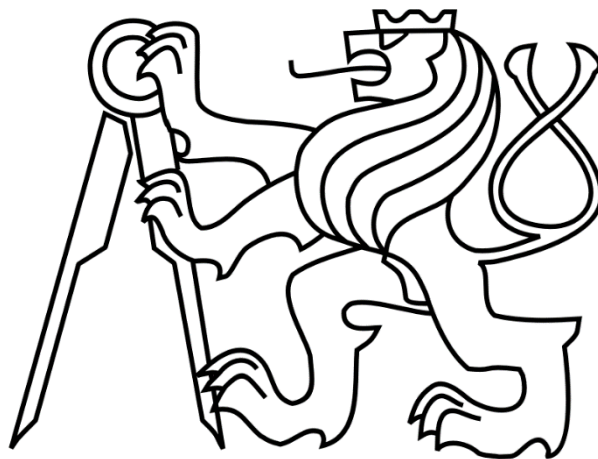


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Bakalářská práce

**Analýza teplotního ovlivnění kovového materiálu při různých metodách
navařování**

2015

Karel Šimeček



Vysoká škola: ČVUT v Praze
Fakulta: strojní
Ústav: Výrobní stroje a zařízení
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro **Karel Šimeček**
Program: Strojírenství
Obor: Konstruování podporované počítačem

Téma práce: **Analýza teplotního ovlivnění kovového materiálu při různých metodách navařování**

S t r u č n á o s n o v a z a d á n í :

Experimentální analýza teplotního ovlivnění konkrétního dílce při navařování vrstvy materiálu s různou strategií kladení. Návrh strategií kladení a vyhodnocení zbytkových deformací, příprava a provedení experimentu, vyhodnocení zvolených strategií kladení z hlediska eliminace zbytkových deformací dílce.

Rozsah grafické části práce: Vzorky se strategií návrhu, přípravy, protokoly z měření.

Rozsah textové části práce: 40 – 60 stran

Doporučená literatura: NĚMEC, Milan, Jan SUCHÁNEK a Jan ŠANOVEC. *Základy technologie I. 2.*, přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011, 159 s. ISBN 978-80-01-04867-2.

KUNCIPÁL, Josef. *Teorie svařování: celostátní vysokoškolská učebnice pro strojní fakulty vysokých škol technických*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, 265 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Švéda, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Ivan Diviš


Datum zadání bakalářské práce: 30. 4. 2015

Termín odevzdání bakalářské práce: 19. 6. 2015


Neodevzdá-li student bakalářskou práci v určeném termínu, musí tuto skutečnost předem písemně zdůvodnit a omluva být děkanem uznána. Děkan studentovi stanoví náhradní termín odevzdání bakalářské práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, musí si student zapsat bakalářskou práci podruhé.


Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Zadání bakalářské práce převzal dne: 15.4.2015


.....
student




Ing. Petr Kolář, Ph.D.
vedoucí ústavu


Prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
děkan fakulty

V Praze dne 9. 4. 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 16. června 2015

.....

podpis

Poděkování

Úvodem bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Švédovi Ph.D., za vedení této diplomové práce, jeho podnětné rady a připomínky při jejím vypracování. Také bych chtěl poděkovat panu Ing. Divišovi za všechnu pomoc a čas, který mi věnoval. Dále bych rád poděkoval všem, kteří mi pomohli k úspěšnému dokončení práce.

Chtěl bych také velice poděkovat svým rodičům za nesmírnou podporu a trpělivost, se kterou mě podporovali v průběhu celého studia a tvorbě této diplomové práce.

Anotace

Jméno autora:	Karel Šimeček
Název bakalářské práce:	Analýza teplotního ovlivnění kovového materiálu při různých metodách navařování
Rozsah práce:	49 stran
Číslo bakalářské práce:	BP 0187
Školní rok vyhotovení:	2014/2015
Ústav:	Ú-12135 Ústav výrobních strojů a zařízení FS ČVUT v Praze
Vedoucí DP:	Ing. Jiří Švéda Ph.D.
Konzultant:	Ing. Ivan Diviš
Zadavatel tématu:	ČVUT Fakulta strojní
Datum odevzdání:	19. Června 2015
Klíčová slova:	senzory teploty, strategie navařování, tepelné deformace, tvorba NC kódu, rovinnost plochy
Anotace:	Předložená bakalářská práce se zabývá analýzou teplotního ovlivnění materiálu při rozdílných metodách navařování. V práci jsou uvedeny typy senzorů, zařízení pro analýzu deformací, zařízení pro vyhodnocení deformací, strategie navařovacího procesu. Navařovací experiment je zde realizován a vyhodnocen.

Annotation

Author:	Karel Šimeček
Title:	Analysis of Temperature Influence on Metal Material in Using Various Welding Methods
Range:	49 pages
Number:	BP 0187
Academic year:	2014/2015
Department:	Ú-12135 Ústav výrobních strojů a zařízení FS ČVUT v Praze
Tutor:	Ing. Jiří Švéda Ph.D.
Consultant:	Ing. Ivan Diviš
Title submitter:	CTU – Faculty of Mechanical Engineering
Date of handove:	19. June 2015
Keywords:	temperature sensors, strategy of weld, heat distortion, number code creation, flatness of surface
Anotace:	The bachelor thesis deals with the analysis of temperature effects on the material at different welding methods. The thesis presents the types of sensors, devices for deformation analysis, device for evaluating of deformations, strategy of weld process. Weld experiment is implemented and evaluated.

