



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pedagogická fakulta
Katedra aplikované fyziky a techniky

Diplomová práce

Měření povrchové teploty pomocí infračervené kamery

Vypracoval: Bc. Miloš Fuka
Vedoucí práce: RNDr. Pavel Kříž, Ph.D.

České Budějovice 2014

Anotace

Diplomová práce se vnuje historii a představení bezdotykové metody měření teploty, popisu infra červené kamery a infra červených teploměrů. Teplota patří mezi nejdůležitější fyzikální veličiny. Použitím infra červené kamery získáme informace o povrchové teplotě v celém obraze. Součástí diplomové práce je měření a zachycení fatálních vad na vydrovaném předvalku, zjištění kvality teplotního pole předvalku a kvality souhru pracovních válců. Při měření byly použity infra červené kamery TIM200, TIM400 od firmy Micro-Epsilon a infra červené kamery SC325, SC660 od firmy Flir.

Klíčová slova

Měření teploty, infra červený teploměr, infra červená termovizní kamera, bezešvé trubky, vydrovaný předvalek.

Abstract

The master's thesis is devoted to the history and performance of non-contact temperature measurement, characterization of infrared cameras and infrared thermometers. Temperature is one of the most important physical quantities. Using an infrared camera we obtain information about the surface temperature in all picture. In the master's thesis is included the measurement and capturing the fatal defects on the punched billet, finding out the quality of temperature field and the quality of the overlapping work rolls. During the measurements were used infrared cameras TIM200, TIM400 from the company Micro-Epsilon and infrared cameras SC325, SC660 from the company Flir.

Keywords

Temperature measurement, infrared thermometer, infrared thermal camera, seamless pipe, punched billet.

Prohlášení

Prohláuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohláuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě, fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb., zveřejněny posudky kolektivu a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Ve Českých Budějovicích, dne: 27. 06. 2014

Podpis: í í í í í í í í í í

Podkování

Na tomto místě bych rád poděkoval RNDr. Pavlu Křížovi, Ph.D. za jeho konzultace a odborné rady. Dále bych chtěl poděkovat firmě MICRO-EPSILON Czech Republic za umožnění realizace praktické části diplomové práce.

Obsah

1	ÚVOD.....	- 7 -
2	Představení bezdotykové metody měření teploty.....	- 8 -
2.1	Úvod.....	- 8 -
2.2	Historie.....	- 9 -
2.3	Popis absolutního černého tělesa.....	- 11 -
2.4	Emisivita.....	- 12 -
2.4.1	Stanovení neznámé emisivity v praxi.....	- 14 -
2.5	Infračervené záření.....	- 15 -
2.5.1	Popis infračerveného teploměru, pyrometru.....	- 15 -
2.5.2	Kalibrace infračervených teploměrů.....	- 19 -
2.5.3	Infračervená termovizní kamera.....	- 20 -
2.5.4	Infračervené detektory.....	- 21 -
2.5.5	Co ovlivňuje kvalitu termovizního snímku.....	- 24 -
2.5.6	Výhody a nevýhody používání infračervených teploměrů a termovizních kamer.....	- 25 -
2.5.7	Aplikace.....	- 26 -
3	Válcování trubek.....	- 30 -
3.1	Bezečvé trubky.....	- 30 -
3.2	Historie výroby bezečvých trubek.....	- 30 -
3.3	Technologické způsoby výroby bezečvých trubek.....	- 31 -
3.3.1	Mannesmannův způsob.....	- 31 -
3.3.2	Stiefelův způsob výroby s automatem.....	- 33 -
3.3.3	Spojité válcování trubek.....	- 33 -
3.3.4	Asselův způsob válcování na tratích s tláčičkovou stolicí.....	- 34 -
3.3.5	Diescherův způsob válcování trubek.....	- 35 -
3.3.6	Výroba bezečvých trubek tažením.....	- 35 -
3.4	Výroba svařovaných trubek.....	- 38 -
3.4.1	Svařování tlakem.....	- 38 -
3.4.2	Svařování tavné.....	- 44 -
3.5	Válcovna trub Ostrava.....	- 46 -
3.5.1	Historie.....	- 46 -
3.5.2	Současnost.....	- 46 -

4	Zachycení vad na vydrávaném podkladu pomocí termovizních kamer	- 47 -
4.1	Úkol.....	- 47 -
4.2	Cíle měření.....	- 48 -
4.3	Drávací proces a popis	- 49 -
4.4	Podstavení použitých infračervených termovizních kamer	- 51 -
4.4.1	Popis infračervené termovizní kamery TIM 200, TIM 400.....	- 51 -
4.4.2	Popis infračervené kamery SC 325, SC 660.....	- 54 -
4.5	Umístění infračervených termovizních kamer před samotným měřením.....	- 57 -
4.6	Měření.....	- 58 -
4.6.1	První měření.....	- 58 -
4.6.2	Druhé měření.....	- 59 -
4.6.3	Třetí měření.....	- 61 -
4.6.4	Čtvrté měření.....	- 62 -
4.6.5	Závěrečné měření.....	- 63 -
5	Závěry	- 64 -
	Seznam použitých zdrojů a literatury	- 65 -

1 ÚVOD

Teplota patří mezi nejdůležitější fyzikální veličiny. Musí se na ní brát ohled při návrzích, konstrukci a při samotné údržbě. Měření teploty nám umožňuje diagnostikovat, jestli zařízení pracuje správně, nedochází k poruchám a zjistit případné závady. Teplota je fyzikální veličina soustavy SI. Jednotkou je kelvin (K) a vedlejší jednotkou je stupeň Celsia (°C). Nejnižší možná teplota je teplota absolutní nuly (0 K, -273,15 °C), ke které se lze libovolně přiblížit, nelze ji dosáhnout.

K měření teploty lze použít bezdotykovou a dotykovou metodu.

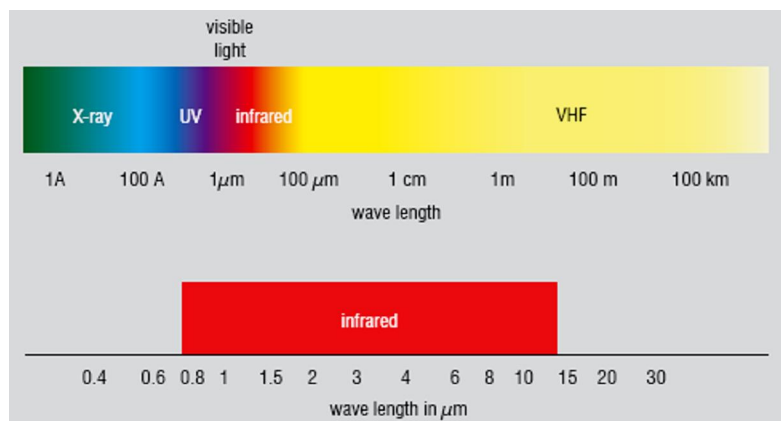
Bezdotykové senzory na trhu zastupují ruční a stacionární infračervené teploměry, infračervené neboli termovizní kamery. Jejich hlavní uplatnění je zejména na pohyblivých seřazených částech, kdy nedochází k přímému kontaktu mezi měřícím a měřeným objektem. Tyto teploměry mají také své nedostatky. Různé vlivy jako například špatné zaměření, špatné nastavení emisivity, či nevhodně zvolený teploměr může ovlivnit samotné měření.

Existuje mnoho různých přístrojů a metod, které se používají při měření dotykové metody. Nejčastěji se používají odporové teploměry a termolánky. Uplatnění nachází zejména při měření nepohyblivých seřazených částech, dobře přístupných částech. Nejsou vhodné pro měření velmi vysokých teplot, kdy dochází k omezené životnosti teploměru. Naopak mají rychlou odezvu a nízkou cenu.

2 Představení bezdotykové metody měření teploty

2.1 Úvod

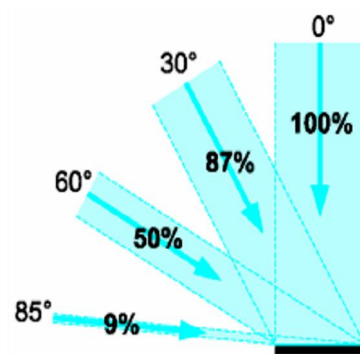
Vlastníma ořadima řlov k vidí sv t ve viditelném sv tle, tzv. viditelném zá ení. Viditelné sv tlo je zahrnuto pouze v řásti spektra elektromagnetického zá ení. Neviditelné sv tlo je zahrnuto ve zbytku spektrálního rozsahu a mezi toto neviditelné zá ení pat í i zá ení infra ervené, které je generováno prost ednictvím tepelných vibrací elektron ř a řádra. Intenzita vibrací závisí na teplot ř objektu. Spektrum infra erveného zá ení se pohybuje mezi 0,78 ř m ařl 1000 ř m vlnové ř délky. Pouze ř část spektra 0,8 ř m ařl 14 ř m je významná pro infra ervené teplotní měření. Pokud je zá ení vyřší neřl 14 ř m, detektory nejsou dostate ř n citlivé, aby toto zá ení zaznamenaly. Infra ervené pr řmyslové kamery TIM 160, a TIM 400 měř í ve spektrálním rozsahu 7,5 ř 13 ř m.



Obr. ř. 1 Infra ervené spektrum [14]

Základním vztahem pro bezdotykové měření teploty je Stefan-Boltzman v zákon. říká, ře hustota zářivého toku E [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] generovaná z jednotky plochy zdroje je na vřech vlnových ř délkách řm řrná řtvřté mocnin ř absolutní teploty t řesa. Pro výpo řet p řenosu tepla je řeba znát, jak se tato energie rozd řlí vřhledem k prostorovému ř úhlu ř. Proto se zavádí intenzita vyzařování. Ve skute řnosti intenzita vyzařování vyjad řuje řást hustoty zářivého toku E [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] vyzařenou jednotkovým prostorovým ř úhlem ve sm řru kolmém k povrchu zář í e. M řeme říci, ře maximum řálavého toku řeřří vřřdy ve sm řru normály k ploře zdroje (Lambert v sm řrový zákon).

Zářivost izotropního řovinného plořného zdroje v kařřdém jeho bod ř klesá s kosinem odklonu od ř kolmice k ploře zdroje.



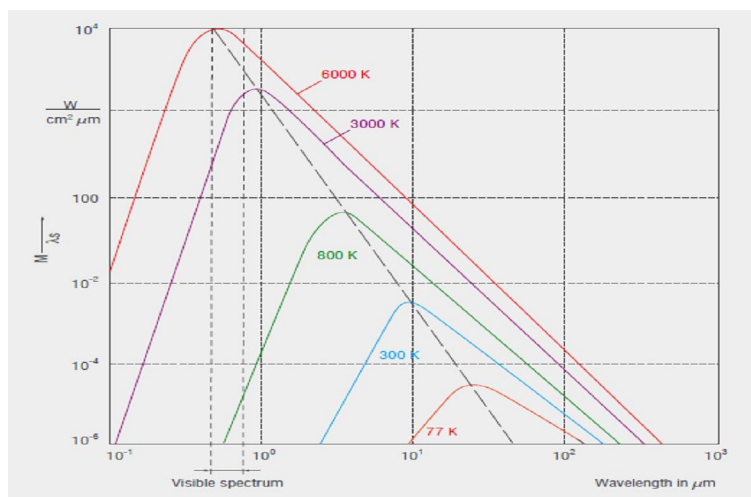
Obr. .2 Lambert v kosinový zákon [19]

2.2 Historie

Kolem 19. století Planck, Stefan, Wien a Kirchhoff přesně definovali elektromagnetické spektrum a popsali vztah mezi energií, vlnovou délkou záření a teplotou tělesa, které záření generuje. Každé těleso o povrchové teplotě vyšší než je absolutní nula ($-273,15\text{ °C} = 0\text{ Kelvin}$) vysílá ze svého povrchu elektromagnetické záření odpovídající jeho teplotě (Planckův zákon). Pro bezdotykové měření teploty se využívá elektromagnetické záření o vlnových délkách od $0,4\text{ }\mu\text{m}$ až $25\text{ }\mu\text{m}$. Toto záření částečně spadá do viditelné oblasti, z větší části do infračervené oblasti spektra, které odpovídá vlnovým délkám v rozmezí od $0,78\text{ }\mu\text{m}$ do $1000\text{ }\mu\text{m}$. Záření vyfukované pro bezdotykové měření teploty pokrývá tedy oblast viditelného spektra od $0,4\text{ }\mu\text{m}$ do $0,78\text{ }\mu\text{m}$, dále pak oblast blízkého infračerveného spektra od $0,78\text{ }\mu\text{m}$ do $1\text{ }\mu\text{m}$, oblast krátkovlnného infračerveného spektra od $1\text{ }\mu\text{m}$ do $3\text{ }\mu\text{m}$, oblast středovlnného infračerveného spektra od $3\text{ }\mu\text{m}$ do $5\text{ }\mu\text{m}$ a oblast dlouhovlnného infračerveného spektra od $5\text{ }\mu\text{m}$ do $25\text{ }\mu\text{m}$. Elektromagnetické záření s vlnovou délkou od $2\text{ }\mu\text{m}$ do $25\text{ }\mu\text{m}$ se někdy označuje jako tepelné záření. Uvedené rozsahy vlnových délek pokrývají měření teplot v rozmezí od -40 °C do $+10000\text{ °C}$. Pro detekci infračerveného záření o vlnových délkách nad $25\text{ }\mu\text{m}$ neexistují vhodné detektory.

Základním vztahem pro bezdotykové měření teploty je **Stefan-Boltzmannův zákon**. Tento zákon je důležitý hlavně pro širokopásmové infračervené teploměry. Síla, tj. hustota zářivého toku $E\text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}]$ generovaná z jednotky plochy zdroje je na všech vlnových délkách úměrná čtvrté mocnině absolutní teploty tělesa. Pro výpočet přenosu tepla je třeba znát, jak se

tato energie rozdělí vzhledem k prostorovému úhlu. Proto se zavádí intenzita vyzařování. Ve skutečnosti intenzita vyzařování vyjadřuje část hustoty zářivého toku E [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] vyzařovanou jednotkovým prostorovým úhlem ve směru kolmém k povrchu zářivé. Maximální, tedy maximum sálavého toku leží vždy ve směru normály k ploše zdroje (**Lambertův zákon**). **Wienův posouvací zákon** nám vyjadřuje posun maxima hustoty zářivého toku s rostoucí teplotou tělesa do pásma kratších vlnových délek. To znamená, že například pro těleso o teplotě 600 K by měl bezdotykový teploměr pracovat v rozmezí vlnových délek od 2 μm do 10 μm . Pokud se výrazně zvýší nebo sníží teplota tělesa, nastavený teploměr teplotu nezaznamená. Spektrum vyzařování se posune směrem ke kratším, respektive k delším vlnovým délkám.



Obr. 3 Spektrální radiace v závislosti na vlnové délce [14]

Výše zmíněný zákon si lze představit následující úvahou. Při zahívání ocelové tyče při nízkých teplotách fládné záření nepozorujeme. Ty sice elektromagnetické záření vyzařuje, ale téměř výhradně v infračervené oblasti. Pokud budeme tyč dále zahívat, bude se maximální vyzařování posouvat směrem ke kratším vlnovým délkám, a při teplotě přibližně 525 °C (tzv. Draperův bod) začne vyzařovat i viditelné světlo.

Všechny jmenované zákony byly odvozeny pro **absolutně černé těleso**. Toto těleso je ve skutečnosti definováno jako ideální těleso, které pohlcuje veškeré radiální záření bez ohledu na vlnovou délku a úhel, pod kterým je povrch tělesa osázen. Zároveň absolutně černé těleso vyzařuje na všech vlnových délkách při dané teplotě maximální dosažitelnou energii

zářivého toku (pokud je zdrojem radiace). Neexistuje žádný materiál, který by měl vlastnosti absolutně černého tělesa. Skutečné těleso vyzařuje méně než absolutně černé těleso. Tepelné záření, které je vysílané, je složené z různých vlnových délek. Intenzitu vyzařování M popisujeme následujícím vztahem.

$$M = dQ / dS$$

ó zářivý tok (W)

S ó plocha povrchu zdroje záření ($W m^{-2}$)

2.3 Popis absolutně černého tělesa

Teplotně absolutně černé těleso má na jednom konci malý otvor. Jestliže se těleso zahřeje na danou teplotu, malý otvor vyzařuje ideální záření v závislosti na teplotě. Záření Slunce se poměrně dobře blíží záření absolutně černého tělesa s teplotou přibližně 5800 Kelvinů.

$$= = I$$

= absorpce

= emisivita

Jen málo těles má vlastnosti srovnatelné s absolutně černým tělesem.

Skutečná tělesa vykazují ve srovnání se zářením černého tělesa řadu odchylek:

- vyzařují a pohlcují vždy menší množství zářivé energie
- spektrální intenzita jejich vyzařování neodpovídá ani Planckovu zákonu
- neříká se přesně zákonem Lambertovým

V praxi se zavedl pojem –černé těleso. Černá tělesa jsou taková tělesa, u kterých nezávisí emisivita na vlnové délce vyzařování. V přírodě bychom o tyto tělesa nenalezli. Avšak řada technicky významných materiálů se vyznačuje v určitém rozsahu vlnových délek nezávislostí emisivity na vlnové délce, a proto je za černá tělesa můžeme považovat.

Infra červený teplo přijímá nejen záření z mřeného objektu, ale také záření z okolí. Součet všech tří faktorů, tj. emisivity, odrazivosti a propustnosti, je roven jedné.

$$\epsilon + \rho + \tau = 1$$

ó Emisivita

ó Odrazivost

ó Propustnost

Pro nepropustné materiály je propustnost $\tau = 0$

$$\epsilon + \rho = 1$$

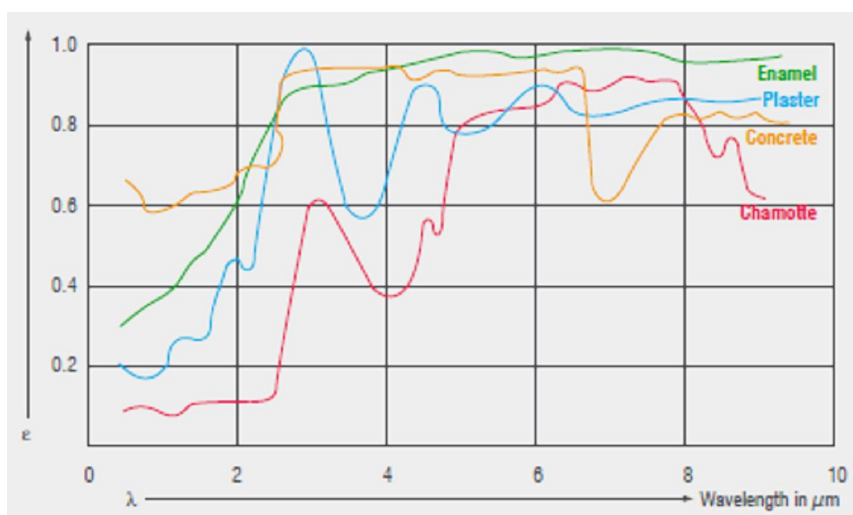
2.4 Emisivita

Poměr celkového zářivého toku q vyzařené daným tělesem k zářivému toku q_0 , které by vyzařilo absolutně černé těleso, se nazývá **emisivitou**.

