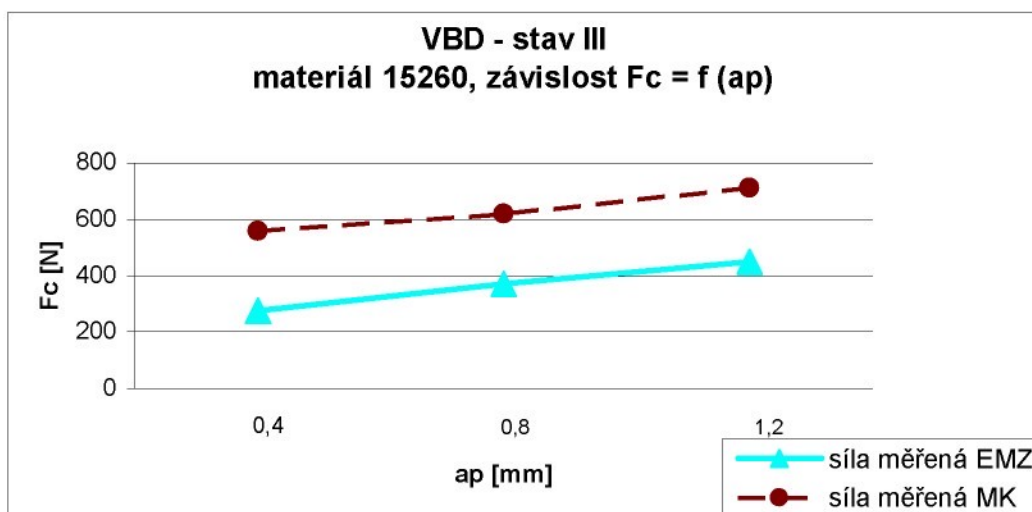
Pokus č. 3 - materiál 15260



Graf 7. Materiál 15260, VBD stav I



Graf 8. Materiál 15260, VBD stav II



Graf 9. Materiál 15260, VBD stav III

břitová destička stav I							
$F_c=f(a_p)$ $D=87\text{mm}$ $n=710\text{min}^{-1}$ $f=0.15\text{mm.ot}^{-1}$							
$a_p[\text{mm}]$	d_0	d_1	d	k	P [W]	v_c [m.min ⁻¹]	F_c [N]
0,4	10	13	3	200	600	193,96	185,61
0,8	10	15	5	200	1000	193,96	309,35
1,2	10	18	8	200	1600	193,96	494,95

Tab.16. Síla F_c získaná z MK pro VBD stav I

břitová destička stav I						
$F_c=f(ap)$ $D=87\text{mm}$ $n=710\text{min}^{-1}$ $f=0.15\text{mm.ot}^{-1}$						
$ap[\text{mm}]$	$F_{c1}[\text{N}]$	$F_{c2}[\text{N}]$	$F_c[\text{N}]$	$F_{f1}[\text{N}]$	$F_{f2}[\text{N}]$	$F_f[\text{N}]$
0,4	87,15	79,18	83,17	52,29	41,58	46,94
0,8	179,03	217,63	198,33	105,58	93,62	99,60
1,2	300,29	301,54	300,92	176,79	172,06	174,43

Tab. 17. Síly F_c a F_f získané z EMZ pro VBD stav I

břitová destička stav II							
$F_c=f(ap)$ $D=87\text{mm}$ $n=710\text{min}^{-1}$ $f=0.15\text{mm.ot}^{-1}$							
$ap[\text{mm}]$	d_0	d_1	d	k	$P [\text{W}]$	$V_c [\text{m.min}^{-1}]$	$F_c [\text{N}]$
0,4	10	13	3	200	600	193,96	185,61
0,8	10	15	5	200	1000	193,96	309,35
1,2	10	18	8	200	1600	193,96	494,95

Tab.18. Síla F_c získaná z MK pro VBD stav II

břitová destička stav II						
$F_c=f(ap)$ $D=87\text{mm}$ $n=710\text{min}^{-1}$ $f=0.15\text{mm.ot}^{-1}$						
$ap[\text{mm}]$	$F_{c1}[\text{N}]$	$F_{c2}[\text{N}]$	$F_c[\text{N}]$	$F_{f1}[\text{N}]$	$F_{f2}[\text{N}]$	$F_f[\text{N}]$
0,4	90,14	85,41	87,78	53,54	52,29	52,92
0,8	187,25	229,33	208,29	111,30	103,58	107,44
1,2	311,75	350,59	331,17	188,24	185,75	187,00

Tab. 19. Síly F_c a F_f získané z EMZ pro VBD stav II

břitová destička stav III							
$F_c=f(ap)$ $D=87\text{mm}$ $n=710\text{min}^{-1}$ $f=0.15\text{mm.ot}^{-1}$							
$ap[\text{mm}]$	d_0	d_1	d	k	$P [\text{W}]$	$V_c [\text{m.min}^{-1}]$	$F_c [\text{N}]$
0,4	10	19	9	200	1800	193,96	556,82
0,8	10	20	10	200	2000	193,96	618,69
1,2	10	21,5	11,5	200	2300	193,96	711,49

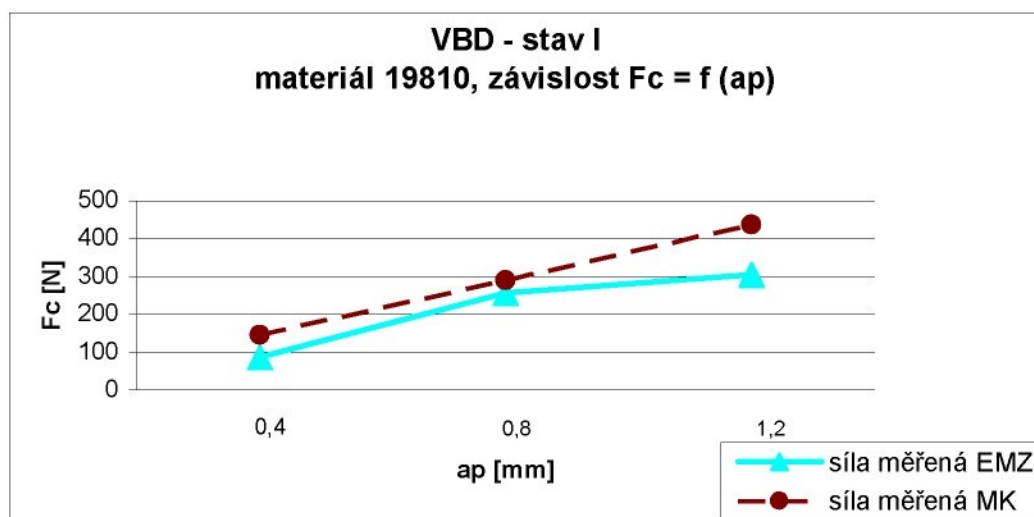
Tab.20. Síla F_c získaná z MK pro VBD stav III

břitová destička stav III						
$F_c=f(a_p)$ $D=87\text{mm}$ $n=710\text{min}^{-1}$ $f=0.15\text{mm.ot}^{-1}$						
$a_p[\text{mm}]$	$F_{c1}[\text{N}]$	$F_{c2}[\text{N}]$	$F_c[\text{N}]$	$F_{f1}[\text{N}]$	$F_{f2}[\text{N}]$	$F_f[\text{N}]$
0,4	274,40	275,72	275,06	-10,96	-19,92	-15,44
0,8	365,78	375,99	370,89	217,88	203,43	210,66
1,2	438,74	461,15	449,95	365,28	354,58	359,93

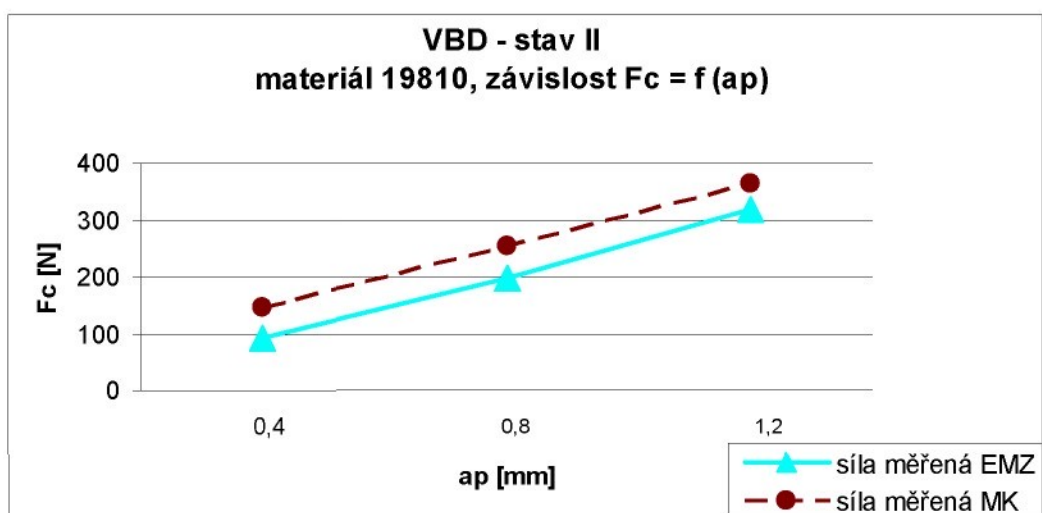
Tab. 21. Síly F_c a F_f získané z EMZ pro VBD stav III

V grafech pro materiál 15260 je průběh křivek F_c pro všechny stavy opotřebení stejného charakteru jako u předchozích obráběných materiálů, ale rozdíl mezi výše položenou křivkou MK a EMZ se s opotřebením nástroje výrazněji zvětšuje.

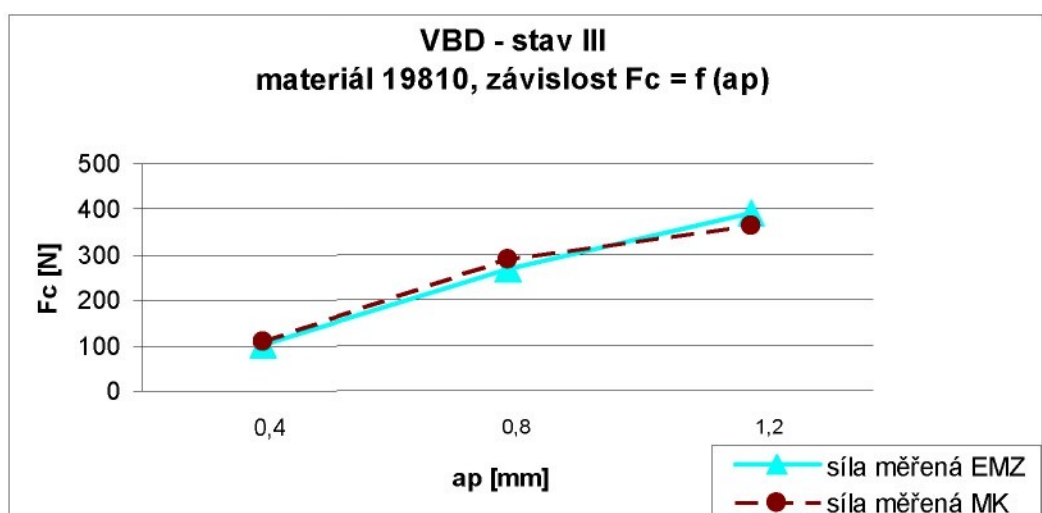
Pokus č. 4 - materiál 19810



Graf 10. Materiál 19810, VBD stav I



Graf 11. Materiál 19810, VBD stav II



Graf 12. Materiál 19810, VBD stav III

břitová destička stav I							
$F_c=f(ap)$ $D=47\text{mm}$ $n=1120\text{min}^{-1}$ $f=0.15\text{mm.ot}^{-1}$							
ap[mm]	d0	d1	d	k	P [W]	v_c [m.min ⁻¹]	F_c [N]
0,4	14	16	2	200	400	165,29	145,2
0,8	14	18	4	200	800	165,29	290,4
1,2	14	20	6	200	1200	165,29	435,6

