

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2006

David Honzík

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Bakalářský studijní program: 2341 B strojírenství

Zaměření: Výrobní systémy – řízení výroby

NÁVRH A OVĚŘENÍ EXPERIMENTÁLNÍ SESTAVY NA MĚŘENÍ TEPLOT

DESIGN AND TESTING OF THE EXPERIMENTAL SET FOR TEMPERATURE MEASUREMENT

KOM - 1014

David Honzík

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

Konzultant: Doc. Ing. Miroslav Svoboda, Csc.
Zdeněk Motyčka

Počet stran: 82

Počet příloh: 2

Počet tabulek: 18

Počet obrázků: 40

Datum: 5. 1. 2006

NÁVRH A OVĚŘENÍ EXPERIMENTÁLNÍ SESTAVY NA MĚŘENÍ TEPLOT

ANOTACE:

Tato bakalářská práce shrnuje informace o měření teplot při obrábění. Zabývá se rozbořem snímáče teploty a jeho aplikací do soustružnického nože. Obsahuje konstrukční návrh upravené špičky nože. Popisuje výrobu nože, montáž snímáče a jeho zapojení.

Prototyp nože je použit pro ověřovací testy funkčnosti celého systému nástroje vybaveného snímáčem teploty.

DESIGN AND TESTING OF THE EXPERIMENTAL SET FOR TEMPERATURE MEASUREMENT

ANNOTATION:

This bachelors thesis gives information about the temperature measurement during cutting process. The work is gained on analysis of the temperature sensor and it's integration into a turning tool. The design of new conception of thermocouple localization into the holder nose is given. The technology of tool processing and sensor assembling is shown. The tool new prototype were used for verification tests and all system function.

Klíčová slova: termočlánek, opotřebení řezného nástroje, monitorizace

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 2006

Archivní označ. zprávy:

Počet stran:	82
Počet příloh:	2
Počet tabulek:	18
Počet obrázků:	40

Místopřísežné prohlášení

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

V Liberci 5.1.2006

.....

Poděkování

Úvodem bakalářské práce bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Prof. Ing. Janu Žižkovi, Csc. za odborné vedení a poskytnuté rady při realizaci této bakalářské práce, Doc. Ing. Miroslavu Svobodovi, Csc. za pomoc s vytvořením programu v LabView a panu Zdeňku Motyčkovi za pomoc při přípravě experimentů v laboratoři KOM.

Také bych rád poděkoval svým rodičům za projevenou trpělivost a podporu během celého studia.

v Liberci 5.1.2006

.....

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a_p	hloubka záběru	[mm]
D	průměr obrobku	[mm]
f	posuv	[mm/ot]
F_z	tangenciální složka řezné síly	[N]
Q_c	celkové množství tepla	[J]
$Q_{tř}$	teplo v tříse	[%]
Q_o	teplo v obrobku	[%]
Q_n	teplo v nástroji	[%]
Q_{pr}	teplo v prostředí	[%]
$\Delta\theta$	teplotní rozdíl	[°C]
I/O	vstupní/výstupní	
IŘN	inteligentní řezný nástroj	
n	otáčky stroje	[ot/min]
R_a	střední aritmetická úchylka	[μm]
t	čas	[s]
t_M	čas měření	[s]
t_o	doba řezání	[s]
U	termoelektrické napětí	[mV]
v_c	řezná rychlost	[$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
VB	opotřebení na hřbetu	[mm]
VBD	vyměnitelná břitová destička	
α	úhel hřbetu	[°]
α_0	termoelektrický koeficient	[$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$]
r_ϵ	rádius špičky	[mm]

1. ÚVOD

Moderní strojírenská výroba jednadvacátého století je provázena stále se rozvíjející technikou. Mnoho let používané výrobní technologie jsou nahrazovány technologiemi novými a modernějšími. Zvyšují se požadavky na konstrukci i technologii výroby strojů, kvalitu výrobků, co nejlepší využití materiálů, produktivitu práce, vše s dosažením co nejnižších výrobních nákladů, které jsou nejvíce ovlivněny trvanlivostí nástrojů. Náklady rostou nejen s jejich malou trvanlivostí, ale zároveň se zvyšují časy nutné k výměně nástroje, popřípadě k jeho přestřžení. Snahou je technologický postup výroby optimalizovat (minimalizovat). Současný trend výroby spěje k co možná nejmenšímu vlivu člověka na proces výroby. Dochází k zavádění monitorizace dějů doprovázejících proces výroby. V praxi monitorizace napomáhá např. k odvrácení případné kolize řezného nástroje s obrobkem, či včasnému odhalení snížené řezivosti nástroje, která má za následek zhoršenou kvalitu obrobeného povrchu.

Dlouhodobý vývoj optimalizace obráběcích procesů vedl k vytváření různých systémů řízení uplatňujících především tzv. adaptivní řízení technologických procesů. Toto řízení je nejčastěji definováno následovně: „Adaptivní řízení procesu obrábění na obráběcích strojích je založeno na soustavném měření vzájemných poloh technologických základů obrobku a poloh řezných hran řezných nástrojů a v regulaci hodnot jiných ukazatelů, které charakterizují technologický proces jako silové zatížení, teploty, výkon, kmitání, atd. s pomocí rozmanitých snímačů a následném korigování parametrů technologického procesu, například změnou řezných podmínek, tuhosti soustavy „stroj-nástroj-obrobek-přípravek“, vzájemných poloh jednotlivých prvků obráběcího stroje“ [16]. Adaptivní řízení má hlavní uplatnění nejen u NC strojů, ale i u strojů bez numerického řízení. Jedná se o okamžité stanovení optimálních podmínek obrábění vycházejících z informací o právě probíhajícím stavu obráběcího procesu.[8]

Cílem této bakalářské práce je návrh a ověření funkčnosti řezného nástroje vybaveného vestavěným snímačem teploty. Dále pomocí navrženého uspořádání sledovat vliv řezných podmínek (zejména opotřebení) na teplotu břitové destičky. Konstrukční uspořádání a umístění snímače teploty pod břitovou destičkou by mělo být dílčím příspěvkem ke koncepčnímu pojetí tzv. inteligentního řezného nástroje. Vlastní měření bude realizováno v laboratoři KOM za pomoci jednotek ADAM.

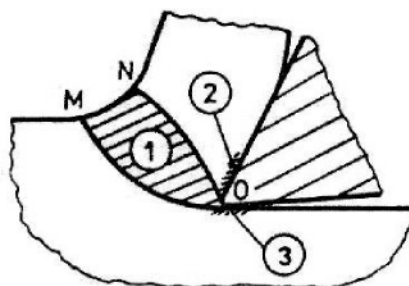
2. TEPELNÉ JEVY PŘI OBRÁBĚNÍ

2.1. Teplo vznikající při třískovém obrábění [1] [2] [3] [4]

Mechanická energie řezných sil spotřebovaná v procesu obrábění na odebrání třísky a její odvedení z místa řezu se mění převážně v teplo. Teplo se v zóně řezání vyvíjí a je provázeno vznikem vysoké teploty, která na kontaktních plochách mezi nástrojem, třískou a plochou řezu dosahuje hodnot nad 1000 °C.

Hlavními zdroji tepla jsou oblasti plastické deformace při tvoření třísky:

- Oblast primární plastické deformace – oblast 1, obr.1
- Oblast sekundární plastické deformace (tření mezi čelem a třískou) – oblast 2, obr.1
- Oblast terciální plastické deformace (tření mezi hřbetem a obrobenou plochou) – oblast 3, obr.1



Obr.1 Oblasti plastických deformací [4]

Značná část tepla tedy vzniká v rovině stříhu, na čelní ploše a na ploše hřbetu. [1] Extrémně vysoké teploty funkčních ploch nástroje mají nepříznivý vliv na trvanlivost břitu, přesnost obrábění, jakost obrobené plochy. Vysoké teploty dále omezují používání vyšších řezných rychlostí. Tepelné namáhání břitu nástroje rozhodujícím způsobem ovlivňuje opotřebení funkčních ploch proto je důležité znát jak celkové množství tepla vzniklého při obrábění tak i jeho rozdělení, dále i výši a rozdělení teplot na čele a hřbetě nástroje. Celkové množství tepla Q_c vznikající při obrábění lze stanovit ze vztahu:

$$Q_c = F_z \cdot v \cdot t_o \text{ [J]} \quad (1.2)$$

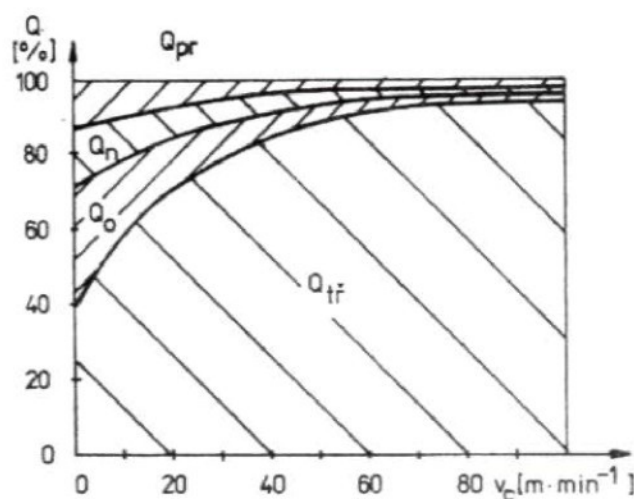
Legenda: F_z – tangenciální složka řezné síly [N]

v – řezná síla

t_o – doba obrábění

Celkové vzniklé teplo se šíří vedením a prouděním z míst zdrojů do nástroje, obrobku, prostředí a především do třísky (obr.2). Na obr.2 je též zřejmé, že se zvyšující se řeznou rychlostí podíl tepla odváděného do třísky významně převažuje nad ostatními odváděnými podíly tepla. Uvnitř soustavy se pak vytváří teplotní pole, které se ustálí až po určité době obrábění. Teplota určitého bodu v tomto teplotním poli závisí na:

- fyzikálních vlastnostech materiálu obrobku a nástroje
- řezných podmínkách
- řezném prostředí
- způsobu obrábění (soustružení, vrtání, frézování atd.)



