

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2005

Václav Málek

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Bakalářský studijní program:

materiály a technologie

Zaměření:

obrábění a montáž

Bezkontaktní měření teploty pomocí přístroje Ahlborn

The measure temperature with pyrometer Ahlborn

KOM - 1037

Václav Málek

Vedoucí práce:

Ing. Jiří Karásek

Konzultant:

Mgr. Milan Čmelík (KFY - TUL)

Počet stran : 66

Počet příloh : 4

Počet tabulek : 10

Počet obrázků : 54

Počet grafů : 13

Datum 6.1. 2006

Bezkontaktní měření teploty pomocí přístroje Ahlborn

ANOTACE:

Tato práce se zabývá porovnáváním teploty měřené termočlánky a bezkontaktním měřením. Nejprve jsou popsány principy měření teplot termočlánky. V další části je uvedena teorie měření bezdotykovým způsobem a v následující části jsou uvedeny experimenty měření teploty u chladnoucího odlitku a použití bezkontaktního měření při obrábění.

ANNOTATION:

The measure temperature with pyrometer Ahlborn

This works deals with comparison of temperature measurements by thermocouple and contact measurements. In the first instance the procedure measure with thermocouple is described. In next part a theory regarding contactless measurements on a cooling cast and the usage of contactless measurements in cutting.

Klíčová slova: PYROMETR, TEPLOTA, EMISIVITA

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: (rok ukončení DP/BP)2005

Archivní označ. zprávy: *(nevypĺňovat)*

Počet stran: 75

Počet obrázků: 45

Počet tabulek: 8

Počet diagramů:

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

V Liberci, *datum*

vlastnoruční podpis

Poděkování

Své poděkování bych chtěl vyjádřit panu Ing. Jiřímu Karáskovi, a panu Mgr. Milanu Čmelíkovi za jejich čas, obětavost, cenné rady, připomínky a informace. Dále bych chtěl poděkovat Katedře obrábění a montáže a jejímu kolektivu za poskytnuté podmínky pro zpracování této práce.

Bezkontaktní měření teploty pomocí přístroje Ahlborn

ANOTACE:

Tato práce se zabývá porovnáváním teploty měřené termočlánky a bezkontaktním měřením. Nejprve jsou popsány principy měření teplot termočlánky. V další části je uvedena teorie měření bezdotykovým způsobem a v následující části jsou uvedeny experimenty měření teploty u chladnoucího odlitku a použití bezkontaktního měření při obrábění.

ANNOTATION:

The measure temperature with pyrometer Ahlborn

This works deals with comparison of temperature measurements by thermocouple and contact measurements. In the first instance the procedure measure with thermocouple is described. In next part a theory regarding contactless measurements on a cooling cast and the usage of contactless measurements in cutting

Klíčová slova: PYROMETR, TEPLOTA, EMISIVITA

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 6.1. 2006

Archivní označ. zprávy:

Počet stran:	66
Počet příloh:	4
Počet tabulek:	10
Počet obrázků:	54
Počet grafů:	13

BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ TEPLOTY POMOCÍ PŘÍSTROJE AHLBORN AMIR 7814

Obsah:

1. Úvod do měření teploty	4
2. Teorie a měření s termočládky	
2.1 Úvod a rozdělení teploměrů	5
2.2 Možnosti zapojení termočládků	6
2.3 Měření termoelektrických napětí	8
2.4 Měření přirozeným termočládkem	9
2.5 Kalibrace přirozeného termočládku	13
2.6 Konstrukce termočládků	14
2.7 Odporové teploměry a jejich ukázky	15
3. Bezkontaktní měření	
3.1 Infračervené termometry a pyrometry	21
3.2 Termovize	21
3.3 Popis měření s infračervenými radiačními termometry	24
3.3.1 Emitance, emisivita a faktor N	25
3.3.2 Širokopásmové termometry	28
3.3.3 Úzkopásmové termometry	28
3.3.4 Poměrové radiační teploměry	30
3.3.5 Radiační pyrometr s vláknovou optikou	34
3.3.6 Design a konstrukce	36
3.4 Kalibrování infračervených teploměrů	37
4. Přístroj Ahlborn	
4.1 Seznámení s přístrojem	41
5. Experimentální měření	
5.1 Chladnutí ocelového kvádrů	44
5.2 Chladnutí odlitku z litiny	47
5.3 Měření teploty při obrábění na soustruhu	52

5.4 Porovnávání přesnosti pyrometrů.....	57
6. Přesnost při měření pyrometrem.....	60
6.1 Teplotní a spektrální závislost emisivity.....	61
6.2 Metody určování a odstraňování vlivu emisivity.....	62
7. Závěr.....	64
8. Použitá literatura.....	65
9. Seznam příloh.....	66

1. Úvod do měření teploty

Teplota je jednou z nejdůležitějších stavových veličin, ovlivňujících téměř všechny stavy a procesy v přírodě. Při měření teploty nestačí použít přesného teploměru a zaručit správné čtení údajů, ale je nutno ho zabudovat tak, aby správně měřil, tzn. aby rušivé vlivy zkreslující měření, byly eliminovány nebo potlačeny na nejnižší možnou míru. K měření teploty lze použít různých fyzikálních principů, jako například teplotní roztažnosti, změny elektrického odporu, vznik elektrického napětí.

Přístroje k měření teploty

Podle způsobu použití teploměrů lze měření teploty rozdělit do tří základních skupin:

- a) měření teploty dotykovými teploměry – teploměr je v přímém styku s měřeným prostředím
- b) měření teploty bezdotykovými teploměry
- c) termovize

Podle fyzikálního principu měření rozlišujeme teploměry na:

- a) teploměry dilatační - jsou založeny na principu teplotní roztažnosti pevných látek, kapalin, par nebo plynů
- b) teploměry elektrické – teploměry založené na teplotní závislosti elektrického odporu a teploměry využívajícího termoelektrického jevu.
- c) Teploměry speciální – založené na změnách některých fyzikálních vlastností látek s teplotou

Elektrické teploměry

Čidlem termoelektrického teploměru je termoelektrický článek. V elektrickém obvodu vznikne termoelektrický proud, jestliže teplota T_m jednoho konce spoje se bude lišit od teploty T_o druhého spoje. Rozpojením obvodu vznikne termoelektrické napětí.

Materiál na výrobu termoelektrických článků má mít co největší lineární přírůstek E v závislosti na teplotě, stabilitu údajů při dlouhodobém provozu a odolnost proti chemickým a mechanickým vlivům.

Všechny infračervené termočlánky pracují způsobem podobným standardnímu termočlánku: na měřené teplotě závisí nízké napětí řádu mV.

2. Teorie a měření s termočládky

2.1 Úvod a rozdělení teploměrů

Poprvé termoelektrický efekt objevil v roce 1821 T.J. Seebeck. Všiml si, že pokud jsou dva dráty z různých kovů (jako je železo a slitina konstantan) spojeny na obou koncích tak, že tvoří uzavřený elektrický obvod, potom pokud je jedno spojení vystaveno jiné teplotě než spojení druhé, vzniká elektromotorické napětí. Později v 19. století další dva vědci, Jean Peltier a William Thompson, řešili podrobněji otázku, jakým mechanismem vzniká napětí v termoelektrickém obvodu. Podle jejich jmen se nazývají dva jevy, které pozorovali. Peltierův efekt popisuje napětí, které je důsledkem spojení pouze dvou různých vodičů. Podobně Thompsonův efekt může být shrnut jako popis napětí, které je vytvářeno teplotním gradientem podél kovového vodiče. Protože v termočládku jsou dva body kontaktu a dva různé kovy nebo slitiny termočládku, jsou zde dvě Peltierova a dvě Thompsonova napětí. Celkové napětí obvodu je výsledkem obou všech jmenovaných efektů.

Polarita napětí je určena:

- použitým párem kovů nebo slitin (jako např. železo - konstantan)
- vztahem teplot těchto dvou spojení.

Hodnota napětí se může měřit voltmetrem připojeným v kterémkoliv místě obvodu. V souhrnu závisí celkové napětí jednak na teplotním rozdílu mezi dvěma spojeními a jednak na typu použitých materiálů. Pokud je teplota chladného spojení udržována konstantní nebo je její kolísání kompenzováno, pak je celkové napětí funkcí teploty horkého spojení.

Mezinárodní elektrotechnická komise (IEC) vypracovala nové označení termoelektrických článků. Materiály termoelektrických článků se označují značkami prvků a nikoli obchodní názvy jako dříve (Konstantan, Chromel, Alumel). Jednotlivé dvojice jsou označeny písmeny, navíc kladná větev se označuje symbolem P a záporná symbolem N. /1/

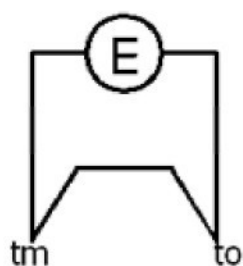
Přehled podává následující tabulka

Označení	Materiály	Barevné označení	Dřívější označení	
T	Cu - Cu Ni	oranžová	Cu - Ko	hnědá
J	Fe - Cu Ni	černá	Fe - Ko	modrá
E	Ni Cr - Ni Al	hnědá	Ni Cr - Ko	
K	Ni Cr - Cu Ni	žlutá	Ni Cr - N,Ch - A	zelená, žlutá
S	Pt 10 Rh - Pt	zelená	Pt Rh - Pt	bílá
R	Pt 13 Rh - Pt	zelená	Pt 13 Rh - Pt	bílá
B	Pt 30 Rh - Pt 6 Rh	fialová	Pt Rh 18	bílá

Tab.1

2.2 Možnosti zapojení termočlánků

Teplota může dosahovat značně vysokých teplot u některých provedeníh je dovolená teplota svorkovnice až 200 °C. Srovnávací spoje se proto posouvají tzv. kompenzačním vedením, do míst s příznivou teplotou na okolí, kde se srovnávací spoje buď udrží na konstantní teplotě nebo se provádí kompenzace vlivu teploty okolí, kde se srovnávací spoje buď udrží na konstantní teplotě nebo se provádí tzv. kompenzace vlivu teploty okolí na srovnávací spoje.

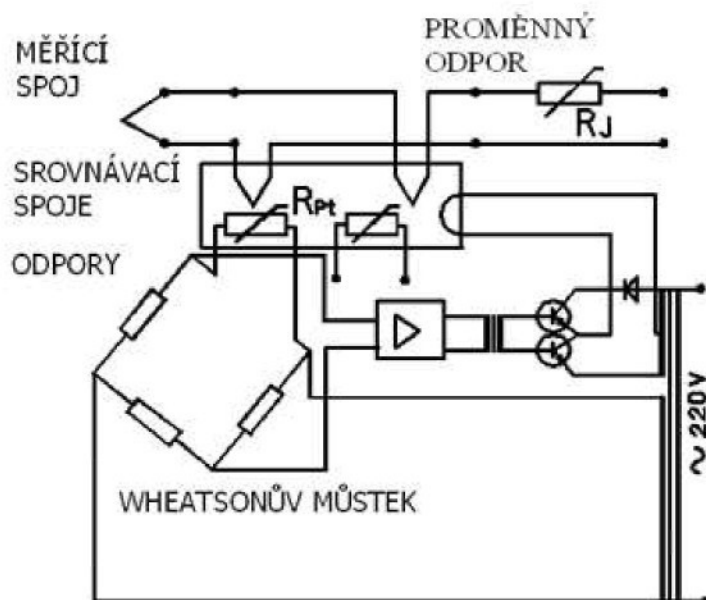


Obr. 1

V laboratoři se používá zapojení podle obr. 1, přičemž srovnávací konec to ukládáme do lázně s konstantní teplotou, obvykle do tajícího ledu (0°C).

Provozní obdoba tohoto způsobu udržování konstantní teploty srovnávacích spojů, schématicky naznačený na obr.2. Předností termostatů je, že se na jednom místě udržuje konstantní teplota, popř. provádí korekce pro více termočlánků (až 12) a to vzájemně galvanicky oddělené. Teplota srovnávací v tělese termostatu je 50 nebo 70 °C a je s přesností 0,2 °C udržována na předepsané výši elektrickým topením s regulací, jejíž činnost je patrná z obr. 2. V odporovém můstku zesilovače, který je napájen střídavým proudem, je zapojen měřicí odpor Pt 100 ohm.

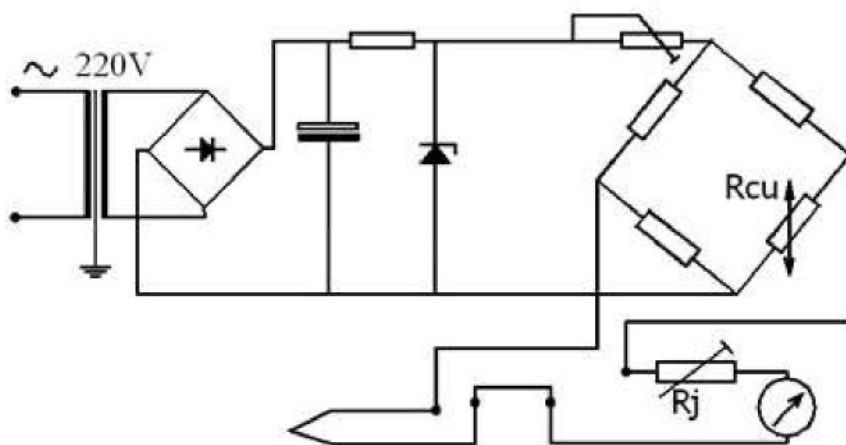
Signál z měřicí přičky je přiváděn na vstup integrovaného zesilovače, na jehož výstupu je zapojen transformátor. Ze sekundárního vinutí jsou buzeny dva polovodičové prvky, jejichž kolektory jsou napájeny jednocestným usměrněným napětím fázově posunutým o 180°, při rozvážení můstku na opačnou stranu. Tento regulační systém ovládá topení termostatu. Termostaty mohou pracovat při teplotě okolí -20 - 45 °C, popř. 0 – 65 °C. Vliv teploty okolí je $\pm 0,2$ °C/10 °C.



Obr.2 Termostat srovnávacích spojů

Poněkud méně přesné, avšak pro provozní účely dostačující, je **elektrická kompenzace** teploty srovnávacích spojů. Princip spočívá v zapojení kompenzačního můstku – kompenzační krabice v obvodu termoelektrického teploměru podle obr. 3. V kompenzačním můstku se třemi konstantními odpory je zapojen měděný odpor R_{Cu} , jehož hodnota je závislá na teplotě. Můstek je napájen stabilizovaným napětím. Je vyvážen na teplotu 20 °C a je –li teplota okolí vyšší nebo nižší, můstek se vlivem změny hodnoty měděného odporu rozváží a na měřicí úhlopříčce se objeví napětí, kterým se provede korekce termoelektrického napětí v měřícím obvodu.

Rozsah kompenzace je od –10 do +70 °C. Pro každý termoelektrický teploměr je třeba jedna kompenzační krabice. Schéma je na obr. 3.



Obr.3 Schéma kompenzační krabice

Vlastní termočlánek představuje zdroj elektrické síly doplněný vnitřním odporem. Zdroj termoelektrické síly vyvolává proud, který protéká obvodem a vstupním odporem měřicího přístroje. Průtokem proudu vzniká na vnitřním odporu termočládku a na odporech vedení úbytek napětí. Proto se v případě, že se měří přístrojem a proudová spotřeba, vyrovnává odpor měřicího obvodu, tj. termočládku, vedení a případně kompenzační krabice nebo termostatu, justačním odporem R_j na hodnotu 20 ohm. /1/

2.3 Měření termoelektrických napětí

Termoelektrické napětí se měří výchylkovou nebo kompenzační metodou. Při měření napětí milivoltmetrem, tj. výchylkovou metodou, je údaj přístroje e (mV).

$$e = E \cdot \frac{R}{R+r} \quad (1)$$

$$E = e \cdot \frac{R+r}{R} \quad (2)$$

Kde E [mV] je termoelektrické napětí

R [ohm] je odpor termoelektrického odporu, tj. odpor článku, kompenzačního a spojovacího vedení (obvykle 20 ohm)

R [ohm] je vnitřní odpor měřicího přístroje

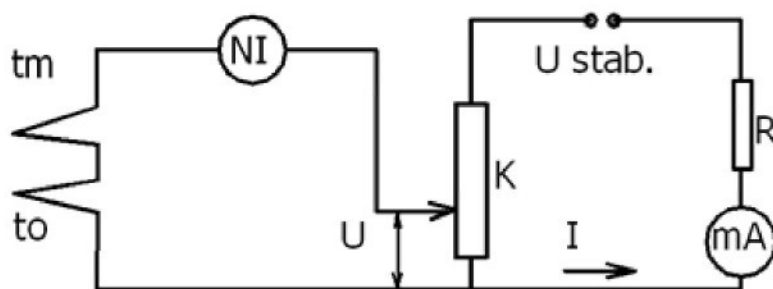
Jako provozních ukazovacích přístrojů se používá profilových milivoltmetrů.

Přístroje mají stupnice přímo ve $^{\circ}\text{C}$ pro určitý typ termoelektrického článku.

Kompenzační metoda měření termoelektrického napětí umožňuje přímo měřit velikost termoelektrického napětí E . Kompenzátory jsou v zásadě trojího typu:
s konstantním proudem, s konstantním odporem a mostové.

Kompenzátor s konstantním kompenzačním proudem je na obr.4. Kompenzační obvod je napájen ze stabilizačního zdroje, takže i úbytek napětí na koncích potenciometru K je konstantní.

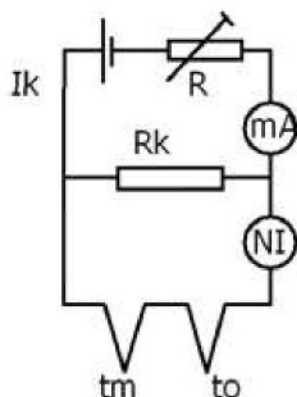
V měřicím obvodu je zapojen termoelektrický článek a v sérii s ním nulový indikátor NI. Termoelektrický článek je zapojen tak, aby termoelektrické napětí E je rovno úbytku napětí U na potenciometru. Běžcem potenciometru se vyhledá místo, kdy termoelektrické napětí E působilo proti kompenzačnímu napětí U na potenciometru. To bude v okamžiku, kdy nulový indikátor NI indikuje nulovou výchylku.



Obr. 4. Kompenzátor s konstantním proudem

Přesnost měření pak bude záviset na tom, jak přesně můžeme indikovat nulový proud. K indikaci se používá citlivých přístrojů, zejména galvanoměrů s otočnou cívkou. Důležitým předpokladem je i neproměnnost pomocného proudu I během měření. Proto se někdy zařazuje do pomocného obvodu ampérmetr a regulační odpor R , kterým vyrovnáváme velikost pomocného proudu. Ampérmetr však nemá v tomto případě principiální význam.

Kondenzátor s konstantním odporem je schématicky uveden na obr. 5. Při kompenzaci s konstantním odporem se nastavuje velikost kompenzačního napětí na odporu R_k , kompenzačním proudem I_k , jehož hodnota je sledována na miliampérmetru, který může mít stupnici ocejchovanou ve stupních Celsia. /1/



Obr. 5 Kompenzátor s konstantním odporem

2.4 Měření přirozeným termočlánkem

Téměř celá energie, potřebná na řezání se přemění v teplo. Množství tepla, které vznikne za jednotku času řezání pak nazýváme tepelný výkon řezání.

Toto teplo způsobuje ohřátí obrobku, nástroje a třísky. Každý hmotný bod této soustavy je podle vzdálenosti od zdroje tepla zasažen různým jeho množstvím. Mají proto různé body různou teplotu, nazývanou okamžitá teplota. Mezi nimi je možno najít body o stejné teplotě. Tyto body vytvářejí isothermickou plochu. Soustava těchto ploch představuje teplotní pole a to buď v nástroji, obrobku nebo třísce. Určovat teplotu těchto hmotných bodů je velmi obtížná záležitost, a proto se zpravidla spokojujeme se zjištěním tzv. střední hodnoty. Za ni považujeme průměrnou teplotu hmotných bodů jednotlivých členů soustavy obrobek-nástroj-tříska.

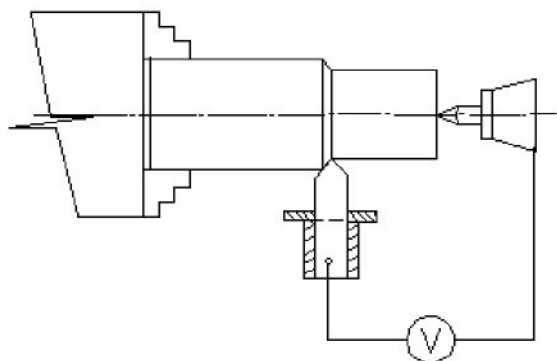
Protože při řezání vzniká nejvyšší teplota vždy v místech styku nástroje s obrobkem a třískou, bývá střední hodnota těchto stykových ploch nazývána teplotou řezání.

Nejrozšířenější jsou metody měření teploty jsou termočláňkové principy založené na termoelektrickém efektu. Jeho fyzikální podstata spočívá v tom, že ve styku dvou různých kovů, se pohybují jednotlivé elektrony z kovu s menší výstupní prací do kovu s větší výstupní prací. Takto vznikající napětí závisí na teplotě spoje a na druhu obou kovů, ale také na velikosti mechanického zatížení. Takovému spojení říkáme termočláňek.