Tab.22. Síla F_c získaná z MK pro VBD stav I

břitová destička stav I						
$F_c=f(ap)$ $D=47\text{mm}$ $n=1120\text{min}^{-1}$ $f=0.15\text{mm.ot}^{-1}$						
ap[mm]	Fc1[N]	Fc2[N]	Fc[N]	Ff1[N]	Ff2[N]	Ff[N]
0,4	83,17	90,39	86,78	45,32	46,31	45,82
0,8	236,05	277,64	256,85	108,07	91,88	99,98
1,2	300,79	309,26	305,03	174,55	180,03	177,29

Tab. 23. Síly F_c a F_f získané z EMZ pro VBD stav I

břitová destička stav II							
$F_c=f(ap)$ $D=47\text{mm}$ $n=1120\text{min}^{-1}$ $f=0.15\text{mm.ot}^{-1}$							
ap[mm]	d0	d1	d	k	P [W]	v_c [m.min ⁻¹]	F_c [N]
0,4	14	16	2	200	400	165,29	145,2
0,8	14	17,5	3,5	200	700	165,29	254,1
1,2	14	19	5	200	1000	165,29	363,0

Tab.24. Síla F_c získaná z MK pro VBD stav II

břitová destička stav II						
$F_c=f(ap)$ $D=47\text{mm}$ $n=1120\text{min}^{-1}$ $f=0.15\text{mm.ot}^{-1}$						
ap[mm]	Fc1[N]	Fc2[N]	Fc[N]	Ff1[N]	Ff2[N]	Ff[N]
0,4	93,13	92,88	93,01	53,29	45,57	49,43
0,8	192,48	199,95	196,22	125,50	114,30	119,90
1,2	315,23	319,22	317,23	192,98	187,00	189,99

Tab. 25. Síly F_c a F_f získané z EMZ pro VBD stav II

břitová destička stav III							
$F_c=f(ap)$ $D=47\text{mm}$ $n=1120\text{min}^{-1}$ $f=0.15\text{mm.ot}^{-1}$							
ap[mm]	d0	d1	d	k	P [W]	v_c [m.min ⁻¹]	F_c [N]
0,4	14	15,5	1,5	200	300	165,29	108,9
0,8	14	18	4	200	800	165,29	290,4
1,2	14	19	5	200	1000	165,29	363

Tab.26. Síla F_c získaná z MK pro VBD stav III

břitová destička stav III						
$F_c=f(a_p)$ $D=47\text{mm}$ $n=1120\text{min}^{-1}$ $f=0.15\text{mm.ot}^{-1}$						
$a_p[\text{mm}]$	$F_{c1}[\text{N}]$	$F_{c2}[\text{N}]$	$F_c[\text{N}]$	$F_{f1}[\text{N}]$	$F_{f2}[\text{N}]$	$F_f[\text{N}]$
0,4	101,10	100,85	100,98	49,05	52,04	50,55
0,8	270,17	264,94	267,56	182,52	173,80	178,16
1,2	413,10	370,26	391,68	265,43	261,45	263,44

Tab. 27. Síly F_c a F_f získané z EMZ pro VBD stav III

U materiálu 19810 vychází jako nejvyšší síla F_c při opotřebení VBN stav I vypočítaná z hodnot MK. Naměřené rozdíly sil při změně VBD stav I a II a zachování hloubky záběru se výrazně neliší. Hodnoty získané výpočtem z MK jsou opět vyšší než naměřené EMZ.

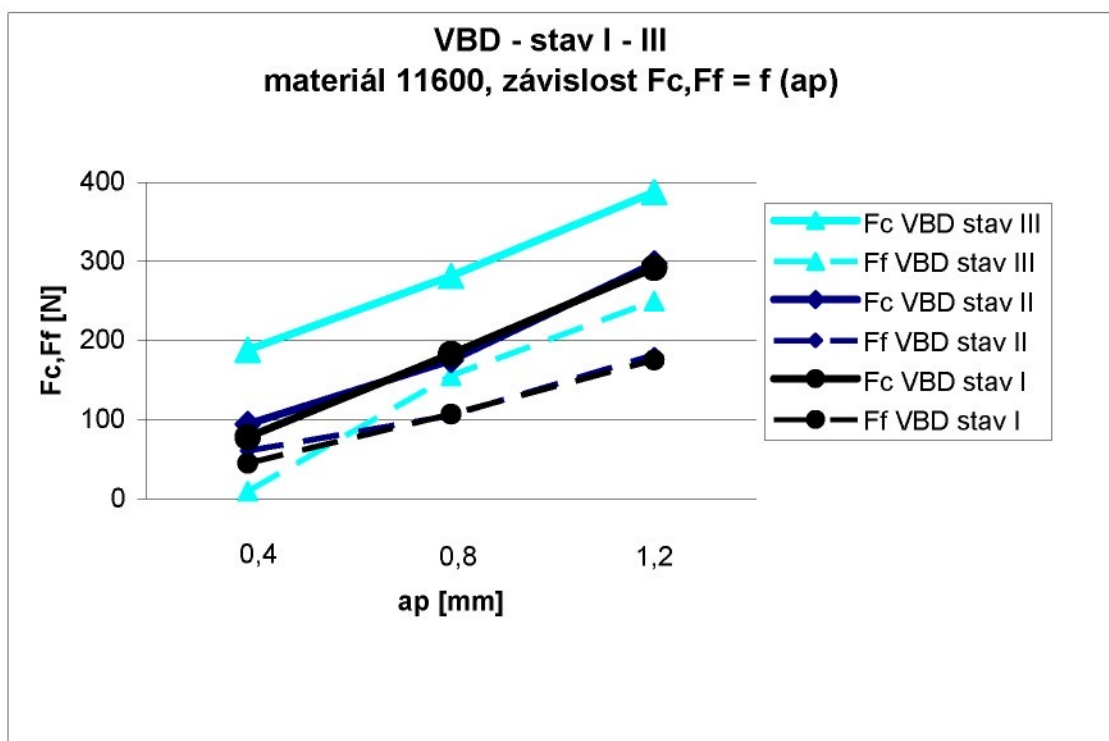
Dílčí závěr z grafů $F_c = f(a_p)$

Na základě provedených porovnání mezi hodnotami získanými z experimentálního měřicího zařízení a silami vypočtenými z měřicího kufru vyplývá, že průběh sil z MK se blíží průběhu sil z EMZ tzn., že s rostoucí hloubkou řezu a opotřebením vyměnitelné břitové destičky síly rostou. Nejnižší hodnoty síly F_c nastávaly u všech materiálů při nejmenší hloubce řezu (0,4 mm) a stavů vyměnitelné břitové destičky stav I a II. Tzn. všechny se pohybovaly do 100N. Při zvětšení hloubky řezu na 0,8mm vzroste i síla u konstrukčních ocelí 11600, 12050.1, 15260 o hodnotu cca 100 N bez ohledu na opotřebení VBD. U nástrojové oceli 19810 se síla téměř ztrojnásobí, avšak pouze u VBD stav I a III. Pro stav II není tato hodnota tak vysoká. Pro hloubku řezu (1,2 mm) a ocel 11600 a 15260 síla rovnoměrně narůstá. U oceli 12050.1 je zvětšování síly příkřejší. Pro ocel 19810 je při stavu opotřebení VBD I a II síla prakticky totožná a pro opotřebení III razantně narůstá.

Velikost sil z MK vychází vyšší o téměř konstantní hodnotu. Hodnoty MK jsou ovlivněny možností přesného odečtení počtu dílků na stupnici, neboť jediná vyhovující konstanta ($k = 200$) svojí velikostí neumožňovala její přesnější odečtení.

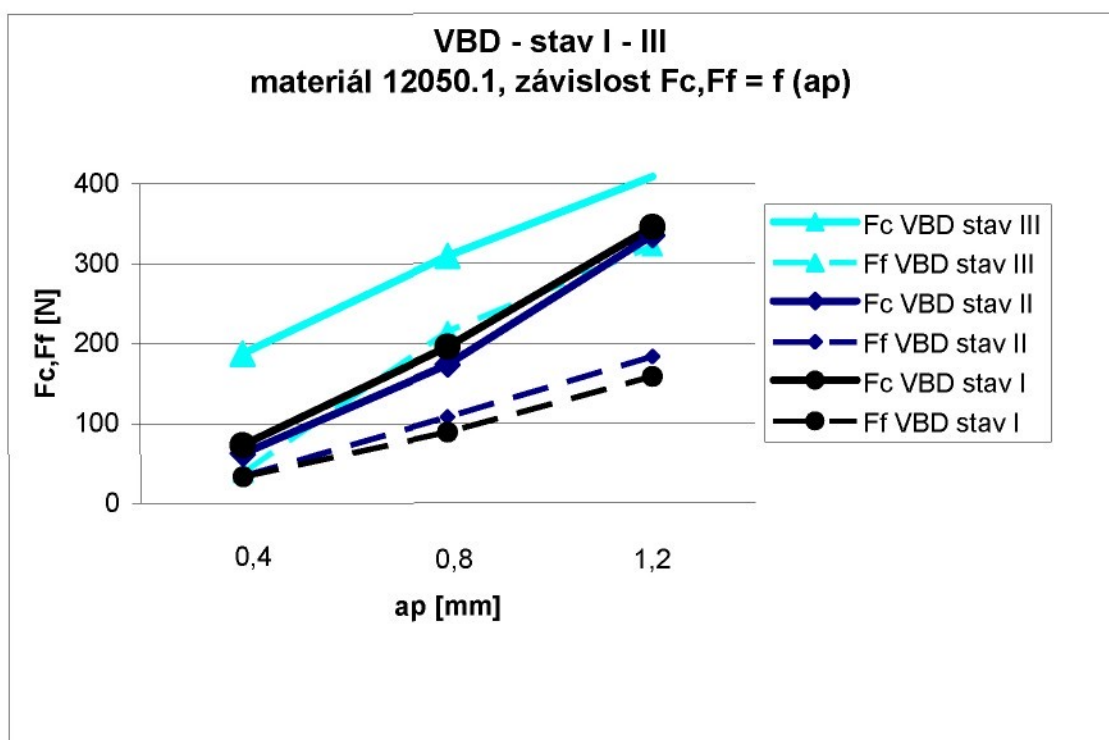
7.1 Průběhy sil

V dalších grafech je vynesena závislost posunové síly F_f a hlavní řezné síly F_c při změnách opotřebovaných destiček stav I – III na hloubku záběru a_p . Síla je měřena pomocí měření s EMZ.