Seznam použité symboliky

řecké symboly

značka	veličina	jednotka
α	součinitel přestupu odporu	$[K^{-1}]$
λ	Vlnová délka	$[\mu m]$

latinské symboly

značka	veličina	jednotka
t	čas	$[s]$
T	teplota	$[^{\circ}C]$
ΔT	rozdíl teplot	$[^{\circ}C]$
R_0	tepelný odpor při teplotě $0^{\circ}C$	$[\Omega]$
W_{100}	poměr odporů	$[-]$
U	Napětí	$[V]$
I	Proud	$[A]$
v	Rychlost	$[m \cdot s^{-1}]$

Obsah

Seznam použité symboliky.....	8
1. Úvod.....	10
2. Aktuální způsob řešení analýzy	11
2.1 Nepřímá metoda (snímání teploty)	11
2.1.1 Základní rozdělení senzorů	11
2.1.2 Odporové kovové senzory teploty.....	12
2.1.3 Bezdotykové teplotní senzory	17
2.2 Přímé určení deformací	21
2.2.1 Souřadnicový měřicí stroj	21
2.2.2 Princip	21
2.2.3 Srovnání	21
2.3 Způsob tvorby návarů	22
2.3.1 Princip MAG (Metal-Aktiv-Gas) metody	22
2.3.2 Přístrojová technika.....	23
2.3.3 Aplikace a přednosti.....	24
2.3.4 CMT Svařování	24
3. Cíle práce	26
4. Návrh vlastního experimentu	27
4.1 Experimentální zjištění nejlepší strategie návaru	28
4.2 Svařovací agregát FRONIUS CMT.....	31
4.3 Strategie kladení návaru	31
4.4 Tvorba NC kódu pro návar	33
4.4.1 Seznam použitých funkcí	33
5. Návrh vyhodnocení dat	35
5.1 Vyhodnocení dat nepřímým měřením	35
5.2 Vyhodnocení dat přímým měřením	35
5.2.1 Grafické znázornění deformací	37
6. Závěr	43
7. Použitá literatura	44
Seznam obrázků	46
Seznam tabulek	47
Seznam použitého software.....	48
Seznam příloh.....	49

1. Úvod

Tato práce vznikla na Ústavu výrobních strojů a zařízení. Je zaměřena na analýzu návarů pro vzorky různých tloušťek za účelem zjištění teplotních deformací navařováním a zvolení ideální navařovací strategie. Jednotlivé navařovací strategie mají rozdílné deformační účinky, které ovlivňují přesnost dílce.

Navařování přispívá k prodloužení životnosti a spolehlivosti dosavadních i nových zařízení, zejména navařování tvrdých slitin. Navařování ocelí nebo slitin se zvláštními vlastnostmi (např. odolnost proti otěru) na pracovní hrany a plochy strojních součástí vystavených velkému opotřebení je účinnou úpravou povrchu, která opotřebení zmenší a někdy mu i zcela zabrání. Jedná se o technologický postup umožňující hospodárnou výrobu trvanlivých a provozně spolehlivých součástí pro nejrůznější strojní zařízení. [4]

Při svařovacím procesu, působením soustředěného zdroje tepla, dochází krátkodobě k intenzivnímu místnímu ohřevu materiálu na vysoké teploty. Vneseným teplem se natavuje malý objem kovu, ale v důsledku tepelné vodivosti se ohřívá i okolní oblast základního materiálu. Během svařování se teplota kovu v místě svařování mění ve velmi širokém rozsahu. Vysoké teploty a jejich rychlé změny v základním materiálu způsobují fázové přeměny, změny struktury v oblasti svarového spoje, fyzikálně chemické reakce a změny objemu, jež jsou závislé na druhu základního materiálu a technologii svařování. [2]

Proto je v této práci zkoumáno, která strategie navařování způsobí nejmenší deformaci dílce a je tudíž nejvhodnější k použití. K tomuto účelu jsou zde popsány různé typy měřících zařízení, vhodná svařovací technika a způsoby vyhodnocení výsledných deformací.

2. Aktuální způsob řešení analýzy

Analýzu teplotních deformací je možno zpracovat dvěma způsoby.

Nepřímou metodou, kdy je snímána teplota během pokládání návaru, načež se změřené hodnoty verifikují pomocí výpočtového modelu.

Přímou metodou, kdy se nejdříve proměří počáteční rovinnost vzorků, následně se provede navařovací proces, po kterém se vzorek znovu přeměří a zjistí se jeho deformace oproti původnímu stavu.

2.1 Nepřímá metoda (snímání teploty)

Nepřímá metoda využívá teplotního snímání navařovacího procesu pomocí teplotních senzorů. Sensory teploty představují první člen v systému měření. Jsou založeny na mnoha fyzikálních jevech. Jejich účelem je přímý kontakt s měřeným prostředím, čímž získají informace o stavu měřené jednotky.

2.1.1 Základní rozdělení senzorů

Sensory teploty se dělí do několika skupin. Dle způsobu snímání teploty rozlišujeme dotykové a bezdotykové (tyto senzory se rozlišují stykem s měřeným prostředím), aktivní (působením teploty se chovají jako zdroj energie – termoelektrické články) a pasivní (je nutné napájení pro transformaci teploty na jinou fyzikální veličinu, měření teploty je vždy nepřímým měřením teploty).