Emisivita se používá jako konstantní faktor materiálu, který popisuje schopnost tělesa vydávat energii infračerveného záření. Může dosahovat hodnot v rozmezí od 0 do 100%. Ideálním zdrojem záření je černé těleso, které má emisivitu 1.0, zatímco na druhém konci této škály jsou například zrcadla, jejichž emisivita je 0,1. Pokud je zvolená emisivita příliš vysoká, infračervený teplo nemůže zobrazit teplotní hodnotu, která je podstatně nižší než skutečná hodnota - za předpokladu, že měřený předmět je teplejší než okolí. Emisivita závisí na vlastním povrchu mřeného materiálu, teplotě a vlnové délce. U většiny nekovových materiálů je emisivita vysoká a poměr stabilní. Obecně platí, že čím více se emisivita povrchu blíží 1, tím je měření bezkontaktními teploměry přesnější a naopak, měření u lesklých reflexních materiálů je problematické. Emisivita se nastavuje manuálně, nebo lze vybrat materiál, jehož teplota se měří a emisivita se nastaví automaticky. Abychom dosáhli objektivních výsledků, je nutné nastavit správnou emisivitu před samotným měřením.

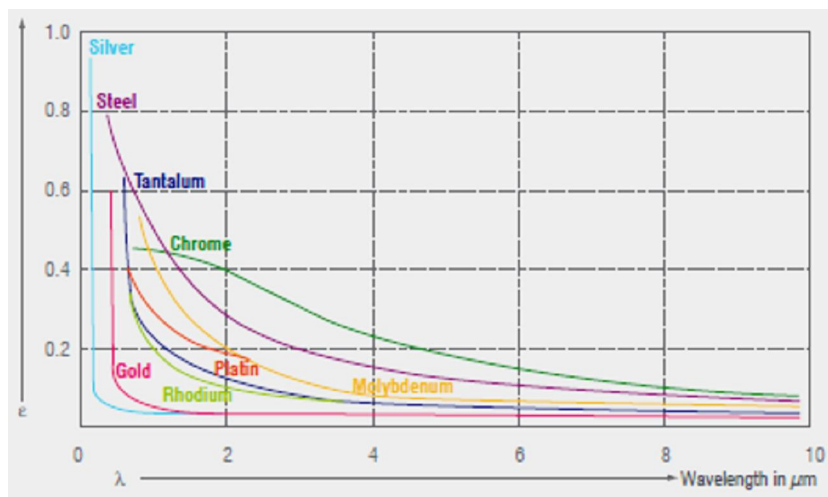
Hodnota emisivity pro n které vybrané materiály:

- černé t leso 1
- voda 0,95
- cihly 0,85
- zoxidovaný ocelový plech 0,75
- zoxidovaný hliník 0,55
- lesklý ocelový plech 0,25



Obr. . 4 Závislost emisivity na vlnové délce u n kterých nekovových materiál [14]

V zásad kovové materiály mají nízkou emisivitu, která je závislá na povrchovém složení m eného objektu. Emisivita s rostoucí vlnovou délkou klesá.



Obr. 5 Závislost emisivity na vlnové délce u některých kovových materiálů [14]

2.4.1 Stanovení neznámé emisivity v praxi

- Nejprve pomocí termo lávky nebo kontaktního senzoru určíme skutečnou teplotu měřeného předmětu. Poté tuto teplotu změříme infračerveným teploměrem a emisivitu upravíme tak, aby zobrazený výsledek odpovídal skutečné teplotě.
- Pokud máme teplotu do hodnoty 380 °C v etně, měřeme měřený předmět kompletně zakryt speciálním lepícím fólkem z plastu. Fólek má emisivitu 0,95 a je dodáván výrobcem infračervených teploměrů. Například firmou MICRO-EPSILON. Následně se emisivita teploměru nastaví na hodnotu 0,95 a změří se teplota tohoto fóleku. Poté se změří teplota oblasti mimo fólek a emisivitu měníme do té doby, než se teplota shoduje s teplotou, která byla naměřena na fóleku.
- Část povrchu měřeného předmětu se přetěsní rovinným náterem s emisivitou 0,98. Následně na infračerveném teploměru se nastaví emisivita na hodnotu 0,98 a změří se teplota natěrné plochy. Poté se určí teplota oblasti v bezprostředním okolí natěrné plochy a emisivitu upravíme tak, aby naměřená hodnota odpovídala teplotě natěrné plochy.

2.5 Infra červené záření

Spektrum infra červeného záření se pohybuje mezi 0,78 μm a 1000 μm vlnové délky. Pouze část spektra 0,8 μm a 14 μm je významná pro infra červené teplotní měření. Pokud je záření vyší než 14 μm , detektory nejsou dostatečně citlivé, aby toto záření zaznamenaly.

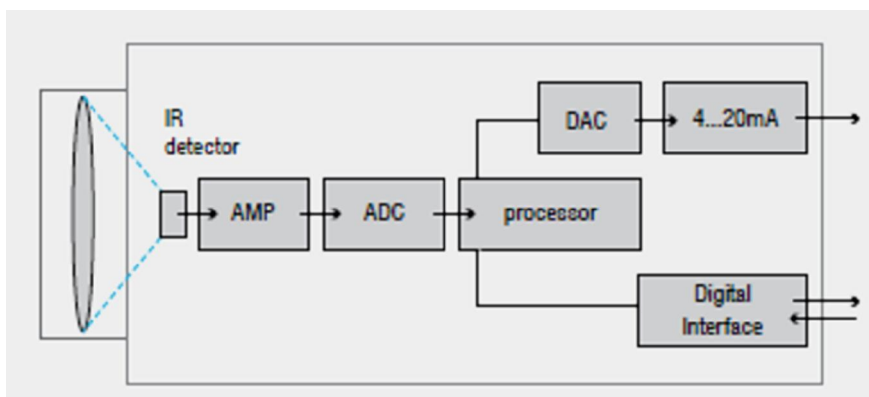
2.5.1 Popis infra červeného teploměru, pyrometru

Pomocí optiky je zachyceno záření z určité oblasti flhavého tělesa, paprsky jsou soustředěny na detektor, který generuje elektrický signál v závislosti na teplotě. Dopadající záření se mění na teplo. Signál je následně zesílen a transformován jako výstupní analogový elektrický signál 4 mA a 20 mA, případně 0 V a 10 V, nebo jako digitální signál. Elektrický signál je úměrný tvrdé mocnině teploty flhavého tělesa, jak je patrné ze Stefanův-Boltzmannova vztahu:

$$E = \sigma \cdot T^4$$

Optika musí být vyrobena z takového materiálu, aby propustnost spektrálního záření souhlasila s citlivostí detektoru. Optické rozlišení nám stanoví poměr vzdálenosti měřeného objektu k průměru měřeného místa. U kvalitních přístrojů se udává optické rozlišení a 300:1 a často bývá schematický obrázek uveden v katalogovém listu nebo manuálu. V potaz musíme brát kalibraci snímače a nastavení emisivity. Hodnota měření by měla být zároveň zobrazena na displeji řídicí jednotky. Údaj infra červeného teploměru nezávisí na vzdálenosti od zdroje, pokud zdroj zaujímá celé zorné pole. Intenzity záření sice ubývá tvrdcem vzdálenosti, avšak plocha v zorném poli stejně narůstá.

Ideální je, aby rovina snímaného objektu byla kolmo k optice infra červeného teploměru. Čím větší je odchylka snímače od normály snímaného objektu, tím větší chyby se měření dopustit. Zde platí Lambertův zákon. Pro měření, v případě kdy teplota okolního objektu je vyší než teplota objektu měřeného, jsou některé infra červené teploměry vybaveny kompenzací na teplotu okolí měřeného objektu.

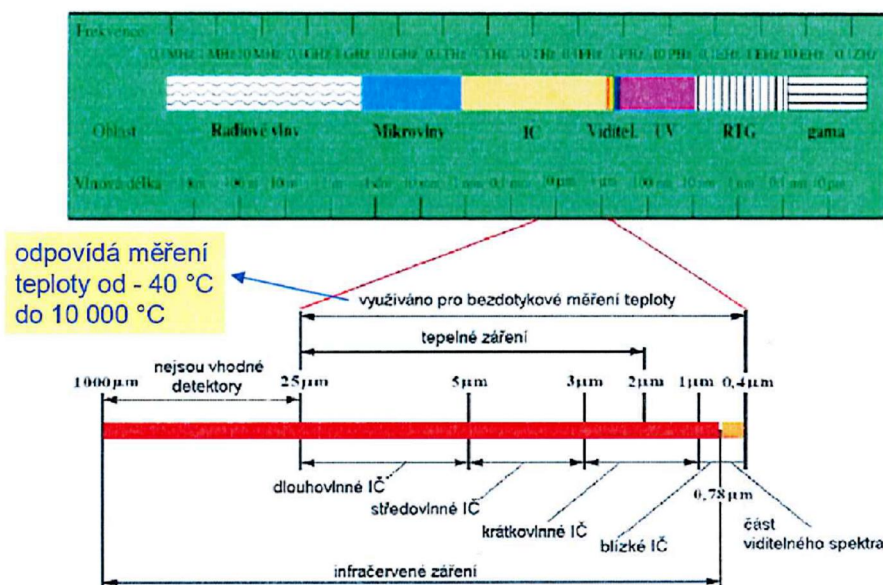


Obr. . 6 Popis infra erveného teplom ru [14]

Podle oblasti spektrálního rozsahu můžeme pyrometry rozdělit na:

- úhrnné (širokopásmové),
- pásmové (úzkopásmové),
- poměrové

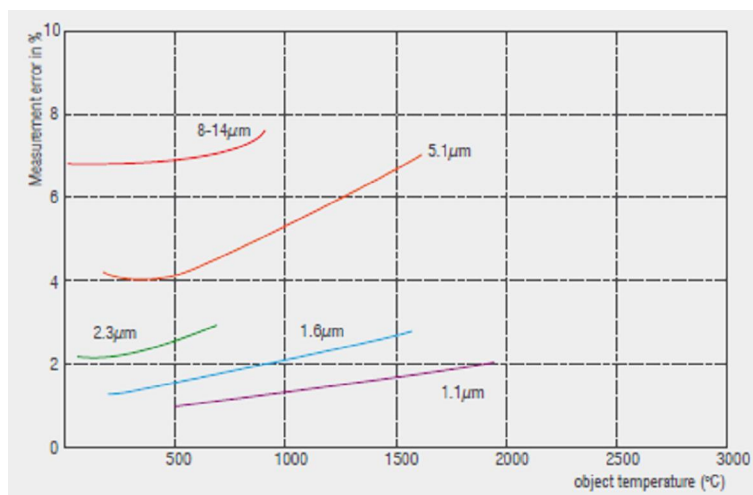
Úhrnné pyrometry (širokopásmové) pracují ve spektrálním rozsahu od 0,4 μm do 25 μm . Horní a dolní mez širokopásmového přístroje závisí na použitém optickém systému. Konstrukce těchto přístrojů nejjednodušší a nejlevnější. Tepelné záření, vysílané měřeným objektem, se soustřeďuje optickým systémem na detektor. Optický systém bývá sestaven z čoček nebo zrcadel.



Obr. 7 Spektrum záření [1]

Pásmové (úzkopásmové) pyrometry pracují v relativně úzkém rozmezí vlnových délek, při výběru tohoto rozmezí souvisí s požadovaným ú měření. K detekci záření se využívají kvantové senzory záření. Mezi taková idla patří fotonky, foto články, fotodiody, fototranzistory a fotoodpory. Jejich výhodou je velmi rychlá reakce. Spektrální citlivost je závislá na typu idla. V oblasti viditelného záření se využívají selenové foto články. V rozsahu neviditelného záření (0,7 μm až 1,8 μm) jsou používány citlivé k emisivní foto články. Požadované pásmo vlnových délek se vymezuje aplikací vhodné optiky, optického filtru a vhodnou spektrální citlivostí detektoru.

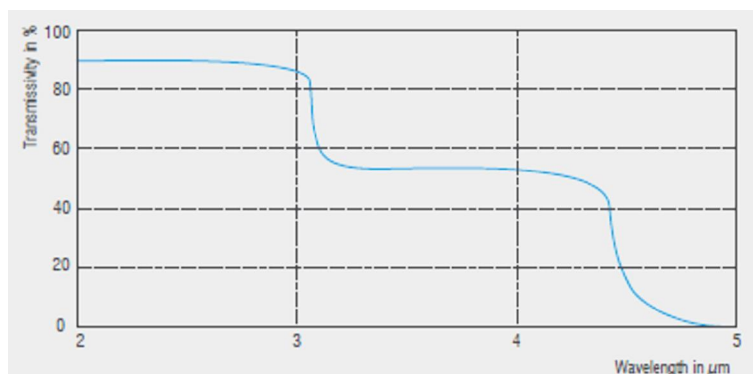
Úzkopásmové teploměry se používají například měření kovových materiálů. Výběr infra červeného teploměru závisí na vlnové délce a teplotním rozsahu. Jak je patrné z grafu, pro dosažení nejnižší chybovosti při měření vysokých teplot se doporučuje použít teploměr s vlnovou délkou 0,8 μm až 1,1 μm. Pro měření kovových materiálů při nižších teplotách je možné použít vlnové délky 1,6 μm, 2,2 μm a 3,9 μm.



Obr. 8 Tabulka ukazuje chybovost v % v závislosti na teplotě objektu pro různé spektrální rozsahy [14]

Při měření teploty plastů se s vlnovou délkou mění propustnost materiálu. Propustnost materiálu je závislá na její tloušťce. Tenký materiál má vyšší propustnost. Optimálním měřením je měření ve vlnové délce, kde propustnost je téměř rovna nule. Polyethylen, polypropylen, nylon a polystyren mají nulovou propustnost při vlnové délce 3,43 μm. Polyester, polyuretan, teflon, FEP a polyamid mají nulovou propustnost při vlnové délce 7,9 μm. Při měření silnější vrstvy lze rovněž využít teplotu s vlnovou délkou 8 μm až 14 μm.

Při měření teploty skla si musíme dát pozor na propustnost a odrazivost. Vlnové délky 1,0 μm, 2,2 μm, nebo 3,9 μm jsou vhodné pro měření hlubší vrstvy skla, zatímco vlnová délka 5 μm se doporučuje pro měření povrchu skla.



Obr. 9 Spektrální propustnost skla [14]

Pomírové pyrometry měří energii vyzařovanou objektem na dvou úzkých pásmech vlnových délek a vypočítávají poměr těchto energií. Proto se tyto teploměry označují jako šdvoubarevné pyrometry, protože uvedené dvě vlnové délky odpovídaly dvěma různým barvám ve viditelném spektru. Vzhledem k tomu, že se vyhodnocuje poměr vyzařovaných energií, eliminuje se do značné míry vliv emisivity, eliminuje se rovněž vliv absorpce v atmosféře. Měření tedy nemusí vyplňovat celé zorné pole. Tyto pyrometry se využívají ve speciálních aplikacích, kde například prach nebo plamen může ovlivnit samotné měření.

V současnosti infračervených teploměrů využívá k měření laserového zaměření buď jednoduchého laserového bodu, dvou laserových bodů nebo laserového kříže. Na trhu se dále vyskytují ruční pyrometry, které využívají pro vlastní zaměření hledáček, podobně jako u fotoaparátu.



Obr. 10 Ukázka ručních infračervených teploměrů [14]

Každý uživatel infračerveného teploměru si musí uvědomit, že při měření snímá celkovou energii, a že údaj na infračerveném teploměru je střední hodnota.

2.5.2 Kalibrace infračervených teploměrů

Kalibrace se provádí pomocí černého tělesa. Emisivita reálného černého tělesa se pohybuje mezi 0,98 a 0,99. Kalibrační těleso pracuje v teplotním rozsahu -20 až 1500°C. Stabilních výsledků lze dosáhnout i pod teplotou 0°C. Při digitálním rozhraní RS 232 lze počítačem řídit nastavování teploty.



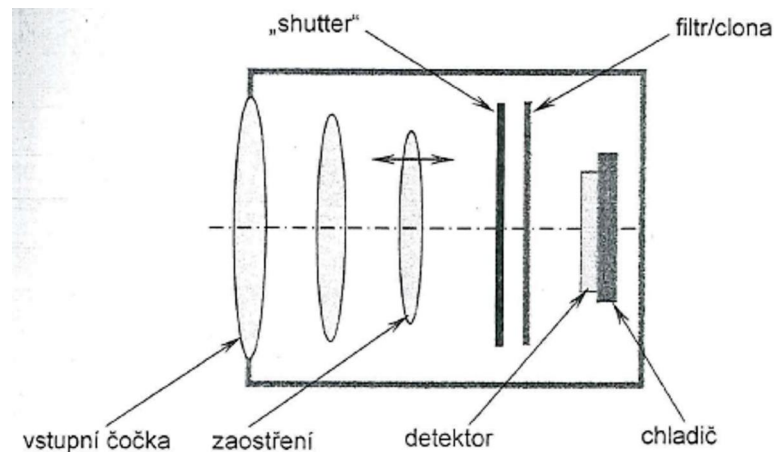
Obr. 11 Ukázka kalibračního černého tělesa [28]

2.5.3 Infra červená termovizní kamera

Popis infra červené termovizní kamery

Moderní termovizní kamery se vyznačují vysokou rozlišovací schopností a citlivostí. Nejčastěji se uvádí přesnost $\pm 2^\circ\text{C}$. Samotná konstrukce a princip infra červené kamery je velmi podobná konstrukci klasické kamery a fotoaparátu. Rozdíl vychází z toho, že tepelné záření je vyzařováno s vlnovou délkou 10^{-4} až 10^{-7} m. Objektiv promítá dopadající tepelné záření na tzv. detektor. Pro kameru je důležitý objektiv. Objektiv může být vyroben z germania, slitin germania nebo zinkové oceli. Oproti standardní kamere tvoří optika významnou nákladovou polovku. Obzvláště u kamer s velmi kvalitní optikou, musí být každá optika kalibrována pro jednotlivé pixely. Objektiv je vlastně soustava optik, kterým prochází tepelné záření na detektor. Clonou před detektorem lze regulovat dopadající záření. Jestliže je záření příliš vysoké, vsune se před detektor tenký filtr, který snižuje dopadající záření. Po určité době se vkládá před filtr tzv. šutter, který představuje černé těleso a slouží pro kalibraci detektoru. U většiny termovizních kamer je použit detektor FPA. V zásadě se jedná o zobrazovací snímač o velikosti 20.000 až 1 milion pixelů. Každý pixel může být velký $17 \times 17 \mu\text{m}^2$ až $35 \times 35 \mu\text{m}^2$. U detektoru FPA se vzniknou dopadajícího záření mění vnitřní odpor. Vytváří se napájecí signál, který je dále převeden 14 bitovým převodníkem na digitální signál. Tento signál je zpracován ve výsledný snímek, který se odborně nazývá **termogram**. Pořízený snímek, tzv. termogram, nese informaci o povrchovém rozložení teploty měřeného

objektu. Jedná se o vizualizaci při použití barevných palet, které přiřazují barvu různým teplotám. Na které infra červené kamery disponují možností radiometrický snímek doplnit o obrazový snímek. Termovizní infra červené kamery vypočítávají teplotu jednotlivých bodů na povrchu měřeného objektu.



Obr. 12 Schéma termovizní kamery [2]

V termovizních kamerách se používají dvě pásma vlnových délek. Jednak krátkovlnné v rozsahu 2 až 5 μm a dlouhovlnné v rozsahu 7 až 13 μm . Pomocí software lze pro libovolné teploty nastavit různou paletu barev. Tyto barvy jsou pouze příčiny. Termovizní infra červené kamery pracují v neviditelném spektru záření. Dále lze vytvářet oblasti a z nich vyhodnocovat minimální, průměrnou nebo maximální teplotu. Pro jednotlivé oblasti lze nastavit emisivitu daného materiálu. Pomocí termovizních infra červených kamer lze pořizovat snímky nebo nahrávat video.