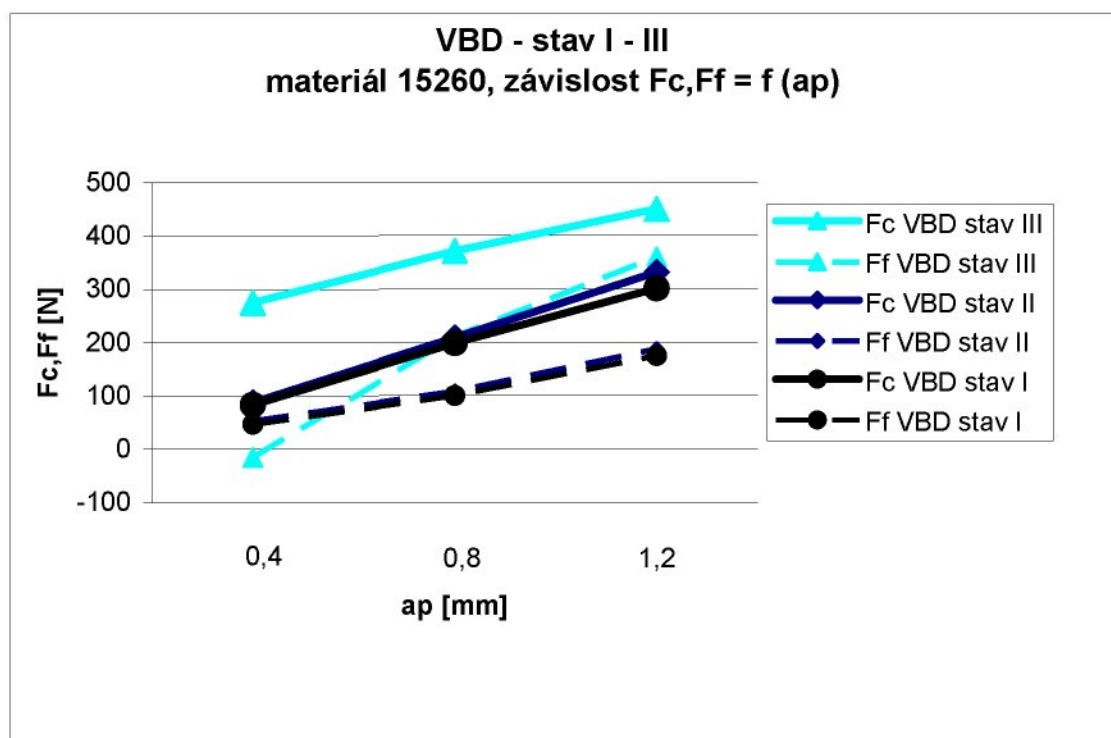


Graf 13. Síly F_c a F_f získané z EMZ pro VBD stav I-III materiál 11600

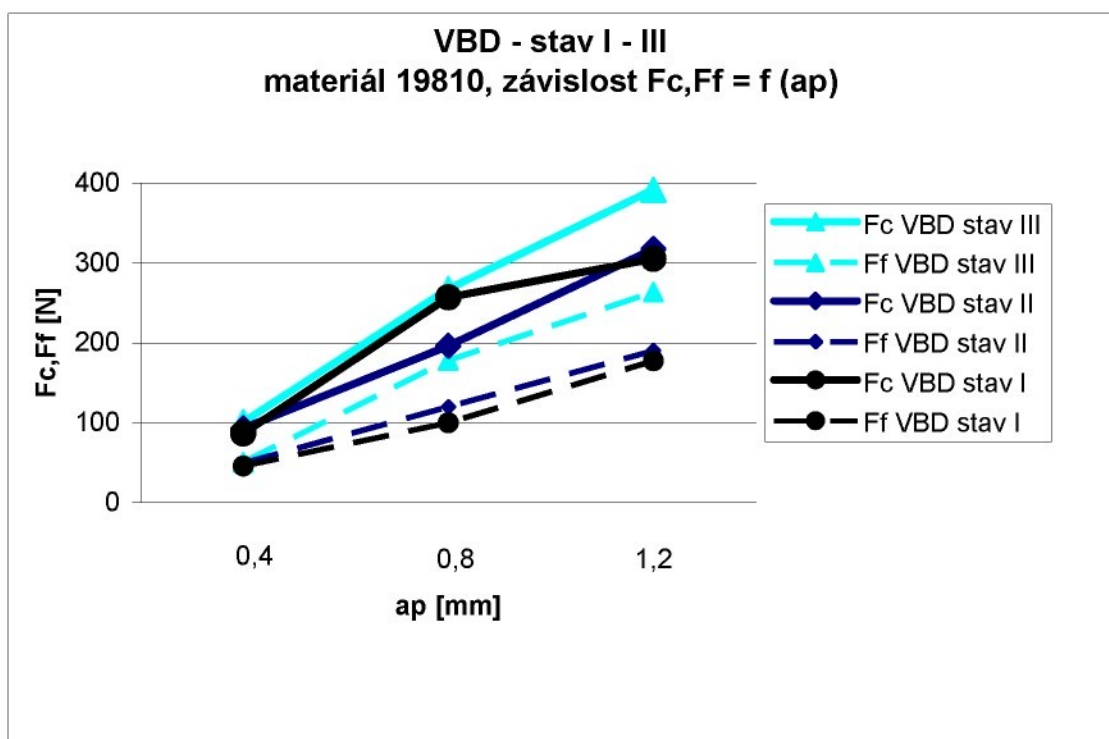
Pro konstrukční ocel 11600 je z grafu 13. zřejmé, že razantního nárůstu řezných sil dochází až při výraznějším opotřebení vyměnitelné břitové destičky. Pro opotřebení VBD stav I a II jsou síly téměř totožné.



Graf 14. Sily F_c a F_f získané z EMZ pro VBD stav I-III materiál 12050.1



Graf 15. Sily F_c a F_f získané z EMZ pro VBD stav I-III materiál 15260



Graf 16. Síly F_c a F_f získané z EMZ pro VBD stav I-III materiál 19810

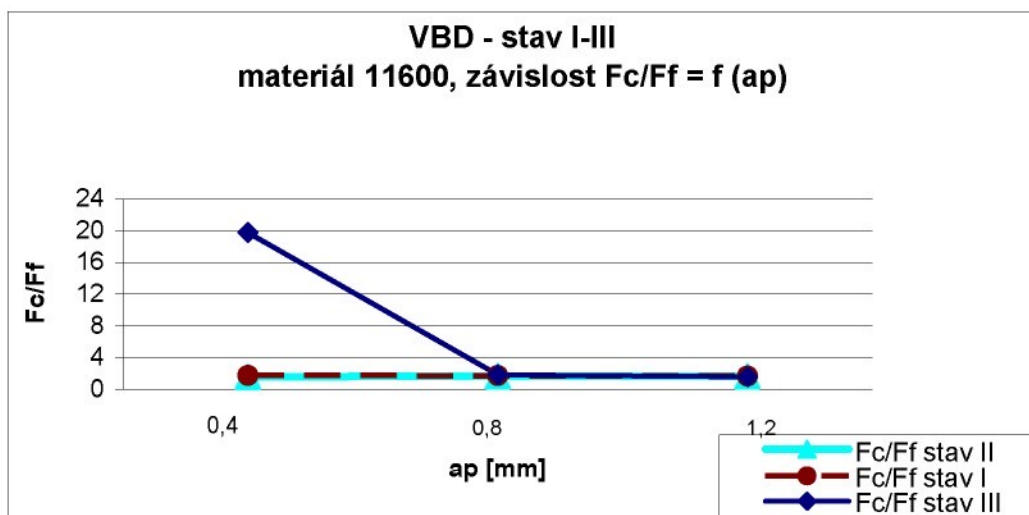
V grafu 14. je znázorněn průběh řezných sil u materiálu 12050, kde už při změně VBD ze stavu I na II je zvýšení řezných sil znatelnější než u materiálu 11600. Největšího nárůstu sil je opět dosaženo při největším opotřebení VBD – stav III.

U oceli 15260 znázorněné v grafu 15. je charakter křivek pro stav opotřebení I a II stejný jako u ocelí 11600 a 12050.1. U největšího opotřebení (stav III) a nejmenší hloubky záběru (0,4) byla posuvová síla F_f naměřena mírně záporná (cca -15N), tzn. nůž byl vtahován do materiálu. Při zvětšení hloubky záběru na 0.8mm posunová síla skokově narostla (210N).

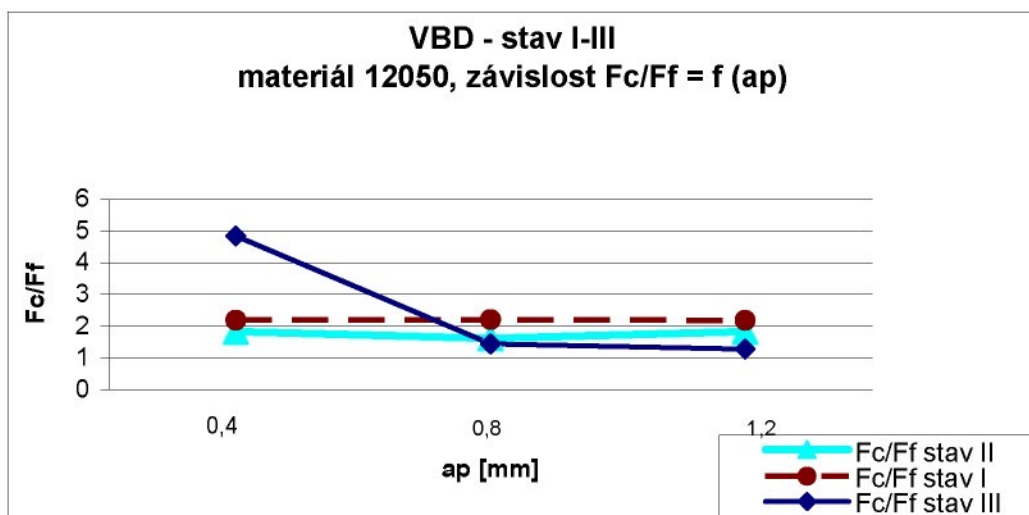
U nástrojové oceli 19810 nejsou velikosti řezných sil se změnou opotřebení tak vysoké jako u konstrukčních ocelí třídy 12 a 15. Křivky mají podobný charakter jako u oceli 11600. Průběhy sil jsou až na sílu F_c při VBD stav I téměř lineární. Pro novou vyměnitelnou břitovou destičku došlo při hloubce řezu 0.8mm ke skokovému navýšení síly, která se zvětšením hloubky řezu zase mění svůj průběh, který se podobá ostatním křivkám.

7.2 Poměry sil F_c/F_f

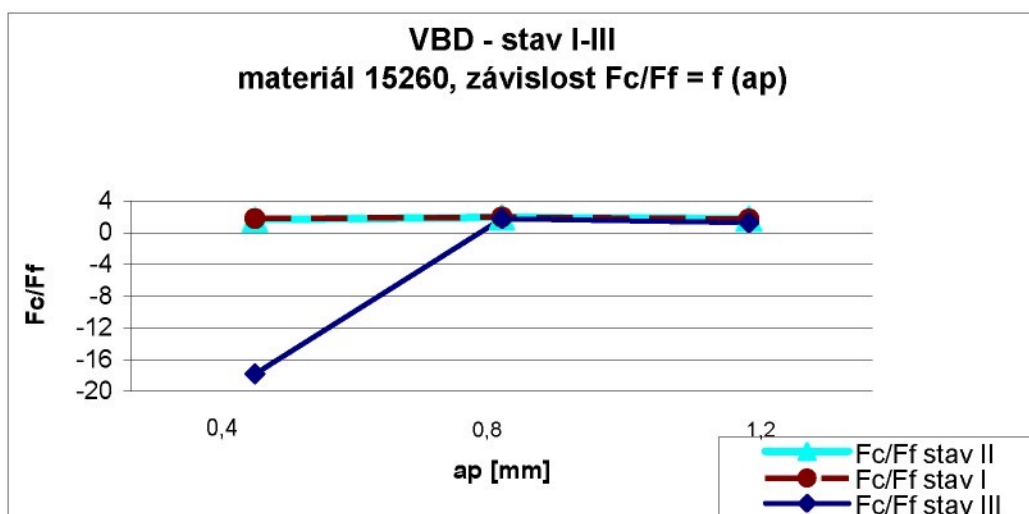
V těchto grafech jsou uvedeny průběhy poměrů sil F_c/F_f z experimentálního řezného nástroje. Opotřebení nástroje není charakterizováno pouze jednou (dominantní) z řezných sil, které při obrábění působí, ale všemi silami. Opotřebení řezného nástroje lze posuzovat i z poměru řezných sil.