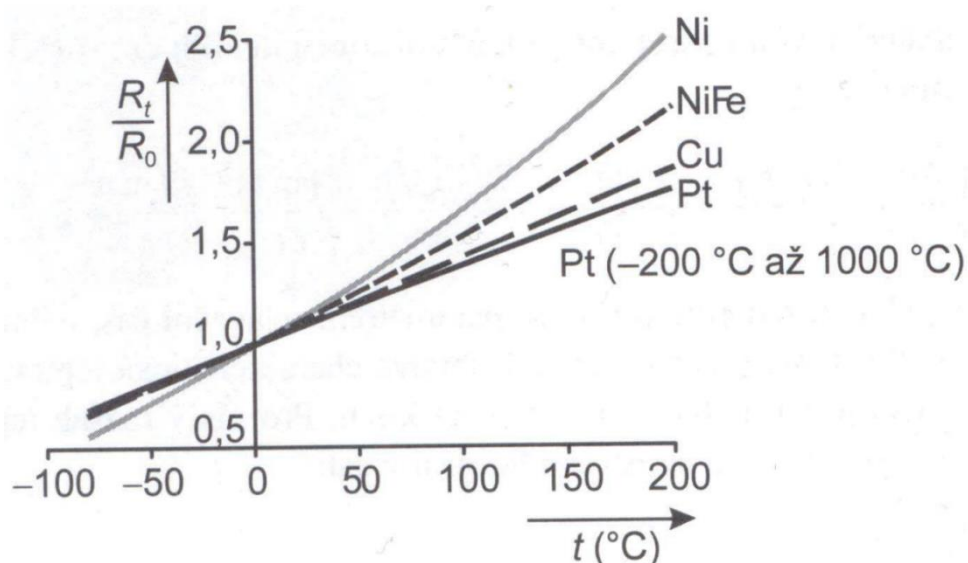
Dle jejich fyzikálního principu je dělíme na dilatační (plynové, parní, bimetalové), elektrické (polovodičové, termoelektrické, kovové), speciální (optické, dilatační, radiační, akustické, chemické, magnetické, šumové, kapacitní, aerodynamické a další).

V současnosti jsou nejrozšířenější odporové kovové snímače teploty vyráběné z platiny a polovodičové senzory – termistory a monokrystalické křemíkové senzory.[1]

S ohledem na experiment, jsou zde uvedeny pouze senzory, jež by byly vhodné pro realizaci nepřímého měření. Sensory, jež by nebyly použity pro nepřímou metodu, jsou zanedbány.

2.1.2 Odporové kovové senzory teploty [1] [7] [9] [12] [11]

Principem odporových kovových senzorů teploty je teplotní závislost odporu kovu. Vyrábějí se ve formě navinutého drátu nebo pomocí tenkovrstvé technologie. Mají kladný teplotní součinitel. Mezi největší přednosti těchto snímačů obecně patří jejich dlouhodobá stálost (což je dáno vlastnostmi použitého materiálu, nejčastěji Pt) a velmi široký rozsah měřitelných teplot, který sahá od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ s rezistivitou $20 - 20\text{ k}\Omega$.



Obr. 1 Teplotní závislost odporových kovových snímačů na poměru odporů [1]

Odpor při dané teplotě můžeme pro malý teplotní rozsah ($0^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$) spočítat s určitou nejistotou z lineárního vztahu.

$$R = R_0(1 + \alpha t) \quad (2.1)$$

Kde α [K^{-1}] značí teplotní součinitel odporu a R_0 [Ω] odpor při teplotě 0°C .

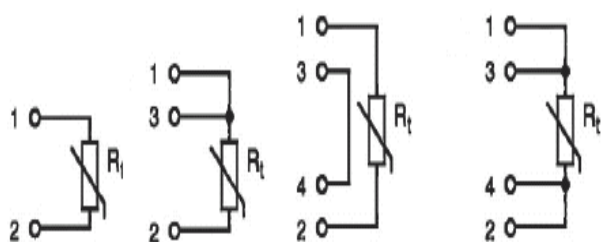
Pro větší teplotní rozsahy (v nichž se při navařování pohybujeme) již nemůžeme použít lineární vztahy. Pro kovové senzory teploty se většinou využívá platina pro její chemickou netečnost, časovou stálost, vysokou teplotu tavení a také pro možnost dosažení vysoké čistoty (pohybuje se v rozmezí 99,9 až 99,999%). Kromě platiny se můžeme setkat též s niklem, mědí, molybdenem nebo některými slitinami.

materiál	$\alpha \cdot 10^2 \text{ (K}^{-1}\text{)}$	teplotní rozsah ($^{\circ}\text{C}$)	poměr odporů W_{100}
platina	0,385 až 0,391	-20 až 850	1,3850
nikl	0,617 až 0,675	-70 až +150 (+200)	1,6180
Ni-Fe	0,518 až 0,527	-100 až +200	1,462
měď	0,426 až 0,433	-50 až +150	1,4260

Tabulka 1. Materiály používané pro kovové snímače teploty [1]

Konstrukce odporového senzoru

Odporový senzor teploty je tvořen odporovým čidlem, vnitřním vedením, stonkem a hlavicí. Odporové čidlo teploty se skládá z kovu (vinutí nebo vrstva) o definovaném odporu a vývodů, které jsou v elektrickém kontaktu s kovem. Vývody se nejčastěji vyrábí z mědi, ze stříbra nebo ze slitin platiny. Vývody čidla mohou být dvouvodičové, třívodičové, s pomocnou smyčkou nebo čtyřvodičové.