2.5.4 Infra červené detektory

Jedna z nejdůležitějších částí infra červeného teploměru je infra červený detektor. Maticový detektor je základním prvkem termovizní, infra červené kamery. Je tvořen maticí infra červených senzorů. Na trhu se objevují dva druhy detektorů.

- **Tepelné detektory**
 - termoelektrický,
 - pyroelektrický,
 - bolometr FPA
- **Kvantový detektor**

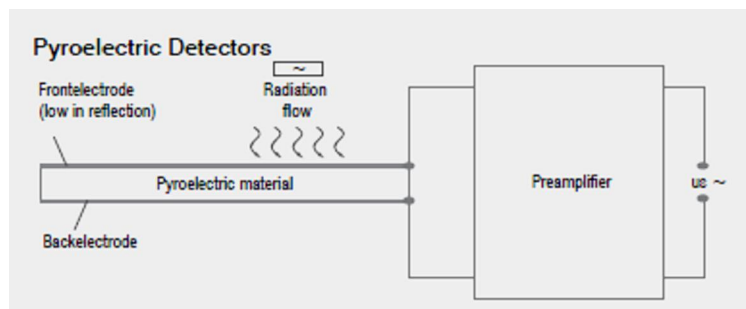
Tepelné detektory

Teplota tohoto citlivého detektoru se mění díky dopadu elektromagnetického záření. Tepelný detektor je nejčastěji používaným detektorem. Nepotřebuje chlazení a je cenově levnější než kvantový detektor.

Termoelektrický detektor

Tento detektor využívá principu klasického termoelementu. Termoelementy jsou konstruovány jako tenké kovové pásy nebo jako pásy zhotovené technologií tenkých vrstev. Pokud se spojí dvě dráty, které jsou z odlišného kovového materiálu, zahřejí se na určitou teplotu, vytvoří se elektrické napětí. Jestliže se takový spoj zahřeje díky vysílanému záření, nazývá se tento prvek radiálním termoelementem.

Pyroelektrický detektor



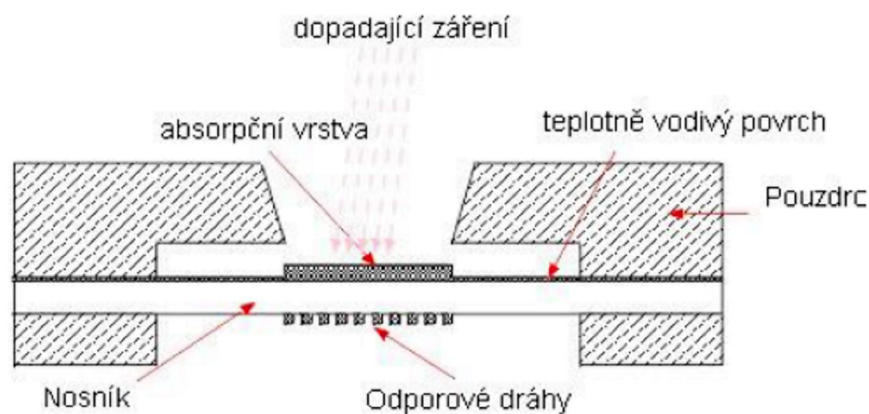
Obr. 13 Pyroelektrický detektor [14]

Pyroelektrický detektor se skládá z pyroelektrického materiálu se dvěma elektrodami. Absorbované infra-červené záření změní teplotu citlivého prvku. To vede ke změně povrchu díky pyroelektrickému efektu. Pyroelektrický jev se vyskytuje u pyroelektrik s trvalou polarizací nebo u některých ferroelektrik, u nichž se orientace domén vytvoří silným elektrickým polem. U pyroelektrických materiálů se kromě pyroelektrického jevu projevuje parazitní piezoelektrický jev (např. působením a deformací). U některých přístrojů je tento jev kompenzován je-t jedním opačně pólovaným detektorem. Tento detektor je odstíněn před tepelným zářením. Vytvořený elektrický signál je přiveden do předzesilovače. Použitím selektivního předzesilovače dostaneme lepší signál s nižším úměrem.

Bolometr FPA

Tyto detektory využívají teplotní závislosti elektrického odporu.

Se změnou dopadu infra-červeného záření se změní velikost odporu, který je součástí tohoto detektoru. To vede ke změně napávacího signálu. Bolometry, které se používají v pokojovém prostředí, pracují s teplotním koeficientem kovového rezistoru (bolometr s tenkou nebo tenkou vrstvou) nebo s teplotním koeficientem polovodičového rezistoru (termistorový bolometr). V dnešní době polovodičová technologie nahradila mechanické skenery. FPA detektory jsou vyrobeny na principu tenkovrstvého bolometru. Díky této technologii se infra-červené kamery zlevnily. Na obrázku je možno vidět samotný princip. Zlatá fólie pohlcuje infra-červené záření, a 95% záření pohltí a ohřeje teplotně vodivý prvek nosníku. Na spodní straně nosníku je napájecí odporová vrstva.



Obr. . 14 Bolometr FPA [10]

Kvantový detektor

Oproti teplotnímu detektoru je rychlejší. Tento detektor je založen na fotoefektu. Dopad foton infra červeného záření vede ke změně elektrické vodivosti. Takové detektory se většinou provozují chlazené a k tomu se využívá Peltier v, nebo Strling v chladič (miniaturní heliový kompresorový agregát). Mezi kvantové detektory patří fotodioda, fototranzistor a fotoodpor.

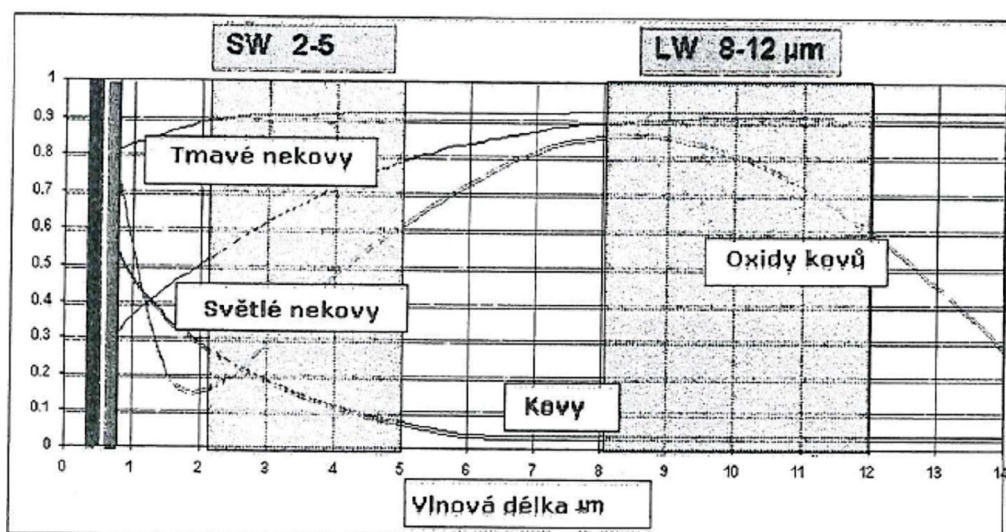
2.5.5 Co ovlivňuje kvalitu termovizního snímku

Tepelný zdroj v blízkosti snímaného objektu

V případě, že máme velmi malý objekt a nemáme k dispozici výměnou optiku s větší ohniskovou vzdáleností, může se stát, že energie dopadající na detektor zahrnuje i oblast mimo detail. Naměřená teplota má chybnou hodnotu.

Volba emisivity

Pokud nastavíme špatně emisivitu, můžeme získat zcela chybné výsledky. Zvláště u zaoxidovaných kovů je emisivita velmi závislá na vlnové délce. Viz. Obrázek. Například vyčíslený hliník má emisivitu 0,027, silně ztvářený hliník má emisivitu 0,94. Právě hliníkové plechy se často používají k ochraně izolovaných potrubí i kotlů.



Obr. 15 Závislost emisivity na vlnové délce [2]

2.5.6 Výhody a nevýhody používání infra teploter a termovizních kamer

Výhody:

- lze měřit pohybující se a horké objekty a objekty ve výbušném prostředí
Nedochází k přímému kontaktu mezi měřidlem a povrchem tělesa.
- velmi rychlá odezva
Infra červené teplotoměry reagují na změnu teploty zářiv v milisekundách, což umožňuje uskutečňovat více měření v relativně krátké době.
- dlouhotrvající a nedestruktivní měření
Není potřeba na měřený povrch umísťovat měřidla.
- zanedbatelný vliv měřicí techniky na měřený objekt
Z měřeného objektu není odebírána žádná tepelná energie, což je výhodné zejména u materiálů, které špatně vedou teplo, jako například dřevo nebo plasty.
- možnost měřit a dále zpracovávat teplotu v celém obrazu za použití infra červené termokamery
- lze měřit povrchovou teplotu kovů, skla, plamene atd.
- měření teploty z bezpečné vzdálenosti (elektrická zařízení, hutní objekty)

Nevýhody:

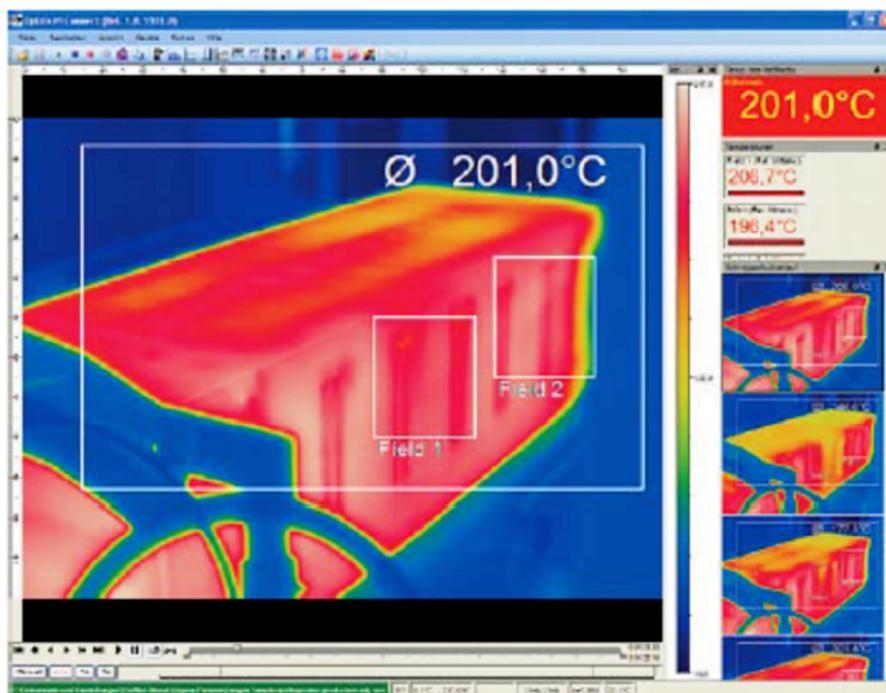
- vyšší cena
- nejistota měření způsobená nastavením nesprávné emisivity
- nejistota způsobená neznalostí správné hodnoty propustnosti prostředí
- nejistota způsobená prostupností prostředí (např. vodní pára, sklo, dým)
- nejistota způsobená odražením záření z okolního prostředí

2.5.7 Aplikace

Hlavní uplatnění infračervených kamer:

- **Optimalizace výrobních procesů**

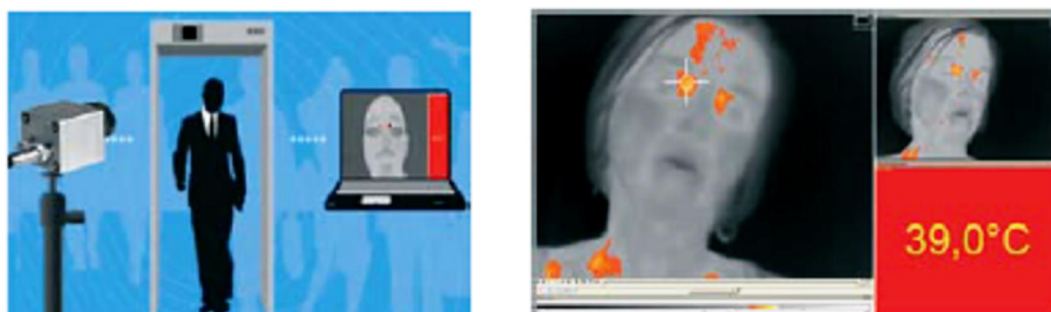
Kvůli nepřesnosti nebo rychlosti vadačů výrobních procesů není možné provádět průběžnou kontrolu výroby. Většinou celková kontrola probíhá až v závěru procesu, někdy dokonce až při balení. Je-li požadavek na termální kameru, je možné nasadit stacionární infračervenou kameru. Například při výrobě PET lahví je potřeba zahřát předlisek na požadovanou teplotu z důvodu dodržení požadované tloušťky. K této kontrole lze využít stacionární infračervené kamery, například od firmy MICRO-EPSILON, které mají přímo integrované vstupy a výstupy pro přímé ovládání výrobní technologie nebo bezpečnostních systémů.



Obr. . 16 Software infra červené kamery TIM [15]

- **Kontrola cestujících zdali nemají hore ku**

Infra červená termokamera slouží pro rychlou detekci cestujících. Základem je měření povrchové teploty obličeje v oblasti očí. A koliv termokamera má s absolutní přesností cca 2°C, pro toto měření je vhodná díky své dobré opakovatelnosti.



Obr. . 17 Kontrola cestujících infra červenou kamerou [15]

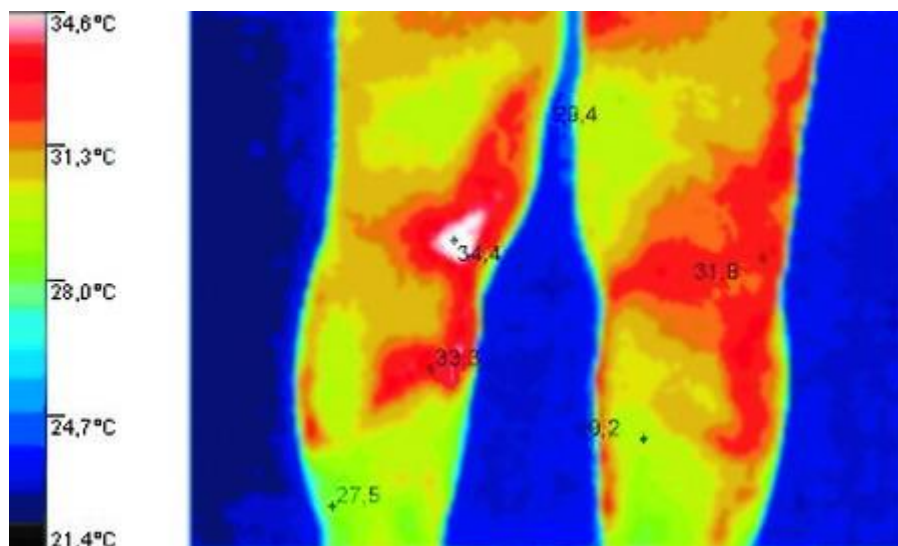
- **Uplatnění ve zdravotnictví**

V případě, že se použije infračervená termokamera s vyšší citlivostí, lze diagnostikovat nádorová onemocnění. Např. nádor tlusté flázy, prsu, apod.

Samotnou diagnostiku máme rozdělit do dvou oblastí.

1. Objevení ložisek nádorového zánětu. Tyto měně oblasti se vyznačují zvýšenou teplotou.
2. Diagnostika nedokrvených částí těla. Tyto oblasti se naopak vyznačují sníženou teplotou.

Samotné měření musí probíhat v místnosti s ustálenou teplotou. Pacient se nejdříve aklimatizuje po dobu cca 20 minut. Pomocí termokamery se pořídí snímek, který se dále vyhodnocuje. Studená místa jsou označena modře, ačerně. Teplá místa jsou označena flutě, ač bíle. Měření infračervenou termokamerou se kombinuje s dalšími metodami. (magnetická rezonance, sonografie atd.). Pouze měřením těto metody, vzniklo již několik falešných diagnóz. Dále se infračervená termokamera může využívat v plastické chirurgii při kontrole hojení transplantátů.

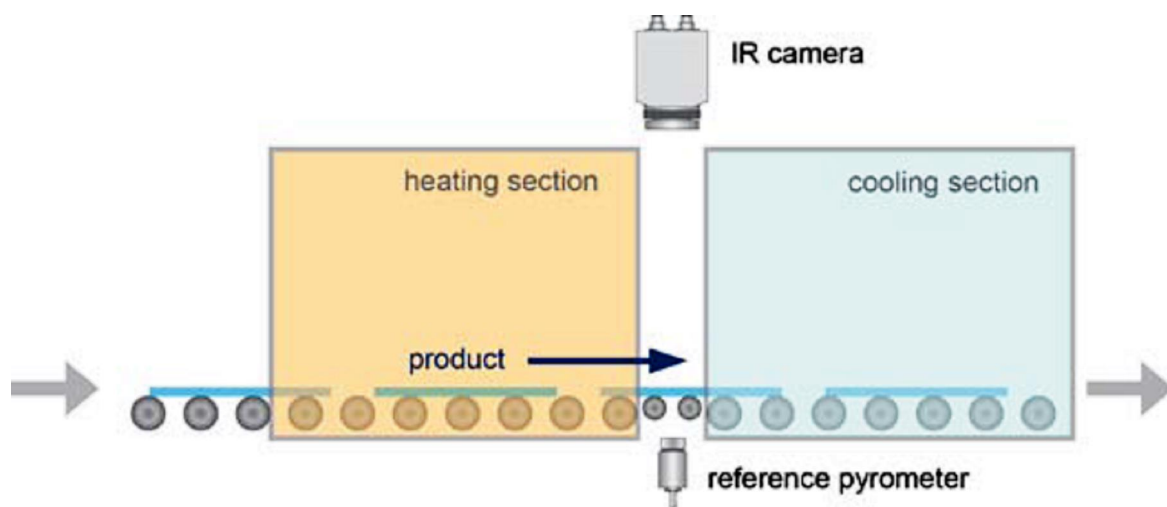


Obr. 18 Infračervenou termokamerou byly diagnostikovány varixy (bílá barva) [20]

- Uplatnění v praxi

Termovizní infračervená kamera je při používání v praxi považována za velmi prospěšný nástroj. Je schopna zobrazit a snímat rozložení teplot celého povrchu.

To umožňuje vyhledat závady dříve, než samotná závada může způsobit nákladnou havárii v určitém rozsahu a způsobit odstávku výroby nebo nebezpečný požár. Mění se může provádět za provozu bez jakéhokoli vlivu na měřený objekt. Kamerou lze kontrolovat elektrická zařízení, izolace sklených pecí a únik tepla u dopravníkových pecí. Dalším příkladem, kde se může v praxi použít infračervená termovizní kamera je kontrola upraveného vytvrzeného skla přímo při samotné výrobě. To se provádí v peci, v tepelné komoře při teplotě cca 600°C. Po zahájení je sklený produkt pomocí pohyblivých válečků přesunut do chladicí komory. Tímto způsobem je vygenerována vytvrzená jemná krystalická struktura, která je zvláště důležitá pro tzv. bezpečnostní sklo. Jelikož topná a chladicí komora se nachází velmi blízko sebe, je teplota skla monitorována přes malý otvor. Výsledkem je vygenerovaný infračervený snímek zobrazený pomocí několika linií. Doba záznamu 8 ms. Sklo může mít různou emisivitu v závislosti na její povrchové úpravě. Infračervený teploměr, který je umístěn na spodní straně, měří přesně teplotu skla. Teploměr měří ve vlnové délce 5 μm. Výstupní analogový signál teploměru je použit jako vstupní signál infračervené termovizní kamery TIM. Tento signál je využit pro stanovení emisivity. Výsledné termovizní obrázky slouží pro přesné nastavení tepelné komory.