Obr.2 Rozložení odvodu tepla v závislosti na řezné rychlosti [4]

Legenda: Q_{tr} - teplo odcházející do třísky

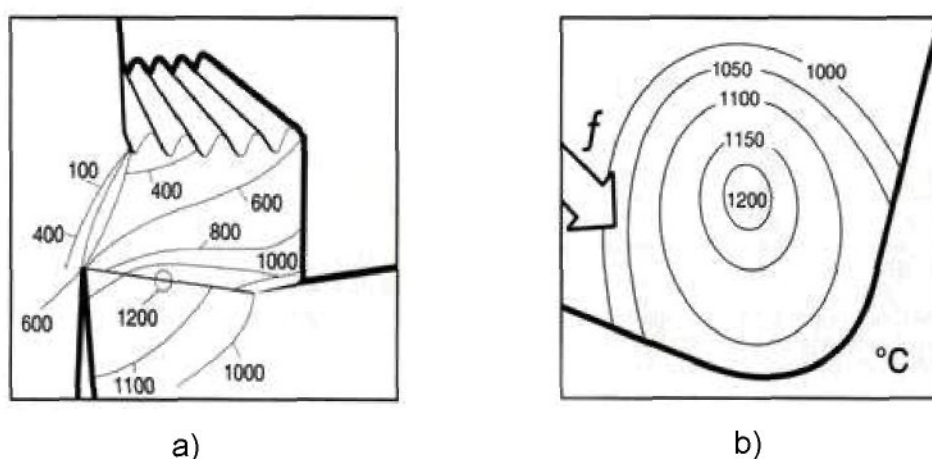
Q_o - teplo odcházející do obrobku

Q_n - teplo odcházející do nástroje

Q_{pr} - teplo odcházející do prostředí

Přiložená tangenciální složka řezné síly při určité řezné rychlosti představuje určité množství energie, která se z velké části spotřebuje na pružné a plastické deformace při vzniku třísky. Při vyšších řezných rychlostech jsou to třísky, které pohlcují nejvíce tepla a „chrání“ tak nástroj a obrobek před příliš vysokými teplotami. Největší množství tepla vzniká v rovině stříhu.

Na obr.3 je znázorněno typické teplotní pole. Jednotlivé teplotní oblasti konstantních teplot jsou ohraničeny tzv. izotermami. Uvedený obr.3 zachycuje izotermie při obrábění legované oceli s vyměnitelnou břitovou destičkou ze slinutého karbidu při použití vysoké řezné rychlosti [1].



Obr.3 Teplotní pole a) obrobku a třísky [1]
b) nástroje [1]

Pomocí moderních vyměnitelných břitových destiček (VBD) je možné proces obrábění optimalizovat tak, aby byl přechod tepla do břitu minimalizován. Současné slinuté karbidy, jak běžné, tak zejména povlakované, patří z hlediska řezivosti mezi velmi kvalitní nástrojové materiály. Umožňují obrábění při vysokých řezných rychlostech, které následně umožňují velký úběr materiálu. [6]

V ideálním případě je největší část tepla vzniklého při obrábění odváděna ze zóny řezání právě třískou. Teplota třísky zatěžuje řezný nástroj jen tak dlouho, pokud je s ním v kontaktu. Znalosti v oblasti obvodu tepla a kontrola teploty speciálně na čele, se staly rozhodujícím faktorem ve vývoji geometrie břitu [2].

2.2. Druhy měření teploty [5]

Měření teploty rozlišujeme podle způsobu použití přístroje a zařízení k měření tepla neboli principu, podle druhu měřeného prostředí, podle účelu měření apod. Rozeznáváme dotykové a bezdotykové měření teploty.

Dotykové měření teplot se používá tam, kde může být měřicí část snímače teploty v přímém styku s měřeným prostředím. Dotykové měření teploty je obvykle přesnější a méně nákladné než bezdotykové. Dotykové teploměry a snímače teploty (termočlánky) jsou svým provedením i zabudováním uzpůsobeny tak, aby vyhovovaly okamžitým požadavkům měřeného prostředí.

Bezdotykové měření teplot se používá zejména tam, kde nelze do měřeného prostředí zabudovat dotykový snímač teploty. Bezdotykové snímače teploty obvykle odvozují teplotu z jeho tepelného vyzařování. Podle způsobu zpracování dopadajícího záření se rozdělují na pyrometry a zobrazovací systémy.

Volba vhodného způsobu měření teploty, vhodného snímače teploty nebo teploměru závisí nejen na měřeném prostředí, ale také na účelu měření. Účel měření a zejména požadovaná výsledná přesnost měření má vliv na volbu měřicí metody a snímačů teploty nebo teploměrů.

Dotykové teploměry

1. *Dilatační teploměry:*

- a) využívají teplotní délkové roztažnosti pevných těles (bimetalické a tyčové teploměry)
- b) objemové roztažnosti kapalin (skleněné a tlakové teploměry)
- c) objemové roztažnosti a rozpínavosti plynů (tlakové plynové teploměry)

2. *Tlakové parní teploměry* – využívají teplotní závislosti tlaku syté páry teploměrové kapaliny.

3. *Elektrické teploměry:*

- a) využívají teplotní závislosti odporu vodičů (odporové snímače teploty)
- b) odporu polovodičů (termistorové a diodové snímače teploty)
- c) rezonančního kmitočtu krystalů (krystalové snímače teploty)
- d) závěrného napětí Zenerovy diody (diodové snímače teploty)
- e) termoelektrického jevu (termoelektrické snímače teploty).

4. *Speciální teploměry:*

- a) lze zahrnout teplotní indikátory založené na teplotní závislosti indexu lomu kapalných krystalů a optických vláken
- b) bodu měknutí keramických materiálů (keramické žároměrky)
- c) bodu tání lehce tavitelných slitin kovů
- d) změny barvy a luminiscence teplotních indikátorů, buzeného vyzařování vzácných zemin.

Bezdotykové teploměry

1. *Pyrometry:*

- a) pracují s tepelným zářením v celém rozsahu vlnových délek (pyrometry celkového záření)
- b) v úzkém spektrálním pásmu (pyrometry pásmové)
- c) při jedné vlnové délce (pyrometry monochromatické nebo jasové)
- d) ve dvou nebo více spektrálních pásmech (poměrové pyrometry)

2. *Zobrazovací systémy:*

- a) termovizní záření – pracují v infračervené oblasti elektromagnetického záření
- b) fotografické systémy – zobrazují teplotní pole měřeného povrchu pomocí fotografického materiálu

2.3. Stávající stav měření teploty při obrábění [2] [3]

Tepelné jevy jsou důležitým kritériem pro celkové posouzení obráběcího procesu. Současné metody měření tepelných jevů při obrábění umožňují přímé a nepřímé měření:

1. celkového množství tepla vznikajícího při obrábění
2. množství tepla odvedeného třískou
3. střední teploty třísky
4. teploty řezání
5. teplotního pole nástroje

K měření celkového množství tepla vzniklého při obrábění a k měření množství tepla odvedeného třískou, obrobkem a nástrojem, se používá kalorimetrů.

Teploty v jednotlivých bodech řezného, obráběného materiálu a teplotního pole se měří pomocí termočlánků, termistorů, opticky nebo fotograficky.

Pro přibližné určení teplotních polí částí nástroje, které nepřicházejí do přímého kontaktu s obrobkem, třískou, se používají speciální termofilní barvy. Teplota se pak odhaduje změnou barvy nanesenou na sledovaný povrch. Obdobou je použití speciálních barevných vosků a určitou teplotou tání.

Znalost teplotního pole a teploty obrobku je důležitá vzhledem k rozměrové a tvarové přesnosti obrobku a má význam při obrábění na čisto, zejména při broušení. [7]

2.4. Měření teploty [5] [8]

Snímače teploty využívají ke své funkci různé fyzikální principy. Řada fyzikálních principů je běžně využívána, některé principy na využití ještě čekají. Mezi fyzikální principy obvykle využívané k měření teploty, tedy principy založené na jednoznačné teplotní závislosti vlastností látek patří:

- objemová roztažnost kapalin a plynů
- délková roztažnost pevných těles
- změna tlaku syté páry
- termoelektrický jev
- změna elektrického odporu vodičů a polovodičů
- změna rezonančního kmitočtu krystalů
- selektivní rozptyl světla a index lomu v kapalných krystalech
- tepelné záření - radiace
- termochemická reakce

Vzhledem ke specifickým podmínkám a složitosti procesu obrábění lze však pro experimentální studium používat jen některé fyzikální děje:

- a) termoelektrický jev (použití termočlánků)
- b) změna elektrického odporu (použití termistorů)
- c) tepelné záření (použití pyrometrů) – omezeně
- d) termochemické reakce (použití barev a vosků)

Pro potřeby moderních (inteligentních) řezných nástrojů jsou vhodné pouze metody elektrické, u kterých je možné signál dále vyhodnocovat pomocí PC. Vhodné fyzikální principy jsou tedy termoelektrický jev a změna elektrického odporu.

2.5. Termoelektrický článek [5] [8]

Termoelektrický článek tvoří dva vodiče ve formě drátu z různých materiálů, které jsou na koncích spojeny svařením nebo spájením.

Jsou-li oba spoje udržovány vzájemně na rozdílných teplotách vznikne v obvodu termoelektrické napětí (termonapětí), které lze pro malé teplotní rozdíly vyjádřit vztahem:

$$U = \alpha_0 \cdot \Delta\theta \quad (2.2)$$

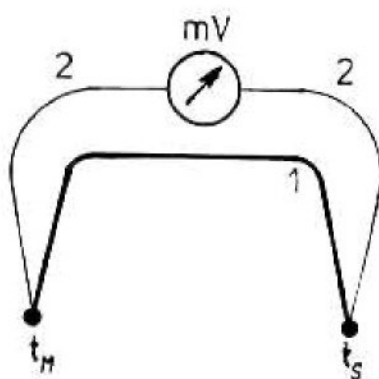
Legenda: U - termoelektrické napětí

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, charakterizovaných termoelektrickým koeficientem vodiče. Termoelektrický koeficient termočlánku 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 termočlánků požaduje pokud možno lineární charakteristika v daném měřicím rozsahu.

Při vlastním měření se jeden spoj termočlánku udržuje na známé teplotě a druhý konec je vystaven účinku měřené teploty. Termonapětí se měří milivoltmetrem nebo jiným vhodným přístrojem (obr.4). Jednotlivé vodiče termočlánku musí být elektricky dobře izolované a chráněny proti mechanickému poškození.