Obr. 2 Uspořádání vývodů měřicích odporů [9]



Obr. 3 Konstrukce odporového senzoru [9]

Čidlo teploty spolu s vnitřním vedením, které zajišťuje spojení čidla s hlavicí snímače, jsou uloženy ve stonkové trubici, zkráceně stonku. Stonek chrání čidlo a vnitřní vedení před mechanickým poškozením (vibrace, tlak) a vnějšími vlivy okolí.

Platinové odporové senzory

Platinové senzory se vyrábějí drátkovou, tenkovrstvou nebo tlustovrstvou technologií. V prvním případě je drátkový měřicí odpor tvořen spirálovitě stočeným tenkým drátkem zataveným do keramiky nebo skla. Nejlepší stability lze pro metrologické účely docílit volným uložením platinové cívky ve směsi helia a kyslíku, protože díky různé teplotní délkové roztažnosti platiny a izolačního materiálu, které se dotýkají, vzniká systematická chyba, která má charakter hystereze. Odpory vyráběné tenkovrstvou technologií, při níž se platinový odpor vytvoří na ploché korundové destičce technikou napařování a iontového leptání, mají rychlejší odezvu, než odpory drátkové, které mají obvykle vyšší odpor a jsou levnější. Drátkové odpory jsou však časově stálější. Čistota platiny pro provozní teploměry se posuzuje podle tzv. redukovaného odporu $W_{100\text{ }^\circ\text{C}}$, který je dán poměrem odporů senzoru při $100\text{ }^\circ\text{C}$ a $0\text{ }^\circ\text{C}$.

$$W_{100\text{ }^\circ\text{C}} = \frac{R_{100\text{ }^\circ\text{C}}}{R_{0\text{ }^\circ\text{C}}} \geq 1,385 \quad (2.2)$$

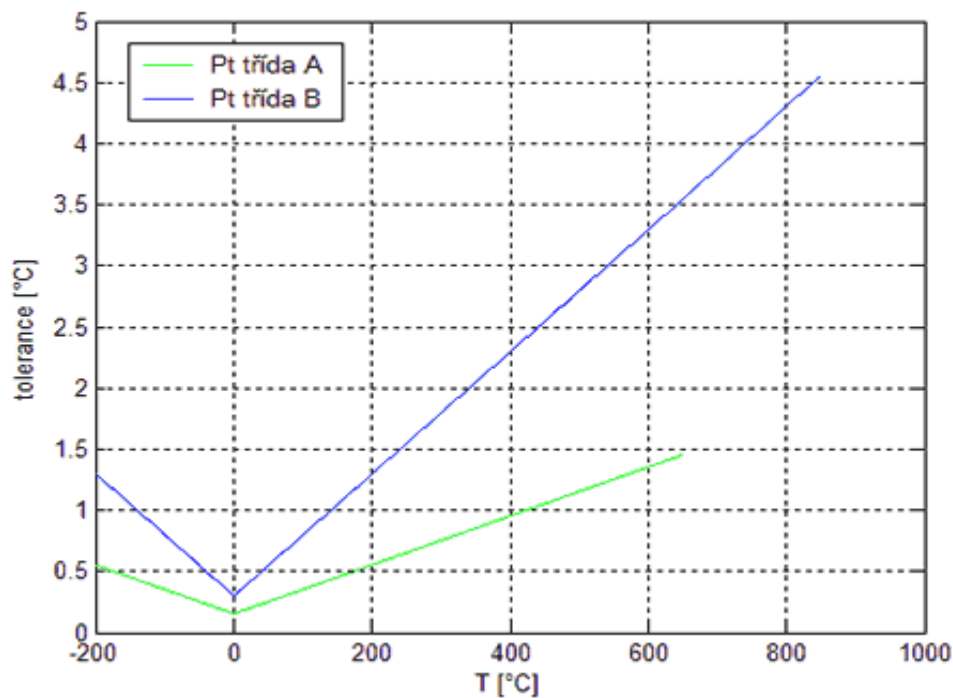
U provozních senzorů je důležitá záměnnost umožňující měřit s chybami v určitých dohodnutých mezích. Z tohoto důvodu jsou normami určeny základní hodnoty odporů včetně odchylek. Dle IEC (International Electrotechnical Commission) se platinové měřicí odpory ($W_{100} = 1,385$) dělí do dvou tolerančních tříd:

- **Třída A** : Rozsah teplot: $-200\text{ }^\circ\text{C}$ až $650\text{ }^\circ\text{C}$, tolerance ($^\circ\text{C}$): $\pm (0,15 + 0,002 \cdot |t|)$,
- **Třída B** : Rozsah teplot: $-200\text{ }^\circ\text{C}$ až $850\text{ }^\circ\text{C}$, tolerance ($^\circ\text{C}$): $\pm (0,3 + 0,005 \cdot |t|)$,