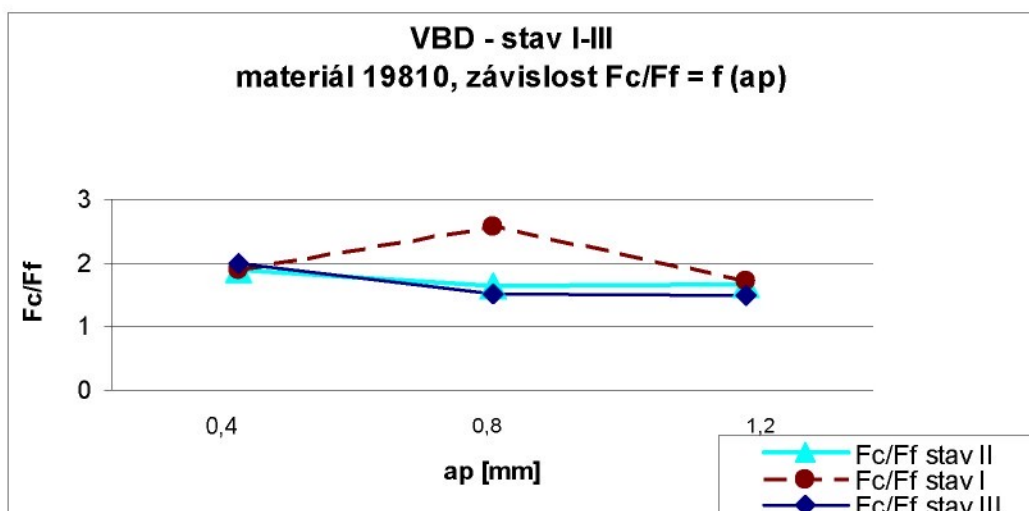
Graf 17. Vliv opotřebení nástroje na poměr řezných sil F_c/F_f mat. 11600



Graf 18. Vliv opotřebení nástroje na poměr řezných sil F_c/F_f mat. 12050.1



Graf 19. Vliv opotřebení nástroje na poměr řezných sil F_c/F_f mat. 15260



Graf 20. Vliv opotřebení nástroje na poměr řezných sil F_c/F_f mat. 19810

Z grafů je zřejmé, že s rostoucím opotřebením poměr řezných sil F_c/F_f u námi zvolených hloubkách záběru má klesající charakter. Výjimku tvoří hloubka záběru 0,4 při maximálním opotřebení VBD (stav III). Kde se u konstrukčních ocelí vlivem malé posunové síly výrazně mění velikost poměru sil. U nástrojové oceli 19810 je tento poměr pouze nepatrně vyšší než u méně opotřebených VBD.

7.3 Výpočet deformací pro nástrojovou ocel 19810

břitová destička stav I									
Fc=f(ap) D=47mm n=1120min-1 f=0.15mm.ot-1								def Fc	def Ff
ap[mm]	Fc1[N]	Fc2[N]	Fc[N]	Ff1[N]	Ff2[N]	Ff[N]	Fc/Ff	[mm]	[mm]
0,4	83,2	90,4	86,8	45,3	46,3	45,8	1,89	1,86E-05	9,83E-06
0,8	236,1	277,6	256,8	108,1	91,9	100,0	2,57	5,51E-05	2,14E-05
1,2	300,8	309,3	305,0	174,6	180,0	177,3	1,72	6,54E-05	3,8E-05

Tab. 28 Průběh deformací materiál 19810 VBD stav I

břitová destička stav II									
Fc=f(ap) D=47mm n=1120min-1 f=0.15mm.ot-1								def Fc	def Ff
ap[mm]	Fc1[N]	Fc2[N]	Fc[N]	Ff1[N]	Ff2[N]	Ff[N]	Fc/Ff	[mm]	[mm]
0,4	93,1	92,9	93,0	53,3	45,6	49,4	1,88	1,99E-05	1,06E-05
0,8	192,5	200,0	196,2	125,5	114,3	119,9	1,64	4,21E-05	2,57E-05
1,2	315,2	319,2	317,2	193,0	187,0	190,0	1,67	6,8E-05	4,08E-05

Tab. 29 Průběh deformací materiál 19810 VBD stav II

břitová destička stav III									
Fc=f(ap) D=47mm n=1120min-1 f=0.15mm.ot-1								def Fc	def Ff
ap[mm]	Fc1[N]	Fc2[N]	Fc[N]	Ff1[N]	Ff2[N]	Ff[N]	Fc/Ff	[mm]	[mm]
0,4	101,1	100,9	101,0	49,1	52,0	50,5	2	2,17E-05	1,08E-05
0,8	270,2	264,9	267,6	182,5	173,8	178,2	1,5	5,74E-05	3,82E-05
1,2	413,1	370,3	391,7	265,4	261,5	263,4	1,49	8,4E-05	5,65E-05

Tab. 30 Průběh deformací materiál 19810 VBD stav I

Hodnoty deformací (prodloužení) jsou spočítány pouze jako prodloužení pod nalepeným tenzometrem. Pro stanovení opotřebení VBD jsme určili poměr sil F_c/F_f , což je v našem případě stejná hodnota jako poměr deformace F_c /deformaci F_f . Proto nebyl důvod k počítání jednotlivých deformací.

8. Závěr

Úkolem této diplomové práce bylo zjistit funkčnost tenzometrické sestavy na měření řezných sil při obrábění – soustružení.

Pro tento účel bylo zapotřebí navrhnout a sestavit experimentální měřicí zařízení, které by bylo kompatibilní se Spiderem 8. K tomuto účelu byl vytvořen komunikační software a zkonstruován samotný experimentální měřicí nástroj. Při konstrukci byla zjištěna příliš malá hloubka podélných drážek, která sice spolehlivě zajišťuje ochranu tenzometrů před nežádoucím kontaktem při manipulaci s nožem, ale její hloubka nebyla dostatečně hluboká pro použití klasické kabeláže. Z tohoto důvodu bylo nutné vyrobit speciální tenký vodivý pásek o tloušťce 0,35 mm, který již splňoval technické požadavky a mohl být následně použit namísto kabeláže a spolehlivě splňoval její funkci jako vodiče signálu.

Vzhledem k značné tuhosti tělesa experimentálního měřicího zařízení, bylo oproti normálu nastaveno větší vyložení, což umožňovalo lepší měřitelnost deformací.

Pro kontrolu měřených sil byl do systému zapojen i Měřicí kufr z jím naměřených a zobrazených hodnot bylo možné vypočítat řeznou sílu F_c . Systém měřicího kufru neumožňuje naprosto přesné měření a samotné nastavení jediné možné konstanty jeho nepřesnost ještě zvyšovalo. Navzdory těmto nepřesnostem byl prokázán stejný charakter průběhu měřené síly F_c .

K přesnější kalibraci experimentálního měřicího nástroje by bylo efektivnější navržení a vyrobení speciálních přípravků, které by zaručovaly přesnou polohu a směr nastavované síly působící na špičce nástroje při soustružení. Vzhledem k zadání Diplomové práce a vysokým nárokům na výrobu nebyla takto přesná kalibrace zapotřebí.

Z provedených měření vyplývá, že experimentální měřicí zařízení splňuje svou funkci.

Na základě provedených měření lze stanovit hodnotu, kdy je nástroj opotřebený a kdy ještě není. Z poměru sil je možné stanovit hodnotu při které se nástroj jeví jako opotřebený.

Závěrem dodejme, že tuto oblast výzkumu by bylo dobré podrobit ještě dalšímu a podrobnějšímu prozkoumávání, jak již bylo naznačeno výše.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$\Delta\theta$	Teplotní rozdíl mezi oběma spoji	
ε	Poměrná deformace	[m/m]
ΔR	Změna odporu tenzometru	[Ω]
Δl	Prodloužení	[mm]
a_p	Hloubka řezu	[mm]
b	Šířka (výška) nože	[mm]
C1,C2	Součinitel deformační citlivosti (K-faktor)	[1]
c_v	Konstanta zahrnující vlivy obráběného materiálu a ostří	
ČSN	Česká státní norma	
D	Průměr obrobku	[mm]
d_1	Počet dílků na wattmetru při řezání	[1]
d_o	Počet dílků na wattmetru při chodu naprázdno	[1]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
EMZ	Experimentální měřicí zařízení	
f	Rychlost posuvu	[mm.ot ⁻¹]
F_c	Hlavní řezná síla	[N]
F_c, F_f, F_p	Složky řezné síly	[N]
F_e	Výsledná řezná síla	[N]
F_f	Posuvová síla	[N]
HBM	Hottinger baldwinn messtechnik	
K	Součinitel deformační citlivosti (K-faktor)	[1]
k	Konstanta nastavená na wattmetru	[1]
KB	Šířka výmolu měřená od původního ostří	[mm]
k_p	Piezoelektrická konstanta	
KT	Hloubka výmolu na čele řezného nástroje	[mm]
l_o	Délka nezatíženého tenzometru	[mm]
MK	Měřicí kufr	
MK	Měřicí kufr	
n	Otáčky	[min ⁻¹]

P	Celkový výkon	[W]
P_c	Výkon potřebný pro hlavní řezný pohyb	[W]
P_f	Výkon potřebný pro posuv	[W]
P_p	Výkon potřebný pro přísuv	[W]
R	Odpor nedeformovaného tenzometru	[Ω]
T	Trvanlivost	
U	Termoelektrické napětí	
VB	Opotřebení na hřbetu řezného nástroje	[mm]
VBN	Vyměnitelná břitobá destička	
v_c	Řezná rychlost	[m.min ⁻¹]
v_e	Výsledná rychlost	[m.s ⁻¹]
VN	Maximální opotřebení hřbetu nástroje	[mm]
v_p	Rychlost přísuvu	[m.s ⁻¹]
W_0	průřezový modul v ohybu	[mm ⁻³]
x_v, y_v	Exponenty závislé na posuvu a hloubce záběru	
α_0	Termoelektrický koeficient dvojice vodičů	

Použitá literatura

- [1] Doc. Ing. Žižka J. CSc.: XIII. Vědecké sympozium, TU Liberec – TU Dresden, 2001
- [2] Doc. Ing. Žižka J. CSc.: XIV. Mezinárodní vědecké sympozium, TU Dresden – TU Liberec, 2003
- [3] Moriwaki, T.: Intelligent Machina Tool: Perspektive and Themis for Future Development. In: Manufacturing Science and Engineering. Vol. 2, PED-Vol. 68-2, New York. ASME 1994, p. 841-849
- [4] Ing. Jan Mádl, Ing. Vilém Schubert CSc.: Experimentální metody a optimalizace v teorii obrábění, Ediční středisko ČVUT 1983
- [5] Fiala, Bebr, Matoška, : Strojnické tabulky 1, Materiály pro strojnickou výrobu. SNTL- nakladatelství technické literatury, Praha 1987
- [6] Doc. Ing. Vojtěch Dráb CSc. A kolektiv: Technologie I Návod ke cvičení LIBEREC 1989 fakulta strojní a textilní v Liberci
- [7] Propagační materiály firmy Hottinger baldwin messtechnik, <http://www.hbm.cz/>
- [8] Bilík, Mádl: Strojírenská technologie – Trvanlivost břitů a spolehlivost obráběcího nástroje, Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem, 2001

1. Inteligentní řezný nástroj [1,2]

Dlouholetým trendem ve strojírenské výrobě je maximální automatizace práce. Používají se stroje, které potřebují stále méně lidské obsluhy. Místo lidské obsluhy musí u těchto strojů, v případě nechtěné změny některého z parametrů obrábění, zasáhnout řídicí systém. Aby však mohl řídicí systém včas a účinně zasáhnout musí mít dostatek informací o průběhu obrábění. Proto je nezbytné během obrábění snímat a monitorovat vlastní stav procesu obrábění, jak z pozice stroje, tak i nástroje a obrobku. Tedy snímat různé informativní signály, parametry kterých daný proces co nejpřesněji identifikují a jsou schopny nám průběžně podávat dostatečně podrobnou informaci o změnách, které v daném procesu probíhají.

Stav břítu nástroje ovlivňuje jakost a kvalitu nově vzniklého obrobku. Pomocí snímaných veličin je snaha rozeznat, zda opotřebení řezného břítu dosáhlo maximální přípustné míry, nebo zda došlo k vylomení břítu a tudíž nástroj není vhodný k dalšímu obrábění, ještě před jeho katastrofickým opotřebením, které může vést i k závažnému poškození obrobku.