Obr.4 Termoelektrický článek obecně zapojený k měření teploty [5]

Podle materiálu větví rozdělujeme termoelektrické články z drahých kovů (platinu, rhodium, zlato, stříbro, iridium, rhenium a palladium), popřípadě ještě

ze zvláštních materiálů jako je uhlík a karbid křemíku. Ve skupině obecných kovů jsou nejužívanějšími materiály měď, nikl, hliník, železo, chrom, wolfram a jejich slitiny.

Podle teplotního intervalu použití rozdělujeme termoelektrické články na následující oblasti:

- Nízkých teplot (do 300 K)
- Středních teplot (-50 až 1300) °C
- Vysokých teplot (nad 1000) °C

Jednotlivé oblasti teplot se překrývají a i tak pouze výjimečně pokrývá jeden druh termoelektrického článku celou oblast teplot. Při označování polaritě větví se u termoelektrických dvojic jako první udává pozitivní větev.

Pro měření teplot při obrábění se termočlánků používá nejen v klasickém provedení, ale využívá se také materiálu obrobku a nástroje jako vodiče v různých kombinacích kde zastupují jeden ze dvou kovů termočlánku. Existují tři základní provedení termočlánků:

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

2.5.1. Termočlánky umělé

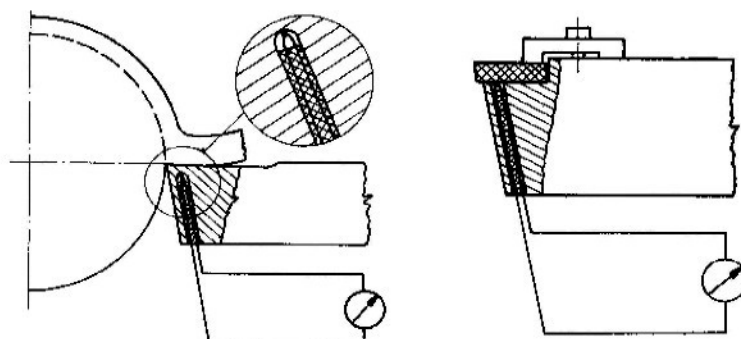
Při tomto provedení používáme některého typu normalizovaného termočlánku, jehož měřicí konec je vhodně zabudován do místa měření teploty (obr.5). Srovnávací konec termoelektrického obvodu je obvykle přímo na svorkách indikačního přístroje. Pomocí umělých termočlánků můžeme stanovit teplotu v různých místech nástroje, s výjimkou stykových ploch břitů s třískou. Zabudování termočlánku do nástroje je však dosti pracné a jeho přítomnost mění do určité míry podmínky vedení tepla. Výhodou umělých termočlánků je především známá charakteristika závislosti termonapětí na teplotě. Odpadá tak pracná kalibrace.

2.5.2. Termočlánky poloumělé

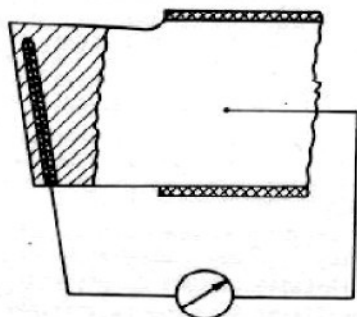
Termočlánek tvoří při tomto provedení materiál nástroje a jeden cizí vodič, vodivě spojený s nástrojem v místě měření teploty (obr.6). Vzhledem k malým rozměrům cizího vodiče (průměr 10^{-1} až 10^{-2} mm) se na rozdíl od umělých termočlánků používají ve speciálních případech. Nevýhodou poloumělých termočlánků je, že pro každý materiál nástroje je nutno experimentálně stanovit kalibrační křivku.

2.5.3. Termočlánky přirozené

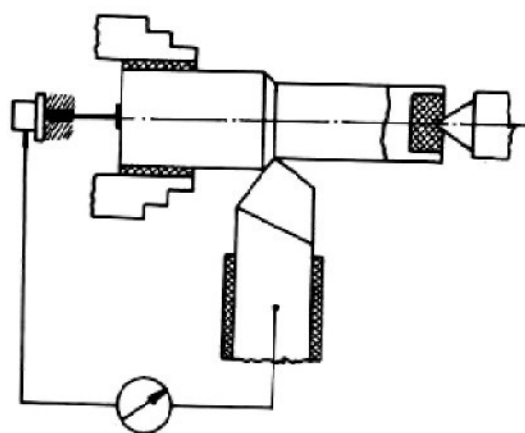
Termoelektrický obvod přirozeného termočlánku tvoří nejčastěji materiál nástroje a obrobku (obr.7). Měřicí konec tvoří přímo místo styku nástroje s obrobkem. Vznikající termonapětí je úměrné teplotě spoje, která je nazývána teplotou řezání. Nutnou podmínkou pro funkci přirozeného termočlánku je vzájemné odizolování nástroje a obrobku od stroje.



Obr.5 Způsob zabudování umělého termočlánku [8]



Obr.6 Zapojení termočlánku poloumělého [8]



Obr.7 Zapojení termočláňku přirozeného [8]

3. KONCEPCE INTELIGENTNÍHO ŘEZNÉHO NÁSTROJE

[9] [10]

Obrábění se v současné době velmi rychle rozvíjí jak po stránce obráběcích strojů, tak i po stránce řezných nástrojů. Pro obrábění součástí vyrobených z nových konstrukčních materiálů jsou zapotřebí nové nástrojové materiály s vyšší trvanlivostí. Nové konstrukce nástrojů a správná volba řezných podmínek mohou podstatně zvýšit produkci a zlepšit ekonomiku výroby. Řada firem vyvíjí nové rychlovýměnné modulární nástrojové systémy, které umožňují výrazně snížit časy nutné na seřizování a výměnu nástrojů. Tyto systémy se vyznačují vysokou tuhostí při namáhání ohybem, velmi jednoduchou a rychlou výměnou nástroje v univerzálních držácích břitových destiček, do kterých lze upnout několik různých tvarů destiček.

Plné využití výkonu moderních řezných nástrojů, které jsou osazené moderními výkonnými, většinou povlakovanými řeznými vyměnitelnými břitovými destičkami, je možné pouze při celkovém sledování a hlídání procesu obrábění.

Při obrábění na řezný nástroj působí mnoho faktorů, které ovlivňují obrábění. Jejich působením se nástroje zahřívá, mění svou geometrii, chvěje se, působí na něj složky sil vznikající při řezání. Všechny tyto vlivy působí na nástroj negativně, a proto se snažíme, s pomocí sledování obráběcího procesu, o jejich minimalizaci.

Sledování procesu obrábění můžeme provádět pomocí různých snímačů umístěných na těle nástroje. Snímače mohou snímat měnící se stav nástroje – opotřebení břitu nástroje, jeho teplotu, chvění nástroje a další – a informovat nás o průběhu obrábění. Signál ze snímačů se přes měřicí přístroje, software a počítač vyhodnotí. Snímače nás informují o stavu řezného nástroje. Dojde-li k chybě při obrábění, software se snaží chybu sám odstranit podle naprogramování a také podle svých poznatků („zkušeností“) z předcházejících měření. Vzhledem k tomuto přístupu můžeme nazvat nástroj jako *inteligentní řezný nástroj (IŘN)*.

Na řadě výzkumných pracovišť probíhá vývoj systémů pro kontinuální sledování procesu obrábění. Některé z těchto systémů umožňují i adaptivní řízení obráběcího stroje. Snahou je integrovat senzory měřených veličin (většinou složky celkové síly vyvolané nástrojem, opotřebení břitu nástroje, vibrace a deformace některé části nástroje) přímo do tělesa nástroje, tak aby tvořily jeden homogenní celek.

Předpokládá se, že nasazením IŘN do výroby bude možné zvýšit efektivní čas využívaný pro výrobu součástí. To je umožněno kontinuálním sledováním mnohostranných souvislostí mezi jednotlivými složkami výrobního systému a následnou korekcí výrobních parametrů. Nejdůležitější vlastností těchto systémů je kvalita signálu získaného ze senzorů a jeho dokonalé zpracování. Kvalita signálu je závislá hlavně na citlivosti a umístění čidla a je tím vyšší, čím je čidlo umístěno blíže k místu sledovaného děje. Oblasti předpokládaného využití jsou následující:

- a) výroba drahých a složitých součástí v kusové nebo malosériové výrobě, kde je nutné zajistit kvalitu vyráběných součástí z hlediska integrity povrchu, přesnosti rozměrů a tvaru
- b) zkoušení nových druhů povlaků a metod obrábění; IŘN umožňují získat komplexní přehled o dějích probíhajících na nástroji během obrábění
- c) automatizovaná velkosériová výroba, u které je nutné zabezpečit stálou, rovnoměrnou kvalitu výrobků a zamezit výrobě zmetků

Výrobci se snaží o miniaturizaci snímačů, aby bylo možné na nástroj umístit co nejvíce snímačů, které nám budou podávat maximální množství informací o probíhajícím procesu obrábění.

3.1. Problematika elektronických snímacích systémů

Vývoj elektroniky probíhá velmi rychlým tempem pod tlakem požadavků na vlastnosti a spolehlivost elektronických obvodů včetně jednotlivých elektronických součástek. Trendem v oblasti elektroniky je jednoznačně integrace jednotlivých součástek do větších celků a jejich miniaturizace. Tento

vývoj se týká samozřejmě i snímačů neelektrických veličin používaných ke sledování procesu obrábění. Na kvalitě a spolehlivosti těchto snímačů je závislá úspěšnost nasazení tzv. inteligentních řezných nástrojů na adaptivní řízení obráběcích strojů. I přes velký rozvoj elektroniky existují určité problémy spojené s jejím použitím.