Obr. 19 Měření rozložení teplot na vytvrzeném skle [15]

3 Válcování trubek

V hlubinných pecích se ocelové ingoty o hmotnosti 10 t ohřívají na teplotu cca 1100°C. Při této teplotě se válcují na předvalky. Válcování je kontinuální proces, při kterém se materiál mezi válci deformuje. Mění se jeho rozměry. Mezera mezi válci je menší než samotný materiál. Válcování může probíhat rovně či za studena. Samotnou výrobu trubek dělíme do dvou skupin. Trubky bezové a trubky svařované. Bezové trubky jsou zhotoveny z plného materiálu. Naopak svařované trubky jsou zhotoveny svinutím ocelového pásu do tvaru trubky, která je následně svařena.

3.1 Bezevé trubky

Trubky bezové se vyrábí především válcováním. Podle vlastního provedení lze trubky rozdělit na hladké, závitové, s tvarovými konci atd. Rozměr trubky je dán průměrem a tloušťkou stěny. Samotný postup výroby lze rozdělit do dvou operací.

- výroba dutých polotovarů s velkou tloušťkou stěny pomocí kosého nebo příného válcování
- zpracování těchto polotovarů poutnickým nebo klasickým způsobem

3.2 Historie výroby bezových trubek

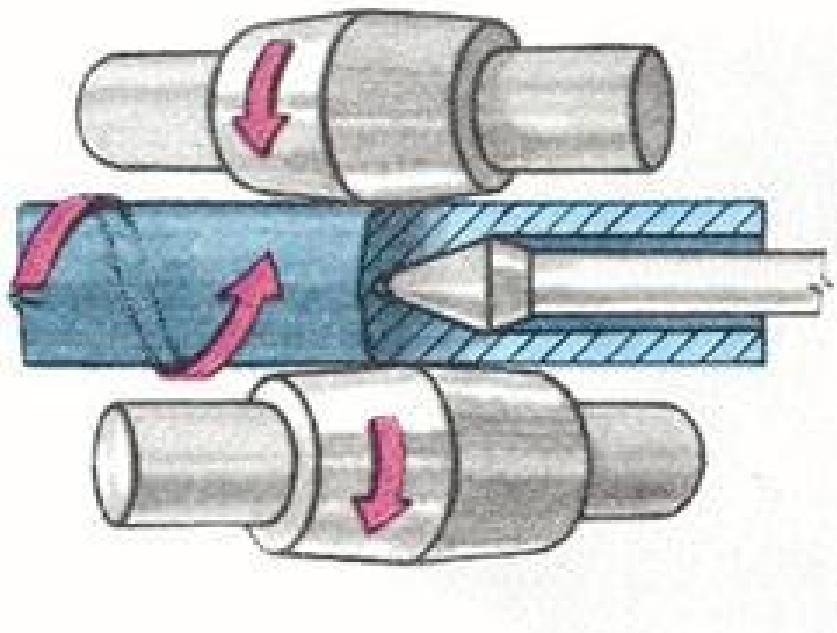
V době rozvoje parních kotlů byly kladeny větší nároky na kvalitu trubek. Dříve používaná metoda svařováním dostatečně nevyhovovala, a proto se začal hledat nový způsob výroby. Tento problém vyřešili bratři Reinhard a Max Mannesmannovi. V roce 1885 si nechali patentovat špecie kosého válcování a příslušná válcovna. Tato metoda je dodnes používaná. Tradiční se dvě legendy, jak bratři Mannesmannovi došli k tomuto řešení. Podle první verze byl princip řešení spojen s reelíngem, který byl používán k hlazení a rovnání kruhové oceli, určené k výrobě pilníku provedly první zkoušky. Předvalky se podařilo vyrobit 22. 8. 1886. První bezové trubky se vyráběly v Sársku, v Anglii a v Chomutově. V roce 1891 byl bratřím Mannesmannům vydán patent na způsob a zařízení k formování, vyválcování a kalibrování trubek a jiných dutých těles. Tento proces válcování byl nazván poutnická trať, podle pochodu procesí, kam k poutnímu místu k Echternachu rodina Mannesmannů jezdila. Proces byl vyvinut hlavně pro výrobu trubek o menším průměru a menší tloušťce stěny. Po rovnání i hlazení se objevovaly kusy, které měly ve svém jádru trhliny. Totéž se projevovalo i při příném válcování kulatiny pro cevy a píštěly. Válcování probíhalo na stolici o reelu se

t emi válci. Ukázalo se, že při náhradě tohoto horního válce vodítkem byl získán efekt "rozvolnění", což vedlo k vynálezu kosého válcování. Druhá verze tvrdí, že Reinhard Mannesmann si při jednom oběd hrál s kouskem chleba, který válel mezi prsty. Při tomto pohrávání se dostal s chlebem proti párátku, které držel v druhé ruce a vznikl dutý předvalek.

3.3 Technologické způsoby výroby bezévrých trubek

3.3.1 Mannesmann v způsob

Tento způsob výroby trubek patří mezi nejrozšířenější. Nejprve se dříve polotovary kosým válcováním. Ingoty jsou používány pro výrobu trubek s velkým průměrem, sochory jsou používány pro výrobu trubek menších průměrů. Při válcování kosým válcováním dochází ke stlačení materiálu a k jeho rozrušení ve středě polotovaru. Dochází k posunu částic ze středu směrem ven. Obvod se zvětšuje a tím dochází k válcování.



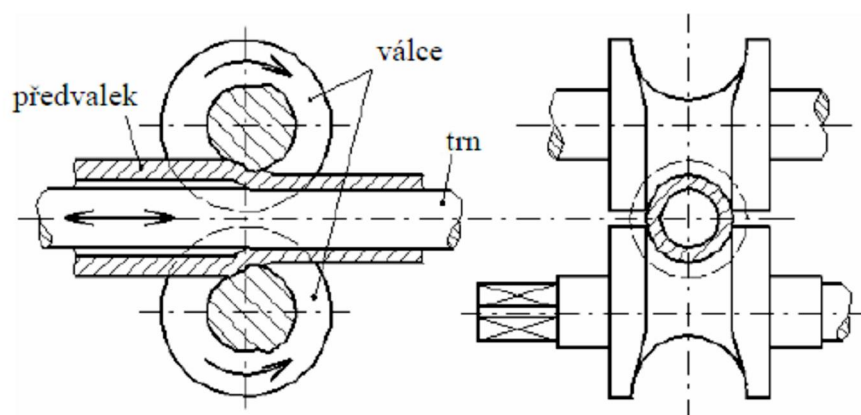
Obr. 20 Mannesmann v způsob kosového válcování trubek [26]

K redukci průměru a ke zvětšení délky se používá tzv. **poutnická stolice**. Válcuje se na trnu, jehož průměr odpovídá průměru trubky a délka trnu je větší než je délka vyválcovaného polotovaru. Při válcování se výrobek osou posouvá. Na povrchu vývalku jsou při válcování znát nepatrné povrchové vlnky. Za dobu jedné otáčky se materiál posune o 10 až 35 mm. Velikost posuvu závisí na velikosti a tloušťce válcované trubky. Na tratích s poutnickými stolicemi se válcují hlavně trubky z uhlíkových ocelí. Trubky vyrobené tímto způsobem mají nejmenší průměr 50 mm a tloušťku stěny 2,25 mm.

Samotný výrobní proces je rozdělen do tří hlavních částí:

- výroba dutého polotovaru (předvalku)
- válcování dutého předvalku a následného vzniku hotové trubky
- proces kalibrace a chlazení

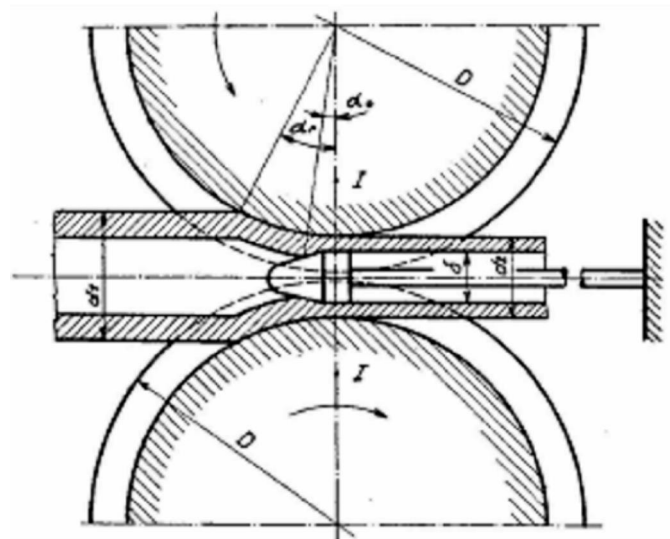
Na konci poutnické stolice je umístěn kalibrační stroj. Po odíznutí trubky se nerovné konce kalibrují na přesný vnější průměr.



Obr. . 21 Válcování na poutnické stolici [21]

3.3.2 Stiefel v z p sob výroby s automatem

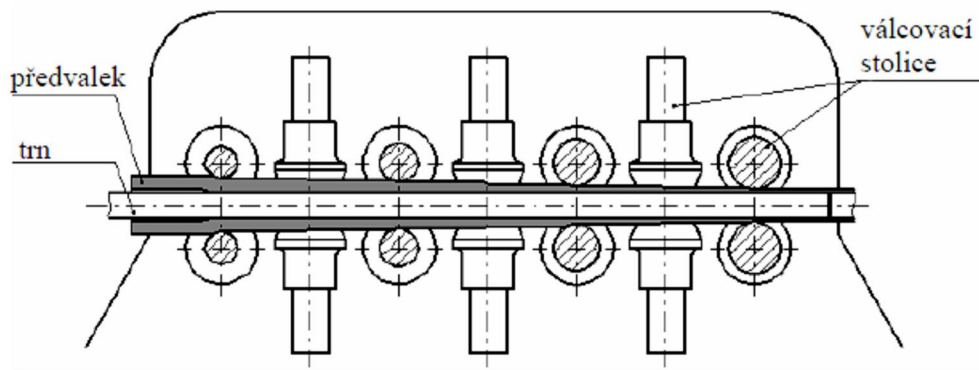
U této metody je požadovaná nejmenší tlouška st ny 6 ó 7 mm. Používá se dvouválcová stolice s kruhovými kalibry, tzv. metoda podélného válcování. Trn má kufelovitý tvar. Válcuje se na dva afl t i pr chody trubky. Po každém projetí trubky se trubka oto í o 90°. Následn se nasadí na hladící stroj. Vyhlazuje se vnit ní a vn jí st na trubky.



Obr. . 22 Výroba na automatu [21]

3.3.3 Spojité válcování trubek

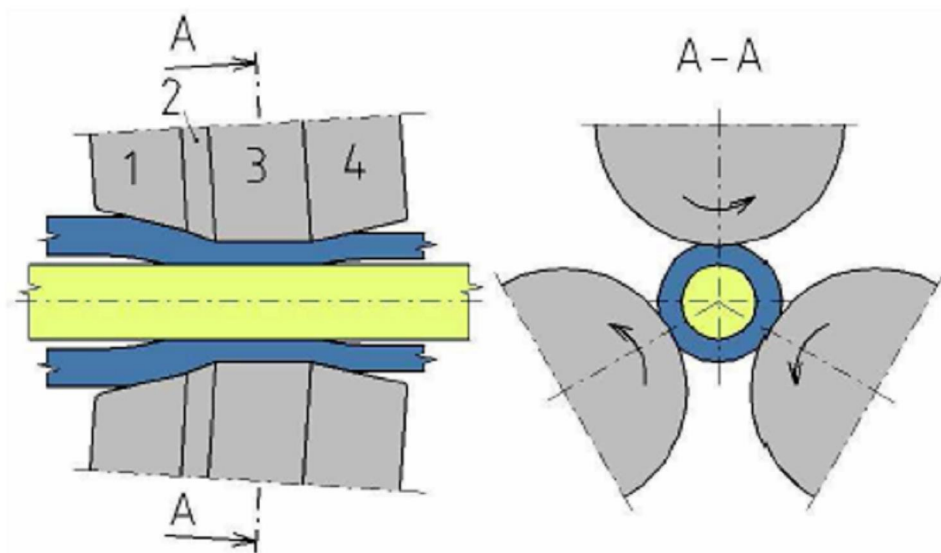
Linka se skládá z oh evu, d rovacího dvouválce s poutnickou stolicí nebo t íválce s vlastní více stojanovou válcovací stolicí. Vlastní proces se provádí na p edválnku, který je nasazen na dlouhém trnu. P edválnek i s trnem prochází adou dvouválcových stolic. Tra m fle mít 7 ó 17 pár válc . Trn má délku 6,5 ó 8 m. Požadovaný pr m r a tlouška st ny (min. 2 mm) se vyválcuje na jeden pr chod. Spojité válcování trubek se vyzna uje vysokou rychlostí, velmi dobrou jakostí povrchu a mořností válcovat trubky o malé tlouce st n. Naopak lze válcovat pouze trubky malých rozm r a je pot eba velké mnořství válc a trn .



Obr. . 23 Spojitá válcovací stolice [21]

3.3.4 Assel v zp sob válcování na tratích s t íválcovou stolicí

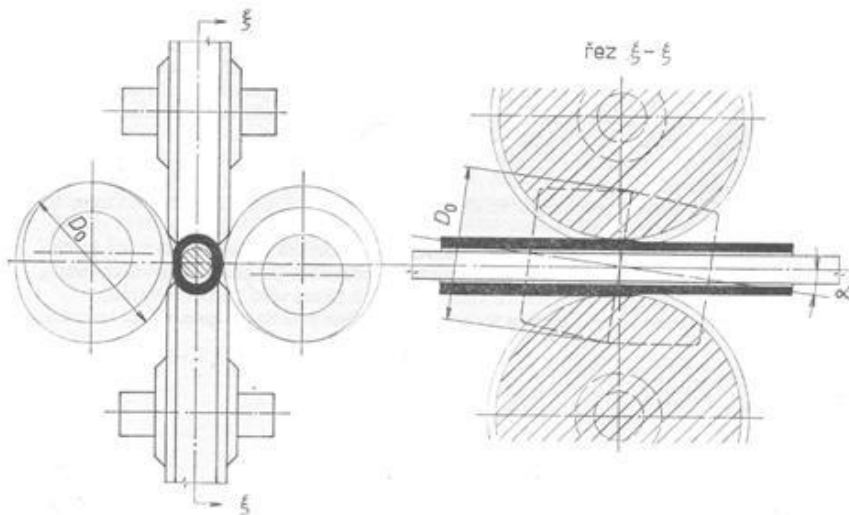
P i tomto procesu válcování se využívají trat s t íválcovou stolicí. Kufelové válce jsou umíst ěny pod úhlem 10 ó 15° a zároveň jsou vzájemn ěmimob ělné. Kufel 1 je nazýván kufelem zavád ěcím, samotné válcování provád ěí kufel 2, kufel 3 provád ěí rozválcování a kufel 4 má funkci výstupní.



Obr. . 24 Assel v zp sob válcování [21]

3.3.5 Diescher v zp sob válcování trubek

Válcovací stolice válcuje se dv ma mimob fnými válci podle kosého principu. Mezi válci jsou umíst ny ve svislé rovin dva kotou e, které napomáhají tvá ení. Válcovaná trubka m fe mít pr m r 50 ó 150 mm a tlou– ku st ny cca 3 mm. Délka trubky nep esahuje 15 m. P i válcování dochází k zna nému opot ebení nástroj . Stolice je velmi drahá.

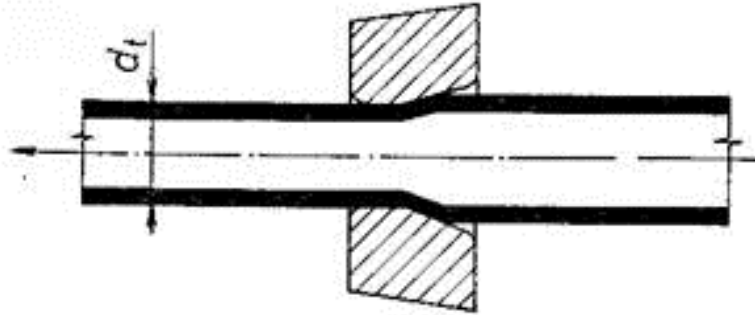


Obr. . 25 Diescher v zp sob válcování [25]

3.3.6 Výroba beze-vých trubek tafením

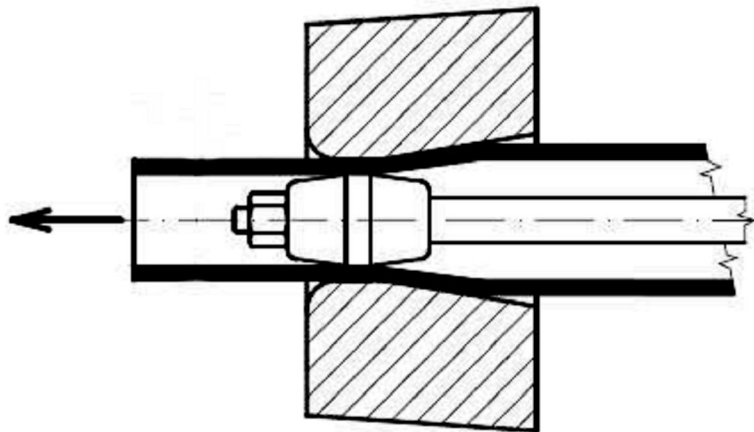
P i tomto procesu se využíává p etřflitý proces. Nej ast ji se provádí za studena a je ur ena pro trubky o tlou– ce 0,1 afl 250 mm. Jako výchozí profil je zde pouflita trubka vyrobená válcováním o délce afl 4,5 m. Konec trubky je upraven pro prostr ení pr vlakem. Vn j–í pr m r trubky je vřdly vymezen pr vlakem. Základní zp soby tafení trubek:

- **pr vle né tafení** ó vnit ní pr m r ani tlou– ka st ny není vymezena řládny m nástrojem. Na konci trubky je umíst n hrot. Tato metoda se pouřlívá hlavn ke kalibrování.



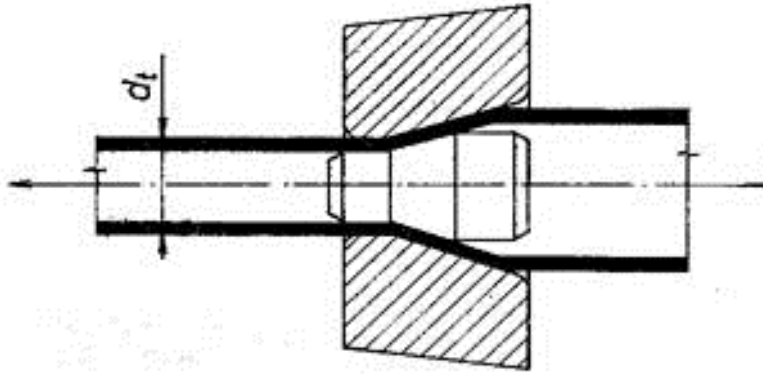
Obr. . 26 Pr vle né tafení [26]

- **tafení na uchyceném trnu** ó tafnou sílu p ená-í trubka. Uvnit pr vlaku je krátký trn. Trubka se zasune na trn, aby hrana trubky zasahovala do pr vlaku.