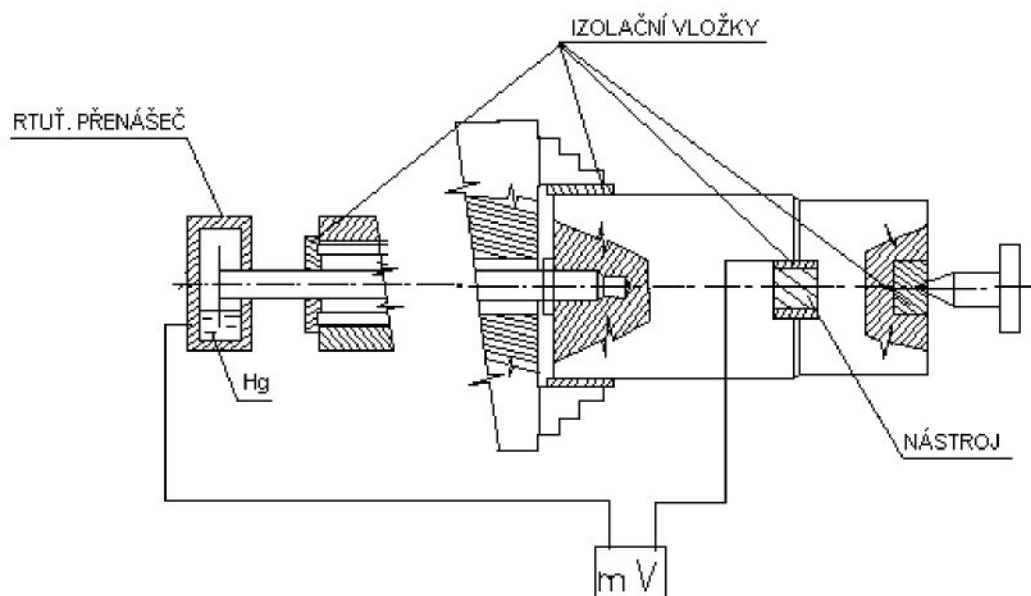
Při měření se používají dva základní typy termočláňkových metod měření teploty při obrábění. Je to metoda přirozeného termočláňku a metoda vestavěného umělého termočláňku.

Přirozený termočláňek tvoří obráběný a řezný materiál, které jsou vlivem působících řezných tlaků ve stykových oblastech přivedeny do těsného, vodivého spojení. Termoelektrická síla (TES) je vyvolána ohřevem stykových míst a je úměrná střední teplotě dotykových bodů mezi obráběným a řezným materiálem.

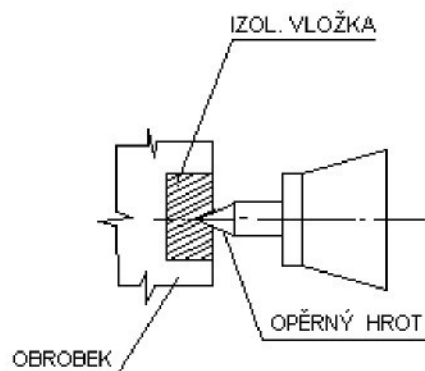
Výhodou metody přirozeného termočláňku je jednoduchost, nenáročnost a přitom spolehlivost. Nevýhodou je nutnost odizolovat nástroj a obrobek navzájem, pro zvýšení přesnosti a spolehlivosti měření je třeba odizolovat nástroj a obrobek také od stroje. Dále pak lze za nevýhodu označit nutnost cejchovat vždy každou dvojici obráběného a řezného materiálu. K nevýhodám lze také zařadit i tu okolnost, že se neměří střední teplota na čele, ale celková střední teplota stykových míst na čele a na hřbetě. Za další nevýhodu lze považovat to, že vždy jeden ze členů této dvojice se pohybuje a je obtížné z něj pak snímat elektromotorickou sílu. Pro tento účel se používá různých rotačních přenašečů. Příklad uspořádání pro měření teploty při soustružení ukazuje obr.6.



Obr.6 Uspořádání měření teploty při soustružení



Obr.7 Schéma měření teploty řezání přirozeným termočlánkem



Obr.8 Odizolování opěrného hrotu od obrobku

- v místě, kde má být vyvrtán středící důlek se vsadí do obrobku váleček z izolačního materiálu do kterého se středící důlek vyvrtá.
- odizolování obrobku od univerzálního sklíčidla se provede vložením izolačních podložek mezi čelisti a obráběný materiál.

Obrobek a nástroj musí být od sebe elektricky oddělen. Soustružnický nůž je odizolován od nožové hlavy dvěma podložkami z umatexu nebo pertinaxu. Mezi horní izolační podložku a upínací šrouby je nutno vložit ještě podložku ocelovou. Vývod termoelektrické síly z nože je proveden vložením odizolovaného vodiče mezi nůž a horní izolační podložku. Vývod z otáčejícího se obrobku je vhodné provést rtuťovým rotačním přenašečem.

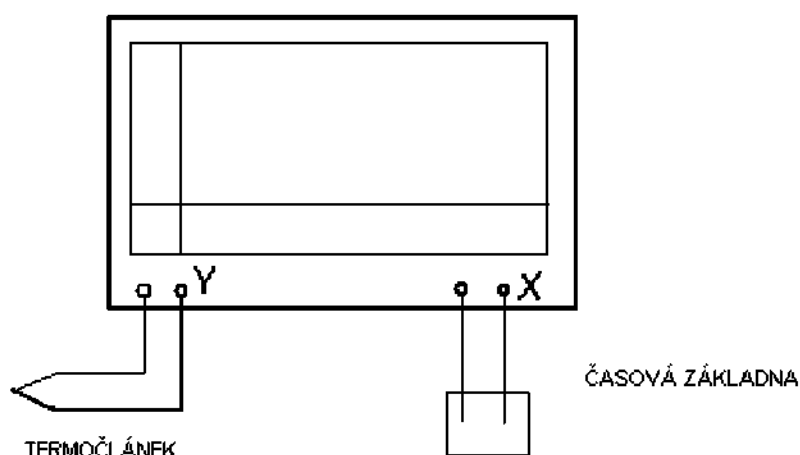
Termoelektrické napětí vzniklé na termočlátku obrobek-nástroj je možno měřit:

- ručkovým měřicím přístrojem s rozsahem 10 – 30 mV
- osciloskopem s dostatečně citlivým stejnosměrným zesilovačem
- jiným přístrojem pro měření stejnosměrných napětí řádu milivoltů

/5 /

2.5 Kalibrování přirozeného termočlátku

Aby bylo možno převést naměřené hodnoty TES v mV na teplotu ve stupních Celsia, je nutno znát cejchovní křivku použitého termočlátku. Obtížnost kalibrování termočlátku slinutý karbid-ocel nebo rychlořezná ocel-ocel tkví v tom, že je obtížné udržovat dostatečný teplotní rozdíl mezi teplým a studeným spojem.

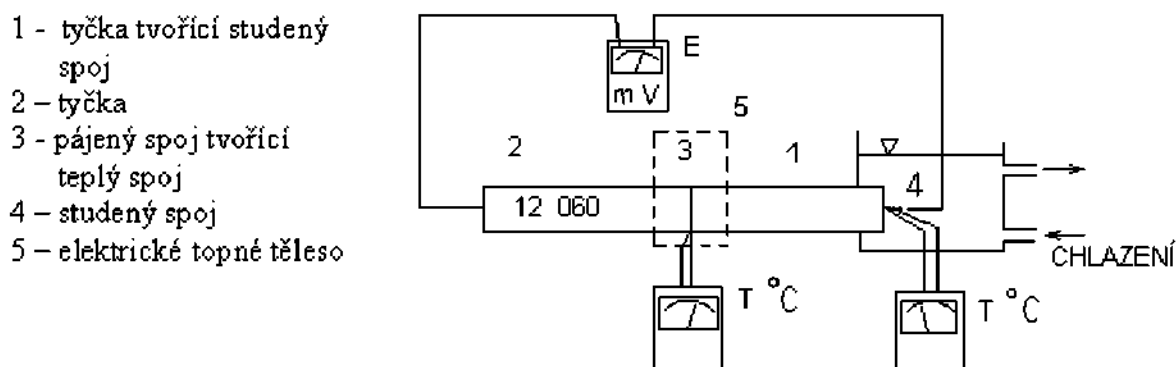


Obr.9 Schéma zapisovací závislosti teploty na čase

Zařízení, které bylo vyvinuto pro tento účel předpokládá, že ze stejného nástrojového materiálu jaký je použit ve zkušebním noži je vyrobena tyčka 1 o průřezu asi 1 – 2 cm², délky 150- 200 mm. Tyčka 2 podobných rozměrů se vyrobí též z oceli stejného složení jako materiál obrobku. Obě tyčky jsou na tvrdo spájeny a tento spoj 3 tvoří teplý spoj termočlátku. Druhý konec tyčky z nástrojového materiálu je umístěn v chladicí nádobě, kde je chlazen protékající vodou. Spoj 4 tvořený ocelovým drátem přivařeným k chlazenému konci nástrojového materiálu je

studeným spojem termočlánku. Ohřev teplého spoje se provádí elektrickým topným tělesem 5 a jeho teplotu lze nastavit regulačním autotransfornátorem. Teplota teplého a studeného spoje je měřena milivoltmetrem. Tato termoelektrická síla E je funkcí teplot teplého T_1 a studeného spoje T_2 termočlánku.

$$T' = T_1 - T_2 \text{ pak } E = f(T) \quad (3)$$



Obr.10 Schéma při kalibrování přirozeného termočlánku

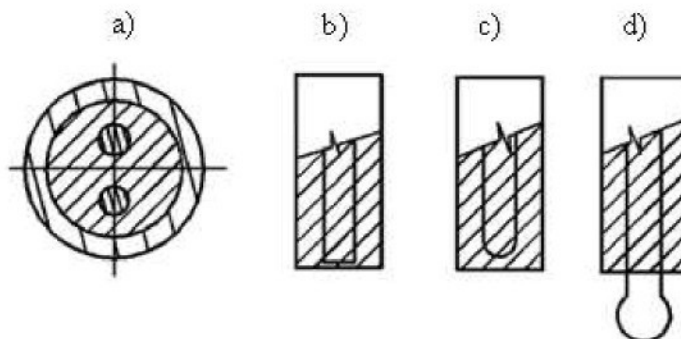
Závislost $E = f(T)$ je kalibrační křivkou měřeného termočlánku. Při kalibrování postupujeme tak, že velmi zvolna zvyšujeme teplotu teplého spoje a ve vhodných intervalech odečítáme vždy ve stejném okamžiku T_1 , T_2 , E a sestrojíme graf uvedené funkce. /5,7/

2.6 Konstrukce termočlánků

V laboratorní praxi se termočlánky vyrábí z termočlánekových drátů vhodných pro sledovaný interval teplot pájením či svařením konců. Někteří výrobci nabízí polotovary tzv. plášťové termočlánky, které si pak uživatel sám upravuje do potřebné formy. Termoelektrické vodiče jsou uloženy v plášti z nerezavějící oceli, popř. z jiného materiálu, podle vlastností měřeného prostředí. Izolace vodičů v plášti je tvořena minerální látkou, nejčastěji MgO nebo Al_2O_3 . V jednom plášti může být jeden až čtyři termoelektrické články (páry vodičů). Vnější průměr pláště je od 0,15 do 10 mm. Teplotní rozsah se pohybuje podle použitých dvojic kovů od $-200^\circ C$ do $2200^\circ C$. Polotovar, tzv. kabel, se vyrábí v délce až 30 m (podle průměru pláště).

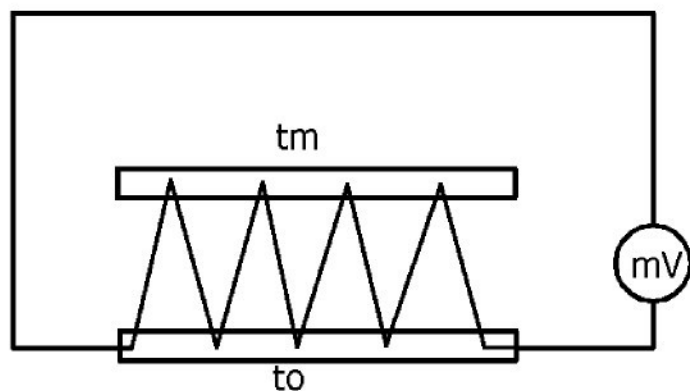
Plášťový termočlánek

- a) žez
- b) uzemněný měřicí spoj
- d) izolovaný měřicí spoj
- e) otevřený měřicí spoj



Obr.11 Různé druhy plášťových termočláneků

Mezi hlavní výhody plášťových termoelektrických teploměrů patří uložení vodičů po celé délce v inertním prostředí. Tím jsou vodiče chráněny před vlivy vnějšího prostředí, což zvyšuje jejich stabilitu a odolnost proti stárnutí. Plášťové termočláanky nemusí být v běžném prostředí uloženy v teploměrných jímkách, ale mohou být ponořeny přímo do měřeného prostředí, čímž se zrychlí odezva na změnu teploty. Další výhodou je vysoká odolnost proti teplotním a tlakovým rázům a dobré mechanické vlastnosti. Pro měření velmi malých teplotních rozdílů se používá sériový termoelektrický článek (obr. 12).



Obr.12 Sériový termočlánek tm-měřicí spoj to-porovnávaný spoj

Termoelektrické napětí n -násobného termoelektrického článku je rovno

$$E_n = E_1 \cdot n \quad (4)$$

Kde n je počet článků .

Při měření výchylkovou metodou je údaj milivoltmetru roven

$$E_n = E_1 \cdot n \frac{R}{R + n \cdot R_t + R_s} \quad (5)$$

kde n je počet článků

E_1 je napětí jednoho termočláanky [mV]

R je vnitřní odpor milivoltmetru [ohm]

R_t je odpor jednoho termočlánku [ohm]

R_s je odpor spojovacího vedení [ohm]

Je to méně než podle (4), protože roste odpor obvodu termoelektrických článků. Termočlánky mohou být umístěny např. radiálně na kruhové podložce nebo protkány podložkou tak, že na jedné straně podložky jsou teplé a na druhé straně studené spoje.

Komerčně vyráběné termočlánky dodávané pro provozní měření jsou umístěny v ochranné armatuře konstrukčně shodné s armaturou pro odporové teploměry. Termoelektrické snímače teploty s jímkou se šroubují přímo do potrubí. Snímače do jímky se používají tam, kde je jímka je např. do potrubí zavařena.

Termoelektrické snímače se vyrábí jednoduché a dvojité. V měřicí vložce jsou uložena dvě čidla. Těchto snímačů se používá tehdy, kdy z jednoho měřicího místa chceme teplotu zapisovat a současně použít signál pro regulaci. /1/

2. 7 Odporové teploměry a jejich ukázky

K měření teploty odporovými teploměry se používá teplotní závislost elektrického odporu materiálu. Elektrický odpor kovů s teplotou roste, odpor polovodičů, elektrolytů a uhlíku s teplotou klesá.

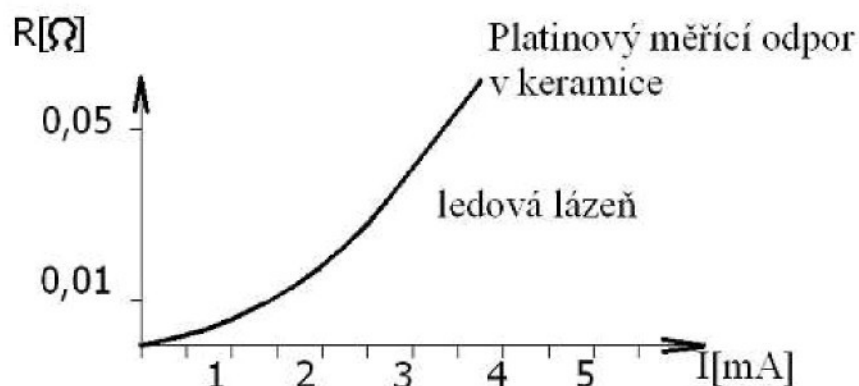
Teplotní závislost odporu materiálu vyjadřuje jeho teplotní součinitel odporu α (K^{-1}), jehož střední hodnotu pro teplotní rozsah od $0^\circ C$ do $100^\circ C$ lze určit ze vztahu

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 \cdot R_0} \quad (6)$$

kde R_0 [ohm] je odpor materiálu při teplotě $0^\circ C$

R_{100} [ohm] je odpor materiálu při teplotě $100^\circ C$

Stabilita měřicího odporu vyjadřuje dovolené kolísání hodnoty základního odporu po teplotních cyklech. U měřicích odporů se také udává maximální měřicí proud. Průchodem proudem dochází ztrátovým výkonem k ohřátí měřicího odporu na hodnotu měřicího proudu je na obr.13.



Graf.1 Vliv proudu protékajícího měřeným odporem na hodnotu odporu

Pro výrobu čidel odporových teploměrů se používá buď čistých kovů nebo polovodičů. V tab. 2 je přehled vlastností materiálů používaných k výrobě měřicích odporů.

Vlastnosti materiálů na měřicí odpory

Materiál	α [K^{-1}]	ρ [$\Omega \cdot m$]	rozsah [$^{\circ}C$]
platina	$(0,385-0,391) \cdot 10^{-2}$	$9,81 \cdot 10^{-8}$	-200 - +850
nikl	$(0,617-0,675) \cdot 10^{-2}$	$12,13 \cdot 10^{-8}$	-70 - +150
měď	$(0,426-0,433) \cdot 10^{-2}$	$1,54 \cdot 10^{-8}$	-50 - +150
polovodiče	$(-1,5 - -6) \cdot 10^{-2}$	---	-80 - +200

Tab.2

Kovové odporové teploměry

Snímače teploměrů tvoří odporové dráty z chemicky čistých kovů navinuté na podložku z plastů, keramiky, skla nebo slídy. Průměr drátku je 0,02 – 0,06 mm.

Odpory tělísek se s teplotou nemění lineárně. V malém teplotním rozsahu (0 – 100 $^{\circ}C$) lze použít vztah

$$R_t = R_0(1 + \alpha \cdot t) \quad (7)$$

Kde R_t [ohm] je odpor při teplotě t

R_0 [ohm] je odpor při teplotě 0 $^{\circ}C$, α [K^{-1}] je teplotní součinitel odporu

Nejlépe splňuje požadavky na materiál měřicích odporů platina. Teplotní součinitel je poměrně velký a časově stálý. Platinových teploměr slouží jako interpolační přístroj pro realizaci měření v rozsahu teplot od -190 $^{\circ}C$ do 630 $^{\circ}C$. Platinových teploměrů se používá pro přesné měření teplot v průmyslu, ve vědeckých laboratořích a ve výzkumu.

Základní měřicí rozsah pro platinové měřicí odpory je od -200 $^{\circ}C$ – 850 $^{\circ}C$. Základní měřicí odpor je při 0 $^{\circ}C$ $R_0 = 100$ ohm a při 100 $^{\circ}C$ $R_0 = 100$ ohm a při 100 $^{\circ}C$ $R_{100} = 138,5$ ohm.

Statistická charakteristika je popsána těmito vztahy (podle doporučení ICE):

Pro rozsah od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $0\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$R_t = R_0 [1 + A \cdot t + B \cdot t^2 + C(t - 100) \cdot t^3] \quad (7)$$

a pro rozsah od $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $850\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$R_t = R_0 [1 + A \cdot t + B \cdot t^2] \quad (8)$$

Přičemž

$$A = 3.90802 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$B = -5.80195 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-2}$$

$$C = -4.27350 \cdot 10^{-12} \text{ K}^{-1}$$

Uvedené konstanty souhlasí s platnou čs. státní normou ČSN 35 6720.