Prvním problémem je velikost jednotlivých snímačů. Vzhledem k tomu, že je nutné nástroj vybavit několika různými senzory, je velikost snímače ovlivněna velikostí nástroje. 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. Proto je potřeba zesílit snímáný signál co nejbližší u převodníku. Aby nedošlo k ovlivnění signálu, je potřeba ho digitalizovat. 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 elektronického signálu. 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. Profil nože s různými konstrukčními úpravami způsobuje nestejně rozložení teplotního pole. Vliv teplotního pole na snímače a celý elektronický obvod je poměrně značný. 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. Tím, jak se nestejně šíří teplotní pole, dochází i k nestejně změně teploty jednotlivých tenzometrů a jejich odporu, což negativně ovlivňuje velmi malé změny odporu u tenzometrů. Velikost vlivu teplotního pole na převodník je možné zjistit až při zkouškách

prototypu inteligentního řezného nástroje nebo pomocí modelování metodou konečných prvků.

3.2. Požadavky na vlastnosti snímačů

Požadavky kladené na snímače mohou být různé, ale existují určité základní vlastnosti, které by měl splňovat každý snímač. Tyto vlastnosti jsou následující [17]:

1. *jednoznačnost* – každé hodnotě měřené veličiny má odpovídat jen jedna hodnota výstupní veličiny. Ve skutečnosti se často vyskytuje hystereze, tj. rozdíl mezi hodnotami výstupního signálu odpovídajícími jedné hodnotě vstupního signálu, přiblížíme-li se k ní z „jedné“ nebo z „druhé strany“,
2. *lineární závislost výstupní veličiny na vstupní (měřené) veličině*,
3. *malá necitlivost* – malá hodnota změny měřené veličiny, při které ještě nevzniká zaznamenanatelná změna výstupního signálu. Někdy se uvádí parametr „citlivost“ a to jako nejmenší hodnota vstupní veličiny, od které se výstupní signál začíná měnit,
4. *malá setrvačnost* – zanedbatelné časové zpoždění výstupního signálu snímače po změně vstupní veličiny,
5. *stálost údaje* – údaj snímače se nemění, nemění-li se vstupní veličina. S tím úzce souvisí „reprodukovatelnost“ jako rozptyl hodnot výstupního signálu zjištěný při opakovaném měření,
6. *minimální zatěžování měřeného objektu (odběr proudu)*,
7. *minimální šum* – výstupní signál nemá být zatížen parazitní deformací,
8. *provozní spolehlivost, přesnost a jednoduchá údržba*.

Specifické nasazení snímačů pro „inteligentní řezné nástroje“ ještě vyžaduje odolnost snímačů vůči tepelnému zatížení, mechanickému namáhání a další.

4. PRŮMYSLOVÉ ŘÍDICÍ SYSTÉMY

4.1. Průmyslová automatizace [11]

Průmyslová automatizace je nejrozsáhlejším programem zdokonalování strojírenských výrobků a výrobních technologií. Motivem šíření automatizace je výroba velkého množství produktů prováděná v požadované a setrvalé kvalitě, rychle a flexibilně, a tedy i vysoce produktivně. Tzv. pružné výrobní systémy, což jsou počítačem řízené integrované systémy strojů a automatických zařízení, mají modulární charakter, umožňují snížit počet strojů a obslužného personálu, zvýšit stupeň využití techniky a zkrátit výrobní čas o desítky procent. Následně roste i produktivita práce. Pružné systémy se dnes uplatňují především v obrábění, svařování, slévárenství, při povrchové úpravě, při měření, testování atd. Výraznějšímu rozšíření velkých pružných systémů prozatím i v nejvyspělejších zemích brání vysoké náklady. Nicméně automatizace zůstává rozhodujícím faktorem zvýšení konkurenceschopnosti výrobků a na úspěšnosti jejího rozvoje závisí budoucnost každé ekonomiky.

4.2. Správa zařízení na dálku [12]

S Internetem se dnes lze setkat všude. Je to fenomén, který zasahuje do všech oblastí života a někdy ovlivňuje jejich vývoj. Stejně je to také v průmyslové automatizaci, kde díky Internetu mohou uživatelé nebo dodavatelé sledovat či ovládat technologické procesy kdekoli ve světě. Tato možnost – dálková správa prostřednictvím sítě Internet – zvyšuje operativnost a snižuje do jisté míry náklady na servis, diagnostiku, realizaci softwarové změny v aplikačním programu apod.

Mnoho výrobců přichází na trh se zařízeními, která jako přenosové médium využívají internetovou síť. Internetové technologie jsou ověřeným standardem s širokým rozšířením a s velkou budoucností. V podstatě veškeré informace, které jsou k dispozici na Internetu, jsou přístupné z libovolného místa na světě. Toto médium lze využít např. pro řízení technologického

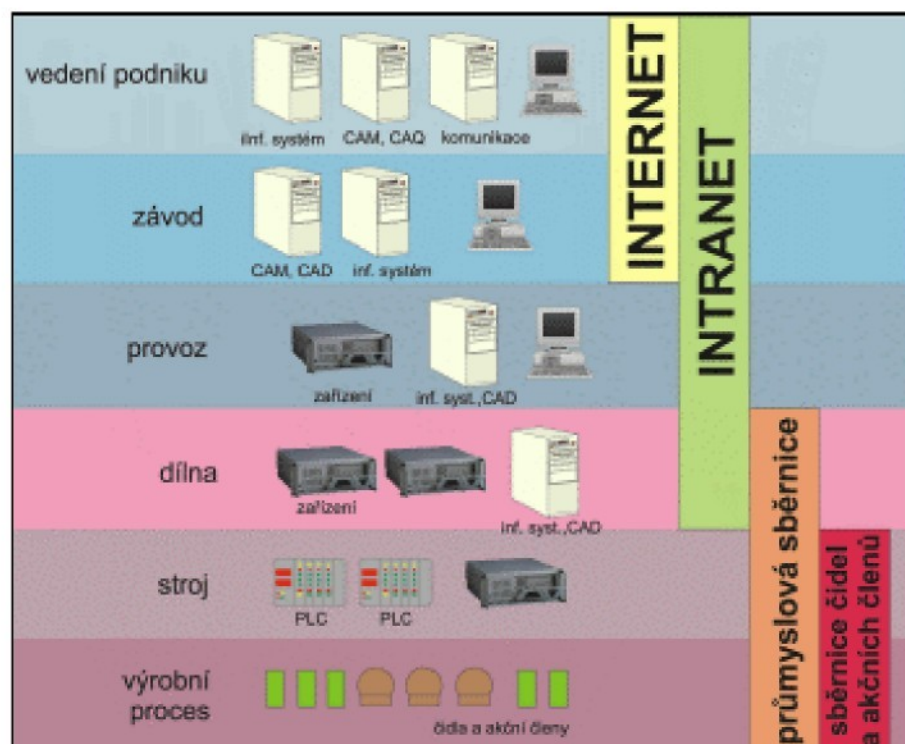
procesu. Představíme-li si technologické zařízení, které je třeba řídit ze dvou míst, může to být např. zařízení, pro něž jsou vstupní data zadávána ze vzdáleného pracoviště a výstupní data, jež mají být k dispozici na jiném pracovišti.

V současné době již většina velkých výrobců řídicích systémů nabízí technické prostředky, jako jsou programovatelné automaty nebo jednotky vzdálených vstupů a výstupů, které je možné přímo zapojovat do intranetových sítí. Taková síť se většinou nazývá průmyslový Ethernet (*industrial Ethernet*) a zpravidla využívá protokol TCP/IP a jeho nadstavby.

Sítě se na základě standardu průmyslového Ethernetu v průmyslových řídicích systémech uplatňují stále častěji. V některých případech již nahrazují i klasické průmyslové sběrnice. Důvodem je především cena. Hromadně vyráběné prostředky pro realizaci ethernetových sítí jsou levné. Síť Ethernet instalovaná v prostředí průmyslové výroby je pokračováním dané sítě z úrovně managementu do úrovně výroby.

Aplikace internetových sítí v průmyslu [14]

Role, kterou Internet a Intranet hrají v komunikačním systému podniku, závisí na orientaci podniku (výrobní podnik, podnik služeb), na jeho technických možnostech a v neposlední řadě na schopnosti managementu podniku tyto technologie uplatnit. Typické schéma komunikačního systému viděné z hlediska technických prostředků ukazuje obr.8. Internet je obvykle považován za vnější komunikační prostředek vně podniku, Intranet je určen pro vnitřní komunikaci mezi jednotkami podniku.



Obr.8 Komunikační systém výrobního podniku [14]

4.3. Moduly ADAM [13] [14]

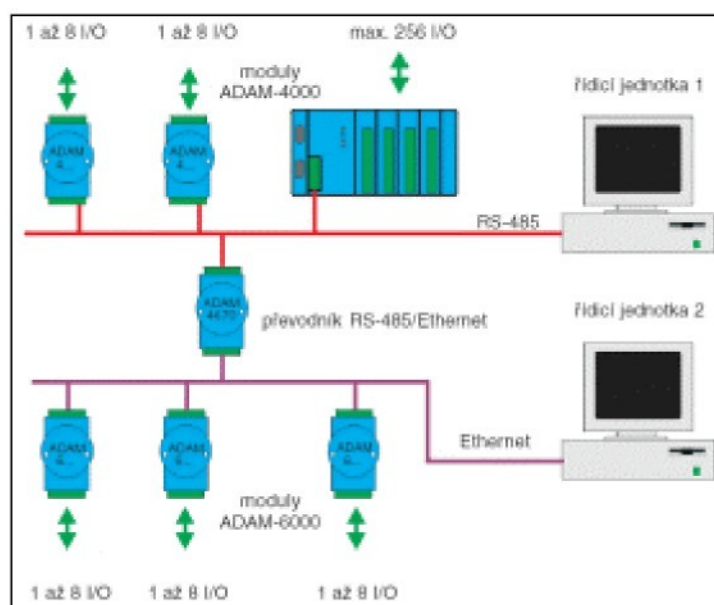
Moduly ADAM I/O (vstupně/výstupní) pro distribuované řízení a sběr dat byly uvedeny na trh firmou Advantech Co. počátkem devadesátých let. O jejich popularitě svědčí velmi časté napodobeniny jiných výrobců, např. moduly WAGO [18], moduly QUIDO [19] a jiné. Firma Advantech Co. vyrábí a dodává na trh různé řady modulů. Jsou konstruovány pro průmyslové aplikace. Mají široký rozsah napájecího napětí a každý modul je opatřen přepětovou ochranou komunikačního vstupu. Pro všechny řady je k dispozici konfigurační software pro nastavení a testování sítě.