Sledování procesu obrábění umožňuje zajistit úspory na řezných nástrojích a optimalizovat časy na jejich výměnu, neboť nástroje jsou vyměňovány až při dosažení mezní přípustné míry opotřebení. Další, výhoda včasného určení mezního opotřebení řezného nástroje spočívá v odstranění rizika poškození často poměrně drahého obrobku, s velkým množstvím již provedených operací, relativně levnou vyměnitelnou břitovou destičkou. V neposlední řadě je současným cílem výzkumných pracovníků vytvořit inteligentní řezný nástroj, který by byl vybaven různými druhy miniaturních snímačů k monitorování a podávání průběžných podrobných informací o stavu řezného procesu.

Důvody k monitorování výrobních procesů jsou:

- 1) Výrobní systémy musí být ovládány s vysokou spolehlivostí, protože prostoj zaviněný poškozením má významný vliv na další výrobní činnosti. Aby bylo vyhověno těmto požadavkům samostatné jednotky procesů by měly být bezpečně řízeny pomocí vhodných, spolehlivých a rychlých monitorovacích systémů.
- 2) Vzrůstající mzdové náklady a snížení odbornosti operátorů nutí ovládat výrobní systémy s minimálním počtem lidských zásahů.
- 3) Velmi přesné až extrémně přesné výrobní procesy mohou být realizovány pouze s pomocí progresivních metod měření a monitorizačních technik.
- 4) Užití složitých obráběcích center vyžaduje sloučení a integraci monitorovacích systémů ve vyšší celky k odvrácení možného poškození stroje.
- 5) Velmi výkonné obrábění za těžkých provozních podmínek s vysokou řeznou rychlostí by mělo být prováděno z pohledu bezpečnosti provozu s minimem lidských zásahů.
- 6) Dnešní všeobecné ekologické povědomí vyžaduje také monitorizaci škodlivých emisí.

Seznam příloh

Příloha 1 Zapojení jednotlivých vodičů pŕlmůstků

Příloha 2 Kritéria pro výběr tenzometrů

Příloha 3 Manuál pro vytvoření komunikačního programu „Spidermer“

Příloha 1

Příloha 1

Zapojení jednotlivých vodičů pálmůstků konektor Canon 15



15-pin socket

Schéma pro horní a dolní tenzometr

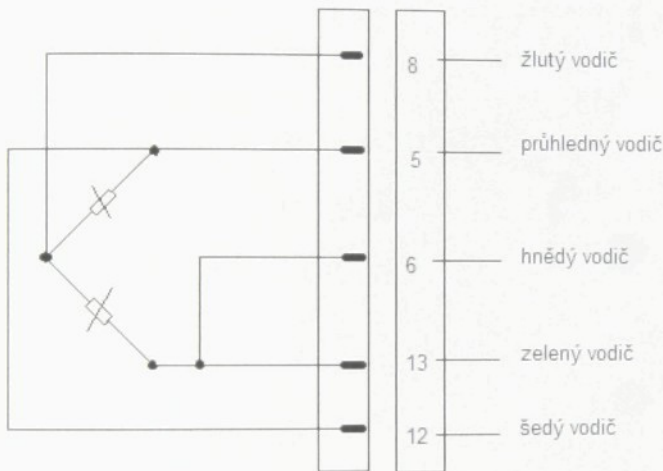
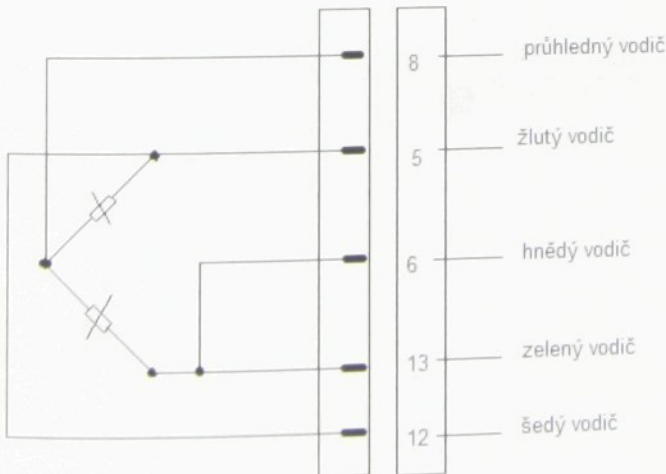


Schéma pro boční tenzometry



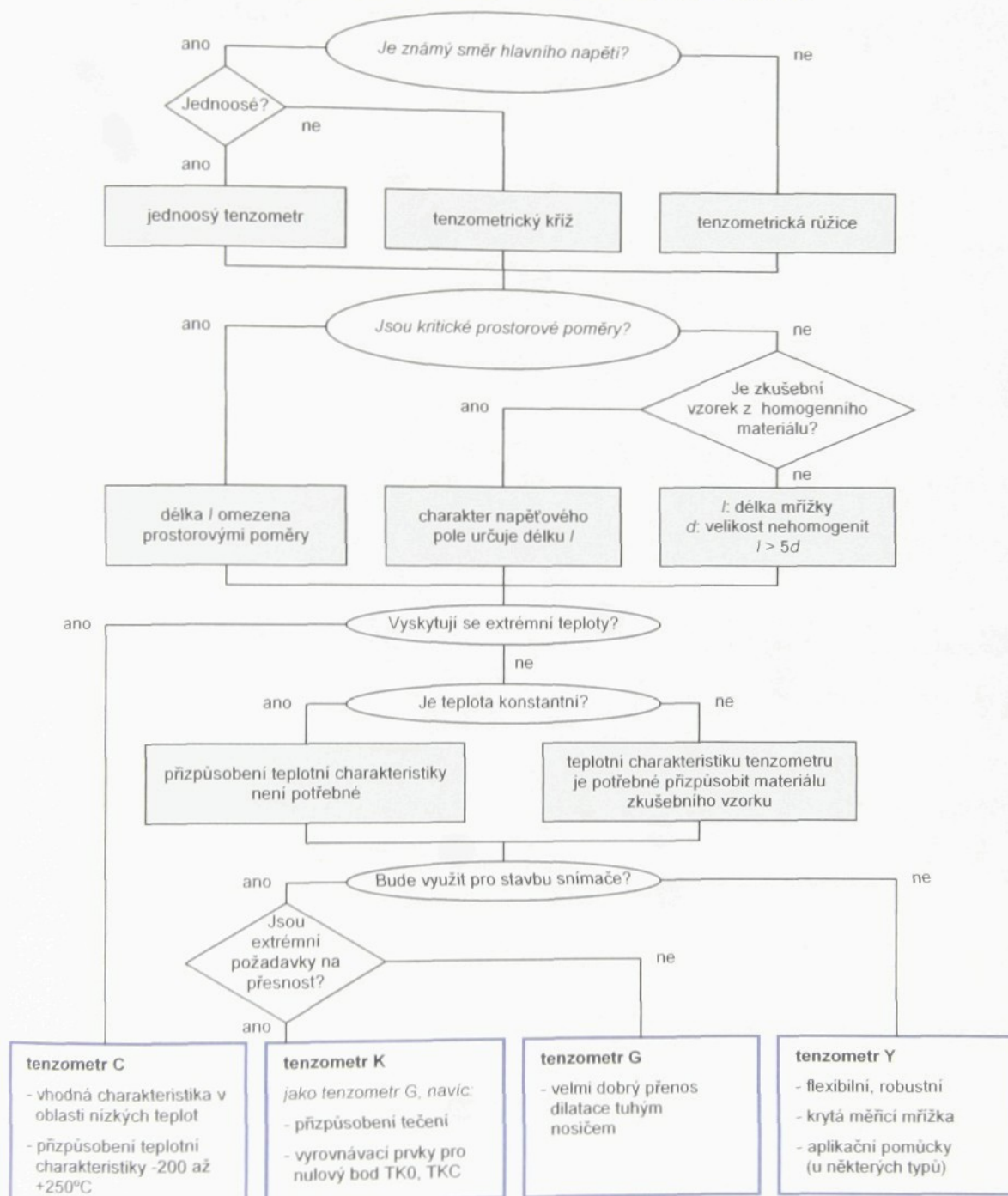
Příloha 2

Ing. Ivan Wasgestian HBP, Podskalská 7, 128 00 PRAHA 2

telefon: (+420) 224 921 861, 224 912 437, fax: (+420) 224 913 657

e-mail: hbm.cz@hbm.cz, internetové stránky: <http://www.hbm.cz/>

KRITÉRIA PRO VÝBĚR TENZOMETRŮ



Podrobné informace o kompletním výrobním programu HBM jsou dostupné na

<http://www.hbm.cz/>

Máte-li dotazy týkající se našeho sortimentu, prosím kontaktujte nás na adresách:

Ivan Wasgestian HBP
Zastoupení HBM pro ČR a SR
Podskalská 7
128 00 PRAHA 2

(+420) 224 921 861, 224 912 437
(+420) 224 913 657

Ing. Ivan Wasgestian HBP
Pobočka Brno
Technická 2
616 69 BRNO

tel.: (+420) 541 214 625, 541 142 806
fax: (+420) 549 241 852

Příloha 3

Important conventions

These conventions and general notes make working with the HBM Interpreter's commands easier for you.

Notation

- All commands can be input in lower or upper case. Any parameters must also be sent in ASCII format.

Short commands

- Short commands consist of 3 characters, possibly a question mark (?) and depending on the command, a list of parameters, which are comma-delimited, e.g. ACT1,6200<LF>

Blanks

- Blank spaces before and after parameters are suppressed.

Command types

- Set-up commands are used for the configuration of the Spider8.
- Query commands - these are used for reading information - identified by a question mark (?) on the end. E.g. ACT?1<LF>
- Measurement commands only have an effect on selected (active) channels (in this respect see the ACT command).

Responses

- As a rule, each command generates a response in ASCII format. To a certain extent, data (e.g. measured values) is also sent in binary format
- The instrument's responses given in the examples are shown in the User Manual in italics. Responses are to an extent only displayed for one or more channels.

Character strings

- When inputting, character strings must be enclosed in quotation marks or inverted commas. During output, quotation marks are used. E.g. IDN?<LF>
"HBM,Spider8,174663A,P12"<CR><LF>

Command terminator for input commands

- The command terminator (end of inputting) is identified by <LF> (Line Feed).

Command terminator for output commands

- The command terminator (end of outputting) is identified by <CR><LF> (Line Feed).

I/O with numbers

- According to the Standard IEEE 488.2, all numeric parameters can be input in floating decimal point format, even if dealing with complete or fixed decimal-point numbers. The numbers entered are changed to the relevant parameter's numeric format and, if necessary, rounded off.
- The output of numbers always uses fixed decimal-point format.

Interface - serial (RS232-C)

- Both Software-Handshake X-ON (CTRL Q) and X-OFF (CTRL S) and Hardware-Handshake are supported by Spider8 but not sent. i.e. the user must make sure that the input memory (approx. 120 characters) is not exceeded.

Interface - parallel (IEEE 1284)

- As with the serial interface, communication begins with the first command.

Behavior on acknowledgement

- With set-up commands this is output:
a '0' for an error-free run,

Error messages

NoErr	0	no errors
Err_Reset	10000	Spider in Reset status
Err_Trans	10001	Transmission error, Parity..
Err_SysFail	10002	System error
Err_UnknIn	10003	unknown command
Err_WrParms	10004	incorrect parameter number
Err_ParOutL	10005	incorrect parameter value
Err_frNIO	10006	Error due to filter frequency
Err_AmpOvr	10007	Amplifier overload
Err_InsNIO	10008	command not executable (at the moment)
Err_OMB	10009	Error with OMB
Err_ChanSel	10010	Erroneous channel selection
Err_Measure	10011	Error when measuring
Err_Trig	10012	Error when triggering
Err_MeasRng	10013	Error in measuring range
Err_Tar	10014	Error when taring
Err_frNFI	10021	Warning due to filter frequency
Err_TarNS	10022	Warning due to tare status

- a '10021' for an operation with a warning (ICR only),
- a '10022' for an operation with a warning (TAR only),
- a '?' if an error occurs; this also applies to unknown commands.
E.g. ACT1,6200<LF>
0<CR><LF>

Norms and standards

- The Standard IEEE 488.2, which defines codes, formats and a few general commands, was taken into account as much as possible.