Průchodem měřicího proudu měřicím odporem R_t dochází k chybě měření oteplením odporu Jouleovým teplem ($P = RI^2$). Chyba je vyjádřena teplotní diferencí

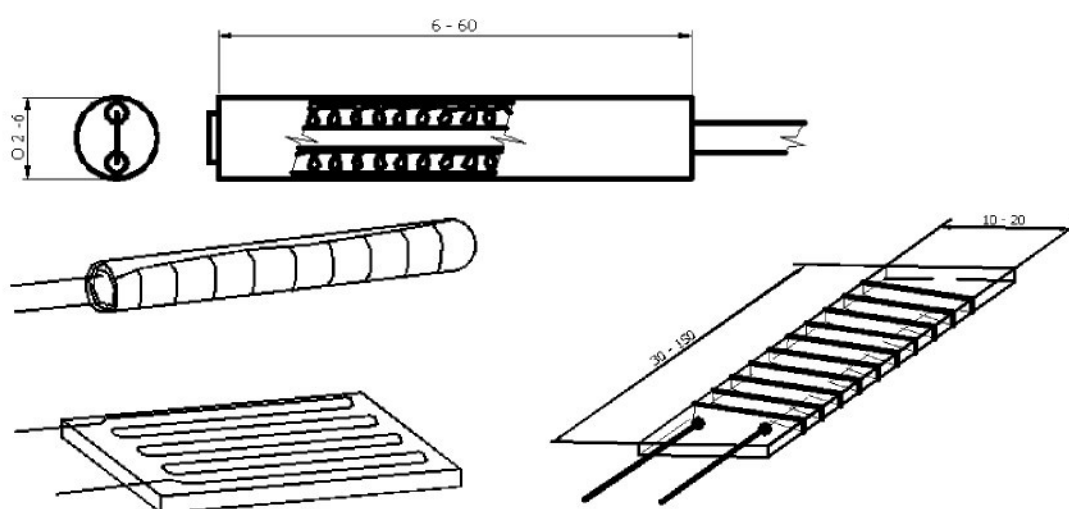
$$\Delta t = \frac{R_t \cdot I^2}{D} \quad (9)$$

Kde I [A] je proud procházející měřicím odporem

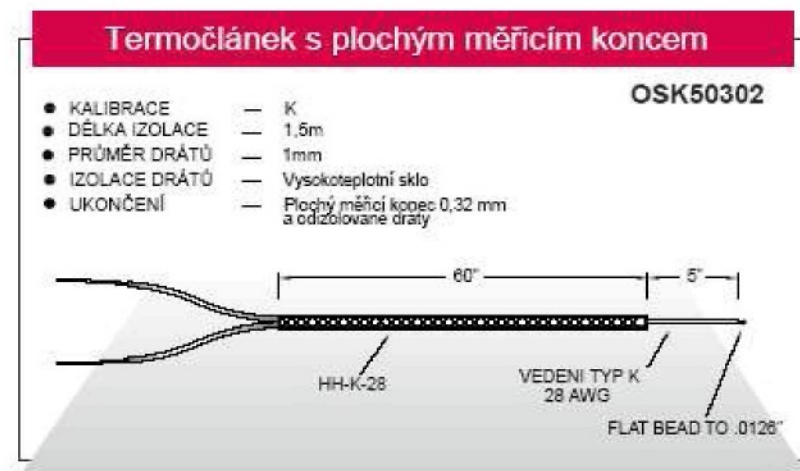
D [$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$] je zatěžovací konstanta odporového teploměru

Maximální proud je vzhledem k oteplení měřicího odporu 10 mA

Několik ukázek termočlánků staršího a novějšího provedení:



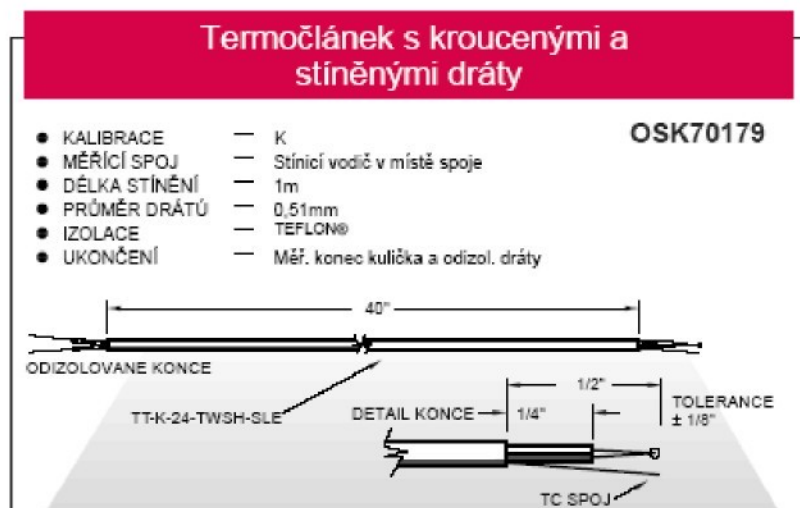
Obr. 13 Kovové odporové termočlánky



Obr.14



Obr.15



Obr.16

Termočlánek s obnaženým tenkým navařeným měřicím spojem a konektorem OST

- KALIBRACE — K
- MĚŘICÍ SPOJ — Obnažený konec
- DÉLKA STÍNĚNÍ — 3,08m
- PRŮMĚR DRÁTŮ — 0,51mm
- DÉLKA DRÁTŮ — 3,08m
- IZOLACE — KERAMIKA
- UKONČENÍ — Zastrčka OST a svařená kulička

OSK50383

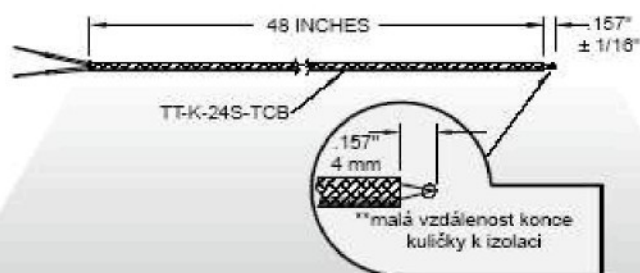


Obr.17

Termočlánek s měřicím koncem u izolace

- KALIBRACE — K
- DÉLKA STÍNĚNÍ — 1,22m
- PRŮMĚR DRÁTŮ — 0,51mm
- IZOLACE — TEFLON®
- UKONČENÍ — Měř. konec kulička a odizolované

OSK70208

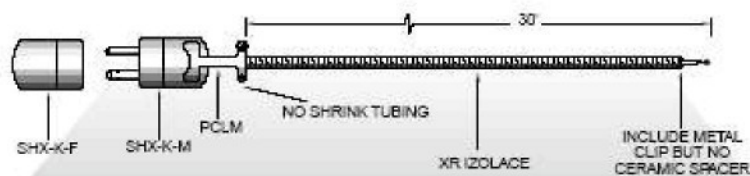


Obr.18

Termočlánek s SHX konektorem

- KALIBRACE — K
- MĚŘICÍ SPOJ — OBNAŽENÝ
- DÉLKA DRÁTŮ — 9,15m
- IZOLACE — Vysokoteplotní Nextel
- UKONČENÍ — Zastrčka SHX a svařená kulička

OSK4225



Obr.19



Obr.20



Obr.21

Druh termočláнку použitého k měření volíme podle velikosti měřené teploty, oblasti měřené teploty, druhu prostředí (měření teploty skla, taveniny v peci a podobně) vzdálenosti měřeného předmětu. /1, 3/

3. Bezkontaktní měření teploty

3.1 Infračervené termometry a pyrometry

Základ slova pyrometr tvoří řecké slovo „pyro“, což znamená oheň. Původně byl termín pyrometr užíván k pojmenování přístrojů, které byly schopny měřit teplotu objektů, které vyzařovaly viditelné záření. Původní pyrometry byly bezdotykové optické přístroje, které zachycovaly a vyhodnocovaly viditelné záření vyzařované horkými objekty. Moderní a přesnější definice definuje pyrometry jako všechny bezkontaktní přístroje, které zachycují a měří termální radiaci emitovanou zkoumaným objektem, s cílem zjistit teplotu zkoumaného povrchu. Slovo termometr má rovněž řecký základ „thermos“, což znamená „horký“. Termometry představují rozsáhlou skupinu přístrojů, které měří teplotu. Pyrometr je tedy jedním z typů termometru. Označení radiační termometr se objevilo během posledního desetiletí jako alternativa názvu pyrometr. Proto se v literatuře můžeme setkat jak s názvem pyrometr tak s názvem radiační termometr. /9,12/

3.2 Termovize

Teplota je mírou termální energie obsažené v jakémkoli objektu. Teplota kteréhokoli objektu se dá změřit množstvím metod a prostředků a je definován teplotní stupnicí. Teplota nám ve své podstatě říká, kterým směrem poteče tepelný tok mezi dvěma objekty.

Existují tři základní typy přenosů tepla: **vedení (kondukce)**, **proudění (konvekce)** a **záření (radiace)**. Všechno teplo je přenášeno jedním z těchto tří typů přenosů, obvykle kombinací dvou nebo všech tří typů přenosů. Infračervená termografie je pochopitelně nejbližší radiačnímu přenosu tepla, ale důležité je pochopit všechny tři typy, abychom mohli lépe chápat význam infračervených přístrojů.

Teplota se vyjadřuje v absolutních nebo relativních jednotkách. Máme dvě absolutní stupnice, nazývané "Kelvin" (metrický systém) a "Rankin" (anglický systém). Tomu odpovídají relativní stupnice: "Celsius" popř. "centigrade" (metrický systém) a "Fahrenheit" (Anglický systém). Absolutní nula je teplota při které nemají molekuly látek žádný pohyb. Říkáme "nula Kelvina" nebo "nula Rankina" (0 K nebo 0 R). Relativní teploty se vyjadřují jako "stupeň Celsia" nebo "stupeň Fahrenheita" ($^{\circ}\text{C}$ nebo $^{\circ}\text{F}$). Číselné vztahy mezi jednotlivými jednotkami jsou následující:

$$T_{\text{Celsius}} = 5/9 (T_{\text{Fahrenheit}} - 32) \quad (10)$$

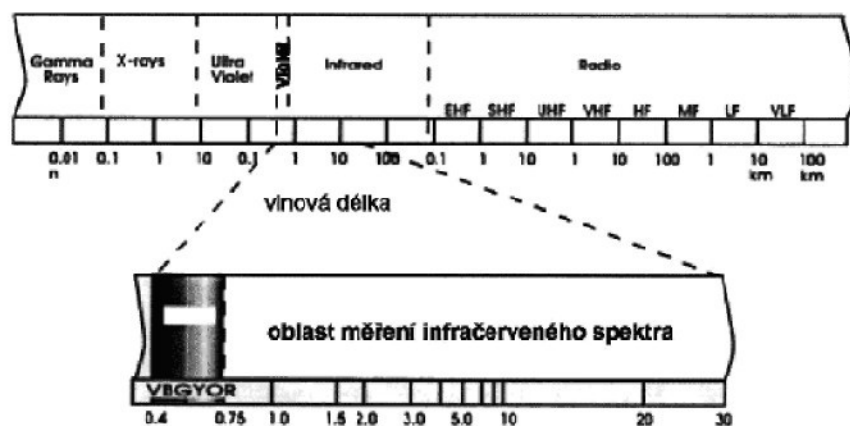
$$T_{\text{Fahrenheit}} = 9/5 (T_{\text{Celsius}} + 32) \quad (11)$$

$$T_{\text{Kelvin}} = T_{\text{Celsius}} + 273,16 \quad (12)$$

$$T_{\text{Rankin}} = T_{\text{Fahrenheit}} + 459,7 \quad (13)$$

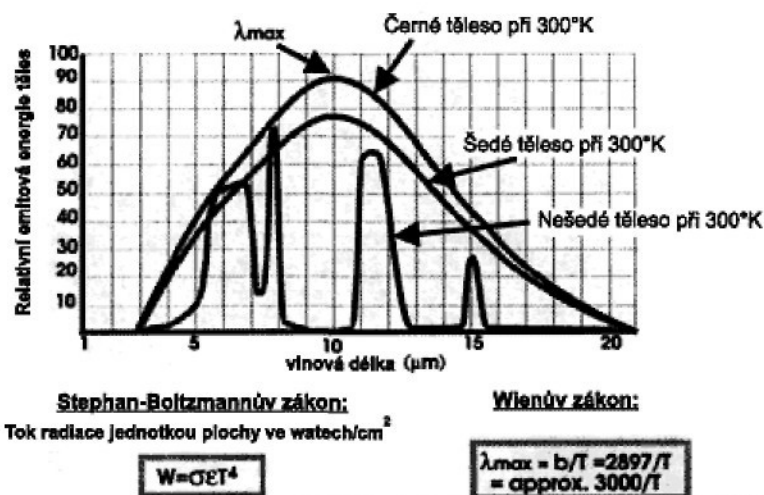
Podobně jako světelná energie je tepelná radiace záležitostí fotonů v elektromagnetickém spektru. Zatímco přenos energie světla se děje ve viditelné oblasti spektra od $0,4\mu\text{m}$ do $0,75\mu\text{m}$, přenos tepla radiací zabírá oblast spektra mezi $0,75\mu\text{m}$ a asi $100\mu\text{m}$, ačkoliv většina praktických měření se provádí v okolí $20\mu\text{m}$. (μm jsou mikrometry nebo "mikrony". Mikron je miliontina metru a jednotka pro měření vlnové délky radiční energie).

Všechny povrchy těles, které jsou teplejší než absolutní nula, vysílají energii v infračerveném spektru. Velmi teplá tělesa ve spektru viditelného světla. Topná tělesa elektrických kamen s teplotou 800°C žhnou tmavě rudě a jak vychládají tak ztrácejí viditelnou červenou barvu, ale teplo vyzařují radiací. Energie vyzařovaná radiací je cítit rukama, pokud je dáte do blízkosti kamen, ale sálání je neviditelné, protože z červeného spektra došlo k posunu do oblasti infračervené. IR tepelné obrazy měří a zobrazují na displeji obrazy z této infračervené oblasti spektra.



Obr.22 Infračervené spektrum

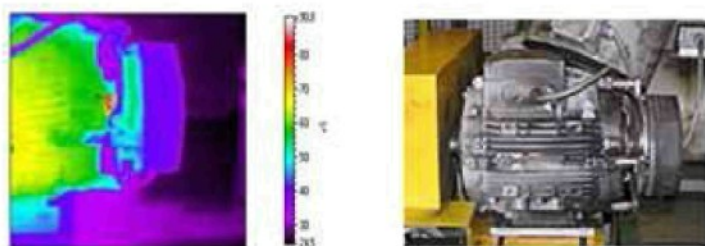
Emisivita reálného tělesa je definována jako poměr radičních energií emitovaných z povrchu daného tělesa a tělesa černého při stejné teplotě. Ačkoliv černé těleso je pouze teorie v praxi neexistuje, povrchy mnohých těles jsou šedé, což znamená, že emisivita tělesa je téměř konstantní s vlnovou délkou.



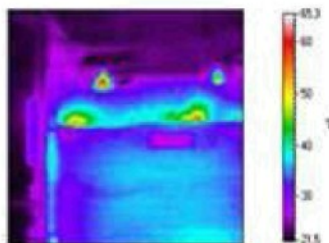
Obr.23 Vyzářování spektrální energie různými tělesy

Termokamera pracuje při snímání obrázků při vlnové délce **8-14 μm** .

Měření pomocí termovize umožňuje získat viditelnou informaci o rozložení teploty na povrchu snímaného zařízení. Měření lze provádět za provozu, bez jakéhokoliv poškození měřeného objektu. Pomocí termovizní techniky lze provádět kontrolu (diagnostiku) stavu elektrických zařízení (stav a kvalita spojů a svorek, zatížení transformátorů, izolátorů a odpojovačů), stavu vyzdívek a izolací sklářských pecí, kontrolu úniku tepla u dopravníkových pájecích a popouštěcích pecí, únik tepla u kalicích pecí, tepelně zátěžové charakteristiky pohonů, strojů a zařízení. /3/



Obr.24 Ukázka kontroly ložiska na přírubě motoru



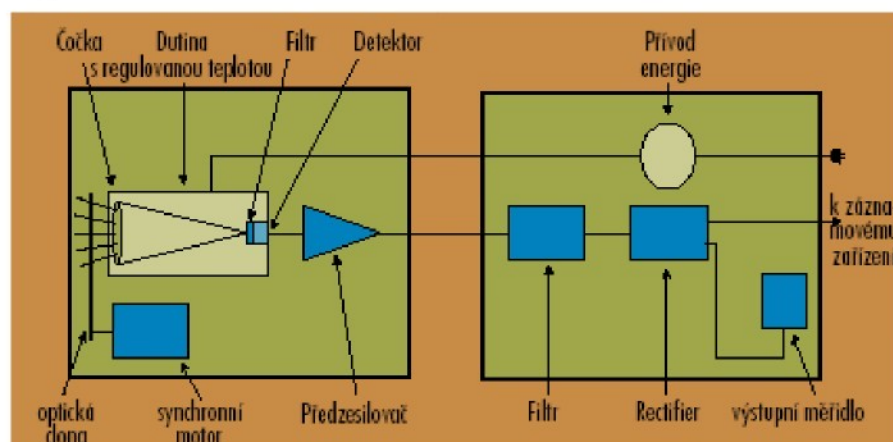
Obr.25 Nedokonalé těsnění popouštěcí pece

3.3 Popis měření s infračervenými radiačními termometry

Pokud to velmi zjednodušíme, můžeme říci, že se radiační termometr skládá z optické soustavy a z detektoru. Zkoumaný objekt vyzařuje energii, kterou optický systém soustřeďuje do detektoru, který je citlivý na radiaci. Výstupní hodnota z detektoru je proporcionální k množství energie vyzařované zkoumaným objektem (minus množství energie, která se absorbuje v optickém systému) a k citlivosti detektoru na danou vlnovou délku. Tato výstupní hodnota může být použita ke zjištění teploty objektu. Emitivita nebo emitance objektu je důležitou proměnnou ovlivňující konverzi výstupního signálu detektoru na přesnou hodnotu teploty.

Infračervené radiační termometry – pyrometry, měřící energii vyzařovanou objektem na vlnových délkách 0,7 až 20 μm představují podskupinu radiačních termometrů.

Tyto přístroje měří radiaci na dálku a na rozdíl od termočlánků a odporových teploměrů zde není třeba přímého kontaktu přístroje s měřeným objektem. Radiační teploměry jsou zvláště vhodné k měření teploty pohybujících se objektů nebo povrchů, které nejsou přístupné, nebo se jich nelze dotknout.



Obrázek 26 Tradiční infračervený teploměr

Výhody radiačních teploměrů jsou za cenu použití drahých přístrojů. Dokonce i ty nejjednodušší přístroje jsou dražší než standardní termočlánky nebo odporové teploměry a investiční náklady přesahují náklady u standardních teploměrů. Přístroje vyžadují pravidelnou údržbu, která zajišťuje průhlednost prostředí při měřeném objektem a teploměrem a čistotu optických součástí. Radiační teploměry užívané při složitějších aplikacích mohou mít složitou optiku rotující nebo pohyblivé součásti a mikroprocesorovou řídicí elektroniku.

Pro radiační teploměry neexistují všeobecně uznávané kalibrační křivky, jako je tomu u termočlánků a odporových teploměrů. Navíc může být uživatel, který chce získat požadovaný

výkon přístroje, nucen složitou cestou prověřovat využití teploměru, aby vybral optimální technologii, optimální způsob instalace a korekce potřebné k úpravě určeného signálu. / 9 /

3.3.1 Emitance, emisivita a faktor N

V předchozí kapitole byla emitance popsána jako důležitý parametr přesné konverze výstupního signálu detektoru radiačního signálu na hodnotu teploty objektu.

Pojmy emitance a emisivita jsou často zaměňovány, nicméně je mezi nimi technický rozdíl. Emisivita popisuje vlastnosti materiálu. Emisivita je poměr energií vyzářených reálným povrchem a absolutně černým tělesem. Emitance popisuje vlastnosti daného objektu. V tomto smyslu je emisivita pouze jedním faktorem určujícím emitanci. Musí se vzít v úvahu také další faktory, jako je tvar objektu, jeho oxidace a povrchová úprava. Emitance materiálu také závisí na teplotě, při které je měřena a na vlnové délce, na které se provádí měření. Stav povrchu ovlivňuje hodnotu emitance objektu s nižšími hodnotami pro leštěné povrchy a vyššími hodnotami pro hrubé nebo matné povrchy. Navíc s postupující oxidací se zvyšuje emitance a klesá vliv povrchové úpravy objektu.

Základní rovnice používaná k popisu výstupu radiačního teploměru je:

(uvedený vzorec je pro výpočet ve °F)

$$V(T) = \varepsilon K T^N \quad (14)$$

Kde:

$V(T)$ = výstup teploměru

závislý

na teplotě

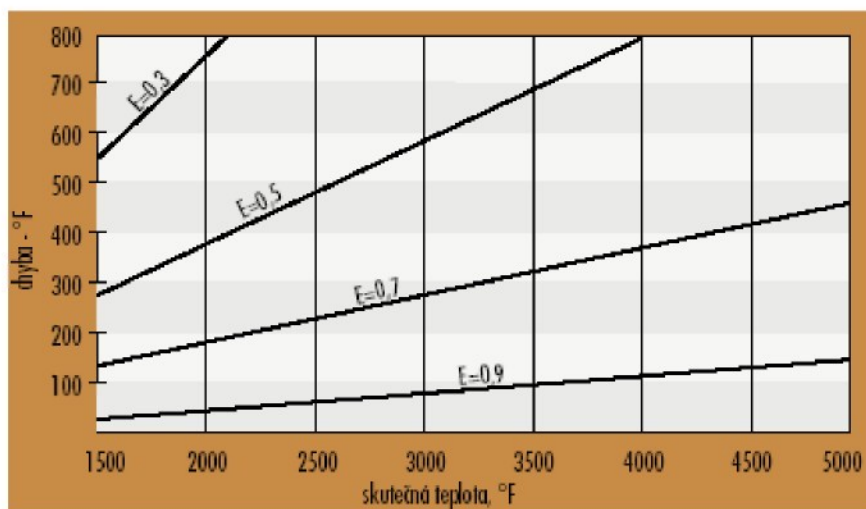
ε = emisivita

K = konstanta

T = teplota objektu

N = faktor $N (=14388/(\lambda T))$

λ = ekvivalentní vlnová délka



Obr.27

Vliv emisivity reálného tělesa na chybu infračerveného teploměru

Radiační teploměr s vysokou hodnotou faktoru N (nejkratší možná ekvivalentní vlnová délka) je nejméně závislá na změnách emitance měřeného objektu. Výhodou přístroje s vysokou hodnotou faktoru N je to, že potlačuje vliv všech dalších parametrů, které ovlivňují výstup V .

Pokud je hodnota N vysoká, pak mají nečistoty v optickém systému, absorpce energie v optickém systému nebo plyny v prostředí na výslednou teplotu menší vliv. Téměř u všech materiálů jsou hodnoty emisivity známy a jsou publikovány.

V příručce Omega je uveden pro výpočet teploty objektu Stefan-Boltzmannův zákon

$$I = \varepsilon \sigma (T^4 - T_a^4) \quad (15)$$

I = tepelná energie, W/m^2

ε = emisivita

$\sigma = 5,6703 \cdot 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$ (Stefan-Boltzmannova konstanta)

T = teplota objektu v Kelvinech

T_a = teplota okolí v Kelvinech

Wienův substituční zákon popisuje matematickou závislost mezi teplotou absolutně černého tělesa a vlnové délky záření s největší intenzitou.

$$\lambda_m = \frac{2,898}{T} \quad (16)$$

λ_m = vlnová délka v mikrometrech

T = teplota v Kelvinech

Nejdůležitějším parametrem ovlivňující měření je emisivita. Emisivity zjištěné v laboratorních podmínkách zřídka souhlasí s aktuálními hodnotami emitance objektů v reálných podmínkách. Z tohoto důvodu jsou data emisivity pravděpodobně správná, pokud jsou hodnoty vysoké. Podle zkušeností většina neprůhledných nekovových materiálů má vysokou stabilní emisivitu (0,85 až 0,90). Většina neoxidovaných kovových materiálů má nízkou až střední hodnotu emisivity (0,2 až 0,5). Zlato, stříbro a hliník tvoří výjimku s hodnotami emisivity v rozmezí 0,02 až 0,04.

Jedním způsobem experimentálního stanovení emisivity je srovnání výsledků měření teploty objektu radiačním teploměrem se současným měřením pomocí termočlánku nebo odporového teploměru. Hodnoty emisivity mohou být experimentálně upraveny položením černé maskovací pásky na zkoumaný povrch tělesa.