4.3.1. Funkce modulů ADAM

Moduly ADAM slouží k dálkovému měření, řízení a sběru dat. Obr.9 ukazuje příklad rozsáhlé sítě využívající moduly ze všech dodávaných řad. Každý modul má v síti svou adresu. Master sítě, kterým je obvykle počítač typu PC, se na něj může obracet se žádostí o změření vstupních veličin nebo

nastavení výstupů. Vstupy a výstupy, které ADAM nabízí, lze rozdělit do pěti základních skupin:

- *Analogové vstupy* slouží k měření napětí nebo proudu. K dispozici jsou i vstupy pro měření teplot pomocí termočlánků nebo odporových teploměrů. Teploměrové vstupy mají veškeré potřebné vybavení jako je kompenzace studeného konce pro termočlánek, napájecí svorky pro odporový teploměr nebo vestavěné linearizační přepočty.
- *Analogové výstupy* lze použít například k ovládání frekvenčních měničů. Moduly ADAM disponují napěťovými i proudovými výstupy standardního provedení (0 až 10 V, 2 až 10 V, 0 až 20 mA, 4 až 20 mA).
- *Digitální vstupy* umožňují sledovat stav spínačů, relé, limitních čidel nebo jiných zařízení. Podle charakteru sledovaného signálu můžeme volit vstupy s různou spínací úrovní, s galvanickým oddělením či bez něho.
- *Digitální výstupy* slouží k dálkovému ovládání. Lze jimi zapínat motory, osvětlení nebo provádět dálkové nastavení různých technologií. K dispozici jsou bezkontaktní výstupy s otevřeným kolektorem nebo relé.
- *Čítače* umožňují čítat impulsy z průtokoměrů, elektroměrů, měřit otáčky nebo čas. Čítače v modulech ADAM jsou vybaveny vstupními filtry, nastavitelnou úrovní komparace a příznakem načtení předvoleného počtu impulsů.



Obr.9. Příklad aplikace modulů ADAM různých řad

Komunikační protokol modulů ADAM se stal neoficiálním standardem pro jednoduché vzdálené vstupy a výstupy připojitelné k PC. Protokol umožňuje uživatelům, aby si sami zvolili míru komplexnosti a zabezpečení komunikace. Komunikační médium je nenáročné. K propojení rozhraní RS-485 na relativně malých rychlostech je možné použít levnou dvoulinku se splétanými žilami, v nouzi v podstatě jakékoliv dvou vodičové vedení. Řada ADAM-4000 navíc zahrnuje i všechny nutné komunikační komponenty – převodník RS-232/485, opakovač RS-485 i převodník RS-485 na optické vlákno.

4.3.2. Vlastnosti modulů řady ADAM-4000 a ADAM-5000 [14]

Moduly těchto dvou řad komunikují po síti RS-485. Použitý protokol je velmi jednoduchý. Spočívá v odeslání textového řetězce na sériový port a přijetí podobného řetězce odpovědi. Není tedy žádný problém naprogramovat si vlastní aplikaci či využít knihovny DLL pro integraci komunikace s moduly ADAM do Windows. K dispozici jsou i drivery pro různé programy pro průmyslové řízení a sběr dat, například LabWiew nebo InTouch, z domácích pak Promotic nebo ControlWeb.



Obr.10 Modul řady 4000



Obr.11 Modul řady 5000

Moduly řady 4000 v typických pouzdrech (obr.10) se hodí tam, kde potřebujeme na jednom místě měřit či nastavovat jen několik málo veličin, neboť modul řady 4000 má jen omezený počet vstupů či výstupů. Pokud je na jednom místě soustředěno větší množství vstupů či výstupů, je z hlediska technického i finančního výhodnější použít modul řady ADAM-5000 se

zásuvnými jednotkami (obr.11). Volbou zásuvných jednotek lze vytvořit kombinaci vstupů a výstupů, která přesně odpovídá požadavkům projektu.

Technika od počátku devadesátých let pokročila. Současným trendem v komunikaci v oblasti řídicích a měřicích systémů se stávají technologie používané na Internetu – Ethernetová síť a výměna dat založená na protokolech TCP/IP.

4.3.3. Moduly řady ADAM-6000, ADAM-7000 a ADAM-8000 [14]

ADAM-6000 je na trhu od roku 2002 a představuje nový přístup k dálkové komunikaci. Využívá internetové technologie a komunikuje pomocí protokolu TCP/IP. Lze jej tedy zapojit do místní intranetové sítě podniku nebo je možné jej umístit kdekoli, kde je k dispozici celosvětová síť Internet. Každý ADAM má vlastní webovou stránku, kterou lze zobrazit běžným internetovým prohlížečem. K dispozici jsou i další protokoly, jež jsou kompatibilní se standardními softwarovými produkty používanými v internetových sítích. Řada ADAM-6000, stejně jako řada ADAM-4000, umožňuje postavit kompletní řešení sběru dat na bázi sítě Ethernet. Kromě modulů vstupů a výstupů, které odpovídají svým protějškům v řadě ADAM-4000, nabízí řada 6000 i komponenty pro vybudování ethernetové sítě v průmyslovém prostředí.

Řada-7000 navazuje na řadu distribuovaných systémů ADAM-4000 a ADAM 5000, uzavírá a doplňuje tento soubor prostředků automatizace o plnohodnotný PLC (programovatelný logický automat). Vzhledem ke vzájemné kompatibilitě těchto zařízení je ideální jejich kombinace, která v maximální míře rozšiřuje možnosti použití a spolu s vysokou flexibilitou tak má uživatel k dispozici unikátní řešení konkrétních požadavků na automatizaci procesů a zařízení.

Moduly ADAM-8000 představují zcela novou řadu programovatelných logických automatů (PLC). Tato řada nabízí širokou škálu I/O modulů pro zpracování signálů a spojuje v sobě výhody PC a PLC.

4.4. Měření teplot pomocí modulů ADAM [14]

Při měření teplot v průmyslu v současné době dominují distribuované systémy s teploměry propojenými průmyslovou sběrnici. Pro tuto oblast nabízí firma Advantech moduly ADAM-4000 a ADAM-5000 s komunikací po sběrnici RS-485 a ADAM-6000 s rozhraním pro Ethernet. Ve všech těchto řadách lze nalézt specializované moduly pro připojení nejčastěji užívaných čidel teploty, kterými jsou v současnosti termoelektrické články a odporové teploměry.

Termočlánky poskytují měřicí signál ve formě velmi nízkého stejnosměrného napětí řádu jednotek milivoltů. Proto někdy bývá obtížné uchránit jej před vlivem rušivých signálů, ať již ve formě souhlasného napětí nebo napětí indukovaného do přívodů rušivým elektromagnetickým polem. Pro termočlánky je tedy nutné vždy použít moduly s diferenčními vstupy (modul ADAM-4011, ADAM-4018+, ADAM-4018M, ADAM-4019, ADAM-5018, ADAM-6018). Moduly řady ADAM jsou určeny pro měření v průmyslu. Vyznačují se proto velmi jednoduchou instalací, vestavěnou kompenzací teploty studeného spoje i linearizací průběhu a přepočtem signálu z termočlánku na údaj v jednotkách teploty.

K dispozici jsou i měřicí karty pro PC pro centralizované měření, moduly ADAM pro decentralizované měření.

Zásuvné karty do PC se při měření teploty nyní používají zejména v laboratořích, ve zkušebnách nebo v malých řídicích systémech, kde je PC současně řídicí jednotkou. Výhodou jsou nízké náklady na jedno měřicí místo a možnost optimalizovat sběr a zpracování dat (vzorkování, průměrování apod.), což může být důležité např. při dynamických měřeních. Nevýhodou je naopak nutnost přivést měřicí signály až k PC, a tím menší odolnost proti rušení. Měřicí karta pro PC je vhodná např. k přímému připojení až osmi termočlánků.

4.5. Vymezení některých pojmů

Průmyslová sběrnice – *Fieldbus*

Krátký výraz *fieldbus* se v angličtině používá pro průmyslové komunikační systémy.

Intranet

Intranet je počítačová síť uvnitř společnosti, která používá internetové technologie umožňující uživatelům používat, vyhledávat a sdílet informace a dokumenty. V mnoha firmách jsou Intranety primárním nástrojem pro sdílení pracovních dokumentů, pro sdílení znalostí, pro spolupráci na společných projektech a pro přístup k firemním zprávám.

Protokol TCP/IP

Komunikační protokoly jsou soubory pravidel, která zajišťují vzájemnou komunikaci mezi síťovými uzly. Největší význam má v současné době díky Internetu protokol TCP/IP, který je podporován většinou operačních systémů.

Rozhraní RS-232 [15]

Sériové rozhraní určené ke spojení koncového datového zařízení s komunikačním datovým zařízením. Toto rozhraní má velmi výrazné postavení i v měřicí technice, kde je aplikováno u speciálních modulů, inteligentních snímačů apod.

Sběrnice RS-485 [15]

Velmi rozšířený přenosový kanál se sériovým přenosem dat. Používá se zejména v oblasti průmyslových distribuovaných systémů. Jako přenosové médium je použit normou blíže nespecifikovaný dvoudrát, pro zvýšení odolnosti proti rušení bývá většinou zkroucen, popř. i stíněn.

5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

5.1. Návrh úpravy soustružnického nože

Termočlánek je třeba integrovat co nejbližší k místu řezu respektive k místu s největším mechanickým namáháním, aby nedocházelo ke ztrátě a zkreslení teploty.

Výhodou použití umělého termočlánu umístěného pod VBD (vyměnitelná břitová destička) je, že není nutno provádět kalibraci (kalibrační křivku dodává výrobce). Termočlány jsou vyráběny i ve velmi malých průměrech. Umístěním termočlánu pod VBD byl zohledněn požadavek, aby konstrukce tělesa nástroje byla upravena s minimálním zásahem.

Pro umístění termočlánu pod břitovou destičku bylo třeba ve špičce nože vyvrtat otvor o průměru 1,4 [mm]. Tento otvor nebylo možné vyvrtat vrtákem, protože by o takto malém průměru v materiálu nože praskl. Jako alternativní technologie bylo zvoleno elektroerozivní obrábění.