Command syntax

All commands used have a defined structure.
There are essentially two types of command:

Set-up commands:

- The Spider8 is set up through the computer.
- Example: ASA1,351,702<LF>
0<CR><LF>
Channel 1 is set to half bridge and 125 mV/V.

Query commands:

- Measured values or device settings or the available settings are read from the Spider8.
- Example: ASA?1<LF>
351,702<CR><LF>
Channel 1 is set to half bridge and 125 mV/V.
ASA?1,351,?
700,701,702,703<CR><LF>
Channel 1 has 3mV/V, 12mV/V, 125mV/V and 500 mV/V as possible ranges in half bridge operating mode.

Each parameter is
in ASCII format.

Command structure

Short command	Parameters	End marker
TTT?	p1,p2,...pn	(x)

Example: ASA?1<LF>

TTT

- Short commands as alphabetical characters (a..z)

?

- Only in query commands

p1,p2,...pn

- Parameter values, consisting of an operating sign (+/-) and figures (0..9) or character strings (always in quotation marks ""). A positive sign can be omitted.

- Separator

(x)

- Command terminator: Line Feed (LF)

Each parameter required must be specified, otherwise the command is not valid. All entries are made in ASCII format.

Data-output structure

q1,q2,...qn(y)

Example 1: IDN?<LF>
"HBM,Spider8,174663A,P12"<CR><LF>

Example 2: ACT?0<LF>
6200<CR><LF>

The responses sent by the Spider8 are printed in *italics* in this documentation (second line in the examples).

Values output:

q1,q2,...qn

- Numerical values with operating sign, character strings in "" or '?' as error message.

,

- Separator

(y)

- End sequence Carriage Return Line Feed (CR LF)

Response:

- After an IDN?

Example

- The response is
IDN?<LF>

Description of individual commands

On the following pages each command is listed, its structure analysed and explained with an example.

Command

- The character string which has to be entered to operate the Spider8.
e.g. ACT

Syntax

- Mandatory notation of a command.
e.g. ACT <channel>,<mode> <LF>

Parameter

- The meaning of any parameters is explained:
- Name: Name of parameter (e.g. channel)
- Meaning: Description of the parameter (e.g. channel number)
- Range of values: permitted range of values
- Initialization: value of the parameter after switching on the device
If, for example for the ASA command the parameter opmode = 350, this means: full bridge

Description

- Explanation and operating mode of the command.

Response

- After an entry the Spider8 responds.

Example

- The example shows the command entered and the response of the Spider8. The response is always shown in *italics*.

Index of commands (alphabetical)

- ACT Enable channel
- ACT? Query channel status
- AFS Filter switching
- AFS? Query filter selection
- AID? Query identification of amplifier used
- ASA Set transducer type and measuring range
- ASA? Query transducer type and measuring range
- ASF Make filter settings
- ASF? Query filter settings
- BDR RS232-C Setup interface
- BDR? Query setting of RS232-C interface
- CCT? Query number of active channels
- DPI Set digital outputs
- DPI? Query status of digital inputs/outputs
- DTR Set internal trigger condition
- DTR? Query internal trigger condition
- EST? Query error status
- ICR Set up sampling rate
- ICR? Query sampling rate
- IDN? Output device identification
- IDS? Query meaning of an identification value
- MSV Start measurement
- MSV? Read off number of valid measured values
- OMB Position read pointer of the measured value buffer
- OMB? Read off measured values already captured
- PRG Program device
- PRG? Read off device programming
- STP Terminate measurement
- TAR Carry out taring
- TAR? Carry out taring, output new tare values
- TAV Enter tare value
- TAV? Read off tare value
- TRG Initiate Trigger
- TST? Carry out self-test

ACT

Command:
Activate Channel

Syntax:
ACT<channel>,<mode><LF>

Parameters:			
Name	Value range	Meaning	Init
channel	0..100	channel number / all	-
mode		channel mode	6203
		channel 8,9,18,19..	6200
	6200	Channel disabled	
	6201	Measure enabled	
	6202	Tare enabled	
	6203	Tare and Measure enabled	
	0	Measure disabled, tare still enabled	
	1	Measure enabled, tare still enabled	

Description:
The Spider8 offers the option of disabling or enabling measurement channels and separately for measuring and taring. Disabled channels no longer accept measuring commands or taring commands. The channel specified can be enabled or disabled according to the mode parameters transferred.
If channel = 100 is sent, all channels present are put into value mode (channels 8,9,18,19.. are not set to taring, even if 6202 or 6203 was specified; nevertheless there is no error message).As the structure of the measured value lines changes, the measured value buffer is cleared. Any measurement data still not read is lost.

Response:
0<CR><LF>

Influenced by:
-

Example:
ACT1,6203<LF> ; Channel 1 is enabled for measuring and taring
0<CR><LF>
ACT100,6200<LF> ; all channels are disabled
0<CR><LF>

ACT?

Command:
Active Channel Query

Syntax:
ACT?<channel><LF> 1)
ACT??<LF> 2)
ACT?<channel>,<?><LF> 3)

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
channel	0..99	channel number	

Description:
The Spider8 offers the option of enabling or disabling measurement channels (see also ACT command).

- 1): A query is made whether the specified channel is enabled or disabled.
- 2): It is queried which channel numbers can be input.
- 3): It is queried which channel status can be input for the specified channel.

Response:
mode<CR><LF> 1)
list1<CR><LF> 2)
list2<CR><LF> 3)
mode: see ACT command
list1: List of channel numbers available
list2: List of possible values for the channel status

Influenced by:
-

Examples:
ACT?1<LF> ; Is Channel 1 enabled or disabled ?
6203<CR><LF>; Channel 1 is enabled for measuring and taring
ACT??<LF> ; Which channel numbers are available?
0,99<CR><LF>; channels 0 to 99 can be addressed
ACT?0,<?><LF>; Which values for the channel status are possible on Channel 0?
6200,6201,6202,6203<CR><LF>; List of possible values

AFS

Command:
Amplifier Filtering Select

Syntax:
AFS<channel>,<filter><LF>

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
channel	0..99	channel number-	
filter		Filter	148
	148	adjustable filter	
	149	fixed filter	

Description:
One of two filters can be allocated to each measurement channel (0..7,10..17,...) in the Spider8. One of the two filters can be configured (ASF). Here, both the filter characteristics and the filter frequency can be defined. The second filter is not adjustable. Filter 2 is concerned here. Order with a -3dB cutoff frequency of approx. 1 Hz.
This data is lost, as any measurement data not yet read off will not match the new setting. The measured value buffer is cleared.

Response:
0<CR><LF>

Influenced by:

Example:
AFS1,148<LF> ; Channel 1 is switched to the adjustable filter
0<CR><LF>

AFS?

Command:

Amplifier Filtering Select Query

Syntax:

AFS?<channel><LF> 1)

AFS??<LF> 2)

AFS?<channel>,<?><LF> 3)

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
channel	0..99	channel number	

Description:

One of two filters can be allocated to each measurement channel (0..7,10..17,...) in the Spider8. One of the two filters can be configured (ASF). Here, both the filter characteristics and the filter frequency can be defined. The second filter is not adjustable. Filter 2 is concerned here. Order with a -3dB cutoff frequency of approx. 1 Hz.

1): It is queried, to which filter the specified channel is allocated.

2): It is queried which channel numbers can be input.

3): It is queried, to which filters the specified channel can be allocated.

Response:

filter<CR><LF> 1)

list1<CR><LF> 2)

list2<CR><LF> 3)

Filter: see AFS command

list1: List of available channel numbers

list2: List of possible filter values

Influenced by:

Examples:

AFS?2<LF> ; Which filter is allocated to Channel 2

148<CR><LF> ; the adjustable filter is allocated to Channel 2

AFS??<LF> ; Which channel numbers are available?

0,99<CR><LF>; channels 0 to 99 can be addressed

AFS?0,<?><LF> ; Which filter values are available on Channel 0?

148,149<CR><LF> ; List of possible values

AID?

Command:

Amplifier Identification Query

Syntax:

AID?<LF> 1)
AID?<channel><LF> 2)
AID??<LF> 3)

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
channel	0..99	channel number	

Description:

With the aid of this command you can read off the component parts used in a Spider8.

- 1): It is queried, which component parts are used in the Spider8.
- 2): It is queried which channel numbers can be input.
- 3): It is queried, which channel type is used in the specified channel.

Response:

Channel,type,...<CR><LF> 1)

list<CR><LF> 2)

type<CR><LF> 3)

Channel: Channel number

type: Channel type

5050 = no components inserted, not usable

5051 = carrier frequency with frequency at motherboard

5052 = carrier frequency without frequency at motherboard

5053 = Carrier frequency module (SR55)

5054 = DC module (SR01)

5055 = digital I/O

5056 = Auxiliary channel

list: List of available channel numbers

Influenced by:

Component parts of device

Example:

AID?<LF> ;

0,5051,1,5051,2,5052,3,5052,4,5053,5,5054,6,5050,7,5050,8,5055,9,5056<CR><LF>

; Apart from the motherboard, the device is equipped with an SR55 and an SR01.

AID?4<LF> ;

5053<CR><LF> ; Channel 4 is a SR55-Module.

ASA

Command:

Amplifier Sensor Adaptation

Syntax:

ASA<channel>,<mode>,<mrange> <LF>

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
Channel	0..99	Channel number	-
mode		Operating mode	see below
	350	Full bridge	
	351	Half bridge	
	420	Voltage	
	421	Current	
	450	Thermo J	
	451	Thermo K	
	452	Thermo T	
	453	Thermo S	
	475	Resistor	
	501	PT100	
	502	PT500	
	503	PT1000	
	510	Internal Thermo	
	520	Signal edges	
	521	Signal edges and direction	
	522	2 Phase, single	
	523	2 Phase, twin	
	525	Continuous counter	
mrange		Measuring range	see below
	702	125 mV/V	
	703	500 mV/V	
	710	0.1 V	
	711	1 V	
	712	10 V	
	720	20 mA	
	721	200 mA	
	730	400 Ohm	
	731	4000 Ohm	
	740	1 MHz	
	741	100 KHz	
	742	10 KHz	
	743	1 KHz	
	744	100 Hz	
	750	10 msec	
	751	100 msec	
	752	1 sec	
	753	10 secs	
	754	100 secs	
	760	Counter	
	761	Counter / 100	

CF with counter 350* on motherboard	opmode	mrange
		700..703 (700*)
	351	700..703
	420	712
	520, 521, 522, 523	740..744, 750..754, 760, 761

Command:
Amplifier Sensor Adaptation Query

Syntax:
ASA?<channel><LF> 1)
ASA??<LF> 2)
ASA?<channel>,<mode><LF> 3)
ASA?<channel>,<mode>,<range><LF> 4)

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
channel	0..99	channel number	
mode		Operating mode	

Description:
1): Output of the transducer type (mode) set up and the selected sensitivity (range) of the specified channel.
2): Output of available channel numbers.
3): Output of possible transducer types of the specified channel.
4): Output of the possible sensitivities of the specified channel with the specified transducer type.