S použitím radiačního termometru nastaveného na hodnotu emisivity 0,95 se změří teplota povrchu pásky. Potom se změří teplota povrchu měřeného tělesa. U mnoha přístrojů je nyní možno kalibraci emisivity nastavovat. Kalibrace může být nastavena podle hodnoty emisivity odečtené z tabulek, nebo zjištěné experimentálně. Krátké vlnové délky kolem $0,7 \mu m$ jsou efektivní, protože přírůstek signálu je v této oblasti vysoký. Vyšší nárůst vyzařované energie potlačuje vliv

absorpce parou, prachem nebo vodní parou nacházející se v prostředí. Například nastavení na toto pásmo vlnových délek způsobí, že senzor načítá s přesností ± 5 až ± 10 °K, pokud je emisivita materiálu 0,9 ($\pm 0,05$). To znamená přesnost měření 1-2 %.

Typy radiačních teploměrů

V počátku historického vývoje se radiační teploměr skládal:

1. z optické soustavy, která soustřeďovala energii vyzařovanou tělesem
2. z detektoru, který přeměňoval tuto energii na elektrický signál
3. z korekční soustavy, která upravovala kalibraci teploměru podle specifické emitivity měřeného objektu,
4. z teplotního kompenzačního obvodu, který zajišťoval, že kolísání teploty uvnitř teploměru způsobené okolními podmínkami neovlivnilo přesnost měření

Na této koncepci jsou založeny i dnešní moderní radiační teploměry, složitější technologie však rozšiřuje možnosti jejich použití. Například výrazně stoupl počet dostupných detektorů a díky možnosti selektivní filtrace mohou tyto detektory být efektivněji využity pro specifické účely, což zlepšuje kvalitu měření. Mikroprocesorová elektronika může využívat složité algoritmy, které dávají možnost linearizace v reálném čase a kompenzaci výstupu detektorů k zajištění větší přesnosti měřené teploty. Mikroprocesory mohou zobrazovat okamžité hodnoty mnoha proměnných (jako je např. okamžitá teplota, minimální naměřená teplota, maximální naměřená teplota, průměrná teplota nebo teplotní rozdíly) na integrovaném LCD displeji.

Následuje praktické rozdělení radiačních teploměrů:

Širokopásmové radiační pyrometry

Úzkopásmové radiační pyrometry

Poměrové radiační pyrometry

Optické pyrometry

Radiační pyrometry založené na vláknové optice

Tato klasifikace není neměnná. Například optické pyrometry se mohou považovat za podskupinu úzkopásmových zařízení. Radiační teploměry založené na vláknové optice, které budou podrobně rozebrány v dalším textu, se mohou zařadit mezi širokopásmové, úzkopásmové nebo poměrové přístroje. Taktéž infračervené radiační teploměry mohou být podskupinou mnohých z výše uvedených tříd. /9,11/

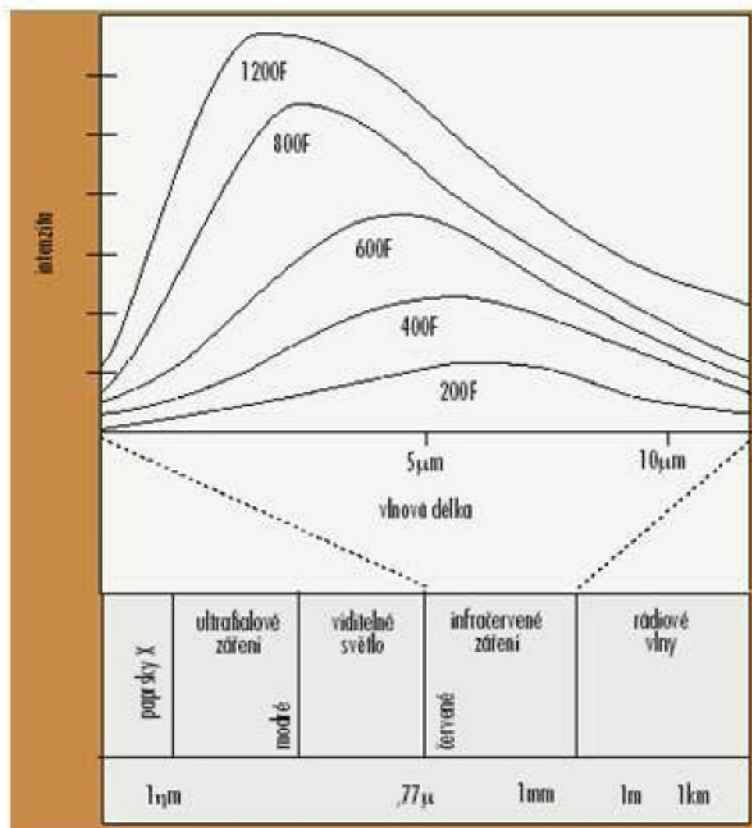
3.3.2 Širokopásmové teploměry

Širokopásmové teploměry jsou nejjednodušší, nejlevnější a mohou pracovat s vlnovými délkami od 0,3 μm až do 2,5 – 20 μm . Horní a dolní mez širokopásmového teploměru je určena použitým optickým systémem. širokopásmové se nazývají proto, že měří podstatnou část tepelného záření vyzařovaného objektem v běžném teplotním rozmezí. Širokopásmové teploměry jsou závislé na celkové emitanci měřeného povrchu. Na obrázku 28 je zobrazena chyba měření pro různé emisivity a teploty, pokud je širokopásmový teploměr nakalibrován pro absolutně černé těleso. Regulátor pro nastavení kalibrace dovoluje uživateli kompenzovat tyto chyby, dokud se emitance nezmění. Prostředí mezi měřicím přístrojem a objektem musí být průhledné. Pokud je v atmosféře přítomna vodní pára, prach, kouř nebo jsou zde plyny pohlcující záření, pak tyto látky mohou pohlcovat záření z měřeného objektu a způsobit, že teploměr dává nižší hodnotu teploty. Optický systém se musí udržovat v čistotě a okénko přístroje se musí chránit proti agresivním látkám v prostředí.

Standardní teplotní pásmo leží mezi 0 - 1000°C (32-1832°F) a 500 - 900°C (932-1652°F).
Typická přesnost je 1/2 – 1 % rozsahu. /9,11/

3.3.3 Úzkopásmové teploměry

Jak říká název, úzkopásmové radiační teploměry pracují s úzkým pásmem vlnových délek. Úzkopásmové přístroje mohou být také označeny jako monochromatické teploměry – pyrometry (viz optické pyrometry). V přístroji je použitý pro vlnovou délku specifický detektor, který určuje spektrální citlivost přístroje. Například teploměr, který používá křemíkový detektor bude mít vrchol citlivosti přibližně mezi 0,9 μm s horní mezí použitelnosti asi 1,1 μm . Takový přístroj se hodí na měření teplot nad 600°C (1102°F). Úzkopásmové teploměry obvykle používají pásmo menší než 1 μm . Úzkopásmové teploměry používají filtry, aby omezily svoji odezvu jen na vybranou vlnovou délku. Pravděpodobně největším pokrokem v radiační termometrii bylo zavedení selektivních filtrů vstupujícího záření, které dovolují přístroji, aby co nejvíce vyhovoval dané aplikaci a tak dosáhl vyšší přesnosti měření. Umožnila to dostupnost citlivějších detektorů a pokrok v oblasti zesilovačů signálů.



Obr.28 Radiace absolutně černého tělesa v infračervené oblasti

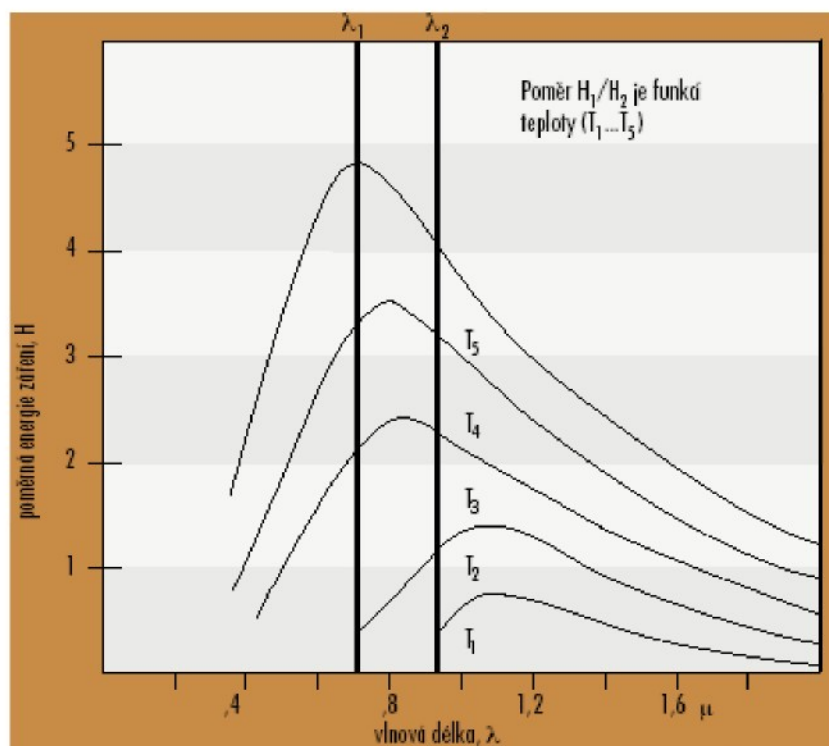
Mezi známé příklady selektivní spektrální odezvy patří tato omezení používaných vlnových délek:

- 8-14 μm k vyloučení interference s atmosférickou vlhkostí při dlouhé dráze paprsků;
- 7,9 μm se používá pro měření teploty některých tenkých plastových folií;
- 5 μm se používá pro měření teploty některých skleněných povrchů;
- 3,86 μm omezuje interferenci s kyslíčným uhlíkem a vodní parou v plameni a v kouřových plynech. Výběr kratší nebo delší vlnové délky je také určován rozmezím měřených teplot.

Jak ukazuje obrázek 29, posouvají se vrcholy křivek intenzity záření při zvyšující se teplotě ke kratším vlnovým délkám. V aplikacích, které nevyžadují tyto úvahy se vždy může využít výchozí úzké spektrální odezvy okolo 0,7 μm . I když emisivita se na nižších vlnových délkách tolik nemění, pro snížení energie záření se sníží citlivost teploměru.

Úzkopásmové teploměry pro krátké vlnové délky se používají k měření vysokých teplot nad 500°C (932°F), protože při těchto teplotách se zvyšuje množství energie na krátkých vlnových délkách.

Dlouhé vlnové délky se používají pro nízké teploty od $-45,5^{\circ}\text{C}$ (-50°F). Úzkopásmové teploměry mohou mít různou podobu, od jednoduchých ručních přístrojů přes propracované přenosné přístroje se současným zobrazováním měřeného objektu a jeho teploty, s možnostmi ukládání do paměti a možností tisku, až k pevně montovaným senzorům se vzdálenou řídicí elektronikou s PID - regulátory. U jednotlivých výrobců se liší standardní teplotní rozmezí, uvádíme některé příklady: $-37,78$ až 600°C , (-36 až 1112°F), 0 až 1000°C (32 až 1832°F), 600 až 3000°C (1112 až 5432°F), 500 až 2000°C (932 až 3632°F). Typická přesnost je $0,25\%$ až 2% stupnice. /9,11/

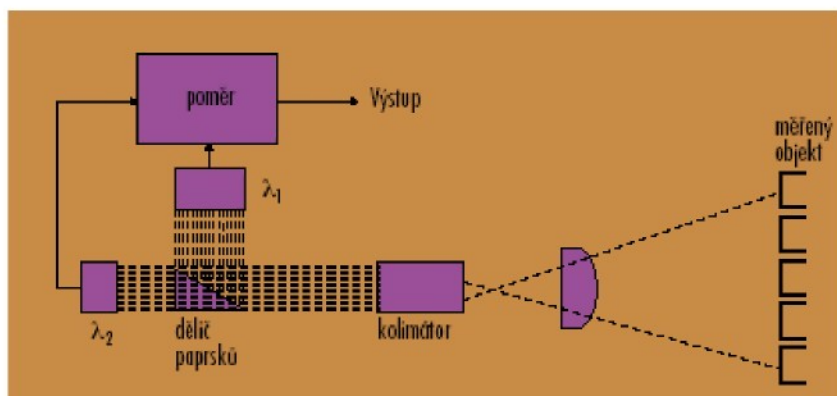


Obr.29 Dvoubarevný infračervený teploměr

3.3.4 Poměrové radiační teploměry

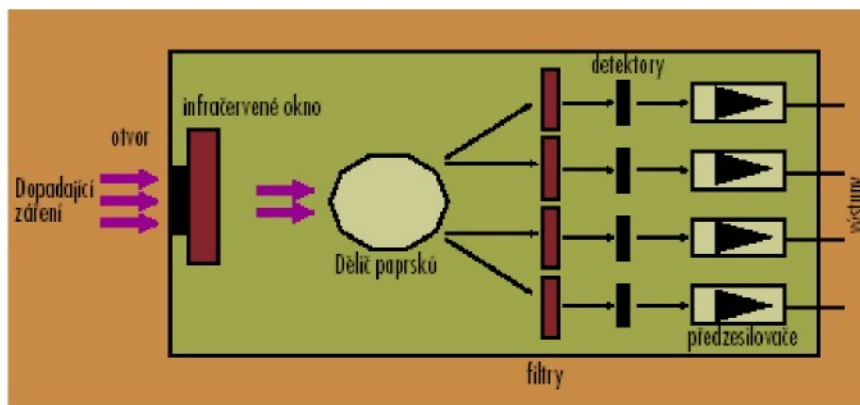
Tyto přístroje, které se také nazývají dvoubarevné radiační teploměry, měří energii vyzařovanou objektem na dvou úzkých pásmech vlnových délek a vypočítávají poměr těchto energií, který je funkcí teploty objektu. Původně se nazývaly dvoubarevné pyrometry, protože uvedené dvě vlnové délky odpovídaly dvěma různým barvám ve viditelném spektru (např. červená a zelená). Mnoho lidí dodnes používá pojem dvoubarevný pyrometr a tím tento pojem rozšiřují, protože zahrnují i infračervenou oblast. Jak ukazuje obr. 29, měřená teplota závisí jen na poměru dvou měřených energií, a nikoliv na jejich absolutních hodnotách.

Žádný parametr, který ovlivní obě pásma stejně, jako je např. velikost měřeného objektu, nebude mít vliv na výsledek měření teploty. To činí poměrový teploměr z principu přesnější než jiné teploměry. Poměrový teploměr může eliminovat chyby v měření teploty způsobené vlivem změn emisivity, povrchovou úpravou, a chyby, způsobené absorpcí záření např. vodní parou nebo jinými materiály, které se vyskytují mezi teploměrem a měřeným objektem. Tyto dynamické změny musí ovlivňovat detekci stejným způsobem na obou použitých vlnových délkách. Emisivita všech reálných materiálů se nemění na všech vlnových délkách stejně. Materiály, pro které platí, že se emisivita mění stejně na všech vlnových délkách se nazývají šedá tělesa. Materiály, pro které toto neplatí se nazývají tělesa ne-šedá.



Obr.30 Dělení paprsků v poměrovém radičním teploměru

Navíc ne všechny typy zneprůhlednění prostoru mezi měřeným tělesem a teploměrem ovlivňují různé vlnové délky stejně. Například pokud se v tomto prostoru vyskytují částice, jejichž velikost je shodná s některou z použitých vlnových délek, stává se poměr nevyvážený. Vliv jevů, které jsou ze své podstaty neproměnlivé, jako například ne-šedost materiálu, může být eliminován korekcí naměřeného poměru podle vlnových délek. Tato úprava se nazývá strmost. Vhodné nastavení strmosti se musí určit experimentálně. Obr.30 ukazuje schéma jednoduchého poměrového radičního teploměru.



Obr.31 Schéma „mnohobarevného „ infračerveného teploměru

Některé poměrové teploměry používají více než dvě vlnové délky. Poměrový teploměr s více vlnovými délkami je schematicky znázorněn na obrázku 31. Tyto přístroje detailně analyzují emisivitu povrchu měřeného objektu v závislosti na vlnové délce, teplotě a chemickém složení povrchu. S těmito daty může počítač využít složité algoritmy ke zjištění závislostí a kompenzaci změn emisivity v různých podmínkách. Systém zobrazený na obrázku 31 provádí paralelní měření ve čtyřech spektrálních kanálech v rozsahu od 1 do 25 μm .

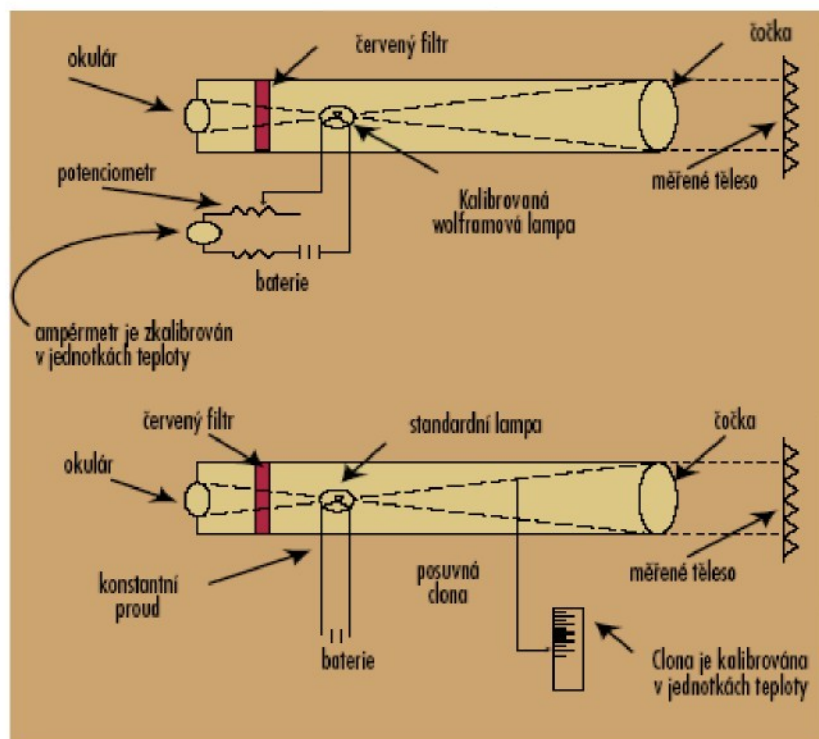
Detektor tohoto přístroje se skládá z optického systému s rozdělovačem paprsků a z interferenčních filtrů pro spektrální rozklad dopadajícího záření. Tento nechlazený teploměr byl vyvinut pro analýzu plynů. Jiný experimentální systém, který využívá sedmi vlnových délek při měření zdroje typu absolutně černého tělesa, dosáhl rozlišení $\pm 1^\circ\text{C}$ v rozmezí 600 až 900°C. Stejný systém dosáhl rozlišení $\pm 4^\circ\text{C}$ při měření objektu s proměnlivou emitancí v teplotním rozmezí 500 až 950°C.



Obr.32 konfigurace průmyslové infračervené sondy

Dvoubarevné nebo mnohobarevné teploměry by měly mít své využití v těch aplikacích, kde je důležitá nejenom opakovatelnost, ale i přesnost měření a nebo tam, kde měřený objekt podstupuje fyzikální nebo chemické změny. Optické pyrometry měří radiaci v úzkém pásmu vlnových délek tepelného záření.

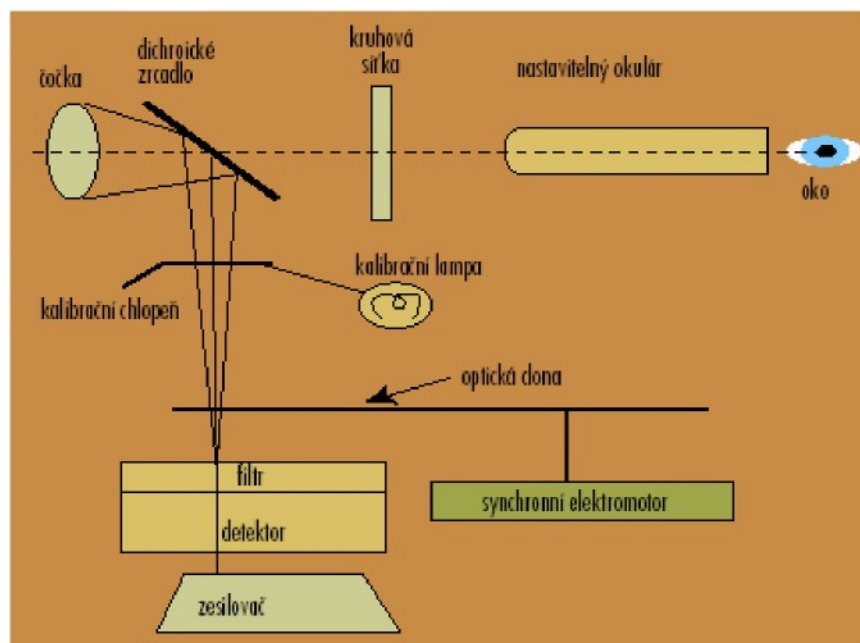
Nejstarší přístroje používaly principu měření optického jasu na viditelných vlnových délkách kolem 0,65 μm (červená). Tyto přístroje se také nazývají jednobarevné pyrometry. Optické pyrometry jsou nyní dostupné pro měření energie na vlnových délkách přesahujících až do oblasti infračervené. Pojem jednobarevný pyrometr byl rozšířen některými autory tak, že zahrnuje jakýkoliv úzkopásmový radiační teploměr. Některé optické přístroje se ovládají ručně, tak jak je ukázáno na obrázku 33. Uživatel nasměruje pyrometr na měřený objekt. Ve stejný okamžik vidí vnitřní žhavené vlákno přístroje v okuláru přístroje. Uživatel mění velikost příkonu, který žhavi vlákno, a tím mění barvu vlákna až odpovídá barvě měřeného objektu.