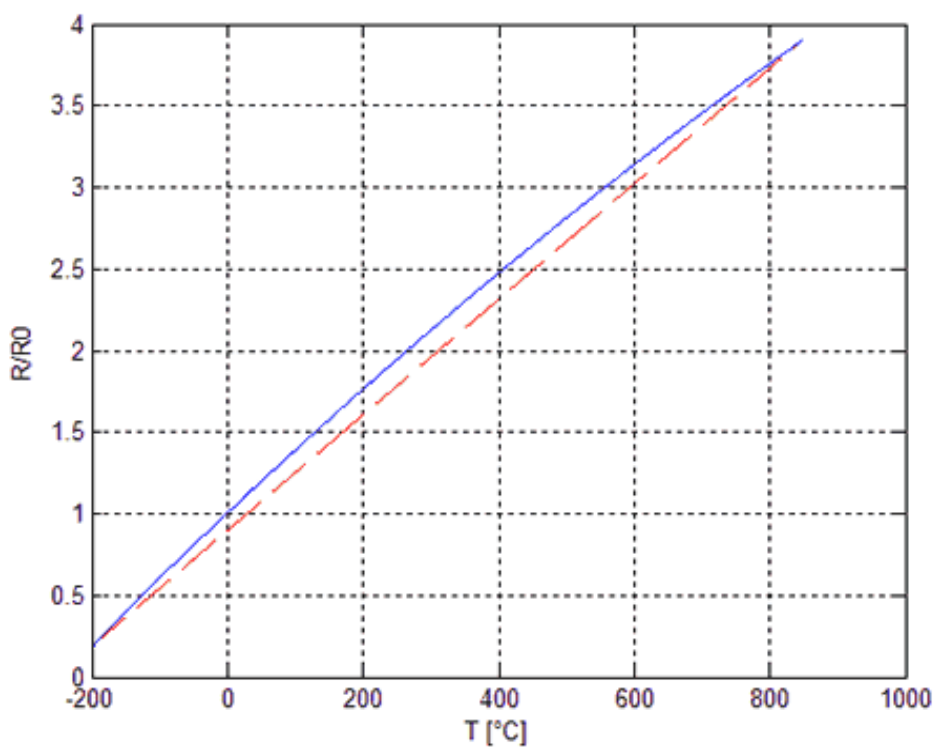
Standardní hodnota odporu Pt senzoru je $100\ \Omega$ při $0\text{ }^\circ\text{C}$. Kromě této hodnoty se ale vyrábějí též Pt senzory $50, 200, 500, 1000$ a $2000\ \Omega$. Pro teplotní závislost standardního měřicího odporu ($W_{100} = 1,385, R_0 = 100\ \Omega$) platí vztah:

$$R_T = R_0 [1 + AT + BT^2 + CT^3 (T - 100)] \quad (2.3)$$

Přičemž dle IEC je $A = 3,90802 \times 10^{-3}\ \text{K}^{-1}$, $B = -5,802 \times 10^{-7}\ \text{K}^{-2}$ a $C = -4,27350 \times 10^{-12}$ pro $T < 0\text{ }^\circ\text{C}$, resp. $C = 0$ pro $T > 0\text{ }^\circ\text{C}$. Chyba linearity pro rozsah teplot od $0\text{ }^\circ\text{C}$ do $100\text{ }^\circ\text{C}$ činí asi $1,45 \cdot 10^{-3} R_0$ tedy cca $0,15\text{ }^\circ\text{C}$.



Obr. 4 Tolerance Pt standardních měřicích odporů dle IEC [7]



Obr. 5 Závislost odporu (resp. R/R_0) Pt senzoru na teplotě – modrá křivka, červená přímka je zde pro zvýraznění nelinearity. [7]

Senzory mají obvykle tvar podlouhlých válečků nebo malých destiček v závislosti na technologii výroby.

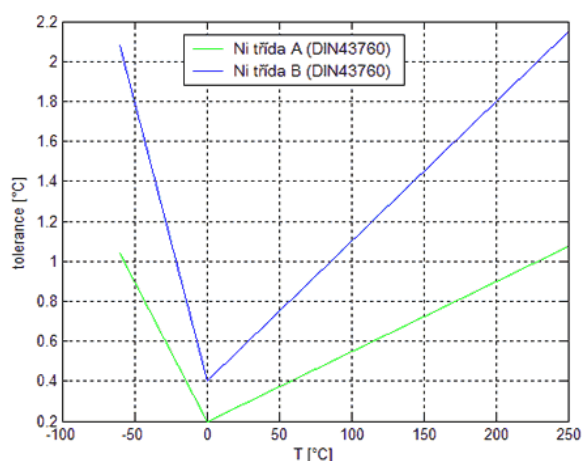


Obr. 6 Platinové senzory teploty [12]

Samostatný platinový snímač se ke zjištění teploty nepoužívá. Lze ho použít za použití přesného ohmetru a převodních tabulek odpor – teplota. Pro další práci se používají takzvané měřicí obvody, u kterých je výstupem zpravidla napětí.

Niklové senzory teploty

Niklové senzory se obvykle vyrábějí tenkovrstvou technologií. Jejich výhodou je vysoká citlivost, rychlá časová odezva a malé rozměry. Ve srovnání s platinovými senzory trpí značnou nelinearitou, mají omezenější teplotní rozsah (používají se pro teploty $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $180\text{ }^{\circ}\text{C}$) a menší dlouhodobou stálost. Používají se čidla např. s $W_{100} = 1,6170$, ale nejužívanější jsou čidla s $W_{100} = 1,6180$ a $R_0 = 100\ \Omega$ dle normy DIN 43760.