Postup výroby nože a problémy s tím spojené

Vzhledem k nedostatečnému vybavení laboratoří katedry obrábění a montáže (KOM) TU v Liberci a vysoké finanční náročnosti byl technologický otvor pro vedení drátu termočlánu vyroben ve firmě ABB v Jablonci nad Nisou.

Při výrobě otvoru o průměru 1,4 [mm] pro termočlánek byl technologický postup rozdělen do 3 operací:

1. Vyjiskření „startovacího“ otvoru do lůžka i tělesa trubičkovou elektrodou o průměru 0,8 [mm].

Popis: Elektroda je upnuta a vedena vodícím pouzdrem. Trubičkou protéká voda pod tlakem (obr.13). Tento otvor slouží k použití elektrody (drátu), kterou se dosáhne předepsaného rozměru.

Doba vyhlubování byla i s upnutím patnáct minut.

Použitý stroj: Elektroerozivní vrtáčka startovacích otvorů – KING Spark (viz. obr.12).



Obr.12 Elektroerozivní vrtačka startovacích otvorů



Obr.13 Upnutí trubičkové elektrody

2. Zkalibrování na rozměr o průměru 1,4 [mm] v lůžku i tělese nože.

Popis: Elektroda ve formě drátku je navinuta na kotoučovém zásobníku. Drát je provléknut spodním vodícím otvorem (obr.15). Posuvem hlavy stroje je provedena korekce obráběného otvoru. Rychlost pohybu drátu závisí na velikosti nastavení protékajícího proudu. Poznamenejme, že dielektrikem je deionizovaná voda, drátek je vyroben z mosazi a stroj pracuje s přesností 3 [μm].

Doba řezání byla 30 minut i s upnutím.

Použitý stroj: Elektroerozivní obráběcí stroj s drátovou elektrodou „drátořez“ – MAKINO EU 64 (viz. obr.14)



Obr.14 Elektroerozivní „drátořez“



Obr.15 Elektroda ve formě drátku

3. Vyjiskření otvoru v lůžku do hloubky 0,8 [mm].

Popis: Elektroda ze slitiny mědi a wolframu, která se používá pro vyjiskřování tvrdých materiálů (slinutých karbidů) (obr.17). Poznamenejme, že pro oceli se používá elektroda z mědi. Nástrojová elektroda o průměru 1 [mm] byla vyrobena na soustruhu. Použité dielektrikum bylo na bázi petroleje.

Doba jiskření byla 30 minut plus příprava.

Použitý stroj: Elektroerozivní hloubící stroj MAKINO EDNC 64 (viz. obr.16).



Obr.16 Elektroerozivní hloubící stroj



Obr.17 Nástrojová elektroda

Dále byla pro vedení termočlánekového drátu vybroušena drážka o šířce 2,5 [mm] po celé délce spodní části soustružnického nože strojní rozbrušovačkou s brusným kotoučem na ocel (viz. obr.18).



Obr.18 Drážka v soustružnickém noži

5.2. Finální tvar nože, výkresy

Vývody drátů termočlánu před spojením a přivařením elektrickým výbojem do lůžka tělesa soustružnického nože jsou zachyceny na fotografii (viz. obr.19).

Kabeláž termočlánu je zabudována v drážce ve spodní části nože napevno, tím odpadlo složité řešení pružného uložení. Dále je kabeláž termočlánu vedena průchozím otvorem do horní části lůžka břitové destičky, kde uložení v silikonovém tmelu zajišťuje jednak pružný dotyk s břitovou destičkou a dále izoluje vlastní termočlánek od lůžka nože. Poznamenejme, že odizolované větve (drátky) termočlánu po spojení elektrickým výbojem byly natřeny izolačním lakem odolným vůči zvýšeným teplotám, aby při montáži termočlánu nedošlo k nežádoucímu vzniku kontaktu mezi samotnými drátky, tedy nežádoucího (rušivého) studeného spoje.

Konečný tvar nože se všemi úpravami je nakreslen v příloze 1. Výkres lůžka obsahuje příloha 2.

Pohled na celý nástroj upnutý v nožové hlavě soustruhu je na obr.20, kde je vidět vyvedený termočlánekový drát ze zadní části soustružnického nože.



Obr.19 Termočlánek vysunutý do lůžka



Obr.20 Soustružnický nůž s vyvedeným termočlánkem

5.3. Podmínky zkoušek

Ověřovací zkoušky byly zaměřeny na sledování teploty břitové destičky v závislosti na řezných podmínkách. Testování prototypu inteligentního řezného nástroje bylo provedeno v laboratořích katedry obrábění a montáže (KOM) TU v Liberci na soustruhu SU50/1500. Nástroj s břitovou destičkou byl upnut třemi šrouby M12 v nožové hlavě. Měření probíhalo při teplotě okolí 23°C.

Opotřebení hřbetu VB [mm] bylo měřeno pomocí měřicího mikroskopu firmy Zeiss typ BK 70 x 50 s celkovým zvětšením 80x.

Měření drsnosti povrchu (střední aritmetické úchylky R_a) bylo provedeno pomocí přenosného dotykového profilometru Hommel Tester T500 (obr.21). Výhodou je, že měřená hodnota se ihned zobrazí na displeji.

Posuvným měřítkem byl proměřen průměr materiálu.

Ke zpracování naměřených hodnot byl použit PC s programem Excel.



Obr.21 Hommel Tester T500

Údaje o soustružnickém noži

Experimentální měření bylo provedeno běžným pravým přímým soustružnickým nožem SSBCR 3232 P12-MKT344 čtvercového průřezu 32x32 [mm], který byl upraven tak, aby bylo možné do jeho těla umístit snímač teploty (termočlánek).

Vyměnitelná břitová destička

Série experimentů byla realizována břitovou destičkou s označením SCMT 120408E-UR; 6630 firmy Pramet Diadur, a.s. Šumperk, která je vyrobena z povlakovaného slinutého karbidu. Má čtvercový průřez s úhlem hřbetu $\alpha = 7$ [°]. Rádus špičky $r_\epsilon = 0,8$ [mm]. Destička je vhodná pro obrábění širokého spektra materiálů

Materiál použitý při obrábění a jeho stručná charakteristika

K měření byl použit materiál oceli třídy ČSN 12, tj. uhlíková ocel ČSN 12 050.1, technologický etalon – zušlechtěná ocel uhlíková, nelegovaná, obsah

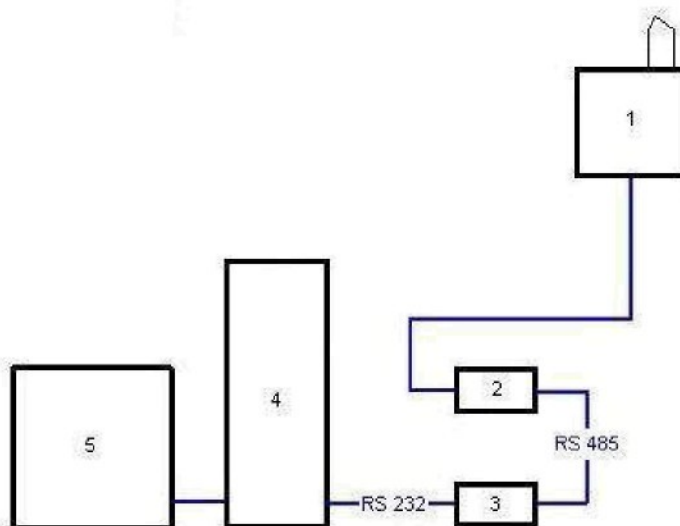
uhlíku 0,42-0,5%. Vhodná pro ozubená kola, čepy, vřetena soustruhů, šrouby, hřídele, ojnice aj. Mez kluzu pro tyče 305 [MPa], minimální mez pevnosti v tahu 530 [MPa], tvrdost 225 [HB]. Materiál měl průměr 158 [mm] a byl dlouhý 0,9 [m].

5.4. Počítačový měřicí systém

Instalovaný snímač teploty (termočlánek) umožňuje přenášet naměřená data pomocí vhodného rozhraní do měřicího počítače. Využitý počítačový měřicí systém propojuje měřicí počítač s termočlánkem v jeden celek, který umožňuje současné měření teploty ve sledované oblasti. Jako základ je zvoleno sériové rozhraní postavené na sběrnici RS 232 (viz schéma zapojení na obr.22). Karta sériových vstupů měřicího počítače umožňuje současnou komunikaci a připojení až 2 měřicích přístrojů. Samostatné měřicí moduly ADAM komunikují pomocí rozhraní RS 485 (ADAM-4018M) a pomocí převaděče RS 485 / RS 232 (ADAM-4020) umožňují připojení k měřicímu počítači. Softwarový měřicí systém v prostředí LabVIEW umožňuje řídit celý proces měření z jednoho místa a ukládat požadovaná data ve vhodném formátu.

LabVIEW je programovací vývojové prostředí, které používá grafický programovací jazyk G k vytváření programů ve formě blokových diagramů. LabVIEW obsahuje knihovny pro získávání dat, ovladače a sériového rozhraní, pro analýzu dat, prezentaci dat a pro jejich uchovávání. LabVIEW je systém určený pro obecné programovací účely, ale navíc obsahuje také knihovny funkcí a vývojové nástroje navržené speciálně pro získávání dat a ovládání přístrojů. Programy tvořené v LabVIEW jsou nazývány *Virtual instruments* (virtuální přístroje), jelikož jejich vzhled a činnost připomínají skutečné přístroje.

Po detailním prostudování funkčního zapojení modulů ADAM byl v prostředí LabVIEW vytvořen program určený speciálně pro měřicí moduly a který byl přesně navrhnut pro předpokládané podmínky měření. Na obr.25 je na monitoru zobrazena jeho grafická podoba.