Obr. 34 Optická pyrometrie pomocí vizuálního srovnání

Teplota měřeného objektu se odvozuje od příkonu elektrické energie žhavicí vlákno. V jiném uspořádání se udržuje konstantní žhavicí proud vlákna a mění se jas měřeného objektu za pomoci otočné optické clony, která absorbuje energii. Teplota objektu se odvozuje od množství energie, které je absorbováno clonou, což je funkcí jejího nastavení. Dostupné jsou i automatické optické pyrometry, které jsou citlivé pro měření v infračerveném pásmu. Tyto přístroje používají místo lidského oka elektrický radiční detektor. Tento přístroj pracuje na principu srovnání energie záření vyzařované objektem s energií vyzařovanou vnitřním referenčním zdrojem. Výstupní hodnota přístroje je úměrná rozdílu ve vyzařování mezi měřeným objektem a referenčním zdrojem. Vrtulka poháněná motorkem se používá k tomu, aby byl detektor ozařován střídavě paprsky z měřeného objektu a paprsky z referenčního zdroje. U některých modelů se používá k zaostření lidské oko. Na obr. 34 je schematicky znázorněn pyrometr s dichromatickým zrcadlem. Záření prochází čočkou na zrcadlo, které odráží infračervené záření do detektoru, ale viditelnému světlu dovoluje projít do okuláru.

Kalibrační chlopeň je ovládána cívkou ze zesilovače a po aktivaci přeruší záření přicházející skrze čočku a uplatňuje se v případech, kdy je obtížné nebo nemožné zajistit přímý výhled na měřený objekt jako je tomu např. v tlakové komoře. /9, 11/

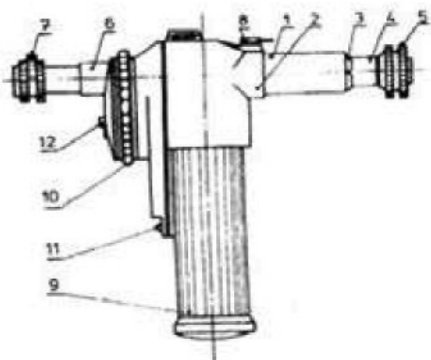


Obr.34 Optický pyrometr

3.3.5 Radiační pyrometr s vláknovou optikou

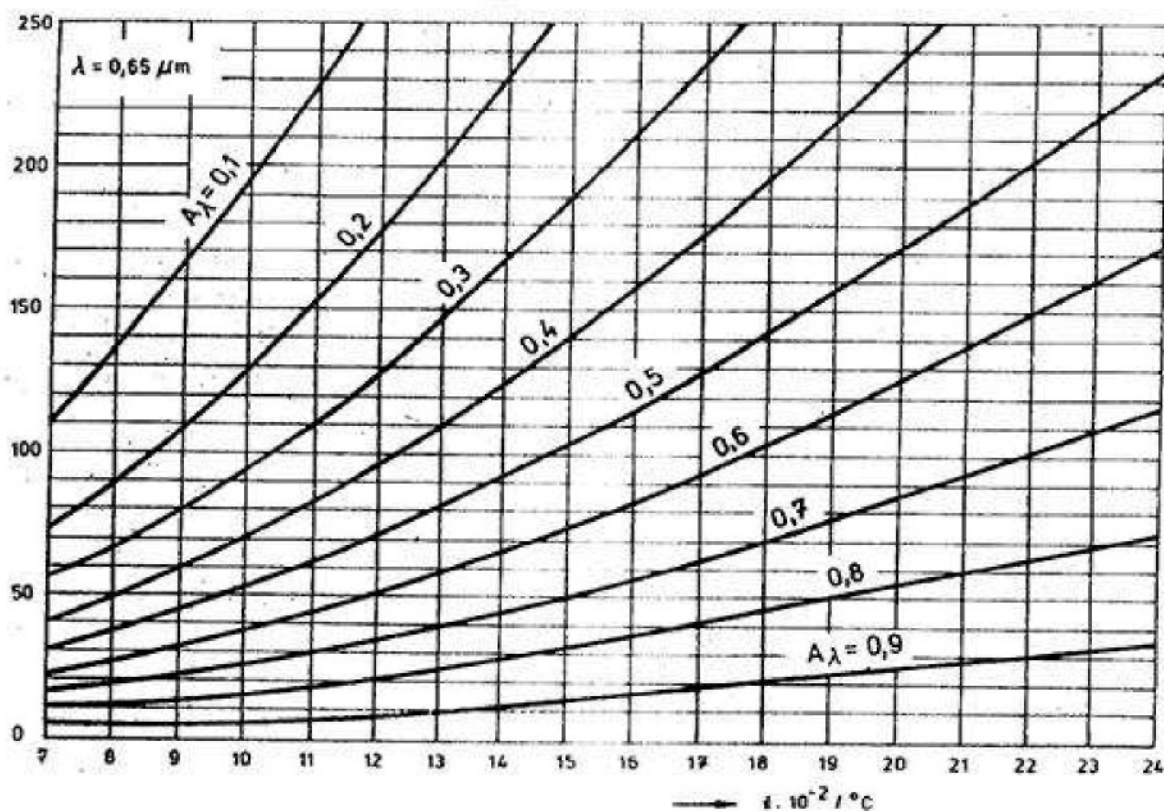
Pyrometry s vláknovou optikou je používán nejčastěji pro měření vysokých teplot nad 600°C. Využívá výchylkové měřicí metody. Spojná čočka (nebo duté zrcadlo) zachycuje záření z určité oblasti žhavého tělesa a soustřeďuje je na začerněný terčík s termočlánkem (nebo jiným teplotním čidlem), umístěným v ohnisku. Dopadající záření se mění na teplo a zvyšuje teplotu terčíku až se dosáhne ustálený stav, charakterizovaný určitou teplotou terčíku. Termoelektrické napětí E /mV/ článku je pak úměrné čtvrté mocnině teploty žhavého tělesa T /K/. Statická charakteristika radiačního pyrometru bude přímka v logaritmických souřadnicích.

Přístroj Pyromet I provádí měření teploty při vlnové délce 0,65mm. Metoda je založena na tom, že v optickém systému se srovnává zář měřeného tělesa se zářím vlákna pyrometrické žárovky.

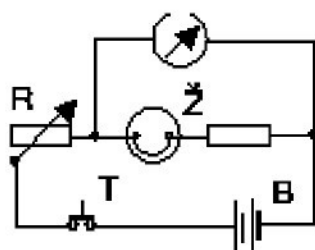


Obr. 35 Optický pyrometr

Optický pyrometr je dalekohled s výsuvným objektivem 4, jímž se vytváří obraz měřeného tělesa v rovině vlákna žárovky, a výsuvným okulárem, zaostřujícím vlákno žárovky. Okulár obsahuje červený filtr 7, který vymezuje vlnovou délku záření. Zařazuje se při teplotách nad 900°C. Pro zvýšení měřicího rozsahu se zařadí mezi objektiv a žárovku šedý filtr páčkou 8.



Graf. 2 Graf závislosti vlnové délky, emisivity,teploty



Obr.36 Elektrické schéma optického pyrometru



Obr.37 Seřízení optického pyrometru

Elektrická část (Obr.36) se skládá z pyrometrické žárovky Ž, žhavené proudem 3V baterie přes otočný reostat R a tlačítko T. Paralelně k žárovce je připojen magnetoelektrický měřicí přístroj s teplotní stupnicí. Účelem manipulace s přístrojem je nastavit odpor R tak, aby se konec smyčky vlákna žárovky svou září ztrácel v záři měřeného tělesa (Obr.37). Vlevo má vlákno žárovky nižší teplotu, vpravo vyšší a uprostřed správnou teplotu. Pyromet I má rozsahy 700°C až 1 500°C s chybou $\pm 22^\circ\text{C}$ a 1 200°C až 2 300°C s chybou $\pm 35^\circ\text{C}$. Při měření do 900°C bez záření červeného filtru vzniká doplňková chyba na nemonochromaticnost, která může být maximálně $\pm 20^\circ\text{C}$.

Stupnice pyrometru je pro záření dokonale černého tělesa, které má emisivitu $A_1 = 1$. Reálná tělesa vyzařují méně energie, a proto bude jejich naměřená teplota vždy nižší než skutečná. Proto je nutno použít korekční tabulky a grafu pro výpočet korekce. V tabulkách jsou uvedeny emisivity A_1 pro některé látky.

Pro danou emisivitu A_1 a pro naměřenou hodnotu se z grafu na graf.2 nalezne korekce. Korekce se připočte k naměřené teplotě (hrubému výsledku měření) a získaná hodnota je upravený výsledek měření.

I přes korekce může docházet u pyrometrů k chybám, způsobeným absorpcí záření v prostředí. Sklo, dým a kouř, ale také CO_2 a páry H_2O absorbují tepelné záření. Naměřený údaj bude proto nižší. Tento přístroj se používal v dřívějších dobách. /3/

3.3.6 Design a konstrukce

Výrobci radiačních teploměrů vybírají detektor a optické prvky tak, aby dosáhli optimálního kompromisu mezi protichůdnými parametry jako je cena, přesnost, rychlost měření a rozmezí měřitelných teplot. Uživatel by si měl být vědom toho, jak různé detektory a optické prvky ovlivňují rozsah vlnových délek, na kterých teploměr měří. Spektrální odezva pyrometru určuje, zdali je měření použitelné vzhledem k atmosférické absorpci, odrazům od jiných objektů a také vzhledem k obtížím, které provázejí měření teploty takových materiálů, jako je sklo a plastické hmoty. /9/

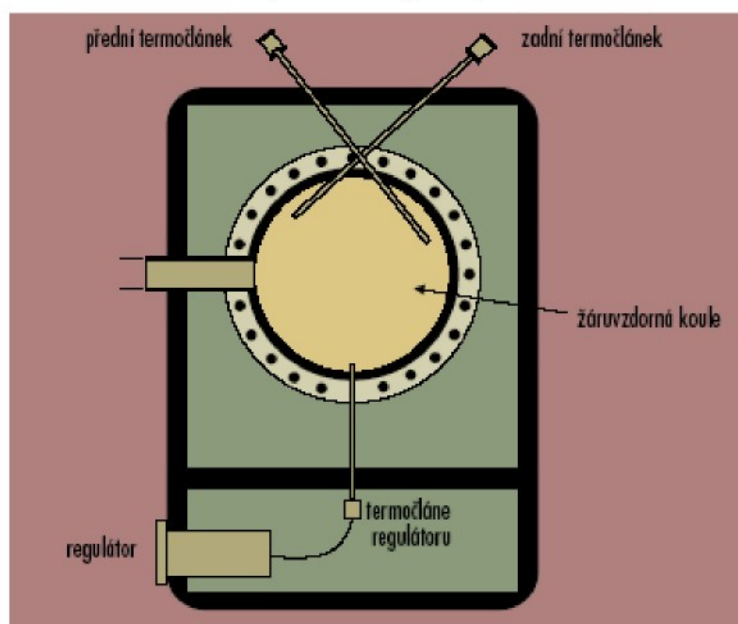
3.4 Kalibrace infračervených teploměrů

Protože se v konstrukci radiačních teploměrů používají různé materiály, musí se nové přístroje individuálně kalibrovat, dokonce aby se dosáhlo i jen malé úrovně přesnosti. Iniciální kalibraci obvykle provádí výrobce. Pokud je potřeba provádět jiná, než zcela orientační měření, jsou nutné pravidelné recalibrace - až již uživatelem nebo externí laboratoří nebo původním výrobcem. Trvalá přesnost bezdotykového teploměru závisí na způsobu recalibrace, četnosti recalibrací a na rychlosti posunu celého systému. Zajištění absolutní přesnosti bezdotykových teploměrů je složitější než u kontaktních zařízení, jako jsou termočlánky a odporové teploměry.



Obr.38 Kalibrační zdroj, který pracuje jako vaříč využívá vysoké emisivity speciálního povrchu sloužící k získání potřebné reference.

Obtížné je již zajištění přesnosti měření do 1 %. To má částečně původ v obtížnosti reálných těles. Avšak opakovatelnost a reprodukovatelnost je snadněji dosažitelná, takže neplatíme zbytečně více, pokud se požaduje zejména konzistence měření. Pokud je důležitá zejména absolutní přesnost, potom je potřeba vést v patrnosti standardy, jako např. standard vydaný Národním úřadem pro standardy a technologie (NIST). Kompatibilita primárních a sekundárních norem je zásadní pro vyhovění standardům kvality, jako je např. ISO 9000.



Obr.39 Sférická dutina imitující černé těleso

Obecně existují tři metody, jak kalibrovat průmyslové radiační teploměry teplem. První metodou je použití komerčního simulátoru absolutně černého tělesa, což je izotermicky zahřátá dutina s relativně malým otvorem, kterým je zaměřen radiační teploměr (obr. 39). Při tomto uspořádání se vlastnosti simulátoru blíží vlastnostem absolutně černého tělesa. Jako teplotní reference se používá standardní termočlánek nebo odporový teploměr uvnitř dutiny. Při vyšších teplotách se jako reference používají kalibrované wolframové lampy. Poslední možností je použití referenčního pyrometru, o němž se ví, že je přesně zkalibrován. Podle něj se seřizuje výstup kalibrovaného přístroje, až jsou výstupy obou shodné. Aby bylo možné kontrolovat kalibrační výstup, je nutné, aby zdroj záření zcela vyplnil zorné pole přístroje. Pokud zorné pole není celé vyplněno, teploměr načte nižší hodnotu. V některých přístrojích může být kalibrace proti absolutně černému tělesu vnitřní, používá se optický přepínač, který střídavě vystavuje detektor záření z absolutně černého tělesa a měřeného povrchu. Tento způsob umožňuje kontinuální rekaliibraci a pomáhá eliminovat chyby způsobené posunem.



Obr.40 Kalibrace ručního infračerveného teploměru

Dutina jako absolutně černé těleso

Protože kalibrace bezdotykového teplotního čidla vyžaduje zdroj záření absolutně černého tělesa s přesnou regulací a měřením teploty zdroje, je vnitřní povrch zahřáté dutiny vhodnou formou. Jeho záření je v podstatě nezávislé na materiálu a stavu.

Aby dutina jako absolutně černé těleso pracovala správně, musí být izotermická. Její emisivita musí být známá, nebo dostatečně blízká jedné a standardní referenční termočlánek musí mít stejnou teplotu, jako dutina. Kalibrační reference na principu absolutně černého tělesa je v zásadě složena z vyhřívané dutiny s malým otvorem, kterým lze vidět vnitřní povrch (obr. 39). V zásadě platí, že s rostoucí relativní velikostí dutiny ve srovnání s otvorem se emisivita blíží

stále více jedné (obr. 41). Ačkoliv je tvar dutiny nejčastěji kulový, pečlivě navržené válcové nebo klínovité dutiny mohou také dosáhnout jednotkové emisivity.

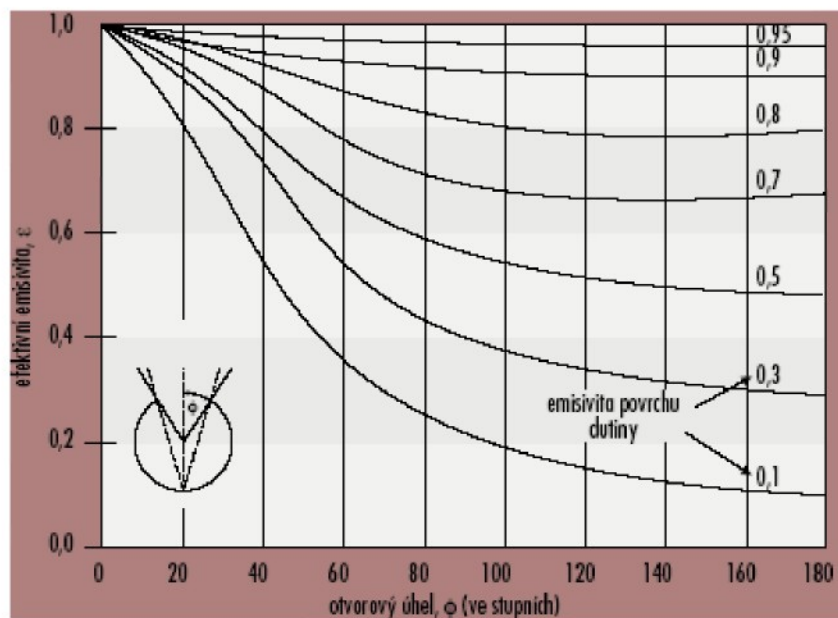
K dosažení izotermického prostředí obklopujícího dutinu se používají obvykle následující materiály:

lázeň s promíchávanou vodou pro teploty 30-100°C (86-212°F)

hliníkové jádro pro teploty 50-400°C (122-752°F)

ocelové jádro pro teploty 350-1000°C (662-1832°F)

Dutiny simulující absolutně černé těleso mají své výhody i nevýhody. Některé přenosné, bateriemi napájené přístroje se mohou používat i pro nízké teploty (méně než 100°C), ale většinou se jedná o poněkud těžké a drahé přístroje.

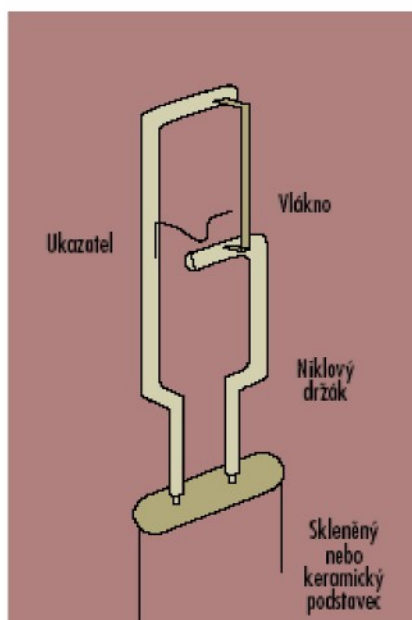


Obr. 41 Efektní emisivity sférických dutin

Také dlouho trvá, než dosáhnou tepelné rovnováhy (30 minut a více), což významně zpomaluje proces kalibrace, zejména, pokud se má provést řada měření. / 9,11/

3.5 Žárovky s wolframovým vláknem

Vedle dutin simulujících absolutně černá tělesa se mohou použít také wolframové páskové lampy, nebo proužkové lampy (obr. 42). Wolframové páskové lampy jsou zdroje vysoce reprodukovatelného záření a mohou být přesně kalibrovány na teploty v rozmezí 800-2300°C. Dávají možnost okamžitého a přesného nastavení a mohou pracovat na vyšších teplotách, než většina dutin. Avšak lampy musí být kalibrovány podle standartů simulujících absolutně černé těleso. / 9/



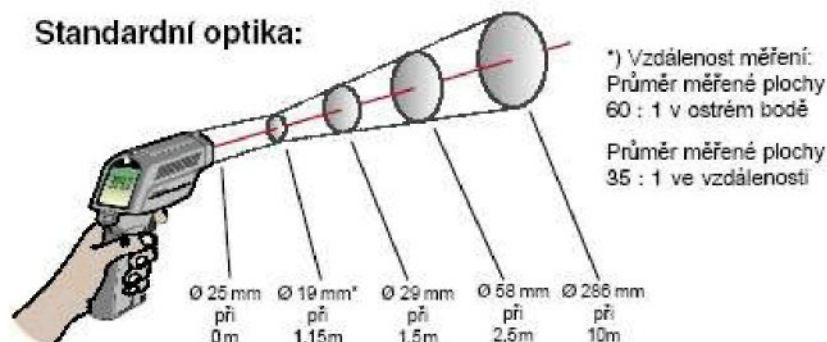
Obr. 42 Typické wolframové vlákno lampy

4. Přístroj Ahlborn

4.1 Seznámení s přístrojem

Měřicí velikost bodu je závislá na vzdálenosti mezi měřeným objektem a infračerveným termometrem. Poměr mezi vzdáleností a velikostí bodu je 60 : 1 při zaostření na bod.

Vzdálenost : velikost bodu (33ft /10 in) je 35 : 1.



Obr.43

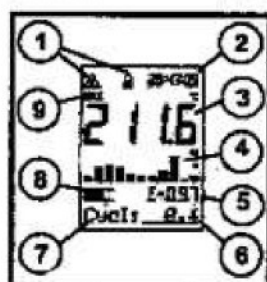
Side Function Buttons



- (K) Laser
- (L) Display
- (M) Data
- (N) Setup
- (O) Mode
- (P) Emiss.

Obr.44

Display



- (1) Laser condition / Lock symbol
- (2) Time (or date)
- (3) Main temperature display
- (4) Graphic display
- (5) Emissivity value
- (6) Status bar
- (7) Mode indicator
- (8) Battery life indicator
- (9) MAX, MIN, DIF, AVG symbols

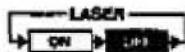
Obr.45

Using the Function Buttons

To use the different function key settings, pull the trigger to activate the display. Press the desired function button to cycle through the function loop (see diagrams below for each function loop). To exit press ENTER. The last EMISSIVITY and MODE value used will be effective for all other functions.

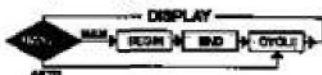
Laser

The Laser button switches between ON and OFF. Hold the trigger and press the LASER button to turn the laser on and off.



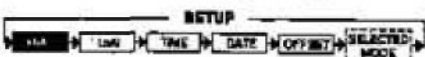
Display

Use the Up and Down keys to toggle between AUTO or MAN RANGE. Also, to set the BEGIN and END values (MAN RANGE), and CYCLE time (both ranges).



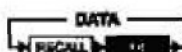
Setup

Press the SETUP button to activate the High Alarm, Low Alarm, Time, Date, and Offset. Exit with the ENTER key. Use the Up and Down keys and ENTER key as necessary to change the values.



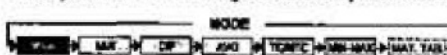
Data

Press DATA and use the Up and Down keys to select a storage location. Press ENTER. To store data, pull the trigger and release, then press ENTER.



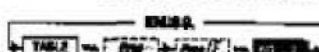
Mode

Push the MODE button to activate the Maximum, Minimum, Difference and Average temperatures. Also use the MODE button when you will be connecting a thermocouple or thermistor.



Emissivity

To adjust the emissivity value, press EMISS. Use the Up and Down keys to select "Free" ("Emiss" will have a flashing underline). Press EMISS again. "Free" is not underlined, and the emissivity icon flashes. Use the Up and Down keys to adjust. Press ENTER to activate this setting.