Obr. 7 Tolerance Ni standardních měřících odporů dle IEC [7]

Měděné odporové senzory

Tyto senzory lze použít pro měření teplot od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Běžně se příliš nepoužívají vzhledem k malé rezistivitě a snadné oxidaci mědi. Můžete se s nimi setkat ve formě vinutých čidel s $W_{100}=1,4260$ a jmenovitou hodnotou odporu 50 nebo $100\ \Omega$. Výhodnou aplikací mědi je např. přímé měření teploty měděného vinutí elektromotoru.

Shrnutí

Nejčastěji používaným materiálem pro kovové odporové senzory teploty je *platina*, jelikož může být vyrobena ve standardně čistém stavu a je fyzikálně i chemicky stálá. Vysoká přesnost měření, široký rozsah měřené teploty, vysoká dlouhodobá stabilita a malá nelinearita závislosti odporu na teplotě nabízejí široké možnosti použití platinových senzorů i v náročnějších aplikacích. K dostání je velký sortiment drátkových i miniaturních napařovaných platinových čidel. *Nikl* má výhodu vyšší citlivosti, je však méně stálý a obtížně se vyrábí ve standardní čistotě. Protože při vyšších teplotách dochází ke změně krystalické modifikace, provázené i změnou teplotního součinitele, používá se jen do cca $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Použití *mědi* je omezeno z důvodů snadné oxidovatelnosti a malého měrného odporu [1]

2.1.3 Bezdotykové teplotní senzory [1]

Bezdotykové měření je založeno na měření elektromagnetického záření vysílaného každým tělesem z jeho povrchu. Senzorem se snímá záření o vlnových délkách od $0,4\ \mu\text{m}$ do $25\ \mu\text{m}$. V tomto rozsahu je zahrnuto viditelné spektrum, oblast blízkého infračerveného spektra, oblast krátkovlnného infračerveného spektra, středovlnného infračerveného spektra a také oblast dlouhovlnného infračerveného spektra. Elektromagnetické záření s vlnovou délkou od $2\ \mu\text{m}$ do $25\ \mu\text{m}$ se označuje jako tepelné záření. Uvedené rozsahy pokrývají měření teplot v rozmezí od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+10000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Bezdotykové měření teplot má své výhody a nevýhody jako všechny ostatní způsoby měření. Uvedu zde základní klady a zápory bezdotykového měření teplot.

Výhody bezdotykového měření teploty:

- Zanedbatelný vliv měřicí techniky na měřený objekt
- Možnost měření teploty na pohybujících se objektech
- Měření z bezpečné vzdálenosti (vysoká napětí, hutní objekty, atd.)
- Možno měřit i velmi rychlé změny
- Měření a další digitální zpracování teploty povrchů těles (termovize, termografie)

Nevýhody bezdotykového měření teploty:

- Nejistoty měření dané chybnou hodnotou emisivity povrchu měřeného objektu
- Nejistoty měření dané chybnou hodnotou propustnosti prostředí mezi objektem a snímačem
- Nejistoty měření způsobené korekcí parazitního odráženého záření

Tabulka 2. Základní veličiny pro bezdotykové měření teploty (ČSN ISO 31-6) [1]

veličina	značka	definice	jednotka
zářivý tok zářivý výkon	Φ	výkon přenášený zářením (vysílaný nebo přijímaný)	W
intenzita vyzařování	M	podíl zářivého toku vycházejícího z elementu povrchu a plochy tohoto povrchu	$W \cdot m^{-2}$
spektrální hustota intenzity vyzařování	M_{λ}	podíl intenzity vyzařování v malém intervalu vlnových délek a tohoto intervalu	$W \cdot m^{-3}$
zářivost	I	podíl zářivého toku vycházejícího ze zdroje nebo jeho elementu do elementárního prostorového úhlu a tohoto prostorového úhlu	$W \cdot sr^{-1}$
zář	L	podíl zářivosti elementu povrchu a plochy kolmého průmětu tohoto elementu do roviny kolmé k danému směru	$W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$
spektrální hustota záře	L_{λ}	podíl záře v malém intervalu vlnových délek a tohoto intervalu	$W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-3}$
intenzita ozáření	E	podíl zářivého toku dopadajícího na element povrchu a plochy tohoto elementu	$W \cdot m^{-2}$

Termokamery

Termokamery se dělí na :

- systémy s opticko-mechanickým rozkladem obrazu
- systémy s maticovým detektorem

Opticko-mechanický rozklad obrazu se realizuje snímáním jednotlivých bodů objektu řízenou optickou osou. Okamžité zorné pole termokamery se postupně zaměřuje na všechny body (plošky) měřeného objektu. Dráha rozkladu se provádí pohyblivými optickými částmi kamery (otočné hranoly nebo zrcadla).

U termokamer se používají dvě hlavní pásma vlnových délek. Krátkovlnné (2 μm až 5 μm) a dlouhovlnné (7 μm až 13 μm). Prostřednictvím amplitudového diskriminátoru videesignálu lze u termokamery nastavit pro libovolné rozmezí teplot libovolnou barvu nebo alespoň zvolit některou z volitelných barevných palet. Termokamera pracuje v neviditelném spektru záření, kde žádné barvy neexistují, takže přiřazení barev je umělé.

Termokamera je základním měřicím zařízením pro infračervenou diagnostiku. Na základě znalosti rozložení teplotního pole diagnostikovaného objektu lze kontrolovat funkce zařízení, jejichž činnost je spojena s vývinem nebo absorpcí tepla. Lze tak lokalizovat různé materiálové vady, opotřebení způsobené třením a jiné takové defekty vnitřních dílů objektu, které ovlivňují rozložení povrchové teploty.