Response:
mode,range<CR><LF> 1)
list1<CR><LF> 2)
list2<CR><LF> 3)
list3<CR><LF> 4)
mode, range: see ASA command
list1: List of available channel numbers
list2: List of possible transducer types
list3: List of possible measuring ranges

Influenced by:
-

Examples:
ASA?2<LF>; query the current transducer type and measuring range setting on Channel 2
350,700<CR><LF>; Channel 2 is set to full bridge and 3mV/V
ASA??<LF>; Which channel numbers are available?
0,99<CR><LF>; channels 0 to 99 can be addressed
ASA?2,<mode><LF>; Which transducer types are available on Channel 2?
350,351,420<CR><LF>; List of possible values
ASA?2,350,<range><LF>; Which measuring ranges are possible on Channel 2 with full bridge?
700,701,702,703<CR><LF>; List of possible values

CF without counter	350*	700..703 (700*)
on motherboard	351	700..703
or CF module SR55	420	712

DC module SR01	420*	710..712 (712*)
	421	720, 721
	450..453	710
	475	730, 731
	501..503	731

*: Initialisation setup

Description:

With this command you can carry out a specific adaptation for all amplifier types to the particular transducer connected, inclusive of selecting the measuring range. In the case of thermocouples, the in-built benchmark measuring point is used. As any measurement data not yet read will not match the new set-up, this data is lost. The measured value buffer is cleared.

Response:

0<CR><LF>

Influenced by:

-

Example:

ASA1,350,701<LF>; Channel 1 is set to VB with 12mV/V

0<CR><LF>

ASF

Command:
Amplifier Signal Filtering

Syntax:
ASF<char>,<fr> <LF>

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
char		Filter characteristics	142
	140	Calculation of average value	
	141	Best frequency response	
	142	Best course over time	
fr		Cutoff frequency	957

Filter characteristics: Best frequency response or best course over time

	971	964	960	957	952	948	945	941	935	932	927	921	918	914
Cutoff frequency fr in (Hz)	1200	600	300	150	75	40	20	10	5	2,5	1	0,5	0,25	0,1
9600	x	x	x	x										
4800		x	x	x										
3200			x	x	x	x								
2400			x	x	x	x								
1600				x	x	x	x							
1200				x	x	x	x							
800					x	x	x	x						
600					x	x	x	x						
400						x	x	x	x					
300						x	x	x	x					
200							x	x	x	x				
150							x	x	x	x				
100								x	x	x	x			
75								x	x	x	x			
60								x	x	x	x			
50									x	x	x	x		
25										x	x	x	x	
10											x	x	x	x
5												x	x	x
2													x	x
1														x

Description:

The adjustable digital filter in the Spider8 is configured. Both the filter type (char) and the cut-off frequency (fr) are encoded, i.e. entered as enumeration type.

When calculation an average value, a cut-off frequency results, which more or less corresponds to the highest of the sampling rates from the above table.

This data is lost, as the measurement data does not match the new setting. The measured value buffer is cleared.

Response:

0<CR><LF>

Influenced by:

ICR

Example:

ICR6305<LF> ; set sampling rate to 50/sec

0<CR><LF>

ASF?

Command:

Amplifier Signal Filtering Query

Syntax:

ASF?<LF>	1)
ASF??<LF>	2)
ASF?<char>,<?><LF>	3)

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
char		Filter characteristics	

Description:

1): Output of filter characteristics (char) set and filter frequency (fr).

2): Output of possible filter characteristics.

3): Output of possible filter frequencies for the specified filter characteristics at the current sampling rate.

Response:

char,fr<CR><LF> 1)

list1<CR><LF> 2)

list2<CR><LF> 3)

char, fr: see ASF command

list1: List of possible filter characteristics.

list2: List of available filter frequencies

Influenced by:

ICR

Examples:

ASF?<LF> ; Query current filter frequency and filter characteristics

141,932<CR><LF> ; Best frequency response at 2.5 Hz

ASF??<LF> ; Which filter characteristics are possible?

140,141,142<CR><LF> ; List of possible values

ASF?141,<?><LF> ; Which filter frequencies are possible with the current ICR and the best frequency response ?

935,932,927,921<CR><LF>; List of possible values

ASF141,932<LF>; set filter to 2.5 Hz at best frequency response
0<CR><LF>

Command:

Send data 200000

System:

0000000000000000

Parameter:

Name Value range

baudrate

00000000

Example:

00000000

00000000

00000000

00000000

00000000

00000000

00000000

00000000

00000000

The other:

Response:

00000000

Information:

Example:

00000000

00000000

00000000

BDR

Command:
Baudrate RS232-C

Syntax:
BDR<baudrate><LF>

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
baudrate		baud rate	1408
	1404	600 Baud	
	1405	1200 Baud	
	1406	2400 Baud	
	1407	4800 Baud	
	1408	9600 Baud	
	1410	19200 Baud	
	1412	38400 Baud	
	1414	57600 Baud	
	1415	76800 Baud	

Description:

The baud rate of the serial interface is set. The response is sent in the old set-up. Afterwards the baudrate will be set internally and stored into the EEPROM. This means that the new baudrate is still valid after switching off the Spider8. After setting the new baudrate, the Spider8 is waiting for EST? in the new baudrate. This EST? will be responded with 10000. The Spider8 will work in the new baudrate until the baudrate will change with BDR-instruction.

In Reset-Mode - e.g. after switching on - you can start communication with the Spider8 using the internal baudrate or with 9600 baud. If the Spider8 will be startet with 9600 baud, the internal baudrate will not change. The BDR? will answer with the internal baudrate and not with 9600 baud (1408).

The other interface parameters remain fixed at 8 databits, 1 stopbit and even parity.

Response:
0<CR><LF>

Influenced by:

-

Example:

BDR1410<LF> ; The RS232-C interface is set to 19200 baud.
0<CR><LF>

BDR?

Command:
Baudrate Query

Syntax:
BDR?<LF> 1)
BDR??<LF> 2)

Parameters:
-

Description:
1): The baud rate of the serial interface is output.
2): Output of available baudrates.

Response:
Baud rate <CR><LF> 1)
list<CR><LF> 2)

Baud rate see BDR command
list1: List of possible baudrates.

Influenced by:
-

Example:
BDR?<LF> ; Query baud rate
1408<CR><LF> ; 9600Baud

CCT?

Command:
Channel Count query

Syntax:
CCT?< Measurement type ><LF>

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
Measurement type			
	6210	Measure / Tare	
	6211	Tare	

Description:
The number of active channels for measuring or taring is output.

Response:
Number<CR><LF>

Influenced by:
ACT

Example:
CCT?6210<LF> ; query number of measurement channels
4<CR><LF> ; 4 channels are enabled
CCT?6211<LF> ; query number of taring channels
2<CR><LF> ; but only 2 can be tared

DPI

Command:
Define Parallel I/O

Syntax:
DPI<channel>,<value> <LF>

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
channel 8, 18, .. channel number-			
value	0..255	Outputs	255

Description:
Each Spider8 has as Channel 8 a 16 bit wide I/O channel, with 8 bits that can be used as outputs. During a measurement, all 16 bits are captured as Channel 8 (18, 28,...). The outputs are set with the DPI command. A zero signal enables the open collector output and is set to earth. The parameter value is entered as a decimal equivalent of the outputs to be set. If the outputs are to be used as inputs, the relevant output is to be switched to 1 (e.g. all to input with DPI255).

Response:
0<CR><LF>

Influenced by:
-

Example:
DPI8,129<LF> ; Bit 7 and Bit 0 of Channel 8 are set, the output becomes high. All other bits are reset, the output becomes low.
0<CR><LF>

DPI?

Command:

Define Parallel I/O Query

Syntax:

DPI?<channel><LF>

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
channel8, 18, ..	channel number		

Description:

Each Spider8 has a 16 bit wide I/O channel as Channel 8, which can be recorded during a measurement. The status of the inputs and outputs can be read off with the DPI? command as a decimal equivalent.

Response:

value<CR><LF>

value

Decimal equiv. of inputs/outputs 0..65535

Influenced by:

-

Example:

DPI?8<LF> ; query digital outputs

36993<CR><LF> ; = 1001 0000 1000 0001

Bit15 to Bit0

Bit15..Bit8 are inputs, 6 of which are set to LOW, 2 to High.

The 6 zero signals in Bit6 .. Bit1 are either generated with DPI129 or set to

LOW externally.

DTR

Command:
Define Trigger

Syntax:
DTR<channel>,<mode>,<level><LF>

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
channel	0..7	channel number	0
mode		Trigger mode	6000
	6000	Measured value Level	
	6001	Measured value Level	
	6002	Positive edge	
	6003	Negative edge	
level	+32767 -32768	Trigger level	0

Description:
The trigger condition is set. The channel number defines the measurement channel on which triggering is to take place; the trigger channel must be in the master unit. The trigger mode defines whether the measurement should be started if the threshold value is fallen below.
With positive edge mode, the trigger threshold must have been dropped below at least once; the next measured value, which is greater than or equal to the level, triggers the measuring process.
It should be noted that the trigger channel must be an enabled measurement channel (see also ACT). This condition is admittedly checked at the start of the measurement.

Response:
0<CR><LF>

Influenced by:
-

Example:
DTR5,6002,200<LF> ; Triggering takes place on Channel 5 if 200 (=1% of nominal value) is exceeded

DTR?

Command:
Define Trigger Query

Syntax:

DTR?<LF> 1)
DTR??<LF> 2)
DTR?<channel>,<?><LF> 3)
DTR?<channel>,<mode>,<?><LF> 4)

Parameters: -

Description:

- 1): The internal trigger condition is output. The trigger condition output contains the same parameters as the input.
- 2): Output of available channel numbers.
- 3): Output of the possible trigger types.
- 4): Output of the possible threshold values with the specified trigger type.

Response:

channel,mode,level<CR><LF> 1)
list1<CR><LF> 2)
list2<CR><LF> 3)
list3<CR><LF> 4)

channel, mode, level: see DTR command

list1: List of possible channels.

list2: List of possible trigger types

list3: List of possible threshold values

Influenced by:

-

Example:

DTR?<LF> ; Output trigger condition

5,6002,200<CR><LF>

DTR??<LF> ; Which channels are available?

0,1,2,3,4,5,6,7<CR><LF>; List of available channels

DTR?5,<?><LF>; Which trigger conditions are possible with Channel 5?

6000,6001,6002,6003<CR><LF>; List of possible values

DTR?5,6002,<?><LF>; Which threshold values are possible with a positive signal edge on Channel 5?

-32768,32767<CR><LF>; Range of possible values

EST?

Command:
Errorstate query

Syntax:
EST?<LF>

Parameters:
-

Description:

The EST? command outputs the error number last generated. As it is read off, the error number is deleted and the red error LED goes off.

Reset status:

After Reset or switching on the device, firstly the error number must be read out with EST?. All other commands are not accepted. In this case, the user must make sure that all the settings in the Spider8 are as required.

Response:

errornumber<CR><LF>

errornumber: Error number (see Appendix)

Influenced by:
-

Example:

EST?<LF> ; Output of error number

10005<CR><LF> ; incorrect parameter value

ICR

Command:

Internal Channel Recording Rate (measured value/s)

Syntax:

ICR<rate><LF>

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
rate		Sampling rate	6315
	6300	1 Hz	
	6301	2 Hz	
	6302	5 Hz	
	6303	10 Hz	
	6304	25 Hz	
	6305	50 Hz	
	6306	60 Hz	
	6307	75 Hz	
	6308	100 Hz	
	6309	150 Hz	
	6310	200 Hz	
	6311	300 Hz	
	6312	400 Hz	
	6313	600 Hz	
	6314	800 Hz	
	6315	1200 Hz	
	6316	1600 Hz	
	6317	2400 Hz	
	6318	3200 Hz	
	6319	4800 Hz	
	6320	9600 Hz	

Description:

With this command, the sampling rate of the device can be set up. It must be noted here, that the cutoff frequency of the digital filter must be matched to the new sampling rate under certain circumstances. If the previous cutoff frequency setting is outside the permitted range for the new sampling rate, then it is set to the next possible setting. The filter characteristics are not changed here. In this case, instead of 0 an error number (10025) is returned as the response.