Stručný popis termometru Ahlborn

Informace zobrazované na displeji :

Stav laseru (1), čas (2), teplota (3), grafický displej (4), hodnota emisivity (5), stavový řádek teploty (6), indikátor Modu (7), indikátor baterie (8), MAX, MIN, DIF, AVG symboly.

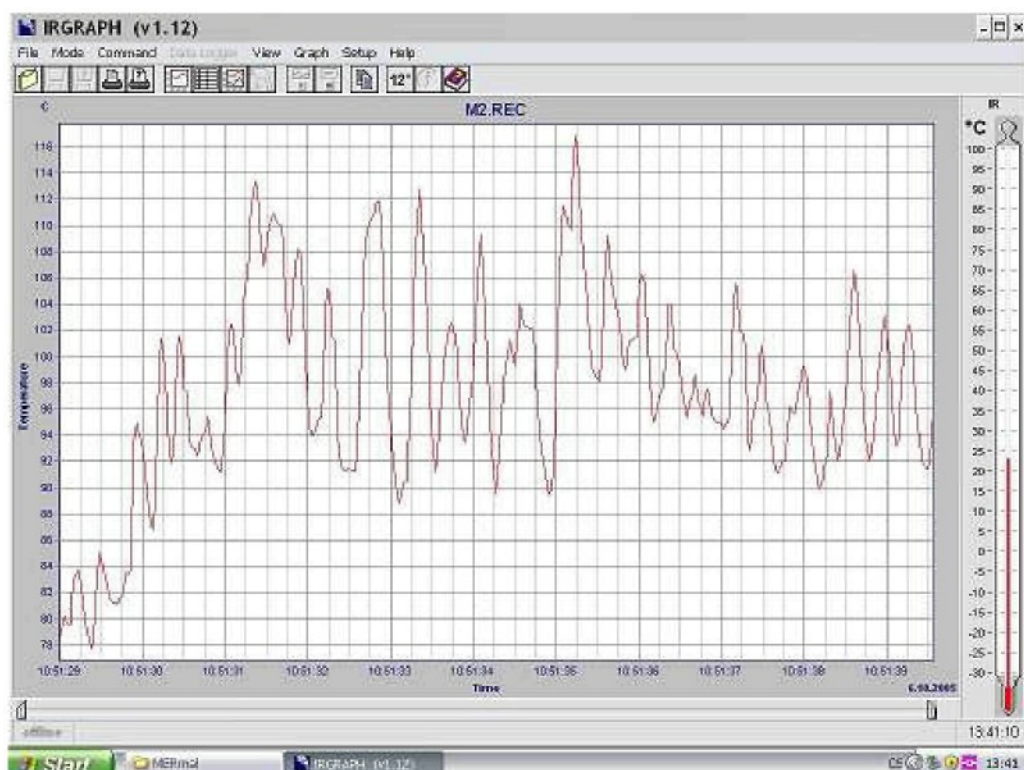
- vypínání, zapnutí laseru
- přepnutí mezi automatickým cyklem a začátkem a koncem hodnot oblasti
- stisknutím tlačítka nahoru ,dolu se zobrazují data
- aktivace maxima, minima, rozdílu, střední hodnota. Tlačítko Mode se používá ,když bude připojen termočlánek nebo termistor
- nastavení emisivity, stačením tlačítka nahoru nebo dolů

Na grafickém displeji jsou zobrazovány výsledky posledních deseti měření s automatickým nastavením rozsahu. Paměť je pro záznam měřených hodnot

Výstup na PC + Software

Program umožňuje záznam průběhu teploty, vyhodnocení maximální a minimální teploty.

/10,11/



Obr.46 Ukázka záznamu teploty

Oblast měření teploty	-30 do 900 °C (-25 do 1600 °F)
Rozlišení displeje	0,1 °C (0,2 °F)
Přesnost	$\pm 0,75\%$ nebo $\pm 0,75\text{ K}$ ($\pm 1,5\text{ °F}$) při vnější teplotě 25 °C (77 °F) přesnost $\pm 2\text{ K}$ ($\pm 4\text{ °F}$) pod -5 °C (23 °F) $\pm 2\text{ K}$ ($\pm 4\text{ °F}$)
optické rozlišení (standartní zaostření)	60 : 1
oblast spektra	8 do 14 μm

5. Experimentální měření

5.1 Chladnutí ocelového kvádru

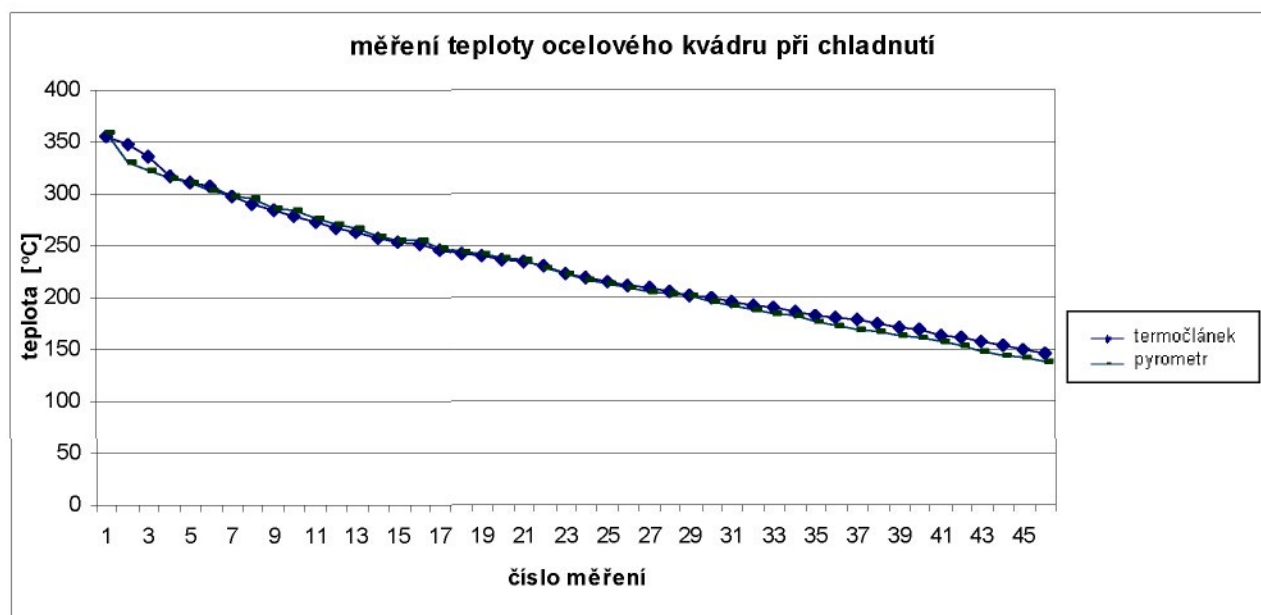
Měření byl podroben materiál z oceli ve tvaru kvádru ohřátý na teplotu 700 °C v odporové peci. Následně byl materiál vyjmut kleštěmi z pece a položen na nehořlavou desku. Teplota byla měřena termočlánkem a pyrometrem. Zkoumaný materiál měl po vyjmutí tmavě červenou barvu. Dotyk termočlánku byl realizován přiložením zátěže, která zároveň ochlazovala zkoumaný vzorek. V průběhu ochlazování vznikaly na povrchu zkoumaného kusu oceli vrstvy okují přičemž bylo nutné změnit emisivitu 0.7 původně určenou pro ocel. Při porovnání teploty naměřené pyrometrem s teplotou naměřenou termočlánkem byla nastavena nejbližší se přibližující emisivita 0.98.



Obr.47

měření 1		
Termočlánek [°C]	Pyrometr [°C]	emisivita
573	630	0,7
342	519	0,7
363	405	0,98
363	389	0,98
356	360	0,98
349	330	0,98
336	323	0,98
317	316	0,98
311	312	0,98
307	303	0,98
299	298	0,98
291	297	0,98
284	287	0,98
278	284	0,98
273	276	0,98
268	271	0,98
263	267	0,98
258	259	0,98
254	256	0,98
251	255	0,98
247	249	0,98
243	245	0,98
240	243	0,98
237	239	0,98
234	236	0,98
230	228	0,98
223	224	0,98
219	218	0,98
216	214	0,98
212	210	0,98
209	205	0,98
206	204	0,98
202	201	0,98
200	197	0,98
197	192	0,98
193	188	0,98
191	185	0,98
187	182	0,98
183	176	0,98
181	173	0,98
178	170	0,98
175	168	0,98
172	164	0,98
169	162	0,98
164	157	0,98
162	154	0,98
157	149	0,98
153	145	0,98
150	142	0,98
147	139	0,98

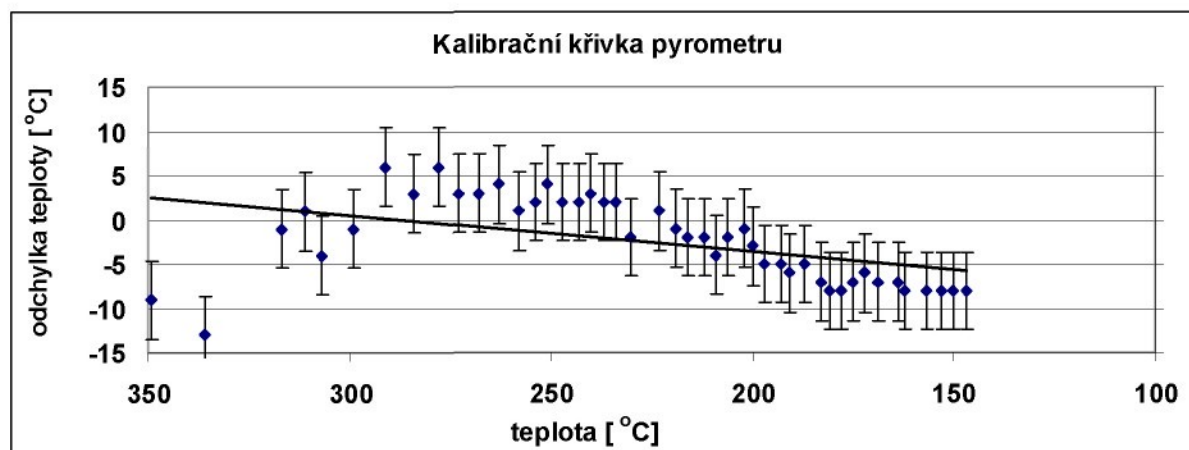
Tab.3



Graf 3

Graf ukazuje postupné chladnutí vzorku. Podle grafu zjišťujeme, naměřené hodnoty termočlánekem a pyrometrem se rozcházejí v rozsahu několika stupňů Celsia. Největší odchylka nastala na začátku měření, nejspíše vzniklá nerovnoměrným ochlazováním povrchu odlitku při přiložení zátěže.

Odchylky termočlánu typu Fe-Co jsou $\pm 2,2^{\circ}\text{C}$. Nepřesnost pyrometru je udávána $\pm 2^{\circ}\text{C}$ při teplotě okolí 25°C nebo 0,75 % z měřené hodnoty.



Graf 4

V grafu je zobrazena souhrnná odchylka termočlánu a pyrometru odpovídající $\pm 4,2^{\circ}\text{C}$.

5.3 Ochlazování odlitku z litiny

Na ochlazujícím odlitku byla měřena teplota pyrometrem a termočlánkem. Měření bylo prováděné na dvou místech ve středu a na okraji odlitku. Podle předpokladu termočlánek, umístěný na okraji odlitku šroubem s podložkou naměřil nižší hodnoty teplot než termočlánek umístěný uprostřed odlitku. Termočlánek v tabulce hodnot označovaný jako termočlánek 2 (bod 2) upevněný na broušeném povrchu po vytažení z odporové pece byl pokryt vrstvou okují.



Obr.48 Povrch odlitku

Střed odlitku: bod 1, termočlánek 1

Okraj odlitku: bod 2, termočlánek 2

termočlánek 1 [°C]	termočlánek 2 [°C]	pyrometr bod 1 [°C]	pyrometr bod 2 [°C]	emisivita
538	532	542	535	0,98
509	502	520	509	
491	485	517	507	
485	477	500	494	
472	466	489	485	
452	447	465	462	
438	434	452	447	
396	397	414	398	
384	382	398	387	
371	370	386	379	
350	355	370	366	
343	342	356	351	
332	332	341	339	
309	309	319	314	
294	294	304	298	
281	281	290	286	
271	271	279	276	
261	261	267	265	
250	250	256	255	
242	242	247	247	
235	235	240	239	
227	227	232	231	
221	221	225	224	
213	212	216	215	
205	204	207	206	
195	194	196	196	
188	186	189	189	
179	177	179	178	
171	169	170	170	
161	158	160	160	
152	150	151	151	
146	143	144	144	
136	134	134	134	
127	124	125	125	
117	114	114	114	
108	105	105	105	

Tab. 4

(emisivita 0,98 platí pro celý sloupec)

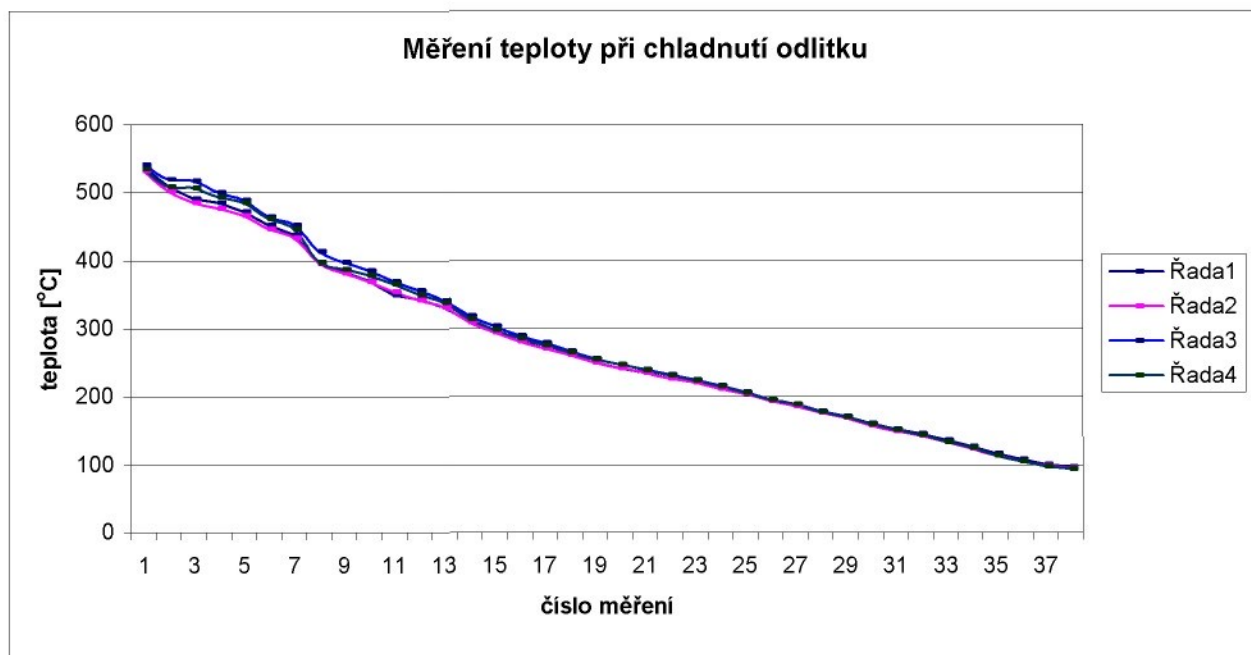


Obr.48 Připojení dvou termočlánků typu železo-konstantan (max.rozsah 0 – 700 °C)

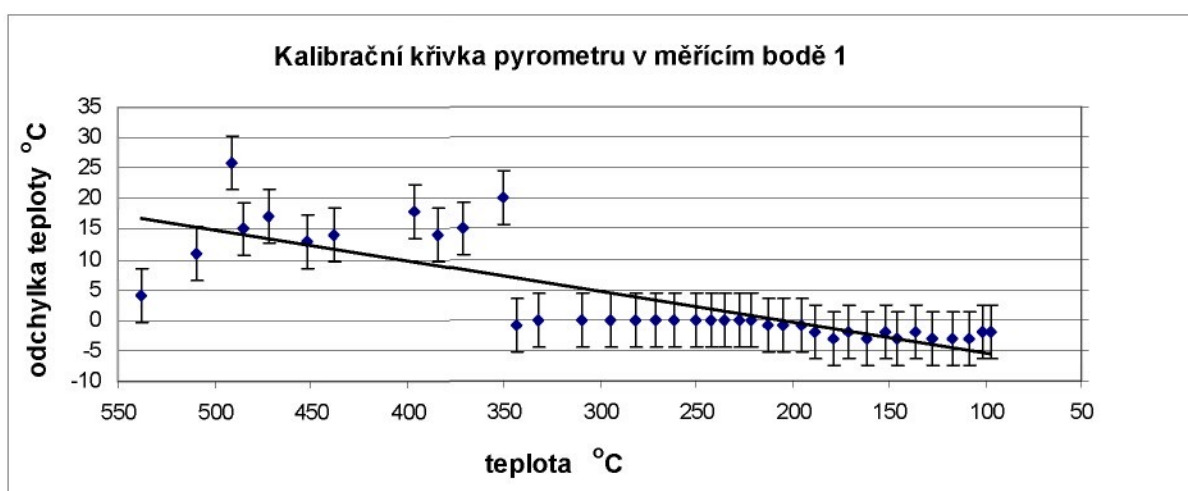
Tabulka termočlánků s mezními chybami

kombinace slitin		barevné kódování		max. rozsah teplot	EMS (mV) elektromot. síla V daném rozsahu teplot	mezní chyba** (platí vyšší z hodnot)	
+ vývod	- vývod	termočlánek	kompenzační vedení			standardní	speciální
ŽELEZO Fe (magnetic)	CONSTANTAN ME-NIKL Cu-Ni			0 až 750°C (32 až 1382°F) Termočlánek 0 až 200°C (32 až 392°F) Kompenzační vedení	-8,095 až 69,553	0 až 750°C (32 až 1382°F) 2,2°C nebo 0,75% 1,1°C nebo 0,4%	
CHROMEKA NIKEL- CHROM Ni-Cr	ALOMEGA NIKEL-HLINÍK Ni-Al (magnetic)			-200 až 1250°C (-328 až 2282°F) Termočlánek 0 až 200°C (32 až 392°F) Kompenzační vedení	-6,458 až 54,886	-200 až 1250°C (-328 až 2282°F) 2,2°C nebo 0,75% nad 0°C 2,2°C nebo 2,0% 1,1°C nebo pod 0°C 0,4%	
ME-Cu	CONSTANTAN ME-NIKL Cu-Ni	NENÍ STANOVENO	NENÍ STANOVENO	0 až 80°C (32 až 176°F) Kompenzační vedení			
ME-Cu	CONSTANTAN ME-NIKL Cu-Ni			-200 až 350°C (-328 až 662°F) Termočlánek -60 až 100°C (-76 až 212°F) Kompenzační vedení	-6,528 až 20,872	-200 až 350°C (-328 až 662°F) 1,0°C nebo 0,75% nad 0°C 1,0°C nebo 1,5% 0,5°C nebo pod 0°C 0,4%	

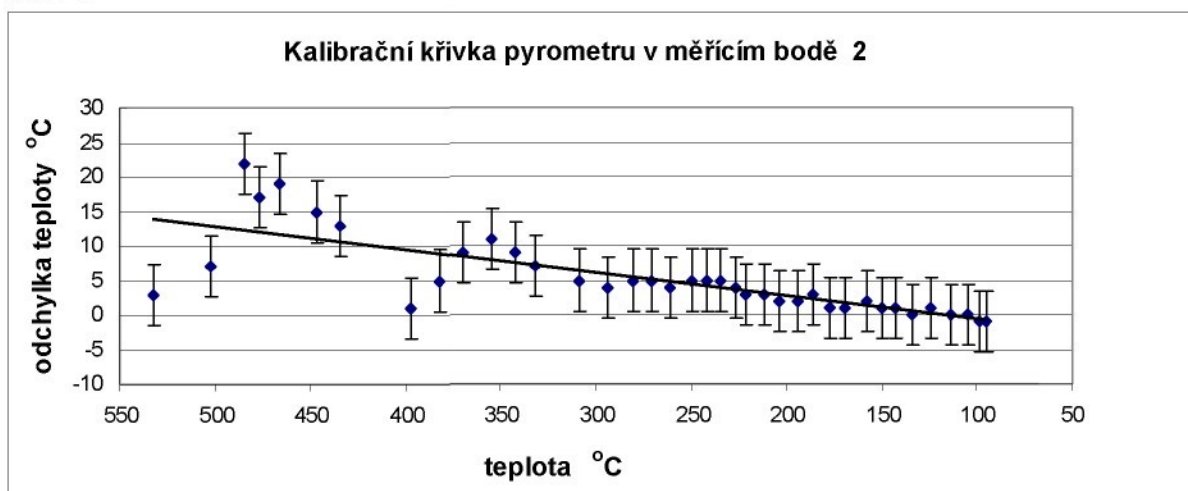
Tab. 5



Graf. 5



Graf. 6



Graf. 7

Graf na předchozí stránce ukazuje postupné chladnutí odlitku. Podle grafu kalibračních křivek pro oba body ukazují podobnou tendenci pro oblast odchylek. Teoreticky okraj odlitku by měl více chladnout než střed odlitku což dokazují naměřené hodnoty měření. Hodnoty teplot termočlánkem a pyrometrem se rozcházejí v rozsahu několika stupňů Celsia. Největší odchylka nastala na začátku měření, nejspíše vzniklá nerovnoměrným ochlazováním povrchu odlitku. Doba chladnutí odlitku byla přes 2 hodiny.

Odchyly termočlánku typu Fe-Co jsou $\pm 2,2$ °C. Nepřesnost pyrometru je udávána ± 2 °C při teplotě okolí 25 °C nebo 0,75 % z měřené hodnoty.