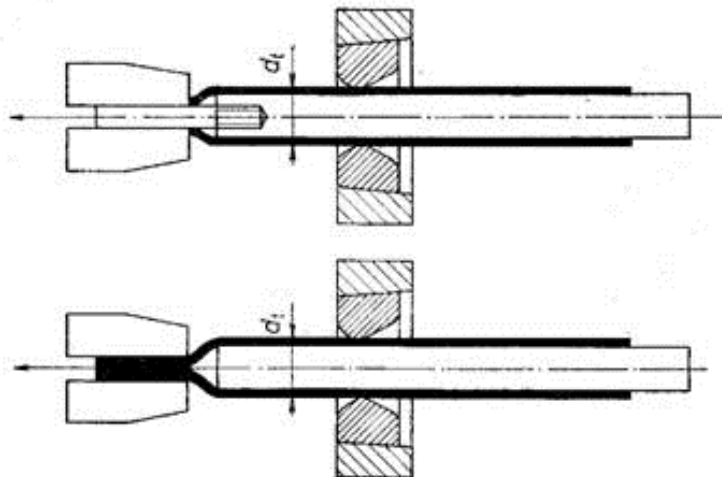
Obr. . 27 Tafení na uchyceném trnu [21]

- **tafení na volném trnu** ó aby nedo-šlo k vytla ení trnu, musí mít trn kufelovitý tvar. Tafnou sílu p ená-í trubka. Pomocí t ení se trn udržuje ve správné poloze.



Obr. . 28 Tafení na volném trnu [26]

- **tafení na ty i** ó tafnou sílu p ená-í ty rovnou elní plochou nebo pomocí za-roubovaného hrotu. Následuje rozválcování. V p ípad malých pr m r trubek se táhne na strun .



Obr. . 29 Tafení trubek na ty i [26]

3.4 Výroba svařovaných trubek

Výroba svařovaných trubek je levnější než výroba trubek bezsvařových. Svařováním ocelových trubek se vytváří nerozebíratelné spoje. Trubky se svařují pro dopravu vody, plynů, vzduchu, páry. Nejčastěji používaným materiálem je ocel třídy 11 a 12. Tento materiál se skládá ze železa, uhlíku, manganu a křemíku. Třída oceli 11 znamená, že se jedná o nelegovanou ocel. Pro horkovody a parovody se používá ocel s označením 12. Instalatéři dále používají tak zvané trubky bez povrchové úpravy pro rozvod vody a plynu. V poslední době se rovněž používají pasty a spreje při svařování ocelových pozinkovaných trubek. Pasta nebo sprej se nanese na svařované místo před samotným procesem svařování. Tyto trubky lze používat i pro dopravu pitné vody. Samotný svár lze provést dvojí metodou.

- svařování tlakem
- tavné svařování

3.4.1 Svařování tlakem

U této metody se nejprve zahřejí okraje pásů na vysokou teplotu. Za působení tlaku dojde ke spojení. Kov musí být plastický a okraje plechu se musí přitlačit dostatečným tlakem. Svár je závislý na teplotě kovu a na tlaku svařování. Samotné svařování se může provádět:

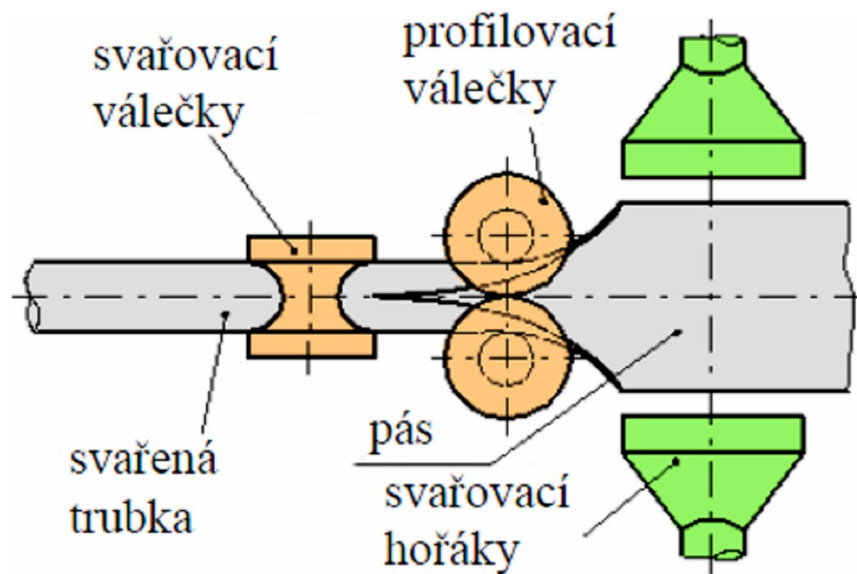
- v plynových pecích

a) Svařování trubek natupo v peci

Pásky z manganové ocele s obsahem uhlíku nejvýše 0,13% o délce 4,2 až 7,5 m jsou ohřívány v dlouhých plynových pecích. Zdrojem tepla u těchto pecí je koks nebo zemní plyn. Okraje pásů jsou zahřívány na teplotu cca 1360°C. Střed pásů je o něco chladnější, přibližně o 80°C. Pásky se protahují prvním vlakem zvonkovitého tvaru. Dochází ke sbalení a zakružení do tvaru trubky. Hrany na sebe dolehnou a následně se svaří. Tyto tratě jsou pokládány za velmi výkonné. Svařená trubka prochází dále válcovým kalibrovacím strojem, na kterém se kalibruje na předepsaný vnější průměr. Tímto způsobem se vyrábějí trubky na domovní instalace a na různé potrubí, která nejsou vystavena velkému tlaku.

b) Spojité svařování trubek natupo v peci

Jedná se o moderní způsob výroby svařovaných závitových trubek, který se vyznačuje velkými výkony. Bohužel, jeho stavba celé tratě je poměrně zdoluhavá a nákladná. Způsob výroby je v podstatě shodný s postupem výroby trubek. Rozdíl je v tom, že svar se provede válcováním v kruhových kalibrech, místo taflením ve zvonkovitém průvlaku. Jako výchozí materiál se používá pásová ocel ve svitcích.



Obr. 30 Svařování trubek natupo [21]

- odporov

Průchodu proudu v místě dotyku je kladen největší odpor, dochází k zahřátí plochy na vysokou teplotu. Spojce se roztaví a působením tlaku následně spojí. Celkový ohmický elektrický odpor je součet odporu, který klade proudu část trubky, kterou proud prochází, a odporu na stykových plochách elektrod a svařovaného materiálu. Svařuje se proudem o

nízkém napětí 2 až 20 V, avšak proud dosahuje hodnot 10 000 až 100 000 A. Pro dosažení dobré kvality sváru se svažuje v co nejkratší době. Dlouhá doba svařování má za následek zhoršení mechanických vlastností materiálu. Abychom docílili rovnoměrné šířky, sežínou se hrany pásu před vstupem do zakružovacích válečků. Pás se postupně formuje do trojúhelníkové trubky. Za přítomnosti válečků se trubka svařuje pomocí svařovacího stroje. Postupně se odstraní svarová housenka a pilou se trubka uřízne na požadovanou délku. Svařovací stroj se skládá ze zařízení na vedení trojúhelníkové trubky, ze svařovacího zařízení a ze zařízení na odstranění vnějšího a vnitřního výronku. Doplňkem je zařízení na úpravu profilu elektrod v průběhu svařování.

Odporové svařování lze rozdělit na tyto druhy:

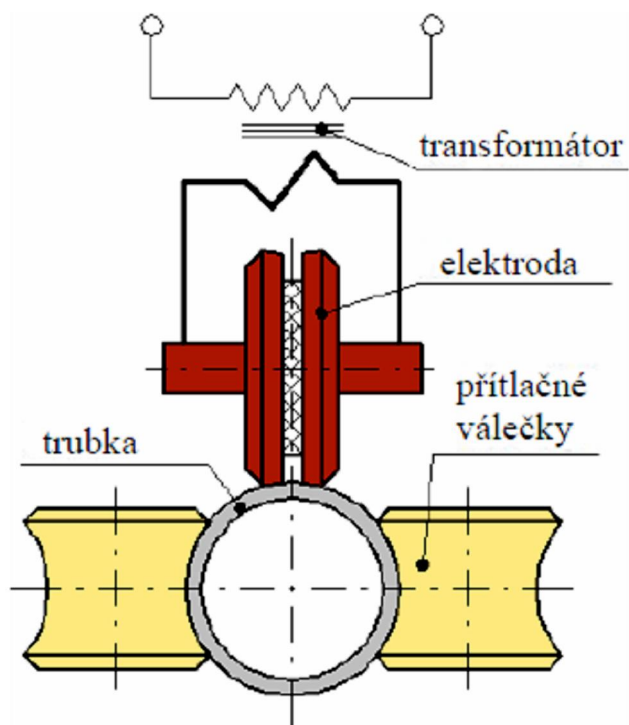
a) **Odporové svařování stlačením** – svařování proudem o nízkém kmitočtu

b) **Svařování –vové**

c) **Indukční svařování** – svařování proudem o středním kmitočtu nebo vysokých frekvencích

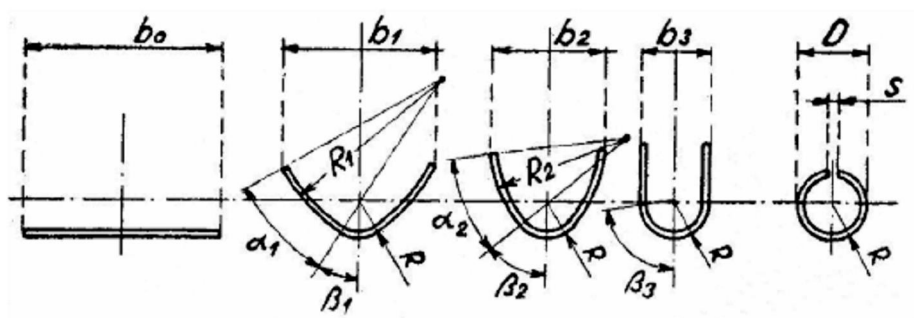
d) **Odporové svařování trubek stlačením** – patří k nejrozšířenějším způsobům výroby svařovaných trubek malých a středních rozměrů.

Zvláštním druhem svařováním je **Odporové svařování trubek odtavením**. Takto se vyrábějí trubky o vnitřním průměru 168 až 660 mm, tloušťce stěny 7 až 15 mm a délce 8 až 12 m. Výrobní zařízení je velmi nákladné, a proto se vyplatí jen při velkých sériích trubek stejného rozměru.



Obr. . 31 Odporové sva ování trubek [21]

Na následujícím obrázku je popsán postup zakruffování trubek.



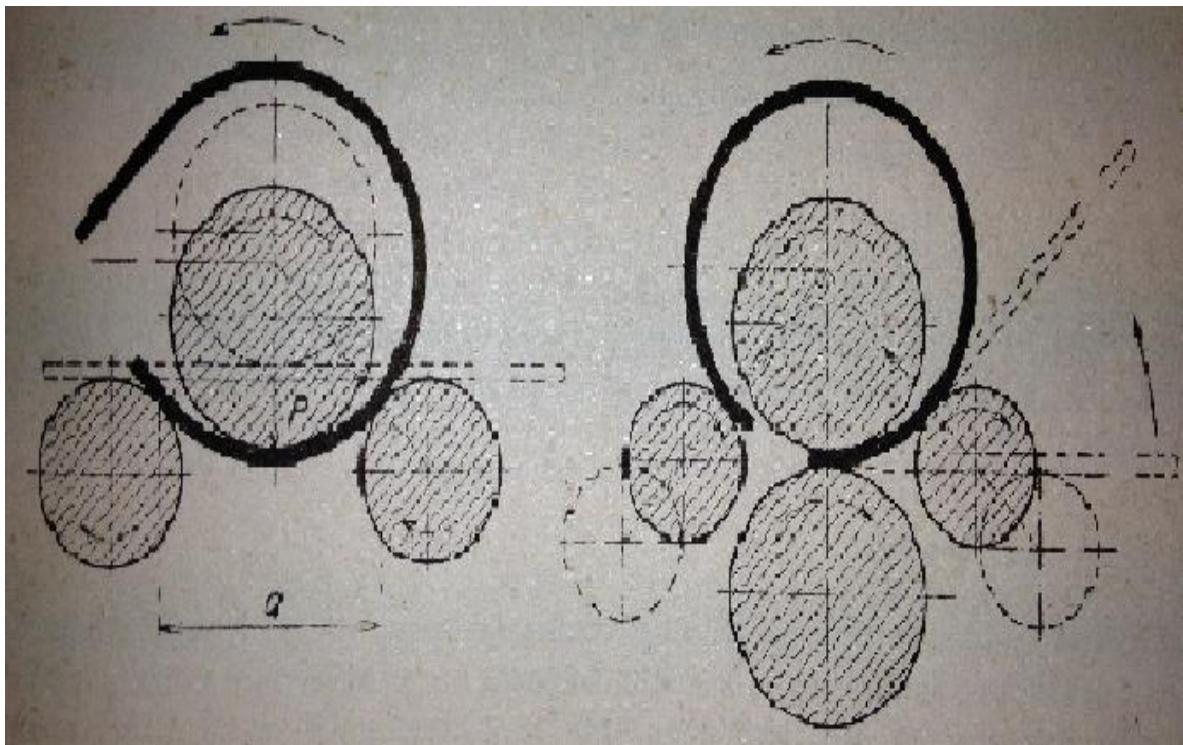
Obr. . 32 Zakruffování trubek [21]

- **plamenem**

Při tomto svařování se materiál zahřeje přímo plamenem spalovaného vodního plynu, nebo acetylénu.

a) Svařování vodním plynem

Výchozí plech se zformuje do tvaru trubky ve válcových zakružovacích strojích, přičemž hrany přesahují přes sebe. Zakrušená trubka se uloží na válce vozíku a popojíždí ním pod hřídky a pod kovací beranem se svaří. Tímto způsobem se vyrábí trubky velkých průměrů (300 až 1800 mm). Svařené trubky se podle potřeby tepelně zpracovávají a za tepla kalibrují. Je možné, rovněž svařovat válcovitá tělesa z plechu o tloušťce 40 až 50 mm a průměru až 3 m. Takto vyrobené trubky se hodí na vodovody, plynovody, turbínová potrubí atd.



Obr. 33 Tvarování plechu na zakružovacích válcích [6]

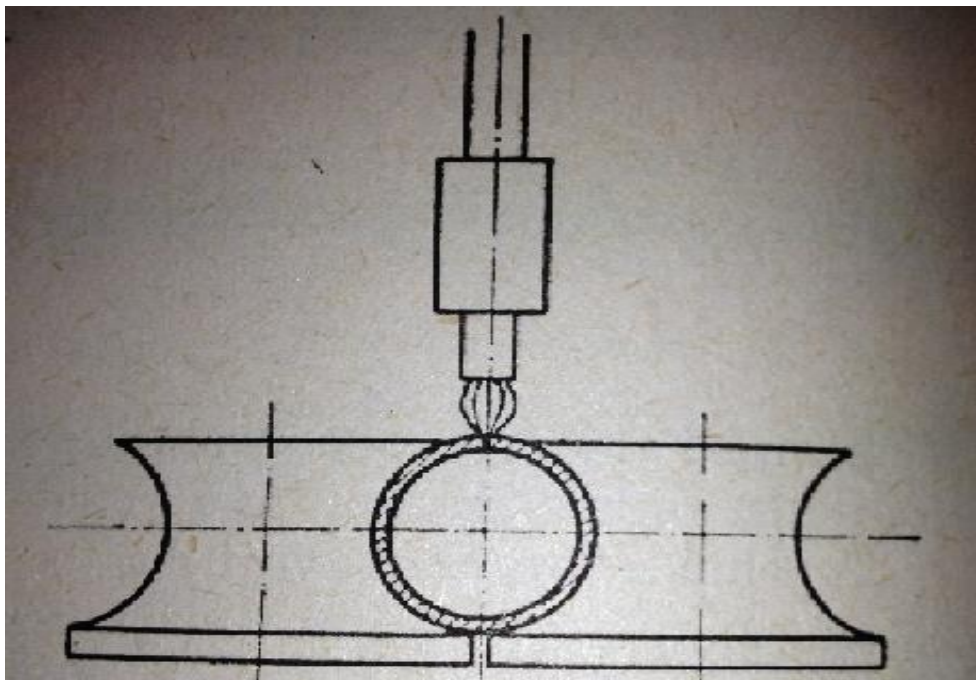
b) Sva ování trubek acetylénokyslíkovým plamenem

P i výrobním postupu rozeznáváme tyto technologické operace.

1. odvinování pásu ze svitku
2. zakruffování pásu do tvaru trubky
3. sva ování trubky
4. hoblování a kalibrování trubky
5. d lení trubky pilou na pofadované délky

Spalováním acetylénu v ístém kyslíku se získává teplo pot ebné k roztavení kovu.

Dosahuje se teploty afl 3200°C. Je d leflité se ídit vzájemnou polohu trubky a ho áku. Ho ák musí být umíst n p esn ve sm ru osy trubky. Vále ky p sobí na trubku t sn p ed a za ho ákem, dokud svar neztuhne. Tlakem se vytla í roztavený kov, svarové plochy se vzájemn dotknou a následn se spojí. Za vále ky prochází trubka pod pevným noflem, který se ízne vn j-í svarovou housenku. Následn trubka sm uje do kalibrovacího stroje, který upravuje tvar a pr m r trubky. Tento zp sob sva ování je vhodný pro v-echny druhy uhlíkových ocelí. Nejv t-í tlou- ka st ny dosahuje 10 mm. Výhodou oproti odporovému sva ování je, fle lze sva ovat trubky o v t-í tlou- ce.



Obr. . 34 Princip sva ování trubek acetylénokyslíkovým plamenem [6]

3.4.2 Sva ování tavné

Při tomto sva ování nedochází k mechanickému tlaku. Ke spojení dojde roztavením kovu nebo přidáním kovu o stejném nebo podobném složení. Trubka musí být sevřena na jakýmsi tlakem za řízení tak dlouho, až roztavený kov ztuhne.

- **sva ování trubek pod tavidlem**

Jedná se o sva ování trubek elektrickým obloukem. Oblouk vznikne mezi zakrúfenou trubkou a elektrodou. Elektroda je ve formě ocelového drátu navinutého na cívce. Na vytvoření svarového spoje se podílí i kov elektrody. Pomocí kladek je elektroda posouvána do horizontálního oblouku. Vrstva tavidla, která se nasype na sva ované místo, minimalizuje škodlivé dýmy a záření. Oblouk je schován pod touto vrstvou. Malá tepelná vodivost tavidla umožňuje co nejvíce využít tepla elektrického oblouku. Elektrický oblouk je proud elektronů v prostředí ionizovaných plynů mezi dvěma elektrodami. Teplota povrchu katody dosahuje teploty 2400°C, povrch anody má teplotu 2600°C. Samotná ionizace závisí na výšce teploty.

Čím vyšší je teplota, tím stabilnější je elektrický oblouk. Takovým procesem se vyrábí trubky od průměru 140 mm do 1800 mm a tloušťky stěny 4 - 20 mm. Pod tavidlem je možno úspěšně sva ovat i trubky od milimetrové tloušťky stěny.