Response:

0<CR><LF> ; ICR set up, filter unchanged

10025<CR><LF>; ICR set up, filter matched

Influenced by:

-

Example:

ICR6319<LF> ; The sampling rate is set to 4800/sec.

0<CR><LF>

ICR?

Command:

Internal Channel Recording Rate Query

Syntax:

ICR?<LF> 1)
ICR??<LF> 2)

Parameters:

-

Description:

- 1): The current sampling rate is sent as an index value.
- 2): All possible measuring rates are sent as an index sequence.

Response:

rate<CR><LF> 1)
list<CR><LF> 2)
rate: see ICR command
list: List of possible measuring rates.

Influenced by:

-

Example:

ICR?<LF> ; Output sampling rate
6319<CR><LF>; 4800 Hz
ICR??<LF> ; Which measuring rates are possible?
6300,6301,..<CR><LF>; List of possible sampling rates

IDN?

Command:
Identification query

Syntax:
IDN?<LF>

Parameters:
-

Description:
A device identification string is output. Apart from the manufacturer (HBM) and the device type (Spider8), the string contains the manufacturing number (fnr) and the firmware version (version).
Response:
"HBM,Spider8,fnr,version"<CR><LF>
fnr = manufacturing number
version = Firmware version

Influenced by:
-

Example:
IDN?<LF> ; Identification
"HBM,Spider8,174663A,P12"<CR><LF>

IDS?

Command:
Identification String query

Syntax:
IDS?<value><LF>

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
value		Identification value	-

Description:
The IDS? command outputs the meaning for an identification value (value) as text in English.

Response:
text<CR><LF>
text: Meaning text

Influenced by:
-

Example:
IDS?700<LF> ;
"3 mV/V"<CR><LF> ;

MSV

Command:
Measure Values

Syntax:
MSV<number>,<pretrig>,<mode>,<meascyc> <LF>

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
number	0..2000000000	number of measured values	
	0	continuous	
	1..2000000000	No. Meas./chan.	
pretrigger buffer	1..500	measured values before trigger	
mode		Trigger mode	
	6100	immediate	
	6101	TRG command	
	6102	External trigger	
	6103	Internal trigger	
meascyc	0..2000000000	measurement cycles	
	0	Continuous repetition	
	1..2000000000	Number of measurement cycles	

Description:

The MSV command starts measurement of the active measurement channel (see ACT) and saves the measured values to a pretrigger buffer. The switch to the follow-up memory starts with triggering, which is defined by the mode parameters. A trigger is only accepted if the pretrigger buffer is completely full.

The end of a measurement cycle is defined by the number of measured values to be recorded. A measurement cycle can then be repeated.

The measured values can be retrieved from the value memory using the OMB command.

The mode parameter defines when a measurement begins.

A measurement can be interrupted at any time by STP.

For continuous measurement (number = 0), meascyc = 1 must be set.

The number parameter must always be greater than or equal to the pretrigger buffer parameter.

The following applies to the different mode settings:

- mode=6100:
Measurement is started immediately. The start trigger is therefore the MSV command itself.
- mode=6101:
In this case the recording of measured values starts with the TRG command.
- mode=6102:
Measurement is started by an external pin, by the transition of this TTL input from high to low. Pin 14 on the digital I/O is used for this.
- mode=6103:
In this mode, data acquisition is started by the trigger condition set to DTR.

Response:

0<CR><LF>

Influenced by:

ICR, DTR

Example:

MSV3,1,6100,1<LF> ;Measure 3 values immediately
0<CR><LF>

MSV?

Command:
Measure Status Query

Syntax:
MSV?<LF>

Parameters:
-

Description:

The measurement status is output.

During the measurement run, the current measurement status can be checked. The following phases exist:

- status=0:
No valid measurement available.
- status=1:
The Spider8 is in a waiting phase, i.e. switching transients caused by switching to measurement channels have not yet decayed.
- status=2:
The pretrigger buffer is filled.
- status=3:
The pretrigger buffer is filled; the trigger event is awaited.
- status=4:
The posttrigger buffer is filled.
- status=5:
The measurement was ended with an error.
- status=6:
The measurement was ended without any errors.

Apart from the measurement status, the number of valid measured value lines is also output (mesanz), as well as the number of measured value lines (vlanz) currently in the pretrigger buffer.

Response:
status,mesanz,vlanz<CR><LF>

Influenced by:
-

Example:
MSF?<LF> ;Query measurement status
2,0,12<CR><LF> ; The pretrigger buffer is filled. At the moment 12 measured value lines are stored there.

OMB

Command:

Output Measures Values

Syntax:

OMB <offset><LF>

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
offset	±3000	Position offset	

Description:

The OMB command positions the read pointer in the measured value buffer.

The measured value buffer pointer can be reset by a maximum of as many measured value lines as were read off at the last OMB? command or were pre-set at the last OMB command. The measured value buffer pointer can be preset by a maximum of as many measured value lines as there are present in the output buffer. This can be queried with MSV?. Normally, the read pointer must not be moved, as it always points to the first measured value line that has not yet been read off. Should the same measured values be read again, e.g. due to data transfer errors, you can position the read pointer as appropriate. If you want to clear existing measured values from the output buffer, you can move the read pointer forward.

Response:

0<CR><LF>

Influenced by:

-

Example:

OMB-20<LF> ; The read pointer is set back by 20 measured value lines

0<CR><LF>

OMB?

Command:

Output Measures Values

Syntax:

OMB?<number><LF>

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
number	0..3000	measured value lines	
	0	Output a current measured value line	
	> 0	Read off measured value lines from the output buffer	

Description:

The OMB? command outputs values in the measured value memory. The measured value pointer is automatically positioned on the following measured value line. The measured values read off last are still present in the measured value buffer and are not overwritten. Therefore they can be read again using OMB. Only when the OMB command is used the next time is the data lost.

With OMB?0, a current measured value line can be output at any time, without a measurement having been started beforehand (msv) and without affecting a current measurement.

Response:

#0measured values<CR><LF> (binary measured values)

Influenced by:

-

Example:

OMB?4<LF> ; Read off 4 measured value lines

#0lh..<CR><LF>

OMB?0<LF> ; Read off a current measured value line

#0lh..<CR><LF>

PRG

***** For internal purposes only! *****

Command:
Program Device

Syntax:
PRG <mode>,<parameter list> <LF>

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
mode		target	

Description:
The Spider8 is programmed.

Response:
0<CR><LF>

Influenced by:
-

Example:
PRG 2,CHANNEL,OFFSET,"String of HEX" ; programs EEPROMS

PRG?

***** For internal purposes only! *****

Befehl:

Program Device Query

Syntax:

PRG?<mode><LF>

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
mode		target	

Description:

The programming of the Spider8 is read off.

Response:

parameterlist<CR><LF>

Influenced by:

-

Example:

PRG?1,CHANNEL,0

reads temperature 0,4,5,6,7

PRG?2,CHANNEL,OFFSET

reads EEPROMS

PRG?3,BY/WO/ARR,ADR

reads memory

PRG?4,0,DEMODO

sets Demodulator-Pos

PRG?5,x,x

reads FREQs + MAX MIN

PRG?8,x,x

Sets gain to factor 1 (signal passes through unchanged)

PRG?9,01

Sets/clears ASCII out

STP

Command:

Stop

Syntax:

STP<LF>

Parameters:

-

Description:

The STP command is used for interrupting the recording of measured values that is running currently. If no measurement has been started or if the measurement is already finished, there will be no error message.

If the recording of values is waiting for the trigger, STP has the same effect as a trigger for interrupting immediately after.

The cancellation of a measurement takes place at the latest in the second measurement cycle after STP, with a sampling rate of 1/sec, in other words within 2 seconds.

The status readable with MSV? is after a successful STP 5.

Response:

0<CR><LF>

Influenced by:

-

Example:

STP<LF> ;

0<CR><LF>

TAR

Command:

Tare

Syntax:

TAR<LF>

Parameters:

-

Description:

This command carries out a measurement with the current sampling rate and the current filter setting and receives the measured values determined for the channels enabled for taring (see ACT) into the tare store. If one of the measured values is invalid (outside the taring range of ± 21000) it is not saved to the tare store and the response of the TAR command is 10022, otherwise 0.

Tare values can also be read off at any time, channel by channel, with TAV? (see also TAV).

This data is lost, as any measurement data not yet read off will not match the new tare values. The measured value buffer is cleared.

Response:

0<CR><LF>

taring successful

10022<CR><LF>

taring not successful on at least one channel

Influenced by:

ICR

Example:

TAR<LF> ; determine tare value

0<CR><LF>

TAR?

Command:
Tare

Syntax:
TAR?<LF>

Parameters:
-

Description:

This command carries out a measurement with the current sampling rate and the current filter setting and receives the measured values determined for the channels enabled for taring (see ACT) into the tare store and outputs them as a response. If one of the measured values is invalid (outside the taring range of ± 21000) it is still output (as -32768), but not saved to the tare store.

Tare values can also be read off at any time, channel by channel, with TAV? (see also TAV).

This data is lost, as any measurement data not yet read off will not match the new tare values. The measured value buffer is cleared.

Response:

#0measured values<CR><LF> (binary measured values)

Influenced by:
ICR

Example:

TAR?<LF> ; determine tare value
#0lh1h..<CR><LF>

TAV

Command:
Tare Value

Syntax:
TAV<channel>,<value><LF>

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
channel0..97		channel number-	
value	±21000	Tare value	0

Description:

With this command, the tare store of the Spider8 channel can be set to a value that is to be given in advance. The specified value is deducted from the measured value during a measurement. Channels 8,18.. (Digital I/O) and 9,19.. (Auxiliary channel) cannot be tared.

If channels 0 or 1 are switched to frequency or time measurement / counting, tare values can be read and written but are not effective.

If the input sensitivity of an amplifier is changed, e.g. from 3 mV/V to 12 mV/V, the tare value loses its connection and must either be converted on the PC or re-determined. This data is lost, as any measurement data not yet read does not match the new tare value. The measured value buffer is cleared.

Response:
0<CR><LF>

Influenced by:
-

Example:
TAV1,200<LF> ; Tare value of Channel 1 = 200 = 1%
0<CR><LF>

TAV?

Command:
Tare Value Query

Syntax:
TAV?<channel><LF>

Parameters:

Name	Value range	Meaning	Init
channel	0..99	channel number	

Description:
Output of tare value

Response:
Tare value<CR><LF>

Influenced by:
-

Example:
TAV1?<LF> ; Output tare value of Channel 1
200<CR><LF>

TRG

Command:
Trigger Command

Syntax:
TRG<LF>

Parameters:
-

Description:
You can use this trigger command to start a measurement previously called up with the MSV command, Mode 6101. If no measurement was activated or measurement is not awaiting the trigger command, an error message is generated.

Response:
-

Influenced by:
-

Example:
TRG<LF> ; Switch to measurement in the posttrigger buffer.
0<CR><LF>

TST?

***** Not yet implemented! *****

Command:
Self-Test

Syntax:
TST? <LF>

Parameters:
-

Description:

The device carries out a self-test and supplies the result of this test in the form of a status word and an error number. Each value of this status is allocated to a specific test result.

If, during the test, no errors are recognized, there is no interruption and it carries on to the end.

Several errors can be displayed simultaneously.

The error number relates to the first error bit set in the status word.

Response:

status,errorcode<CR><LF>

status: Device status

= 0 no errors

= 1 Error

Bit 1 power supply

Bit 2 ROM area

Bit 3 RAM area

Bit 4 interface

Bit 5 EEPROM

Bit 6

Bit 7

Bit 8

Bit 9

Bit 10

Bit 11

Bit 12

Bit 13

Bit 14

Bit 15

Bit 16

The list is still being added to at the moment.

errorcode: Error number for first errored status bit.

The error list is currently being compiled.

Influenced by:
-

Example:

TST?<LF> ;Carry out self-test

0,0<CR><LF> ; device is OK.