5.3 Měření teploty při obrábění na soustruhu

Tabulka teplot měřených při 250, 325, 400, 500 otáčkách / min

Termočlánek [mV]	teplota [°C]	počet otáček ot/min	průměr obrobku Ø[mm]	posuv [mm/ot]	pyrometr emisivita		
					0,7	0,8	0,98
6,6	250	250	58,4	0,2	107	98	86
7,5	290	325	58,4	0,2	115	111	94
8,2	320	400	58,4	0,2	123	115	98
8,4	330	500	57,8	0,2	130	125	106

Tab.6

Měření bylo prováděno na materiálu s označením 12 050 a k soustružení byl použit nůž z rychlořezné oceli.

Tabulka teplot měřených při 200 otáčkách / min

Termočlánek [mV]	teplota [°C]	počet otáček ot/ min	průměr obrobku Ø [mm]	posuv [mm/ot]	pyrometr emisivita		
					0,7	0,8	0,98
3,5	175	200	58,8	0,09	68	69	63
5,8	220	200	58,8	0,1	67	70	67
6,5	245	200	58,7	0,2	98	95	79
6,7	250	200	55,7	0,28	96	97	78
7	240	200	55,7	0,36	96	87	79

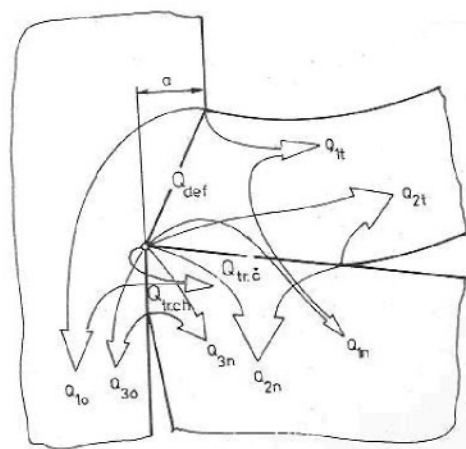
Tab.7

Měření přirozeným termočlánkem

Téměř celá energie, potřebná na řezání se přemění v teplo. Množství tepla, které vznikne za jednotku času řezání pak nazýváme tepelný výkon řezání.

Toto teplo způsobuje ohřátí obrobku, nástroje a třísky. Každý hmotný bod této soustavy je podle vzdálenosti od zdroje tepla zasažen různým jeho množstvím. Mají proto různé body různou teplotu, nazývanou okamžitá teplota. Mezi nimi je možno najít body o stejné teplotě. Tyto body vytvářejí izotermickou plochu. Soustava těchto ploch představuje teplotní pole a to buď v nástroji, obrobku nebo tříске. Určovat teplotu těchto hmotných bodů je velmi obtížná záležitost, a proto se zpravidla spokojujeme se zjištěním tzv. střední hodnoty. Za ni považujeme průměrnou teplotu hmotných bodů jednotlivých členů soustavy obrobek-nástroj-tříska.

Protože při řezání vzniká nejvyšší teplota vždy v místech styku nástroje s obrobkem a třískou, bývá střední hodnota těchto stykových ploch nazývána teplotou řezání.



Q_{1t}, Q_{2t} – teplo třísky

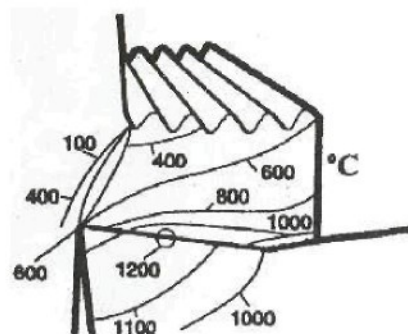
$Q_{tr.ch}$ - hřbetu

Q_{1n}, Q_{2n}, Q_{3n} – teplo od nástroje

$Q_{tr.č}$ - čela

Q_{1o}, Q_{2o}, Q_{3o} – obrobku

Obr.49 Odvod tepla z místa řezu



Obr.50 Příklad rozložení teploty

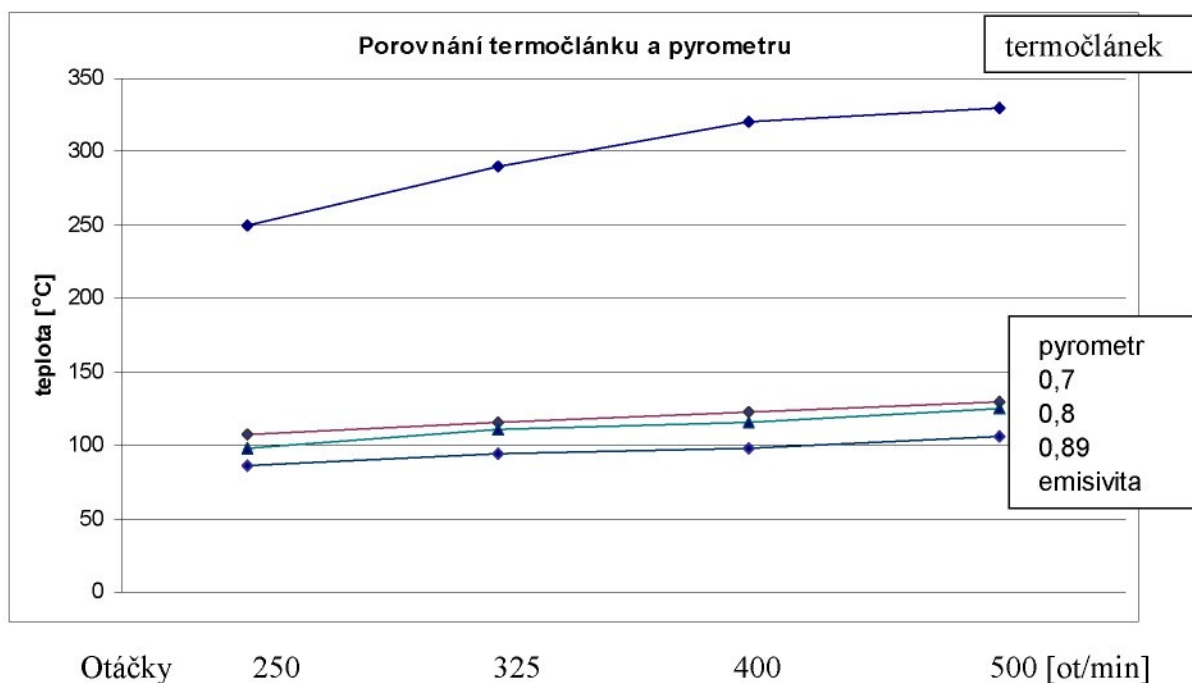
Nejrozšířenější metody měření teploty jsou termočláňkové principy založené na termoelektrickém efektu. Jeho fyzikální podstata spočívá v tom, že ve styku dvou různých kovů, se pohybují jednotlivé elektrony z kovu s menší výstupní prací do kovu s větší výstupní prací. Takto vznikající napětí závisí na teplotě spoje a na druhu obou kovů, ale také velikosti mechanického zatížení. Takovému spojení říkáme termočlánek.

Při měření teploty při obrábění se používají dva základní typy termočláňkových metod. Je to metoda přirozeného termočláňku a metoda vestavěného umělého termočláňku.

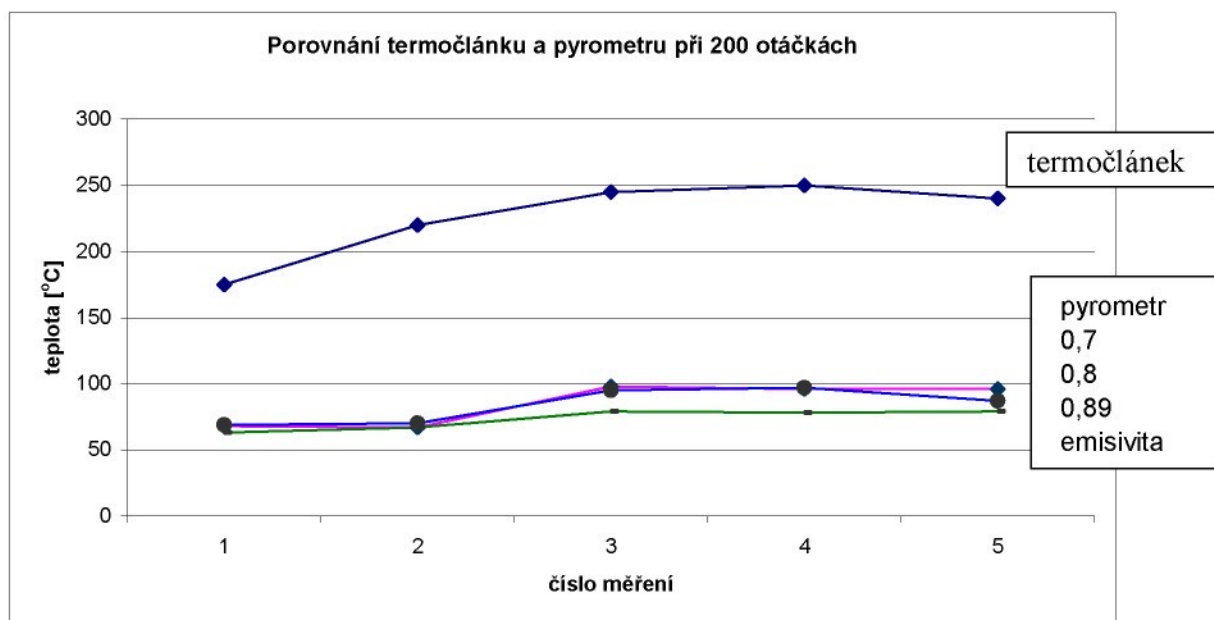
Přirozený termočlánek tvoří obráběný a řezný materiál, které jsou vlivem působících řezných tlaků ve stykových oblastech přivedeny do těsného, vodivého spojení. Termoelektrická síla (TES) je vyvolána ohřevem stykových míst a je úměrná střední teplotě dotykových bodů mezi obráběným a řezným materiálem.

Výhodou metody přirozeného termočláňku je jednoduchost, nenáročnost a přitom spolehlivost. Nevýhodou je nutnost odizolovat nástroj a obrobek navzájem, pro zvýšení přesnosti a spolehlivosti měření je třeba odizolovat nástroj a obrobek také od stroje. Dále pak lze za nevýhodu označit nutnost cejchovat vždy každou dvojici obráběného a řezného materiálu. K nevýhodám lze také zařadit i tu okolnost, že se neměří střední teplota na čele, ale celková střední teplota stykových

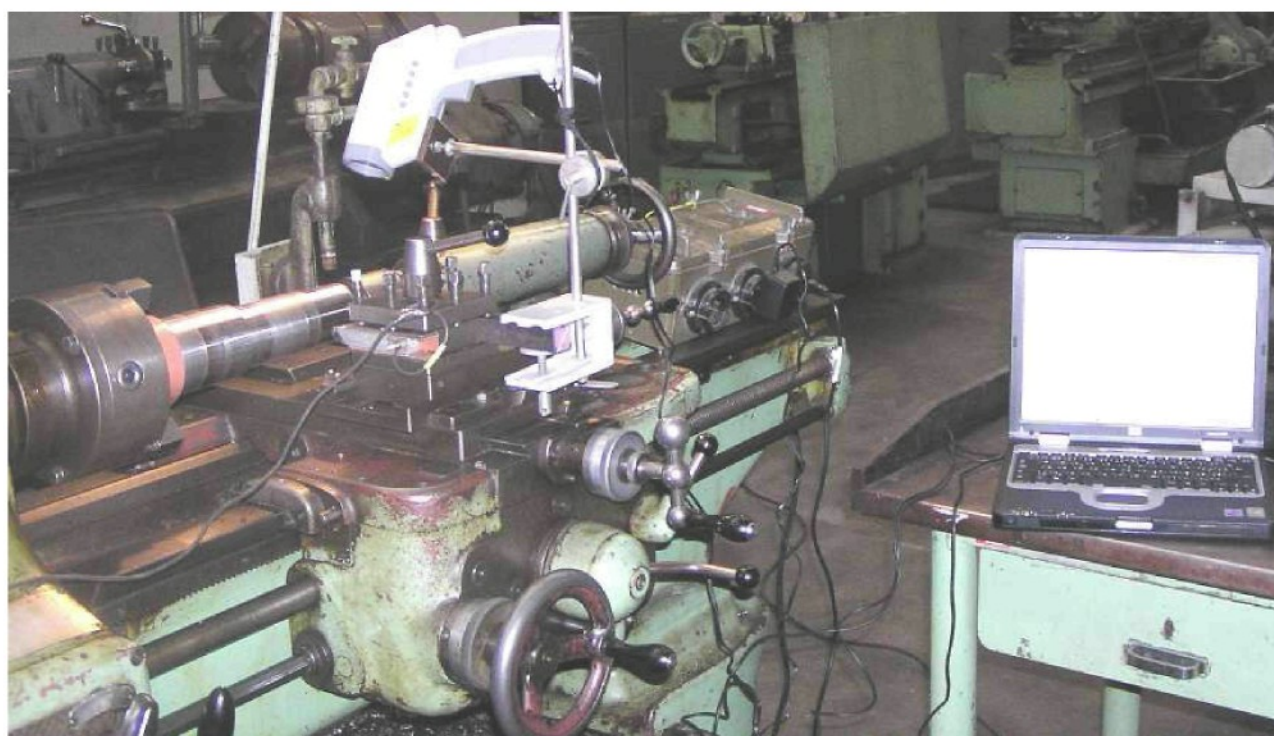
míst na čele a na hřbetě. Za další nevýhodu lze považovat to, že vždy jeden ze členů této dvojice se pohybuje a je obtížné z něj pak snímat elektromotorickou sílu. Pro tento účel se používá různých rotačních přenašečů. /6, 7, 8/



Graf. 8

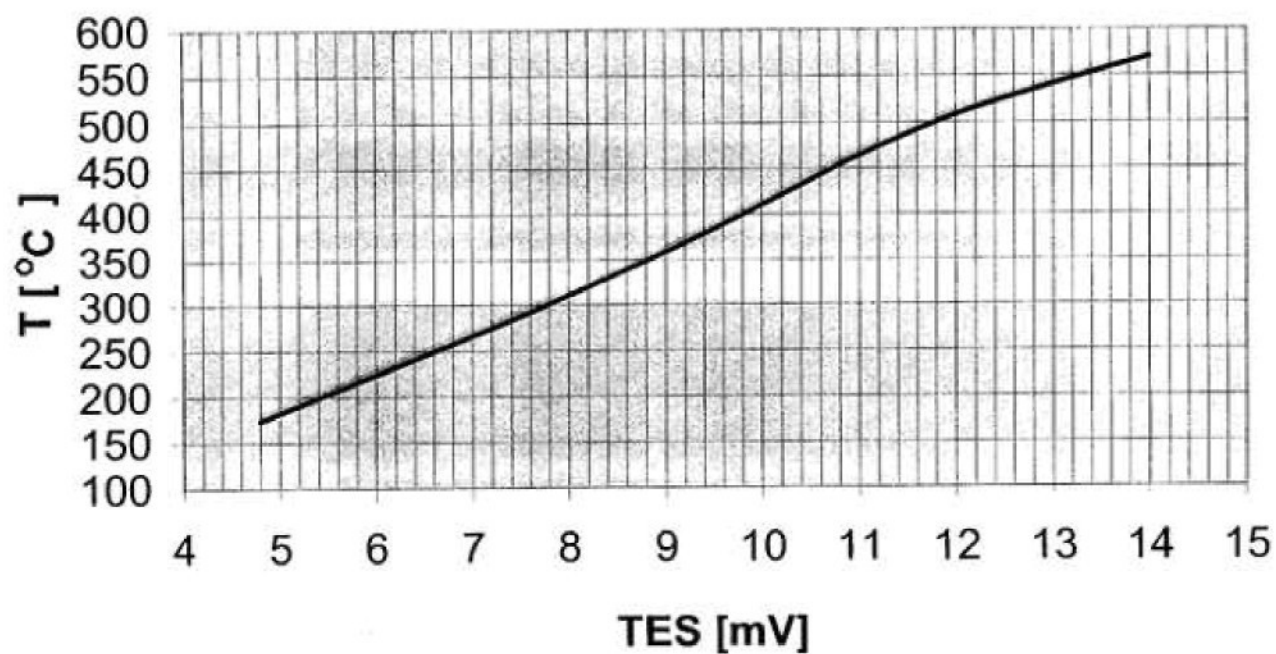


Graf. 9



Obr.51 Měřicí soustava

Kalibrační křivka pro přirozený termočlánek



Graf. 10



Obr.52 Ukázka měření teploty na obráběném povrchu
Laserový paprsek byl zaměřen na špičku nože

Zhodnocení měření:

Na prvním grafu, kde na vodorovné ose jsou zaznamenány různé otáčky soustruhu 250, 325, 400 a 500 ot/ min. Při pohledu na graf vidíme, že se zvyšujícími se otáčkami obrobku se zvyšuje naměřená teplota.

Termočlánkem naměřené napětí bylo přepočteno na teplotu pomocí grafu pro termočlánek. Z kalibrační křivky termočlánu se domnívám, že zde při přepočtu na teplotu dochází k nepřesnosti odečtení teploty. Teplotu naměřenou termočlánkem v rozsahu 250 – 330 °C považujeme za přesnější než měření pyrometrem. Termočlánek je už odzkoušen, pyrometr je testován. Vysoký rozdíl naměřených teplot v hodnotách desítek stupňů Celsia byl způsoben nepřesností zaměření na špičku nože v blízkosti obráběného materiálu, kde docházelo ke kroucení třísky. Emisivita podle grafu nemá velký vliv. Další významnou úlohu představuje určitá odrazivost od povrchu měřeného předmětu.

Z důvodu nepřesnosti zaměření na nožem vytvářenou třísku na které se teplota velmi rychle mění nelze doporučit měření teploty pyrometrem na obráběném materiálu.

5.4 Porovnávání přesnosti pyrometrů

Parametry přístroje Ahlborn



Obr. 53

AMIR 7814-10 B	
Oblast měření teploty	-30 do 900 °C (-25 do 1600 °F)
Rozlišení displeje	0,1 °C (0,2 °F)
Přesnost	± 0,75% nebo ± 0,75 K (± 1,5 °F) při vnější teplotě 25 °C (77 °F) přesnost ± 2 K (± 4 °F) pod -5 °C (23 °F) ± 2 K (± 4 °F)
optické rozlišení (standartní zaostření)	60 : 1
oblast spektra	8 do 14 μm

Popis výrobku

AMIR 7814-10B ruční infrateploměr s optikou 60:1 a zaměřeni 3 bodovým laserem ohraničujícím velikost zabírané kruhové plochy.

Teplotní rozsah: -30 až +900°C

Výstup RS232 na PC + Software

Na grafickém displeji jsou zobrazovány výsledky posledních deseti měření s automatickým nastavením rozsahu. Paměť pro záznam měřených hodnot.

Výbava: Max, Min, akustický a optický alarm překročení teploty, nastavitelné MAX a MIN mezní hodnoty, nastavitelná emisivita, výstup na PC RS232, průměrná teplota, rozdíl teplot, tabulka emisivit v přístroji, grafický displej, záznam dat, výstup signálu 1mV/ 1°C, externí zdroj, vnější sonda

INFRAČERVENÝ DIGITÁLNÍ TEPLOMĚR TM-2000 LUTRON



Mikroprocesorem řízený infračervený digitální teploměr TM-2000 je vynikající profesionální teploměr. Disponuje možností dálkového měření infračerveným laserovým zaměřováním a možností připojení buď odporové sondy typu PT 100 nebo termočlánkových typu K / J / R / E / T. Má široký měřicí rozsah -200°C až 1700°C, bezkontaktní měření -20°C až 400°C (-4°F až 752°F). Dále přepínání °C / °F, možnost měření min., max. a rel. hodnot, funkce DATAHOLD. Komunikaci s počítačem umožňuje seriová sběrnice RS 232C. Velký LCD displej je se zadním osvětlením.

TECHNICKÉ ÚDAJE

zobrazení	super velký LCD displej 15 mm
typy sond	1. Infračervený teploměr (bezkontaktní měření teploty) Poměr D/S = 7/1 2. Platínová odporová Pt 100 3. Termočlánkové typy (K / J / R / T / E)
funkce	°C, °F, DATAHOLD, MIN/MAX, relativní měření nastavení emisivity IIR teploměru
rozdílení	0,1 °nebo 1°
laserové vodičko	červený koherentní paprsek o výkonu menším než 1 mW
vzorkování	1 s
výstup dat	sériové rozhraní RS232
napájení	destičková baterie 9V
spotřeba	0,5 mA (se zapnutým laserovým vodičkem)
rozměry	200 x 68 x 30 mm
hmotnost	220 g

teplotní čidla	rozsah	rozdílení
infračervený teploměr	-20 až 400°C -4 až 752°F	1°C 1°F
PT 100	-200,0 až 850,0°C -328,0 až 1562,0°F	0,1°C 0,1°F
typ K	-100,0 až 1300 °C -148 až 2372,0°F	0,1°C 0,1°F

typ J	-100,0 až 1150,0°C -148,0 až 2102,0°F	0,1°C 0,1°F
typ T	-100,0 až 400,0°C -148,0 až 752,0°F	0,1°C 0,1°F
typ E	-100,0 až 900,0°C -148,0 až 1652,0°F	0,1°C 0,1°F
typ R	0 až 1700°C°C 32 až 3092°F	1°C 1°F

Obr.53

INFRAČERVENÝ DIGITÁLNÍ TEPLOMĚR SIR10



Mikroprocesorem řízený infračervený digitální teploměr SIR10 má měřicí rozsah -18 až 510°C (0 až 950°F), laserové zaměřování. Disponuje funkcí HOLD pro přidržení údaje na displeji, jako příslušenství má zadní osvětlení displeje, nastavitelnou emisivitu. Pistolové provedení zaručuje snadné ovládání.