Obr. 35 Sva ování pod tavidlem [21]

- **obloukové svařování v ochranných plynech**

Tento druh svařování se používá zejména u legovaných, ale i uhlíkových ocelí. Podle druhu ochranného plynu rozdělujeme svařování na:

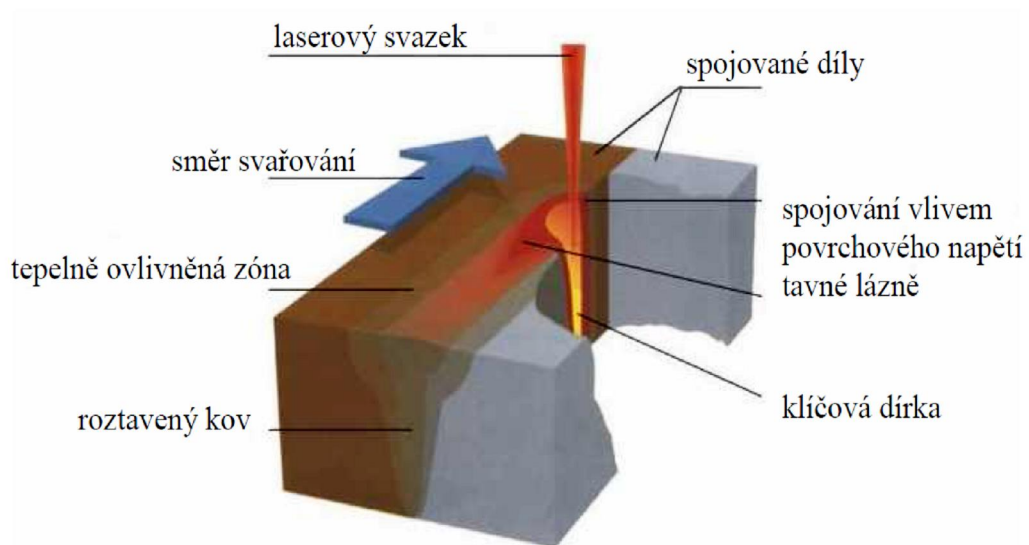
a) **Svařování atomickém** je výhodné u vysokolegovaných ocelí. Tímto způsobem lze svařovat trubky malých a středních rozměrů. Ochranným plynem je atomární vodík, oblouk je vytvořen mezi dvěma wolframovými elektrodami. Toto svařování je značně drahé.

b) **Svařování v netavících plynech** ochranným plynem je čistý argon. Elektrický oblouk se tvoří mezi netavící se wolframovou elektrodou a základním materiálem trubky.

c) **Svařování v kyslíku uhlíkatém**

- **svařování trubek laserem**

Poměrně mladá metoda. Vznikla v osmdesátých letech dvacátého století. Mezi výhody patří vysoká rychlost a minimální deformace. Mezi nevýhody můžeme zařadit vysoké náklady spojené s instalací laserového zařízení.



Obr. . 36 Princip laserového svařování [21]

3.5 Válcovna trub Ostrava

3.5.1 Historie

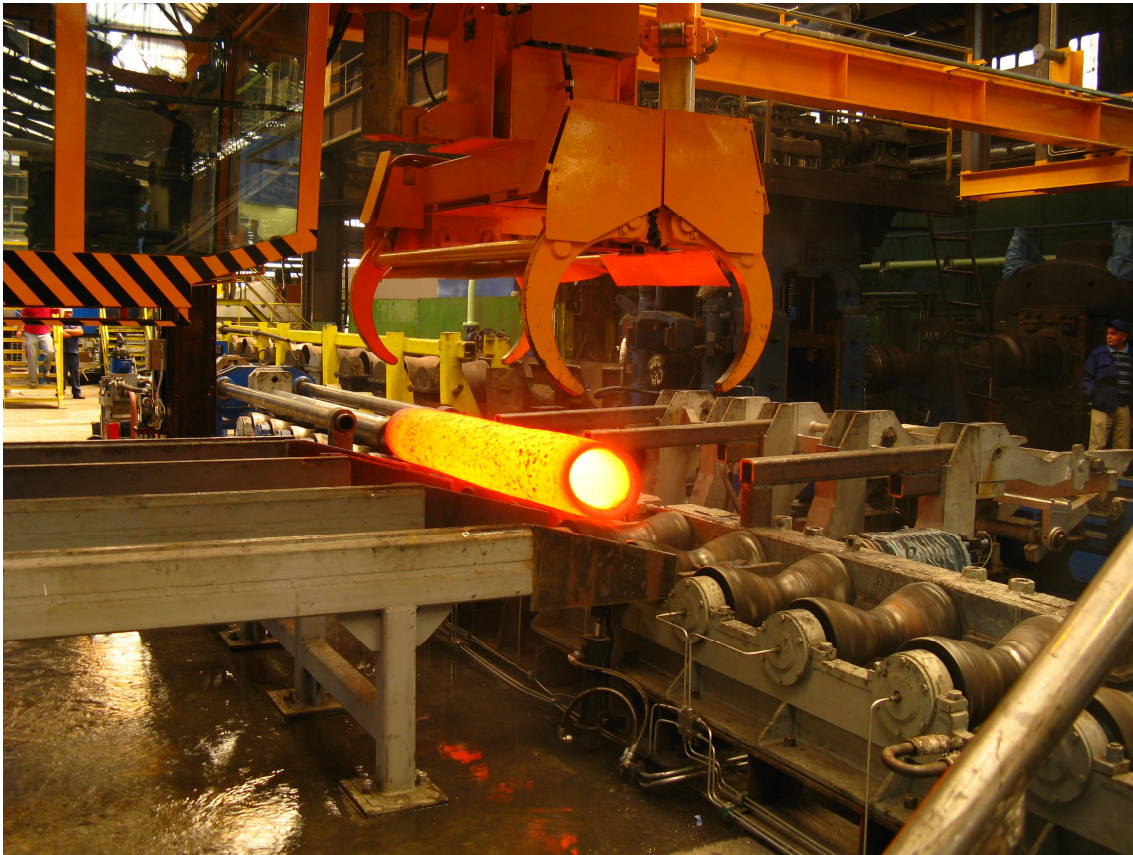
Provoz Válcovny trub v Ostravě byl založen v roce 1883. Byla zde vyrobena první trubka v Rakousko-Uherské monarchii. Hlavním impulsem založení tohoto závodu byla v té době poptávka trubek pro stavbu kotlů, vodovodů a plynovodů. Od roku 1896 se vyráběly bezešvé trubky Erhardtovým způsobem. V roce 1908 byl zahájen provoz Stiefelovy tratě. V letech 1918 až 1919 byla postavena trať Velký Mannesmann a následně uvedena do provozu. V letech 1926 až 1927 byla uvedena do provozu trať Malý Mannesmann. Tento způsob výroby bezešvých trubek vyvinuli v roce 1890 v Düsseldorfu bratři Reinhard a Max Mannesmannovi. Obě tratě jsou dodnes funkční. Od roku 1999 se závod osamostatnil a stal se akciovou společností. Zároveň byl včleněn do koncernu Vítkovic. Do roku 2005 byla jediným akcionářem firma ASTONIA. Současným vlastníkem je firma Těnecké flezářny ze skupiny MORAVIA STEEL.

3.5.2 Současnost

Válcovna trub v Ostravě patří mezi významné dodavatele bezešvých ocelových trubek nejen v České republice, ale i v Evropě. V současné době se vyrábějí trubky s vnějším průměrem 60,3 mm až 406,4 mm s tloušťkou stěny 6,3 mm a výše. Vyrábějí se bezešvé ocelové trubky válcované za tepla, trubky profilové a trubky olejákové. Dále podle přání zákazníka je firma schopna doplnit dodávku o úpravu trubky fláháním nebo nabídnout dokumentaci o struktuře materiálu.

Bezešvé ocelové trubky se používají hlavně v těchto odvětvích:

- energetika pro výrobu kotlů, tepelných výměníků a zásobníků, trubky pro parovody a komory k jejich rekonstrukcím
- chemický průmysl pro rozvod zemního plynu, ropy a vody, pro geologický průzkum, pro podzemní zásobníky plynu
- stavebnictví pro výrobu trakčních střešních střešních, střešních, stadiónů, injektáží pro výstavbu metra, tunelů, dálnic a metra
- strojírenství pro nápravy elektromotorů, rámy a nárazníky nákladních flezních vagónů
- automobilový průmysl pro nápravy a rámy nákladních automobilů



Obr. . 37 Výroba beze-vé trubky na Velkém Mannesmannu [23]

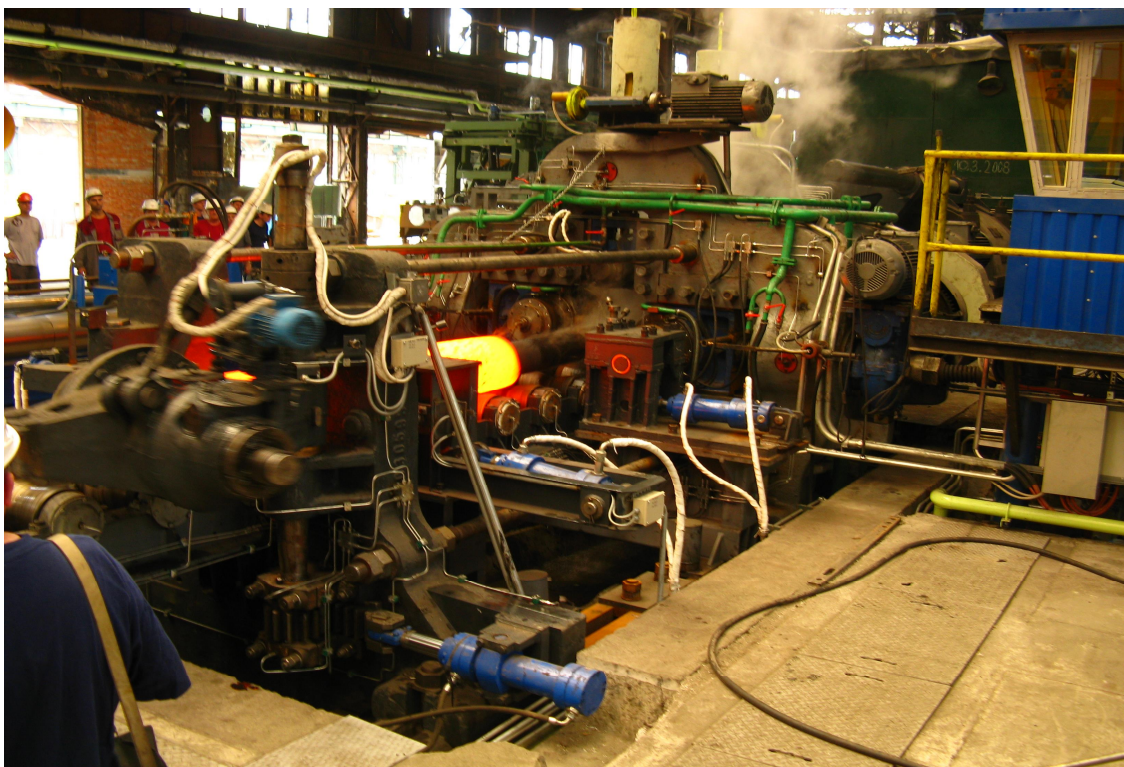
4 Zachycení vad na vyd rovaném p edvalku pomocí termovizních kamer

4.1 Úkol

M ení povrchu vyd rovaných p edvalk pr myslovou infra ervenou termovizní kamerou. M ení se uskute ní za d rovací stolicí na trati Velký Mannesmann provozu Válcovna trub Ostrava.

4.2 Cíle měření

- zachytit fatální vady na vnějším povrchu vydlávaného předvalku pomocí průmyslové infračervené kamery. Předvalček bude rotovat a zároveň se bude posouvat. Měření proběhne na výstupu z dýhacího stroje v teplotní oblasti vnějšku povrchu předvalku do teploty 1200°C
- zjistit kvalitu teplotního pole předvalku. Z kvality (homogenity) lze usuzovat velikost deformace po obvodu i průřezu předvalku
- zjistit kvalitu souhru pracovních válců s přítlačným válcem a dýhacím trnem



Obr. . 38 Výroba beze-vé trubky na Velkém Mannesmannu [23]

4.3 Dřívější procesový popis

Samotný proces teplého válcování beze-vých trubek, a to na provozu Válcovna trub (VT) na trati Velký Mannesmann je rozdělen do čtyř základních segmentů :

1. Ohřev polotovaru v karuselových pecích (příležitostně z kontinuálně litéch p edlitk , ingot nebo válcových sochor).
2. Proces dřívování plných nebo p edvrtaných polotovaru , elongace dutých provalk .
3. Rozválcování p edvalk na poutnické stoličce (redukce průměru, prodloužení).
4. Opakovaný ohřev válcované beze-vé trubky s následnou kalibrací vnějšího průměru a případným řízeným ochlazováním.

Dřívovací proces je prvotním a zároveň se dá říci i nejdřívejším tvářecím procesem při výrobě beze-vých trub. Rozměry trubek jsou dány jejich průměrem (vnějším) a tloušťkou stěny. Nejčastěji se dřívuje polotovar kosým válcováním (základ Mannesmannova způsobu výroby), při kterém dochází v důsledku jednosměrného stlačení materiálu (vznik velkých tahových napětí) k rozrušení materiálu ve stědě polotovaru a k posunu částic materiálu ze stědy přes venšmrem k obvodu. Materiál se zvětšuje a tím dochází k tvorbě vnitřních trhlin o spojitéch, tedy k dřívování. Díra má nepravidelný tvar a proto se kalibruje trnem kvůli vnitřnímu relativně hladkému povrchu. Podmínky vzniku dutiny lze demonstrovat stavem napjatosti, působícího v osových částech kruhového polotovaru. Tlaková napětí působící z pracovních kosých válců (dva pracovní válce) podporují vnitřní krystalovou deformaci a potlačují mezikrystalovou deformaci.

V procesu d rování vzhledem k rotaci materiálu kolem vlastní podélné osy se k tahovému nap tí p idává i p sobení odst edivé síly ve sm ru od st edu polotovaru k povrchu vn j-ímu a rovn fl ve sm ru podélné osy p evládají tahové sloflky vlivem volného te ení materiálu. Pokud tahová nap tí za nou významn p evládat nad nap tími tlakovými, kov se v blízkosti osy, nikoliv v podélné ose polotovaru, trhá. Je t eba po ítat s nedokonalou geometrií nehomogenitou licí struktury a teplotního obrazu materiálu povrchu jak ve st edu, tak po celé délce, a to vlivem k ehkého poru-ení (tahová sloflka p evládá nad sloflkou tlakovou).

D rovací trn usm r uje tok vznikajících propojených dutin. Nucené obtékání materiálu vyvolává tzv. radiální sloflku tahového nap tí, ovliv ující celkové tahové nap tí v ose polotovaru. D rovací trn by nem l zásadn vstupovat do procesu deformace, pouze do procesu te ení materiálu p i prodlufování vláken v podélném a zároveň te ném sm ru. Tvar trnu a soub h pracovních válc s d rovacím trnem zásadn ovliv ují nap ový stav v ose d rovaného materiálu. Dále ovliv uje tvar trnu, kvalitu energetického teplotního pole nejen po pr ezu, ale i po délce t lesa. Vnit ní st edovou oblast povaflujeme za pásmo tzv. bez deforma ní. Vn j-í povrch m fleme povaflovat za pásmo intenzivní plastické deformace s p evaflujícím tlakovým nap tím.

D leflitým m ítkem je oblast plastické deformace. Její velikost je ur ující pro úsp -nou kvalitu procesu. Zároveň je závislá na mnoha faktorech (geometrie a míry d rovaného polotovaru, chemické sloflení, ístota oceli, vnesený nap ový stav lité struktury v procesu tuhnutí, parametry oh evu ó teplota, intenzita oh evu, atmosféra v peci).

4.4 Představení použitých infra červených termovizních kamer

4.4.1 Popis infra červené termovizní kamery TIM 200, TIM 400

Infra červená termovizní kamera TIM 200 a TIM 400 od firmy MICRO-EPSILON patří mezi nejmenší kamery na trhu. Obě kamery lze připojit přes USB kabel do počítače. Kamera nepotřebuje extra napájení.

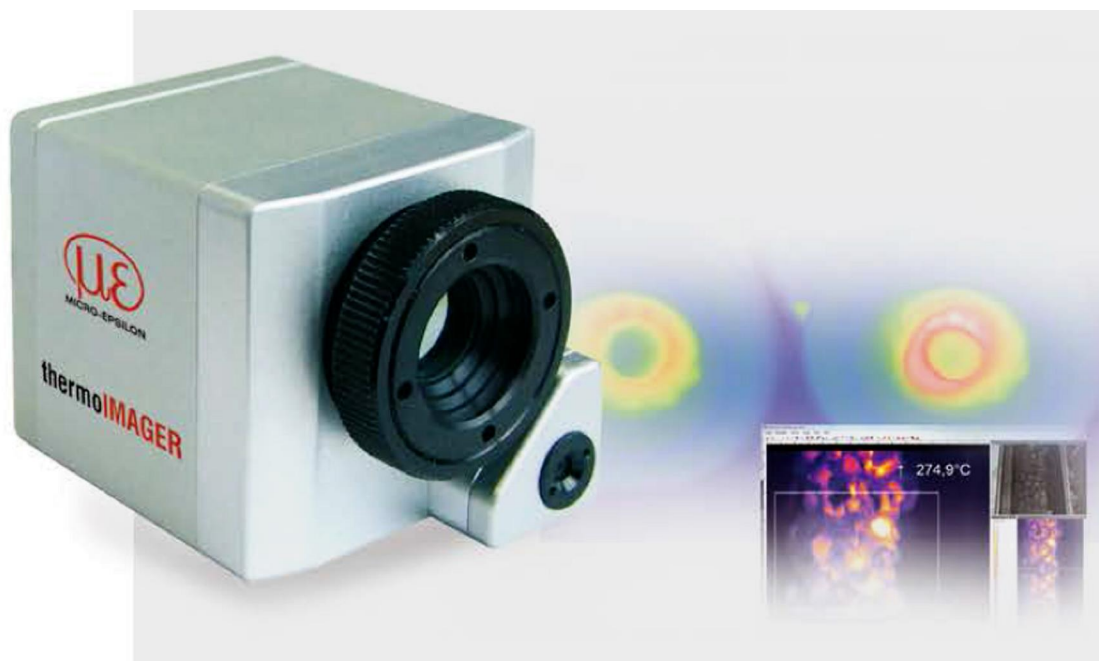
IR kamera TIM 400 pracuje jako normální digitální kamera. Díky vysokému rozlišení 382 x 288 pixel je ideální pro monitorování velmi malých objektů, které by s běžnými kamerami mohly být jen stěží detekovány. Maximální teplotní citlivost 80 mK umožňuje spolehlivě detekovat všechny teplotní rozdíly. Kamera nabízí obrovský měřicí rozsah teplot od -20°C do 900°C. Na měření až do 1500°C. Disponuje obnovovacím kmitočtem 80 Hz, to znamená, že za 1 sekundu můžete získat až 80 snímků. Jako detektor je použit FPA bolometr. Tyto detektory vyvolávají teplotní závislosti elektrického odporu. Se změnou dopadu infra červeného záření se mění velikost odporu, který je součástí tohoto detektoru. To vede ke změně napěťového signálu. Další výhodou této kamery je možnost využití analogového vstupu / výstupu 0 až 10 V. Analogový výstup lze využít například jako alarm. Analogový vstup lze využít například pro trigování nastavení emisivity, pozicování snímků, nahrávání videa. Kamera se nabízí s objektivem 62° x 49°. U IR kamer s použitím pro myslového počítače NetBox lze využít Ethernet výstup.

IR kamera TIM 200 má optické rozlišení 160 x 120 pixel a disponuje vizuální kamerou s optickým rozlišením 640 x 480 pixel.