Obr.22 Schéma měřicího systému

Legenda: 1-nožová hlava s prototypem nástroje

2-modul ADAM-4018M

3-modul ADAM-4020

4-PC s kartou sériových vstupů

5-monitor

Měřicí moduly ADAM [20]

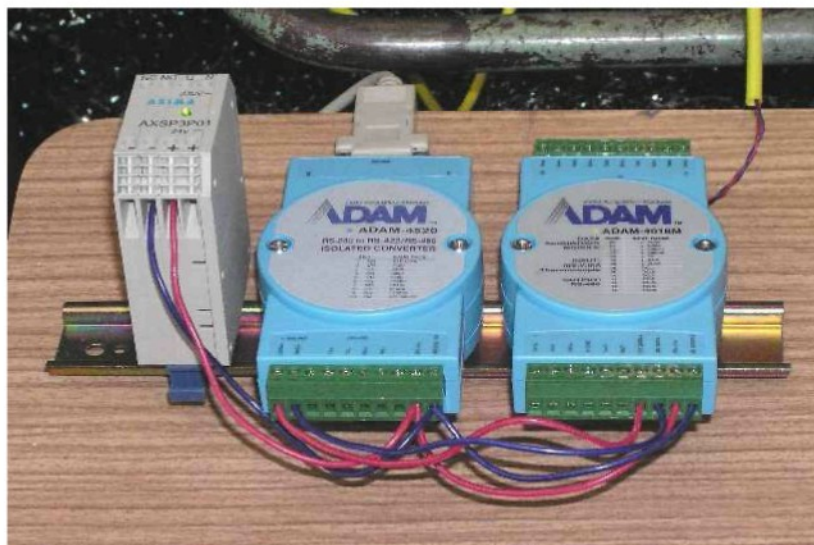
Experimentální měření bylo provedeny pomocí dvou měřících modulů ADAM řady 4000 (kap. 4.3.2.). Detailní zobrazení zapojených modulů zasunutých na DIN liště je zobrazeno na obr.23.

ADAM-4018M – termočlánekový analogový měřicí modul

- komunikace pomocí rozhraní RS-485
- 128kB flash paměti pro 38 000 vzorků s periodou zápisu 2 sec -18 hodin
- 8 měřících kanálů (mV,V,mA nebo termočlánky J,K,T,E,R,S,B)
- Měřicí rozsah: ± 15 mV, ± 50 mV, ± 100 mV, ± 500 mV, ± 1 V, $\pm 2,5$ V a ± 20 mA
- rozsah měřených teplot dle typu použitého termočlánku
- napájení 10V - 30V DC
- snadná montáž na DIN lištu, panel, nebo na sebe

ADAM-4020 – komunikační modul (převodník sběrnice RS-485 na standardní sériové rozhraní RS-232)

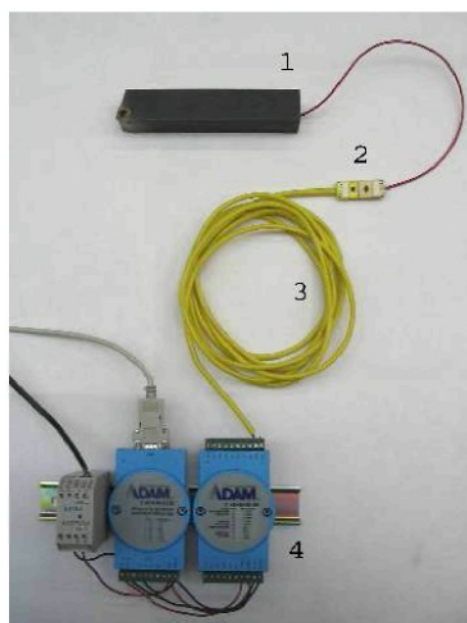
- automatické řízení toku dat na RS-485
- není potřeba externí signál pro řízení toku dat
- komunikační rychlost až 115.2 Kbps
- komunikace až na vzdálenost 1200m
- napájení 10V - 30V DC s ochranou proti přepólování
- snadná montáž na DIN lištu, panel, nebo na sebe



Obr.23 Detailní zobrazení zapojených modulů ADAM na DIN liště

5.5. Snímač teploty použitý pro prototyp nástroje

Snímání teploty je provedeno termočlánekem typu J (železo – měď, nikl). Průměr větví termočlánekového drátu bez izolace je 0,5 [mm]. Termočlánekový drát je dlouhý celkem 4 [m]. První část dlouhá 0,5 [m] je chráněna textilním izolačním pláštěm. Na tuto část je připojen izolovaný vodič pomocí spojovacího dílu. Na konci izolovaného vodiče jsou instalovány měřicí moduly ADAM (obr.24).



Obr.24 Zapojení termočláunku

*Legenda: 1-soustružnický nůž se zabudovaným termočláunkem
 2-spojka
 3-izolovaný vodič
 4-moduly ADAM*

Popis termočláunků J [5]

Pozitivní větve termoelektrických článků J jsou vyrobeny ze železa, negativní větve jsou ze slitiny mědi s niklem nazývané konstantan. Dřívější název pro daný termočlánek byl Fe-Ko.

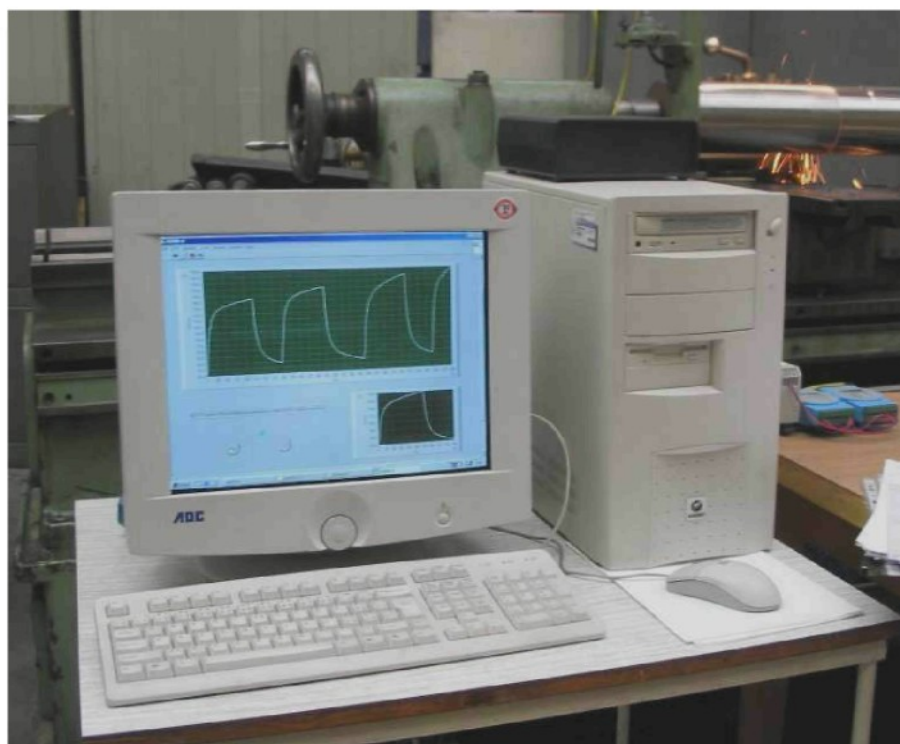
Termoelektrická napětí v závislosti na teplotě jsou v tabulce 1. Mohou se používat v rozsahu od -200°C do $+900^{\circ}\text{C}$, doporučený rozsah je $(-100 \text{ až } +760)^{\circ}\text{C}$. V oblasti nízkých teplot jejich charakteristika často vybočuje z normovaných hodnot, v oblasti teplot nad 700°C jsou málo stabilní. Mohou se používat v oxidační, redukční a inertní atmosféře i ve vakuu. Při teplotách nad 500°C nesmí být v atmosféře sirné sloučeniny. V oblasti teplot $(200 \text{ až } 600)^{\circ}\text{C}$ je měření těmito termoelektrickými články přesnější než s termoelektrickými články K (nikl-chrom, nikl).

Termoelektrické články J se dodávají v drátovém i plášťovém provedení. Stabilita termoelektrického článku J závisí na průměru jeho větví. Pro drátový termoelektrický článek J jsou doporučené maximální provozní teploty pro jednotlivé průměry větví uvedeny v tabulce 2. Deformací větví se může změnit termoelektrické napětí až o 150 μV (termoelektrické napětí vzroste), při zahřátí na teplotu cca 400 $^{\circ}\text{C}$ se vliv deformací ztrácí.

Termoelektrické články J nejsou vhodné pro měření v neutronovém toku. Vyrábějí se v dostatečně širokém tvarovém i rozměrovém sortimentu pro všechna obvyklá použití.

Tab.2 Doporučované maximální provozní teploty

Průměr větví [mm]	3,2	1,6	0,8	0,5	0,3
Max. provozní teplota [$^{\circ}\text{C}$]	760	590	480	370	370



Obr.25 Měřicí pracoviště

6. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navržení řezného nástroje se zabudovaným snímačem teploty a ověření jeho funkčnosti, dále provést sledování teploty ve špičce nástroje a zjistit závislosti jejího průběhu na jednotlivých parametrech obrábění (zejména na opotřebení nástroje).

Při navrhování prototypu termočlásku a jeho umístění do soustružnického nože se vycházelo z možností vybavení katedry obrábění a montáže. Byl zvolen termočlásek typu J (Fe-Ko), jelikož průměry jeho větví (drátků) měly menší průměr než druhý možný termočlásek typu K (nikl-chrom, nikl) a tedy minimálně snižoval tuhost nože. Experimentálně naměřené hodnoty teploty se při daných řezných podmínkách pohybovaly v rozmezí od 85 [°C] do 365 [°C], což je s ohledem na průměr termočlásku (0,5 [mm]), který má maximální provozní teplotu pro použití 370 [°C], plně v pořádku. V této oblasti teplot by bylo možné použít i termočlásek s průměrem větví 0,3 [mm]. V oblasti teplot (200 až 600) °C je měření termočláskem typu J přesnější než typem K a volba daného termočlásku typu J se potvrdila jako vhodná.

Pro měření podstatně vyšších hodnot teploty při zachování stávající úpravy nože (při stejném průměru) by se mohl použít jiný druh termočlásku, např. typ K.

Ověřovacím měřením funkčnosti prototypu snímače teploty na upraveném soustružnické noži byla zjištěna jeho citlivost i na relativně nepatrnou změnu teploty. Získaná data byla zpracována pomocí programu vytvořeného ve vývojovém prostředí LabView, který byl cíleně navrhnut pro předpokládané podmínky měření a vytvořen speciálně pro měřicí moduly ADAM.