TECHNICKÉ ÚDAJE

rozsah měření	-18 až 510°C (0 až 950°F)
přesnost	± 2% ± 2°C (±3,5°F)
odezva	500 ms
spektrum odezvy	7 až 14 μm
emisivita	0,3 až 0,95 (nastavitelná)
zobrazení	LCD displej 4 digits
rozdílení / zobrazení	0,1°C (°F) nebo 1°C (°F)
operační teplota	0°C až 50°C
operační vlhkost	10% až 95% RH

Obr.54

Srovnávací hodnoty

	Oblast měření	Přesnost	Rozlišení displeje	Optické rozlišení	Oblast spektra
LUTRON TM 2000	-40 do 400 °C	$\pm 1 \text{ K}$	0,1 °C nebo °F)	7/1	-----
SIR 10	-18 do 510 °C	$\pm 2 \text{ K (}\pm 4 \text{ °F)}$	0,1 °C nebo °F)	-----	7 do 14 μm
AHLBORN AMIR 7814	-30 do 900 °C	$\pm 0,75 \text{ K (}\pm 1,5 \text{ °F)}$ při 25 °C $\pm 2 \text{ K (}\pm 4 \text{ °F)}$	0,1 °C (0,2 °F)	60/1	8 do 14 μm

Tab.8

Měření teploty na černé a bílé stěně

	Černá stěna	Bílá stěna
LUTRON TM -2000	23 °C	20 °C
SIR 10	22 °C	21 °C
AHLBORN AMIR 7814	22 °C	21 °C

Tab.9

Měření bylo prováděno při shodné emisivitě 0,7 tato hodnota byla nastavena na porovnávaných pyrometrech. Naměřené hodnoty jsou rozdílné. Podle teorie má bílé těleso absorbovat a odrážet méně tepelné energie a tak bílé těleso má menší teplotu než černé těleso. Černou stěnu představovala deska ze dřeva, bílá stěna zdivo z cihel.

Měření teploty na zapnutém elektrickém vaříči

	1	2	3	4
LUTRON TM -2000	23 °C	63 °C	73 °C	86 °C
SIR 10	25 °C	62 °C	70 °C	87 °C
AHLBORN AMIR 7814	21,5 °C	63 °C	74 °C	84 °C
Termočlánek	22,6 °C	63 °C	72 °C	85 °C

Tab. 10

Z porovnávaných hodnot se domnívám, že vzniklé odchylky vznikly především v důsledku ochlazování povrchu vaříče mezi jednotlivým měřením, odečítáním a zaznamenáním naměřených hodnot. Toto měření by bylo podstatně lepší provádět na teplotně stabilnějším tělese jako byl ohřátý odlitek.

6. Přesnost při měření s pyrometry

Při výrobě nebo na pracovišti metrologie jsou pyrometry kalibrovány na tzv. černém tělese. Během kalibrace odpovídá údaj většiny kvalitních pyrometrů s požadovanou přesností skutečné teplotě černého tělesa. V praxi však měříme většinou reálná nečerná tělesa a zjistit jejich skutečnou teplotu bezdotykovým měřením je velmi obtížný problém.

Každé těleso o teplotě vyšší než 0 K ($-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ = absolutní nula) vyzařuje energii ve formě elektromagnetického záření na různých vlnových délkách. Část záření, která vzniká tepelným pohybem částic pevných těles, kapalin nebo i plynů a plazmatu se nazývá tepelné záření, přičemž vyzářená energie je úměrná čtvrté mocnině teploty tělesa, což vyjadřuje Stefan-Boltzmanův zákon pro celkovou intenzitu

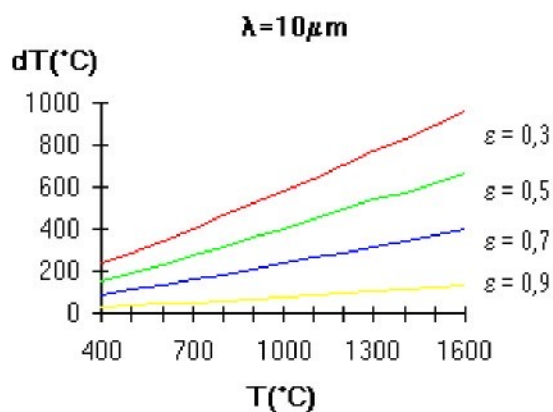
Závislost chyby měření na emisivitě

Abychom tedy mohli zjistit teplotu měřeného reálného objektu musíme znát emisivitu jeho povrchu, která se mění v závislosti na:

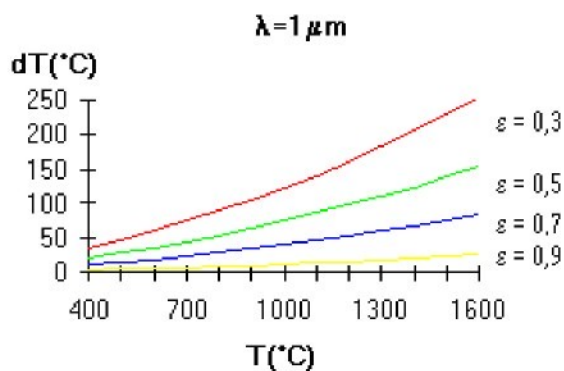
- druhu materiálu
- stupni oxidace povrchu materiálu
- opracovanosti a drsnosti povrchu
- efektivní vlnové délce pyrometru
- teplotě materiálu

Pokud emisivitu materiálu nenastavíme nebo ji nastavíme nepřesně, vznikne během měření horkého povrchu chyba, která závisí na velikosti této nepřesnosti, na teplotě materiálu a na spektrálním pásmu, na němž probíhá měření:

Závislost chyby měření pyrometru dT na teplotě T a emisivitě pro vlnové délky $\lambda = 1\text{ }\mu\text{m}$ a $\lambda = 10\text{ }\mu\text{m}$ znázorňují následující grafy:



Graf.11

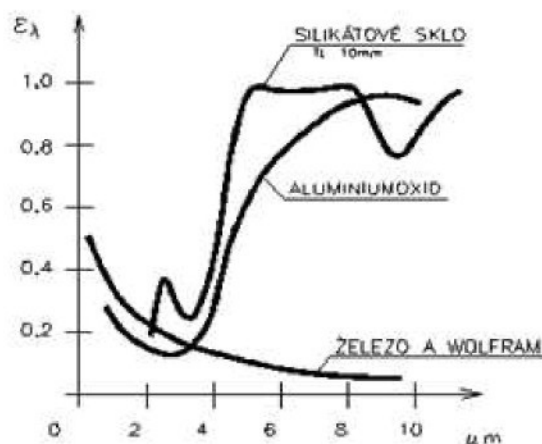


Graf.12

Z těchto grafů je patrné, že pyrometry pracující na kratších vlnových délkách mají mnohem menší chybu vzhledem k emisivitě.

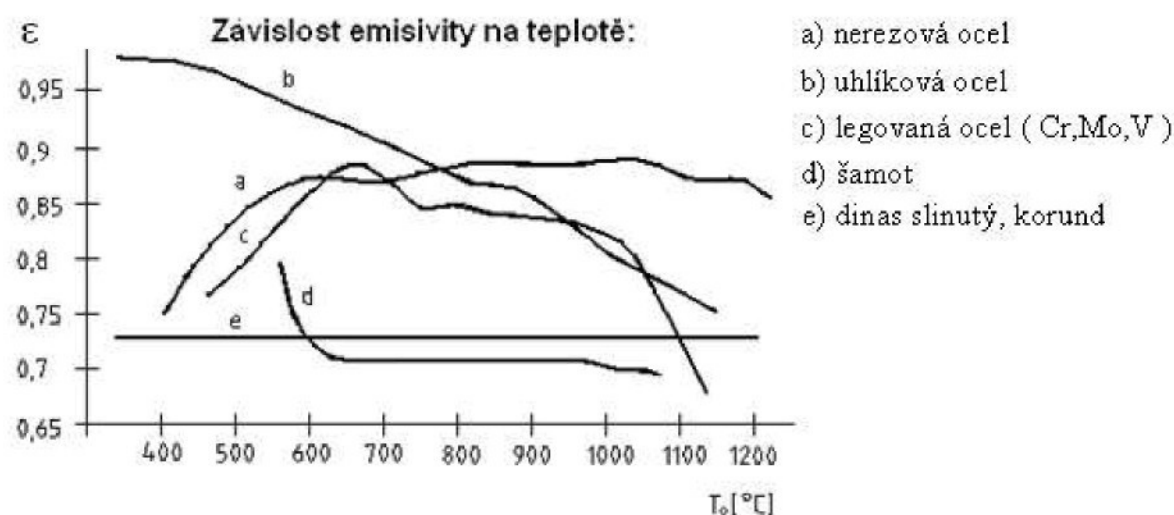
6.1 Teplotní a spektrální závislost emisivity

Jedním z problémů, při nasazování radičních pyrometrů do provozní praxe, je skutečnost, že emisivita povrchu měřeného materiálu je spektrálně a teplotně závislá. Emisivita je u nešedých těles funkcí vlnové délky. Stejný materiál může mít na dvou různých vlnových délkách velmi odlišnou hodnotu emisivity. Je proto vhodné zvolit takové spektrální pásmo pro měření, aby emisivita měřeného materiálu byla co největší. Emisivita povrchů různých materiálů je závislá na spektrálním pásmu, v němž je prováděno měření, jak je ukázáno na obrázku níže, který zobrazuje závislost emisivity na vlnové délce pro tři různé materiály.



Graf. 13

Přestože je obecně lepší preferovat pro provozní měření teplot nad 400 °C pyrometry, které pracují v oblasti kratších vlnových délek, před pyrometry, které pracují na delších vlnových délkách, je někdy nutné udělat výjimku. Například pro měření povrchové teploty skla jsou vhodné pyrometry pracující na vlnových délkách $\lambda \approx 4,5 - 7,5 \mu m$. V praxi někdy nestačí nalézt či stanovit koeficient emisivity povrchu daného materiálu při jedné teplotě.



Graf. 14

Charakteristické křivky ocelí byly zjišťovány pro tzv. primární okuje, které mají soudržnost s povrchem měřeného předmětu.

6.2 Metody určování a odstraňování vlivu emisivity

Pokud chceme zjistit hodnotu emisivity nějakého materiálu, nejprve se jí obvykle snažíme vyhledat v tabulkách. Ty mohou být součástí dokumentace pyrometru, nebo se dají vyhledat v různých příručkách o měření teploty. V tabulkách bývají obvykle uvedeny hodnoty celkové a spektrální emisivity.

Spektrální emisivita poskytuje informaci o hodnotě emisivity pro měření úzkopásmovými pyrometry. Bývá udávána pro určitou efektivní vlnovou délku.

Nalezneme-li v tabulkách nebo odborné literatuře hodnotu emisivity, která odpovídá typu použitého pyrometru, stavu povrchu měřeného materiálu a požadovanému rozsahu teplot, může být problém vyřešen. Poměrně často však požadovaná množina informací není úplná, a pak je potřeba určit emisivitu vlastními prostředky.

a) proměření vzorku ve specializované laboratoři

b) zvýšení emisivity povrchu materiálu překrytím jeho povrchu černou páskou nebo nástřikem speciální tepelně odolné barvy s $\varepsilon \approx 1$ (teplota do 250 °C) Tak se dosáhne lokálního zvýšení emisivity materiálu na hodnotu blízkou hodnotě $\varepsilon \approx 1$. Pyrometr má nastavenou hodnotu emisivity $\varepsilon = 1$ nebo hodnotu emisivity udávanou výrobcem spreje. Tímto postupem dojde k výraznému zvýšení přesnosti.

c) proměření teplotních charakteristik vzorku materiálu

Ohřev vzorku materiálu v malé pídce, v níž je teplota vzorku měřena termočlánkem. Pyrometr je zaměřen na vzorek. Měří jeho povrchovou teplotu a zároveň je korekce emisivity pyrometru nastavena na takovou hodnotu, aby údaj termočlánku a pyrometru souhlasil s požadovanou přesností. Není však zcela jisté, zda průběh emisivity, který byl naměřen v laboratorních podmínkách, bude dostatečně přesně odpovídat chování emisivity materiálu v reálných podmínkách.

d) kontrola měřené teploty dotykovým měřidlem

Nejužívanější metoda určování emisivity v provozních podmínkách je založena na současném měření teploty povrchu měřeného materiálu termočlánkem a pyrometrem. Emisivita na pyrometru se nastavuje až se teplota měřená pyrometrem rovná teplotě měřené kontaktním termočlánkem. Tato metoda představuje skutečnou reálnou situaci při měření. Je však nutno zajistit, aby měl termočlánek s měřeným povrchem dobrý kontakt.

e) porovnání radiačního měření s údajem poměrového pyrometru

Máme-li k dispozici poměrový pyrometr, který měří na vlnových délkách, kde se měřený materiál chová, s dobrou přesností, jako šedé těleso, můžeme údaj našeho radiačního pyrometru srovnat s údajem tohoto pyrometru. /4/

Pyrometry se používají v těchto případech měření:

měření rozložení teplot na povrchu objektů – měření rozložení teplot na technologickém zařízení, rozložení teplot na elektronických obvodech, sledování teplot na povrchu biologických objektů

měření teplot pohybujících se objektů – měření teploty potravinářských výrobků (pekárny) měření teploty rotujících objektů, běžících pásů apod.

měření rychlých změn teploty – bezdotykové teploměry mají velmi příznivé dynamické vlastnosti v rozmezí 100 ms až 1 s,

diagnostická a inspekční měření – prevence vzniku poruchových a havarijních stavů (teplotní změny na elektrických obvodech, na tepelných zařízeních ap.)

Přednosti a nedostatky bezdotykového měření teploty

Výhody:

Zanedbatelný vliv měřicího zařízení na měřený objekt, možnost měření rotujících a pohybujících se těles.

Nevýhody:

Chyba způsobená nejistotou stanovení emisivity měřeného objektu, chyba způsobená prostupností prostředí, chyba způsobená odraženým zářením z okolního prostředí.

7.Závěr

Měření s pyrometrem provází především problémy spojené s emisivitou měřeného reálného objektu, která se mění v závislosti na: druhu materiálu, stupni oxidace povrchu materiálu, opracovanosti, drsnosti povrchu, efektivní vlnové délce pyrometru, teplotě materiálu.

Emisivita povrchu měřeného materiálu je spektrálně a teplotně závislá. Emisivita je u nešedých těles funkcí vlnové délky.

Další faktory ovlivňující výsledky měření: přesnost při zkalibrování přístroje, vzdálenost od měřeného povrchu, úhlu zaměření přístroje.

Princip měření s přirozeným termočlánkem je jednodušší a spolehlivější s méně vlivy ovlivňující průběh měření. U přirozeného termočlánku je určitým problémem odizolování nástroje, obrobku, stroje a vývodem termoelektrické síly z obrobku přes rotační rtuťový unášec. Před samotným měřením je nutné přirozený termočlánek zkalibrovat. Pro každý zvolený materiál obrobku a nástroje platí jiná kalibrační křivka.

Přirozený termočlánek měří celkovou střední teplotu v místě stykových ploch. Naměřená teplota je průměrnou teplotou jednotlivých členů soustavy obrobek-nástroj-tříska.

Radiační pyrometr zjišťuje teplotu pomocí vyzářené energie z tělesa. Pyrometrem se nemůžeme dostat do stejného místa jako u termočlánku.

V konkrétním případě při měření teploty při soustružení, nelze z důvodu nepřesnosti zaměření na nůž, kde odchází tříska, na které se teplota mění, doporučit měření teploty pyrometrem při obrábění.

8. Použitá literatura:

- /1/ František Ambros : Experimentální měření ČVUT 1986
- /2/ J. Brož : Fyzika II. SNTL 1983
- /3/ K. Kadlec : Měřicí a řídicí technika pro FCHI VŠCHT 2005
- /4/ R. Szeruda : Základy bezdotykového měření teploty
Měření teploty v provozu Ostrava 1996
- /5/ V.Dráb a kol : Teploty při obrábění VŠST 1976
- /6/ M.Vigner Z.Přikryl : Obrábění SNTL 1984
- /7/ K. Kocman J.Prokop : Technologie obrábění Ak.vydavatelství CERM 2001
- /8/ J. Beňo : Teoria rezania kovov VIENALA Košice 1999
- /9/ časopis firmy Omega Zpravodaj pro měření a regulaci č.1
(bezdotykové měření teploty)
- /10/ Příručka přístroje Ahlborn
- /11/ Příručka přístroje Omega
- /12/ Handbook of temperature measurement and control Omega Press 1997

9. Seznam příloh

Příloha 1: Technické parametry přístroje Ahlborn

Příloha 2: Graf průběhu teploty při obrábění materiálu slinutým karbidem

Příloha 3: Graf průběhu teploty při obrábění materiálu keramickou destičkou

Příloha 4: Tabulka emisivity pro některé materiály

Příloha 1: Technické parametry přístroje Ahlborn

SPECIFICATIONS

Temperature Range	-30 to 900°C (-25 to 1600°F)
Display Resolution	0.1°C (0.2°F)
Accuracy (Infrared)	± 0.75% of reading or ± 0.75K (± 1.5°F), whichever is greater at 25°C (77°F) ambient temperature. ± 2K (± 4°F) for targets below -5°C (23°F)
Ambient derating	< 0.05K/K or < 0.05%/K, whichever is greater at + 25°C (77°F) ± 25K (± 45°F)
Optical Resolution (Standard Focus)	60:1 (19mm spot size at 1.15 M.) (0.75in. spot size at 3.8 feet)
Optical Resolution (Close Focus)	50:1 (6mm spot size at 0.3 M.) (0.24in. spot size at 0.98 feet)
Accuracy (Thermocouple K & J)	± 2K or ± 0.75%, whichever is greater
Accuracy (Thermistor)	
-30 to 0°C (-22 to 32°F)	± 0.8K
0 to 70°C (32 to 158°F)	± 0.4K
70 to 100°C (158 to 212°F)	± 1K
100 to 120°C (212 to 248°F)	± 1.5K
Repeatability (Infrared)	± 0.5% of reading or ± 0.5°C (1°F), whichever is greater, ± 1°C (± 2°F) for targets below -5°C (23°F)
Response Time (95%)	250 mSec
Hot Spot Detection (30%)	85 mSec
Spectral Range	8 to 14 µm
Ambient Operating Range	0 to 50°C (32 to 122°F)
Storage Temperature (without batteries)	-20 to 50°C (-4 to 122°F)
Analog output	1 mV/°C(°F)
Digital Output	RS232

SPECIFICATIONS (Cont.)

Power	2 x 1.5 V Alkaline Type AA
Battery Life	13 hrs. (50% laser and 50% backlight on)
Power supply (External)	7.5 V ≥ 200 mA (Using the power supply the display automatically switches on)
Dimensions	200 x 170 x 50 mm (7.9 x 6.7 x 2 inches)
Tripod Mount	1/4"-20 UNC

FACTORY DEFAULTS

	Default	Range
Emissivity/Gain	0.95	0.10 to 1.50 in steps of 0.01
Emissivity Table	Free	30 materials
Mode	normal	
Hi Alarm	50°C (100°F)	-30 to 900°C (-25 to 1600°F)
Lo Alarm	0°C (32°F)	-30 to 900°C (-25 to 1600°F)
Offset Adjust	0°C (0°F)	-10 to 10°C (-18 to 18°F)
Graphic Display	Auto Range	Auto Range / Man Range
Cycle Time	0.2 sec	0.1 sec to 300 sec.
Printer Mode	Data Recording	3 modes, selectable via software
Printer output	ASCII 8 bits 1 Stop bit No Parity Baud Rate 9600	
Data logger	100 points pre-set with emissivity 0.95 Lo-Al: 0°C Hi-Al: 50°C adjustable only via Software Accessory	

Příloha 2: Graf průběhu teploty při obrábění materiálu slinutým karbidem

Obráběný materiál 14 220, nastavená emisivita 0,9

hloubka řezu 1mm, otáčky 900 ot/ min, posuv 0,2 mm



Příloha 3: Graf průběhu teploty při obrábění materiálu keramickou destičkou

Obráběný materiál 14 220, nastavená emisivita 0,9

hloubka řezu 1mm, otáčky 900 ot/ min, posuv 0,2 mm



Příloha 4: Tabulka emisivity pro některé materiály

Materiál	Emisivita (e)
Hliník - čistý plát s vysokým leskem.....	0,04 - 0,06
Hliník - silně oxidovaný.....	0,20 - 0,31
Hliník - průmyslový, plát	0,09
Mosaz - matovaný plát.....	0,22
Mosaz - vysoký lesk, 73,2% Cu, 26,7% Zn.....	0,03
Chrom – leštěný.....	0,08 - 0,36
Měď – leštěná.....	0,05
Měď - zahřátá na 600°C.....	0,57
Zlato - čisté s vysokým leskem nebo tekuté.....	0,02 - 0,04
Železo a ocel (krom. nerezivějící) - leštěné železo.....	0,14 - 0,38
Železo a ocel (krom. nerezivějící) - leštěná litina.....	0,21
Železo a ocel (krom. nerezivějící) - leštěné tvářené železo.....	0,28
Železo a ocel (krom. nerezivějící) - oxidované matné tvářené železo.....	0,94
Železo a ocel (krom. nerezivějící) Ð zrezivělý železný plát.....	0,69
Železo a ocel (krom. nerezivějící) - leštěná ocel.....	0,07
Železo a ocel (krom. nerezivějící) - oxidovaná leštěná ocel, zahřátá na 600°C.....	0,79
Železo a ocel (krom. nerezivějící) - válcovaný ocelový plech.....	0,66
Železo a ocel (krom. nerezivějící) - neopracovaný ocelový plát.....	0,94 - 0,97
Olovo - šedé, oxidované.....	0,28
Rtuť.....	0,09 - 0,12
Molybdenové vlákno.....	0,10 - 0,20
Nikl – leštěný.....	0,07
Nikl - oxidovaný, zahřátý na 650°C-1255°C.....	0,59 - 0,86
Platina -čistá, leštěný plát.....	0,05 - 0,10
Platina – drát.....	0,07 - 0,18
Stříbro - čisté, leštěné.....	0,02 - 0,03
Nerezivějící ocel – leštěná.....	0,07
Nerezivějící ocel - typ 301 při teplotě 232°C-940°C.....	0,54 - 0,63
Cín – světlý.....	0,06
Wolfram – vlákno.....	0,39
Zinek - čistý, leštěný, průmyslový.....	0,05
Zinek - pokovený plát.....	0,23