K dispozici je zdarma software, který lze přibrat na stránkách firmy MICRO-EPSILON aktualizovat. Software umožňuje nahrávat video, vytvářet snímky (jpg, tiff), definovat jednotlivé oblasti. Každá oblast má možnost uložení emisivity. Data z jednotlivých oblastí lze uložit do CSV souboru. Nahrané video lze v kanceláři dále zpracovat. Software umožňuje zpracovat informaci i ve 3D profilu, například využít funkci liniového skeneru. Kamera pracuje v operačním systému Windows XP, Windows 7, Windows 8, LabVIEW. K dispozici je rovněž DLL knihovna pro vlastní úpravu software. Další výhodou při použití IR kamery TIM 200 je prolínání vizuálního a infra červeného obrazu.

- **Parametry infra červené kamery TIM 200**

Měřicí rozsah:	-20 až 900 °C, na přání až 1500°C
Přesnost:	± 2 °C nebo ± 2 % z měřené hodnoty (platí vyšší hodnota)
Frekvence obrazu:	128 Hz
Optické rozlišení:	160 x 120 pixel
Použitý objektiv:	23° x 17°
Spektrální rozsah:	7,5 až 13 μm
Detektor:	FPA, nechlazený bolometr 25 x 25 μm
Teplotní citlivost:	0,08 K
Krytí:	IP67
Váha:	215 g



Obr. . 39 Infra červená termovizní kamera TIM 200 [14]

- **Parametry infra červené kamery TIM 400**

Měřicí rozsah:	-20 až 900 °C, na přání až 1500°C
Přesnost:	± 2 °C nebo ± 2 % z měřené hodnoty (platí vyšší hodnota)
Frekvence obrazu:	80 Hz
Optické rozlišení:	382 x 288 pixel
Použitý objektiv:	38° x 29°
Spektrální rozsah:	7,5 až 13 μm
Detektor:	FPA, nechlazený bolometr 25 x 25 μm
Teplotní citlivost:	0,08 K
Krytí:	IP67
Váha:	320 g



Obr. . 40 Infra červená termovizní kamera TIM 400 [14]

4.4.2 Popis infra červené kamery SC 325, SC 660

IR kamera SC 325 od firmy FLIR má rozlišení 320 x 240 pixel . Rovněž tato kamera je ideální pro monitorování velmi malých objektů, které by s běžnými kamerami mohli být jen stěží detekovány. Maximální teplotní citlivost 30 mK umožňuje spolehlivě detekovat všechny teplotní rozdíly. Kamera nabízí měřicí rozsah od -20°C do 350 °C. K dispozici jsou dvě kamery s teplotním rozsahem od -20°C do 1200°C. Obnovovací kmitočet 60 Hz znamená, že za 1 sekundu můžete získat až 60 snímků . Jako detektor je použit FPA bolometr. U kamery byl použit objektiv 25°x 18,8°. Kamery mají automatické nebo manuální zaostrování. Přesnost kamery je $\pm 2^\circ\text{C}$ nebo 2% z měřené hodnoty. Výhodou této kamery oproti kamere TIM 400 je primární Ethernet výstup. Kamera rovněž disponuje software a knihovnou dat pro vývojové aplikace.

IR kamera SC 660 od firmy FLIR disponuje optickým rozlišením 640 x 480 pixel . Je určena zejména pro velmi jemnou detekci a zobrazení i těch nejmenších detailů . Využití nachází zejména ve vývojových centrech automobilového a leteckého průmyslu. Maximální teplotní citlivost 30 mK a přesnost 1°C nebo 1% z měřené hodnoty zaručuje velmi kvalitní výsledky měření. Této přesnosti dosáhneme pouze u limitovaného teplotního rozsahu. K přesnosti radiometrických dat se využívá Firewire výstup. Kamera má standardní měřicí rozsah -40°C až 1500°C. Pro zobrazení lze využít 5,6 palcový displej. U kamery byl použit objektiv 24°x 18°.

Software umožňuje nastavení maximální měřicí oblasti, ve kterém je možné měřit minimální, průměrnou nebo maximální teplotu. Dále lze využít profilovou křivku v horizontálním nebo vertikálním směru. Vypointání rozdílu mezi měřenou a referenční teplotou. Využití alarmů teploty nebo vlhkosti. Dále software umožňuje poizování fotek a nahrávání videa.

- **Parametry infra červené kamery SC325**

Měřicí rozsah:	-20 až 350 °C, na pání až 1200°C
Přesnost:	± 2 °C nebo ± 2 % z měřené hodnoty (platí vyšší hodnota)
Frekvence obrazu:	60 Hz
Optické rozlišení:	320 x 240 pixel
Poufity objektiv:	25° x 18,8°
Spektrální rozsah:	7,5 až 13 μm
Detektor:	FPA, nechlazený bolometr
Teplotní citlivost:	0,05 K
Krytí:	IP40
Váha:	700 g



Obr. . 41 Infra červená termovizní kamera SC325 [18]

- **Parametry infra červené kamery SC660**

Měřicí rozsah:	-40 až 1500°C
Přesnost:	± 1 °C nebo ± 1 % změřené hodnoty pro limitující měřicí rozsah, jinak ± 2 °C nebo ± 2 % z měřené hodnoty (platí vyšší hodnota)
Frekvence obrazu:	30 Hz
Optické rozlišení:	640 x 480 pixel
Použitý objektiv:	24° x 18°
Spektrální rozsah:	7,5 až 13 μm
Detektor:	FPA, nechlazený bolometr
Teplotní citlivost:	0,03 K
Krytí:	IP 54
Váha:	1800 g



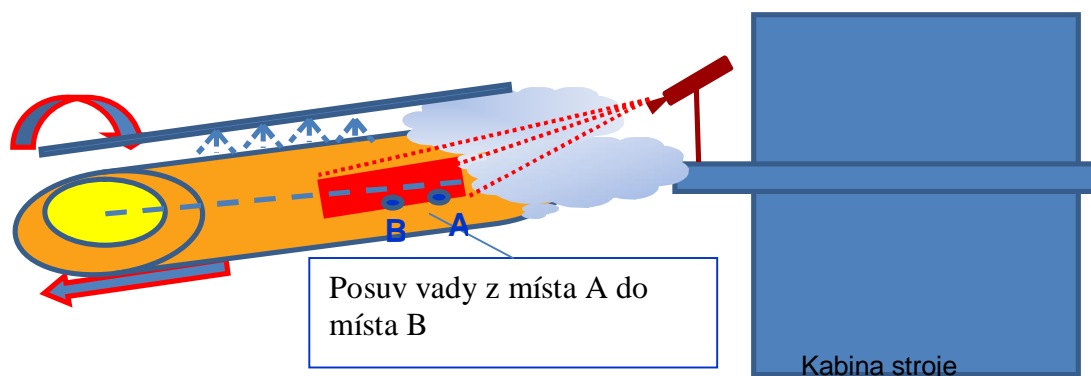
Obr. . 42 Infra červená termovizní kamera SC660 [18]

4.5 Umístění infra červených termovizních kamer před samotným měřením



Obr. . 43 Umístění infra červených termovizních kamer

Na fotografii je vidět umístění infra červených termovizních kamer před samotným měřením. Kamera TIM 400 byla umístěna asi ve vzdálenosti 2,5 m od měřeného předvalku. Kamery SC325 a SC660 byly umístěny asi 3,5 m od měřeného předvalku. Kamera TIM 200 na obrázku není. Z prvotního měření jsem zjistil, že tato kamera není vhodná pro toto měření díky malému rozlišení. Nejvhodnější místo pro umístění kamery s omezeným vlivem chladicí vody a páry je na kabině d'rovacího stroje.



Obr. . 44 Zobrazení posuvu předvalku

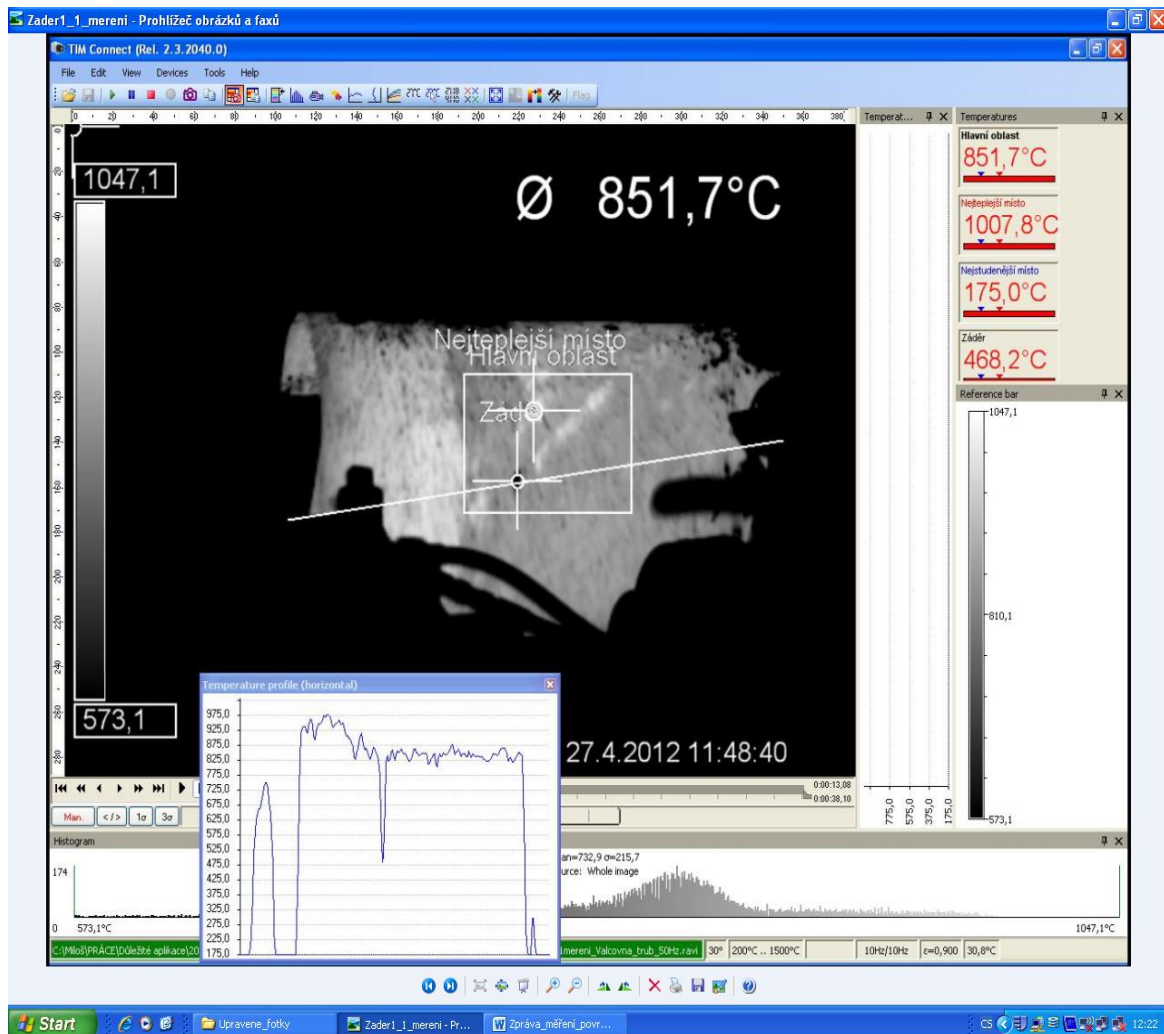
4.6 Měření

Infra červenou termovizní kameru TIM 400 a TIM 200 jsem upevnil na stativ. Pomocí 5 m dlouhého USB kabelu přiváděl signál do notebooku. Stativ s kamerou byl umístěn cca 2,5 m od měřeného předvaku. Okolní teplota dosahovala maximálních hodnot, přibližně 50°C. Teplota na hranici vlhkosti kamery. Při pevné instalaci by se muselo použít chladič pouzdro. Emisivita byla nastavena na hodnotu 0,90, vzorkovací rychlost snímání na hodnotu 50 Hz. Z důvodu technických problémů jsem na předchozím měření a následné opožděné výrobě, nebyla možnost sledovat předvaky s uměle vytvořenými vadami. Společně s místním vývojovým pracovníkem jsme se domluvili, že provedeme měření na standardním předvaku a budu doufat, že se mi podaří vadu zachytit. Kamera TIM 200 s nižším optickým rozlišením 160 x 120 pixelů vadu nezaznamenala. Při dalším měření jsem tuto kameru již nepoužíval.

Infra červené termovizní kamery SC 325 a SC 660 byly umístěny přibližně 3,5 m od měřeného předvaku na lávce kabiny drcovacího stroje. Toto místo bylo pro měření neoptimální. Obě kamery byly rovněž propojeny do notebooku přes USB kabel. Pomocí software jsem nahrál video a následně z něj vytvořil snímky. Emisivita byla nastavena na hodnotu 0,90, vzorkovací rychlost snímání na hodnotu 60 Hz.

4.6.1 První měření

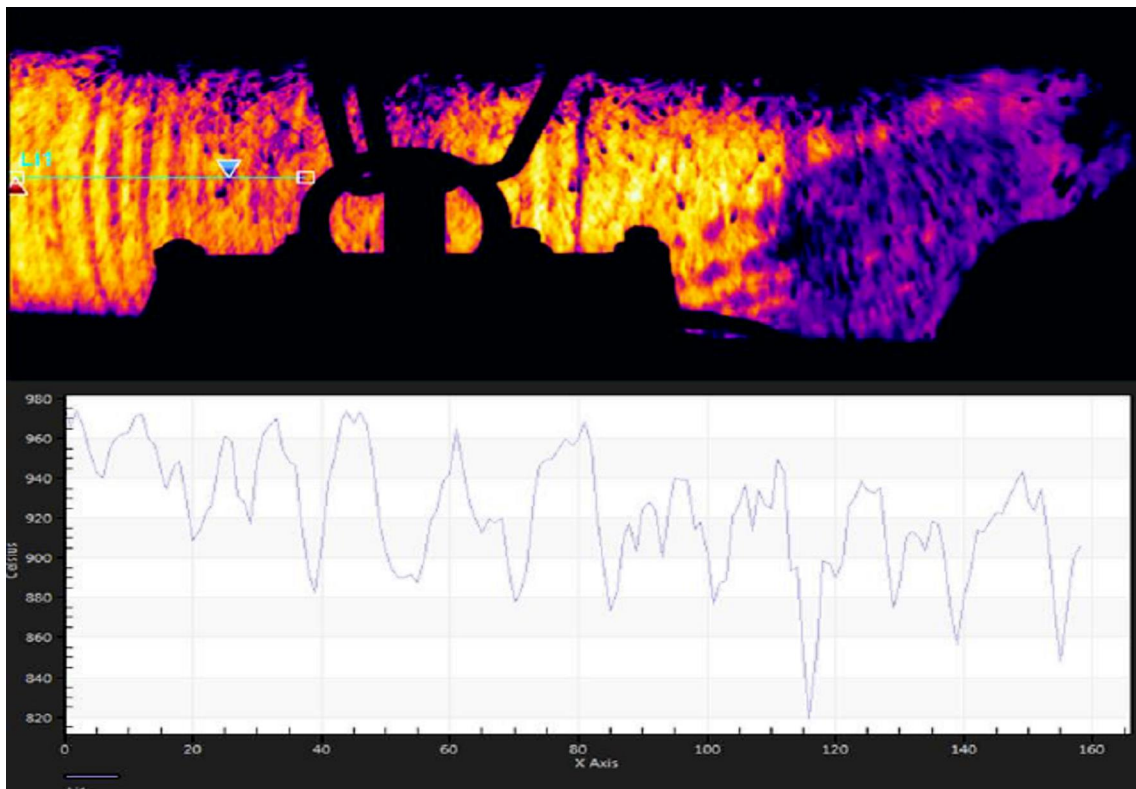
Na obrázku pomocí křivky teplotního profilu je možno vidět průběh teploty v zezu. Nejteplejší místo je na zátku předvaku. Nejnižší teplota je v oblasti defektu. Maximální teplota předvaku byla 1007,8°C. Průměrná teplota 851,7°C, teplota defektu byla 468,2°C.



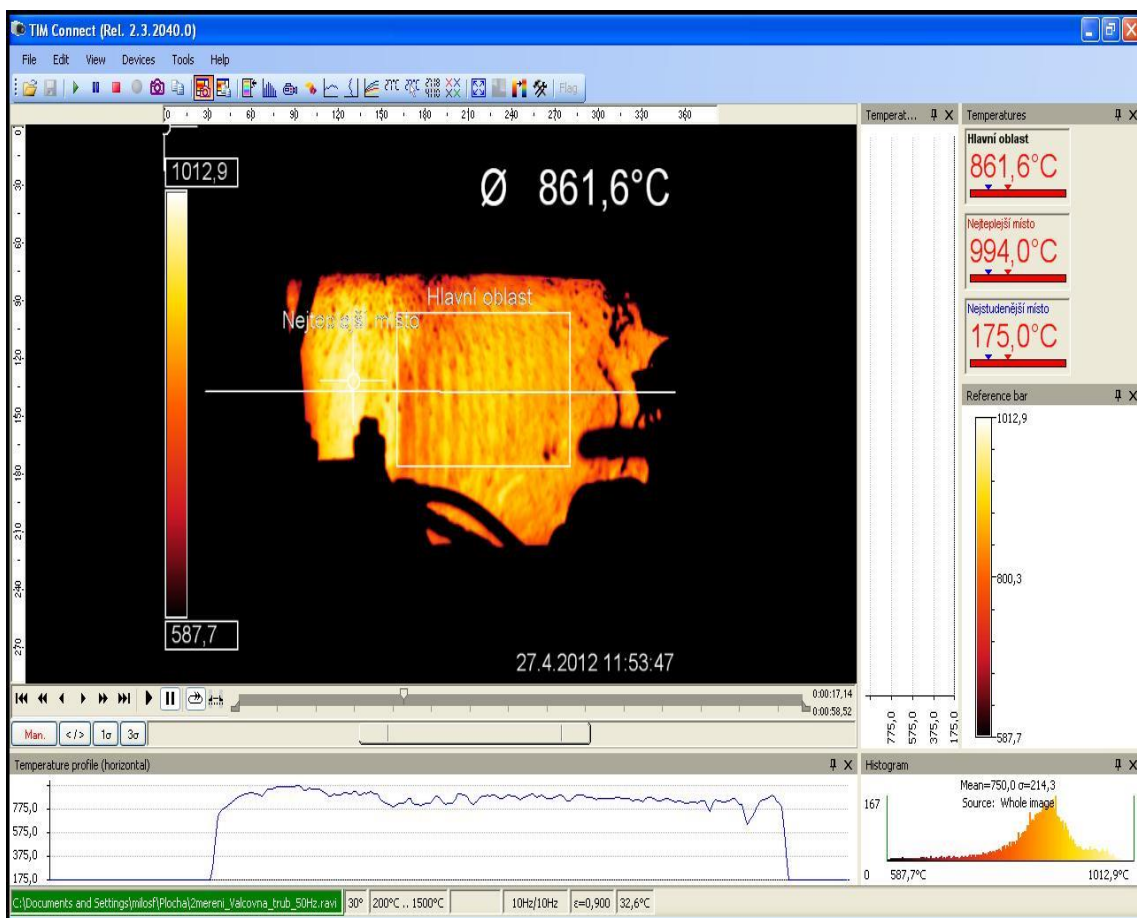
Obr. 4.45 Snímek pořízený infračervenou termovizní kamerou TIM 400

4.6.2 Druhé měření

Všechny kamery TIM 400, SC 325 a SC 660 s vyšším rozlišením nám zachytily také okolí. Sledováním okolí můžeme zjistit, zda stroj byl dobře nastaven. Zjištěním teplotních pruhů jednotlivých závitů podél předvážku by bylo možné zjistit i rozteč mezi závity. Jednotlivé závity vznikají působením pracovních válců a tečením materiálu.