V tabulce uvedené níže (Tab. 3) jsou uvedeny technické údaje termokamery FLIR, která by byla použita pro příslušné měření. Tato kamera splňuje všechny požadavky pro provedení teplotního snímání. Jelikož však nemá dostatečně velký rozsah měřicích teplot, bylo by nutné užít filtry. Tyto filtry by zvětšily teplotní rozsah termokamery a zároveň zamezí kolizi pevných částic s čočkou kamery.

Tabulka 3. Technické údaje kamery FLIR [1]

Detektor	Nechlazený mikrobolometr 640 × 480 pixelů, snímková frekvence až 30 Hz
Teplotní citlivost	35 mK při +-20 °C
Spektrální pásmo	7,5 μm až 13 μm
Rozsah měřených teplot	-40°C až +500°C (s filtrem do +2000 °C)
Nastavitelné parametry	Emisivita, vzdálenost, teplota okolí, relativní vlhkost, typ objektivu
LCD hledáček	1,5“ barevný
Video výstup	NTSC/PAL (CCIR), 14bitový digitální výstup
Ukládání obrazů	ATA Flash > 100 MB
Hmotnost	2 kg

2.2 Přímé určení deformací

Přímé určení deformací bylo změřeno na souřadnicovém měřicím stroji, jenž se nachází v budově Ústavu výrobních strojů a zařízení. Na tomto stroji byly proměřeny deformace jednotlivých strategií návaru, načež byly získané informace vyhodnoceny. Vzorky by bylo také možné proměřit na dalších metrologických strojích, například pomocí CNC obráběcího stroje, na němž je umístěna měřicí sonda nebo pomocí metrologického scanneru.

2.2.1 Souřadnicový měřicí stroj

Souřadnicové měřicí stroje představují jednu z nejvýznamnějších inovací v oblasti měření ve strojírenství. Konstrukce souřadnicových měřicích strojů byla vynucena potřebou měření karoserií v automobilovém a leteckém průmyslu a potřebou měření u NC strojů ve strojírenské výrobě. [6]

2.2.2 Princip

Princip souřadnicového měření spočívá v tom, že stanovíme základní bod v prostoru a polohy dalších bodů na měřené součásti měříme formou souřadnicových rozměrů v osách X, Y, Z. Možnost určení základního bodu v kterémkoliv místě pracovního prostoru měřicího stroje je velkou výhodou oproti konvenčním metodám. [6]

2.2.3 Srovnání

Ve srovnání s tradičními způsoby měření, kde odečítání naměřených hodnot z jemných stupnic je nejen zdlouhavé, ale i namáhavé, představuje číslicový způsob vyhodnocení výsledků u souřadnicových měřicích strojů značný krok vpřed. Mimo to je většina číslicových souřadnicových měřicích strojů (SMS) uzpůsobena tak, že je možno k nim připojit zařízení pro záznam naměřených hodnot, které automaticky registruje naměřené body. Záznam výsledku slouží jako doklad o provedeném měření, ale může být též podkladem pro statistické metody vyhodnocování měření. SMS kontroluje výrobky podobným způsobem, jako je NC stroj vyrábí. Pracuje rychle, měřicí časy redukuje asi o 80 %. SMS jsou zvláště vhodné pro rozměrovou kontrolu součástí vyrobených na frézkách, vyvrtávačkách a vrtačkách. SMS ve spojení s počítačovou technikou představuje prostředek pro účinné zvyšování a udržování jakosti ve všech druzích výroby při obrábění i tváření. [6]

2.3 Způsob tvorby návarů [2] [3] [5] [8]

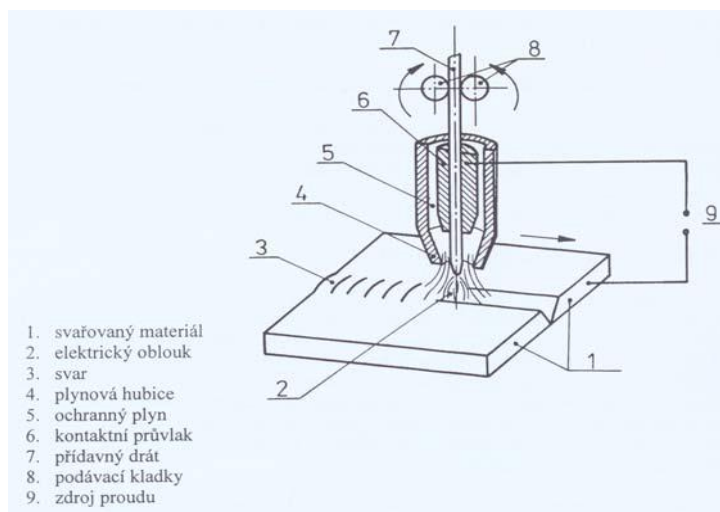
Způsoby tvorby návarů mohou být různé a to buď navařováním tlakovým, tavným nebo v ochranném plynu. V této práci je s přihlédnutím k možnostem a požadavkům zvoleno svařování v aktivním ochranném plynu (MAG) metodou CMT, jelikož má vysokou kvalitu a zároveň desku nejméně provaří, což způsobuje menší tepelnou deformaci desky.