Na základě vyhodnocených výsledků z experimentálních měření je možné dojít k těmto závěrům:

- Největší nárůst teploty břitové destičky byl za daných řezných podmínek zaznamenán během prvních třiceti sekund obrábění, dále po 1,5 minutě se průběh teploty linearizuje (dochází k ustálení, resp. teplota mírně monotónně narůstá) až do doby čtyř minut s 10 [°C] rozdílem teplot (tedy

ze 100[°C] na 110[°C]). Stanovený čas $t_M = 120$ [s] pro odečítání teploty byl tedy dostatečně informativní s minimální chybou, protože 10% tolerance je v inženýrské praxi úslovně povolená chyba.

- Teplota VBD je závislá na hloubce záběru a_p , postupným snižováním hloubky klesala teplota břitové destičky s nulovým opotřebením téměř lineárně, jen pro malé hloubky záběru byl průběh teploty strmější (teplota reagovala citlivěji), toto je dáno geometrií břitu a umístěním termočlánku.
- Citlivost na hloubku záběru se projevovala už po pěti sekundách obrábění, což potvrzuje vhodnost měření teplot na obráběcích strojích v průmyslových podmínkách. Stanovený čas $t_M = 120$ [s] pro odečítání okamžité teploty může být tedy i zkrácen (7,5 – 15 [s]).
- Na teplotu břitové destičky pro malé hloubky záběru, která byla vyšší než při obrábění hloubek podstatně větších, mělo značný vliv opotřebení břitové destičky VB, to je dáno fyzikálně geometrickou podstatou jevu (viz obr.37).
- S vyšší řeznou rychlostí teplota jednotlivých různě opotřebovaných břitových destiček VBD₁ až VBD₄ rostla. Řezné podmínky a opotřebení se na teplotě začínalo projevovat už po 15 [s].
- Nárůst teploty v závislosti na řezné rychlosti je podstatně menší než nárůst teploty v závislosti na opotřebením (VB) břitových destiček, teplotní rozdíl pro VBD₁ (VB = 0 [mm]) a VBD₂ (VB = 0,13 [mm]) byl minimální, břitové destičky byly tedy vhodné pro obrábění, nárůst teploty o minimálně 50 [°C] je mezi opotřebením VB = 0,13 [mm] a VB = 0,22 [mm]. Další nárůst o více jak 50 [°C] je mezi VB = 0,22 [mm] až VB = 0,35 [mm]. Rozhodující limitní teplotou pro určení vhodnosti použití řezného nástroje by mohla být hodnota 150 [°C] (viz obr.35 a 36).
- Na drsnost povrchu obrobené plochy má hloubka záběru a_p vliv minimální. Při řezání malých hloubek mohlo dojít nepřesným určením kontaktu nástroje s obrobkem a následným ustavením hloubky řezu k rovnosti hodnot drsnosti, což se projevilo celkově špatným povrchem. Největší vliv na povrch má opotřebení jednotlivých břitových destiček. Poznamenejme, z literatury je známo, že nezanedbatelný vliv na drsnost obrobeného povrchu má i posuv.

- Řezné podmínky a opotřebení břitové destičky se projevilo na měřené teplotě již kolem pěti až deseti sekund, což vyzývá optimismus a naděje v tom, že daná metodika by mohla být úspěšně použita v průmyslové praxi a termočlánek by rozhodně neměl chybět mezi informativními snímači v komplexní konstrukci tzv. inteligentního řezného nástroje.
- Realizované experimentální umístění termočlánu pod špičku břitové destičky dovoluje soudit o změnách parametrů obrábění již mezi pátou až desátou sekundou.

Na základě výše uvedených a stručně popsanych poznatků lze říci, že sledováním teploty břitové destičky je možné určit stav opotřebení řezného nástroje, což je pro dané jemné a dokončovací obrábění zásadní informace.

Cílem zkoušek bylo ověřit hodnoty výstupní teploty v závislosti na měnících se řezných podmínkách. Naměřené hodnoty byly po statistickém vyhodnocení zaneseny do názorných grafů. Průběhy závislostí jednotlivých veličin na řezných podmínkách byly popsány.

Vývoj moderních obráběcích systémů a vývoj v nich používaných řezných nástrojů – jejich nejvíce namáhaných součástí – musí probíhat současně. Pro sledování teploty nástroje je tedy snahou integrovat snímače přímo do nástroje a to co nejbližší k nejvíce namáhané součásti, ke špičce břitové destičky. To je spojeno s řadou problémů, se kterými se potýká vývoj tzv. „inteligentních řezných nástrojů“.

Umístění a konstrukce snímače integrovaného do nástroje je třeba vybírat s ohledem na jeho funkčnost a nezbytnost, žádným způsobem neomezovat konstrukci nože a rychlou výměnu VBD.

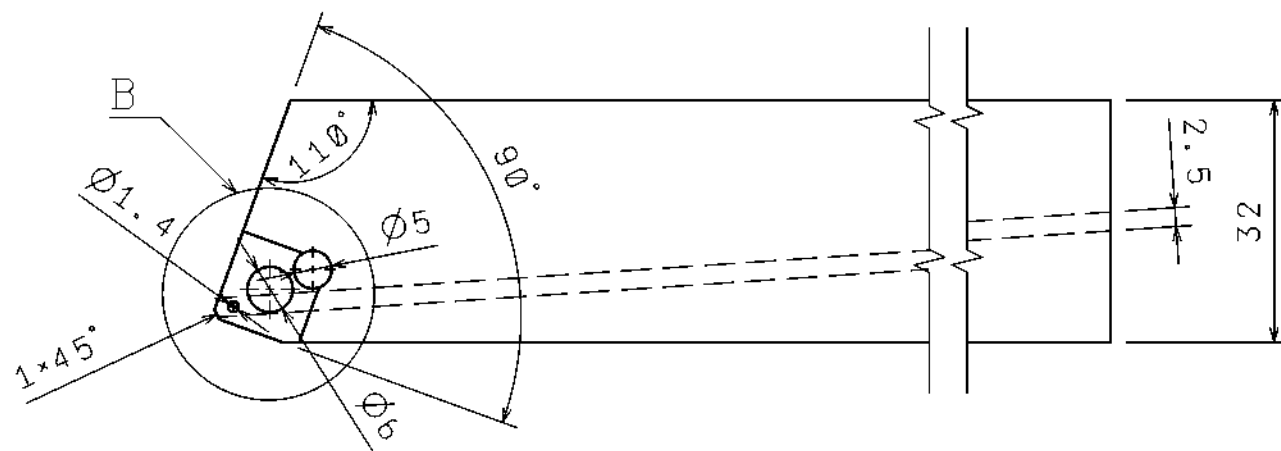
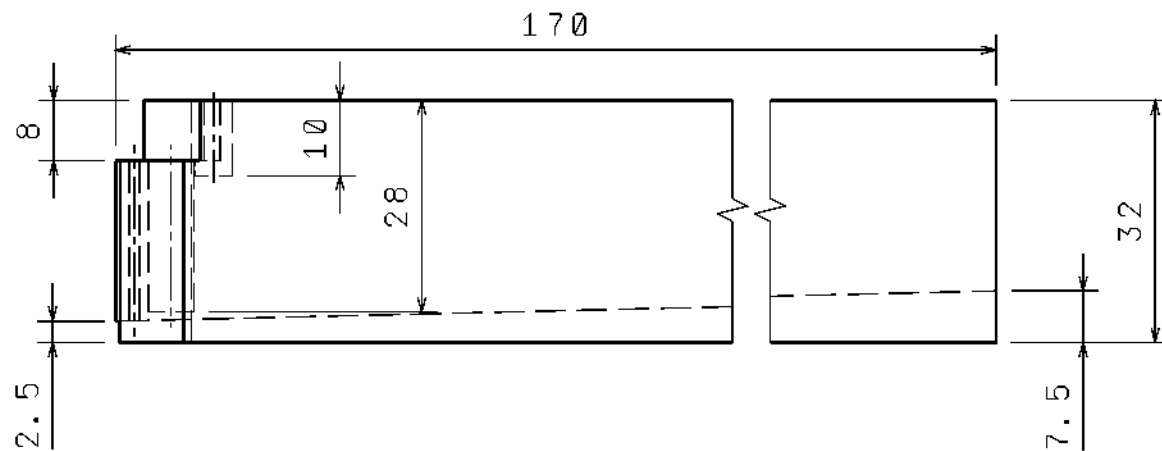
Pro „inteligentní řezné nástroje“ osazené různými snímači se jeví použití měřicích modulů ADAM jako vhodné z hlediska možnosti zpracovávat naměřená data jednotlivých snímačů na jednom místě, tím i sledovat průběh jednotlivých měřených veličin. Použitím těchto řezných nástrojů s více snímači vzniká potřeba zpracovávat více dat, k tomu účelu lze použít celou škálu dostupných modulů v závislosti na dané měřené veličině.

SEZNAM PŘÍLOH

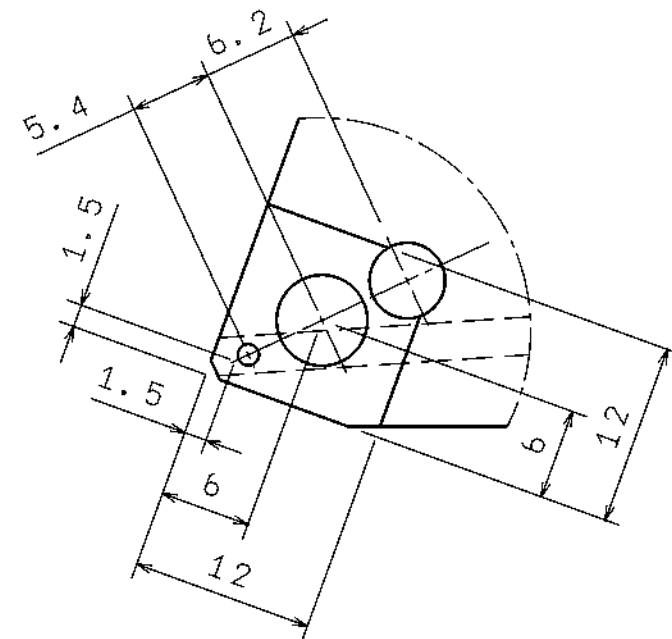
Příloha 1 - výkres upraveného soustružnického nože

Příloha 2 - výkres lůžka

Příloha 3 - CD s elektronickou formou bakalářské práce



Pohled B



A-A