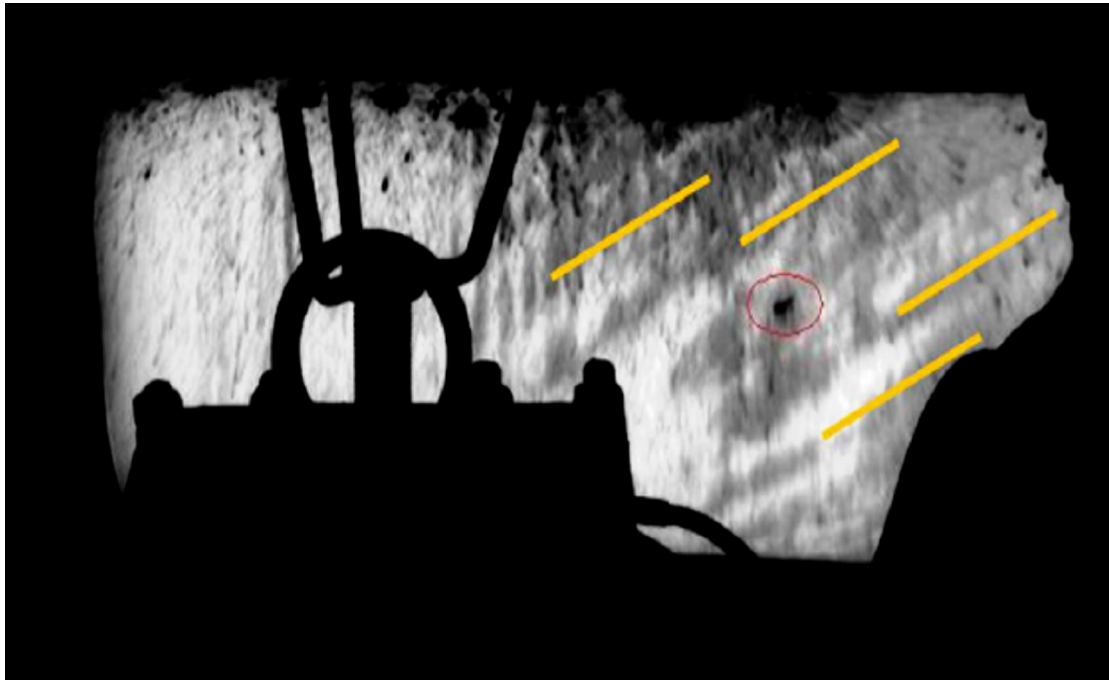


Obr. . 46 Snímek po ízení infra ervenou termovizní kamerou SC 325

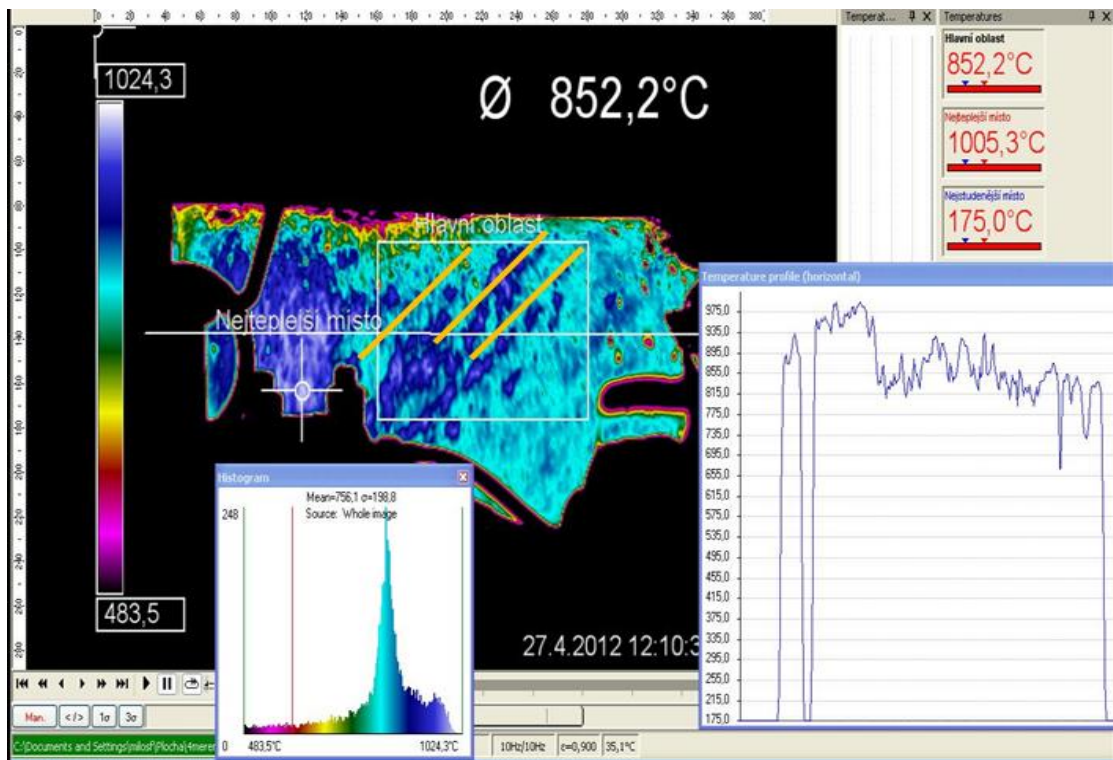


Obr. . 47 Snímek po ízení infra ervenou termovizní kamerou TIM 400

4.6.3 T e t í m e n í



Obr. . 48 Snímek po ízený infra ervenou termovizní kamerou SC 660

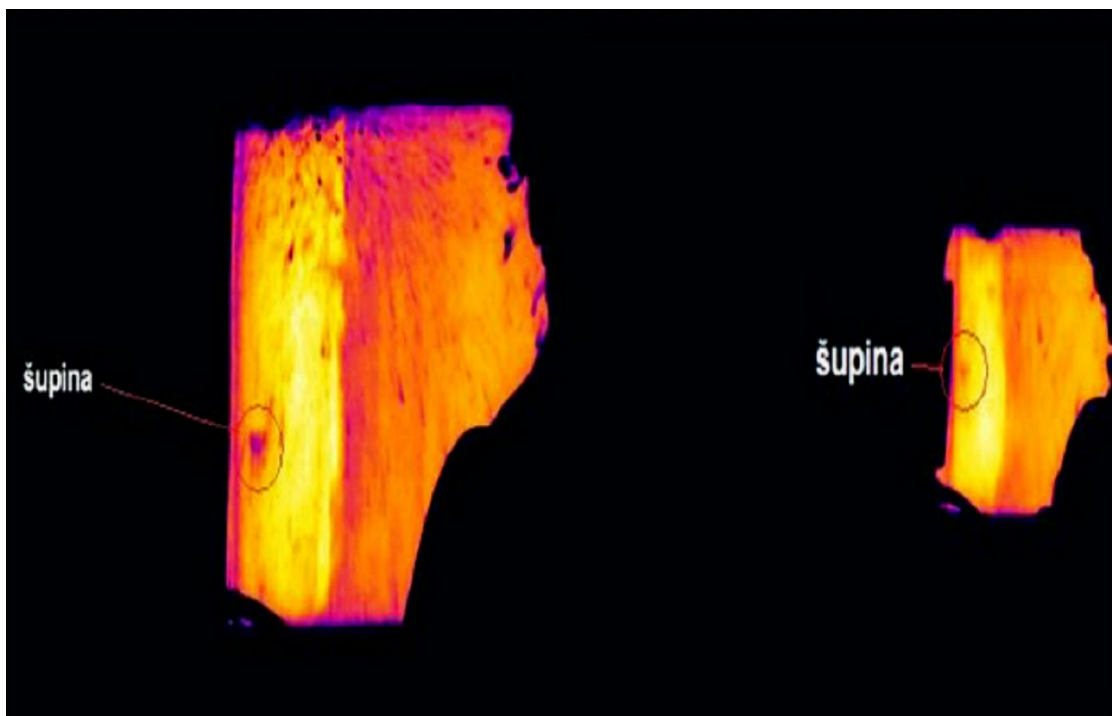


Obr. . 49 Snímek po ízený infra ervenou termovizní kamerou TIM 400

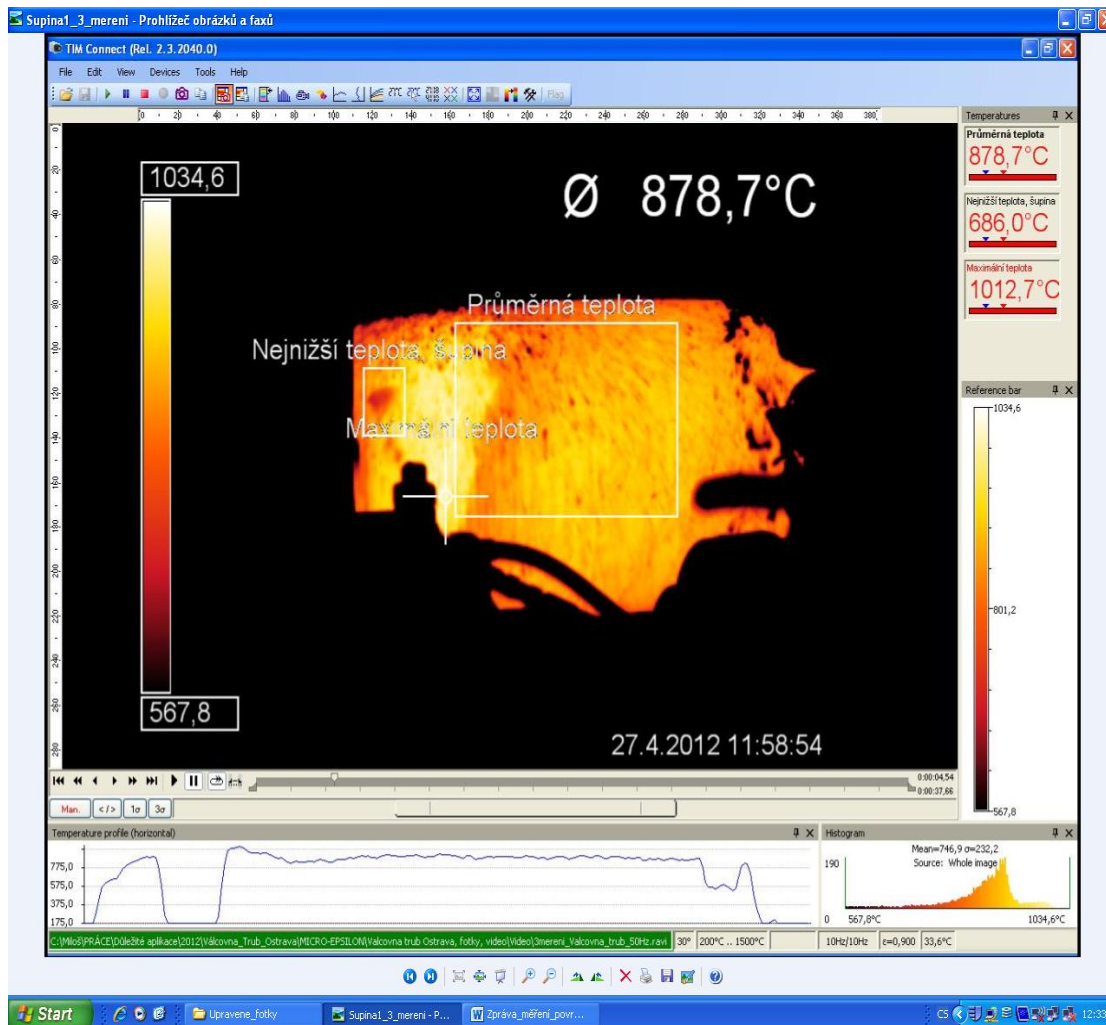
Přítetím měření byly zaznamenány teplotní pásy nehomogenity, pochod mezi studenější a teplejší částí. Tato teplotní nehomogenita se může projevit hlavně v procesu d roování. Při vyšší deformaci může způsobit vznik natrženin a úpin.

4.6.4 tvrté měření

V následujícím měření byla zachycena úpina jak infra červenou termovizní kamerou SC 325, tak kamerou TIM 400. V místě povrchové vady ve směru posuvu v podélné ose se vyskytuje nižší teplota. V tomto případě byla teplota povrchové vady přibližně o 200°C nižší než průměrná teplota předvalku.



Obr. 50 Snímek pořízený infra červenou termovizní kamerou SC 325



Obr. . 51 Snímek pořízený infra červenou termovizní kamerou TIM 400

4.6.5 Závěr z měření

Infra červené termovizní kamery s vyšším optickým rozlišením, TIM 400, SC 325 a SC 660 jsou vhodné pro detekování povrchových fatálních vad na dvanácti p edvalcích. Pokud zvolíme vhodný objektiv, kameru s dostatečným optickým rozlišením a nastavíme správnou polohu výše snímané plochy, s tím souvisí i umístění infra červené termovizní kamery, lze i za podmínek stékající chladicí vody a vysoké hustoty páry detekovat místo povrchové nehomogenity. Abychom mohli danou metodu v praxi využívat, bylo by vhodné provést měření na vrtáčkách po tech p edvalcích s uměle vytvořenými vadami.

5 Závěr

Diplomovou prací jsem ukázal možnosti použití infra červené kamery při měření povrchové teploty pomocí infra červené kamery při procesu dýhání na p edvalku o teplotě cca 1000°C.

V teoretické části popisuji princip infra červeného teploměru a infra červené termovizní kamery. Popsané aplikace nám ukazují, kde v úvodu infra červená termovizní kamera nachází v praxi uplatnění. Jaké jsou výhody a nevýhody bezdotykového měření povrchové teploty. Dále jsou v diplomové práci představeny principy výroby bezvadných a svařovaných trubek.

V praktické části bylo úkolem zachytit fatální vady na vnitřním povrchu vydýhaného p edvalku pomocí přenosové infra červené termovizní kamery. Měření se uskutečnilo na p edvalku o teplotě cca 1000°C. Při měření byly použity následující kamery: SC 325, SC 660 od firmy Flir a TIM 200, TIM 400 od firmy MICRO-EPSILON. Infra červená termovizní kamera s vyšším rozlišením byla schopna nejen rozlišit vady na daném p edvalku (v místě vady je teplota nižší), ale sledovat i okolí. Tím lze zjistit, zda byl stroj správně nastaven. Celkem jsem provedl tři měření. Aby bylo jasné prokazatelné, že tuto metodu lze využít v praxi, bylo by vhodné provést měření na vnitřních po tech p edvalků s uměle vytvořenou vadou.

Doufám, že tato práce byla pro čtenáře zajímavá a ukázala možnosti využití infra červené termovizní kamery při výrobě bezvadných trubek.

Seznam použitých zdrojů a literatury:

1. KADLEC, K, 2009. *Bezdotykové měření teploty: Příprava na práci v laboratoři*. Praha: VUT
2. ECH Bohumír, KADLEC Zdeněk, 2008. *Měření teplot v energetice*. Ostrava: VUT
3. LYSENKO Vladimír, 2005. *Detektory pro bezdotykové měření teplot*. Praha
4. KREIDL Marcel, 2004 a 2005. *Měření teploty: Senzory a měřicí obvody*. Praha
5. PO TA Bohumil, 1963. *Ocelové trubky: Příručka pro fakulty VUT a inženýry ve výrobních závodech. 1. Díl. Bezpevné trubky*. Praha
6. PO TA Bohumil, 1964. *Ocelové trubky: Příručka pro fakulty VUT a inženýry ve výrobních závodech. 2. Díl. Svařované trubky*. Praha
7. KRENOVSKÝ R. *Měření teploty prostředky moderní automatizace*. Dostupné z WWW. http://mnet.mendelu.cz/mendelnet08agro/files/articles/tech_krenovsky.pdf
8. VAVŘINA Roman. *Bezdotykové měření teploty*. VUT v Praze. Dostupné z WWW. <http://utp.fs.cvut.cz/vz/clanky/104.pdf>
9. FABÍK Richard. 2012. *Tváření kovů*. Učební text. VUT Ostrava. Dostupné z WWW. <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/TVKB/Tvareni%20kovu.pdf>
10. FRANKOVÁ Zuzana. 2013. *Využití termokamery ve výuce fyziky*. Diplomová práce. Dostupné z WWW. <http://theses.cz/id/gfd4th/00171849-480773549.pdf>
11. MIČKA Jaroslav. 2012. *Databanka emisivity materiálů pro měření IR teplot*. Diplomová práce. Dostupné z WWW. <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/3911/Diplomova%20prace,%20Jaroslav%20Micka.pdf?sequence=1>
12. *Měření teploty*. Učebnice VUT. Dostupné z WWW. <http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F4/F4k43-tepl.htm#k432>
13. FUKA Miloš. 2011. *Porovnání měření teploty dotykovou a bezdotykovou metodou*. Bakalářská práce. Dostupné z WWW. http://theses.cz/id/yaun6l/bakalarska_prace_Fuka.pdf
14. Firemní literatura firmy MICRO-EPSILON. *Infra červené bezdotykové IR teploměry a kamery*. Dostupné z WWW. <http://www.micro-epsilon.cz/temperature-sensors/index.html>
15. Firemní literatura firmy OPTRIS. Dostupné z WWW. <http://www.optris.com/infrared-cameras>
16. Firemní literatura firmy QTEST. Dostupné z WWW. <http://www.qtest.cz/bezdotykove-teplomery/bezdotykove-teplomery.htm>
17. Firemní literatura firmy WORKSWELL. Dostupné z WWW. <http://www.workswell.cz/>
18. Firemní literatura firmy INSTRUMART. Dostupné z WWW. <http://www.instrumart.com/products/37223/flir-sc325-thermal-camera>
19. *Fotometrie a radiometrie*. Učební text k přednášce UFY. Dostupné z WWW. http://biomolecules.mff.cuni.cz/files/courses/Fotometrie_a_radiometrie.pdf

20. *Termovizní kamera detekuje nádory a únik tepla.* lánek. Dostupné z WWW.
<http://www.online.muni.cz/udalosti/283-termovizni-kamera-detekuje-nadory-i-unik-tepla#.U6sgubHEf-t>
21. DRÁPALA Miroslav. 2012. *Výroba a d lení trubek.* Bakalá ská práce. Dostupné z WWW.
https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/10656/2012_BP_Drapala_Miroslav_115524.pdf?sequence=1
22. *130 sví ek pro Válcovnu trub T ineckých flelezáren.* lánek. Dostupné z WWW.
[http://udrbapodniku.cz/index.php?id=47&no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=5008&cHash=46a783c23d&type=98](http://udrbapodniku.cz/index.php?id=47&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=5008&cHash=46a783c23d&type=98)
23. Firemní literatura firmy T inecké flelezárny. Dostupné z WWW.
<http://www.tube.cz>
24. GRUBER Josef. 2007. *Trubky z Chomutova.* lánek. Dostupné z WWW.
http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/clanky/mannesm.pdf
25. Firemní literatura firmy ZACHA. Dostupné z WWW.
<http://www.zacha.cz/vice-o-vyrobe-trubek>
26. *Technologie objemového tvá ení - válcování,* skripta. Technická univerzita Liberec. Dostupné z WWW. http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/02.htm
27. DUFKA Jaroslav. 2009. *Sva ování ocelových trubek.* lánek. Dostupné z WWW.
<http://www.topin.cz/download.php?id=84467&di=7>
28. Firemní literatura Ústavu p ístrojové a ídicí techniky. Dostupné z WWW.
<http://control.fs.cvut.cz/cz/ir-kalibrator-ir-500-cerne-teleso>