2.3.1 Princip MAG (Metal-Aktiv-Gas) metody

Při svařování MAG metodou plní odtavující se elektroda současně funkci přídavného materiálu i nositele oblouku. Dlouhý svařovací drát se přes dvě nebo čtyři posuvové kladky zavádí do svařovacího hořáku, kde v takzvané kontaktní trubici dochází k přestupu proudu. Volný konec drátu je soustředně obklopený plynovou hubicí. Vytékající ochranný plyn brání chemickým reakcím žhavého povrchu obrobku s okolním vzduchem, čímž se zachovává pevnost a houževnatost svarového kovu. Pro funkci ochranného plynu se užívají aktivní plyny. Proto mluvíme o svařování Metal-Aktiv-Gas („kov-aktivní-plyn“, MAG). Proud pro svařování jsou od 30 A do 800 A. Spodní hranice proudu o hodnotě 30 A se používá při svařování tenkých plechů. Svařuje se drátem o průměru 0,6 - 1mm. Proud 800 A se využívá při mechanizovaných metodách o velkém výkonu svařovacího procesu. Svářecí drát se dodává na 18kg cívkách nebo 200kg kontejnerech.

Zodpovědnost za podobu svaru a za přechod materiálu má, kromě chování oblouku a odtavného výkonu, také ochranný plyn. Jako aktivní plyny figurují především směsi plynů vytvořené na základě argonu, avšak obsahující navíc ještě podíly kyslíku nebo kysličníku uhličitého. Tyto plyny poměrně snadno reagují. Aktivní plyny jsou vhodné pro nerezavějící, vysokolegované druhy ocelí a rovněž pro nízkolegované nebo nelegované ocele. S určitými omezeními je pro nelegované nebo nízkolegované ocele vhodný jako aktivní plyn i samotný kysličník uhličitý.

Alternativu k ochranným plynům představuje použití trubičkových (plněných) drátů s náplní, která se v elektrickém oblouku odpařuje a tímto způsobem rovněž vytváří ochrannou atmosféru. Trubičkové dráty zaručí spolehlivou plynovou ochranu i při průvanu [2] [3] [8]



Obr. 8 Princip svařování metodou MAG [2]

2.3.2 Přístrojová technika

Svařovací zdroj pracuje se stejnosměrným proudem, přičemž potenciál svařovacího drátu představuje kladný pól. Běžné, stupňovitě přepínané svařovací zdroje jsou vybaveny transformátorem s dostatečným počtem přepínatelných odboček potřebných k tomu, aby bylo možno nastavit požadovanou hodnotu svařovacího proudu. Za transformátorem je zařazený usměrňovač, který vyrábí ze střídavého proudu usměrněný svařovací proud. Nastavitelná cívka tlumivky vyhlazuje nežádoucí proudové špičky a snižuje tím sklon k tvorbě rozstříku. Invertorové svařovací zdroje vyrábějí ze síťového napětí pulzní napětí o vysoké frekvenci. Toto napětí se přivádí na svařovací transformátor, který může být z důvodů vysoké frekvence vyrobený v mnohem lehčím, kompaktnějším a účinnějším provedení, než v případě stupňovitě přepínaných svařovacích zdrojů. Také invertorové zdroje jsou vybavené usměrňovačem. Plně digitalizované invertorové zdroje se signálovým procesorem vyrábějí plynule nastavitelný výstupní proud, který je trvale měřený a udržovaný v oblasti ideálních podmínek. Tím je zaručené prakticky bezrozstříkové svařování a výstupní tlumivka může odpadnout. Posuv drátu obstarává podavač, který je buď vestavěný do krytu svařovacího zdroje, nebo externí. Ruční nebo strojní hořák existuje jak v plynu chlazeném, tak také ve vodou chlazeném provedení. Plynu chlazené svařovací hořáky se chladí protékajícím ochranným plynem, zatímco vodou chlazené hořáky jsou vybavené výkonným kapalinovým chlazením s čerpadlem a výměníkem tepla. Od svařovacích proudů 300 A jsou vodou chlazené hořáky standardem. [2] [3] [8]

2.3.3 Aplikace a přednosti

Metoda MAG se nejvíce využívá při svařování nelegovaných a nízkolegovaných konstrukčních ocelí, avšak díky technice pulzního oblouku ji lze použít pro hliníkové slitiny a vysokolegované konstrukční ocele. Ve fázi základního proudu je přívod energie omezený natolik, aby oblouk ještě stabilně hořel, přičemž povrch obrobku se přitom přehřívá. Fáze hlavního proudu obstarává prostřednictvím přesně nadávkovaného proudového impulsu cílené uvolnění kapky. Nežádoucí zkrat se současnou explozí kapky a vznikem nekontrolovatelného rozstříku je tím vyloučený. Nezávisle na druhu oblouku vykazuje MAG proces oproti ostatním svařovacím postupům významné rozdíly. Patří k nim dostatečný odtavný výkon, hluboký závar, snadná manipulace a možnost kompletní mechanizace, stejně tak jako vysoký stupeň hospodárnosti. [2] [8]

2.3.4 CMT Svařování [2] [8]

Svařování CMT (Cold-Metal-Transfer) se provádí výhradně za použití plně digitalizovaných invertorových svařovacích zdrojů. V principu odpovídá svařovací systém CMT hardwarové sestavě systému MAG na nejnovější technické úrovni, avšak s respektováním specifických požadavků. Za zmínku přitom stojí především vysokodynamický posuv drátu, namontovaný přímo na svařovacím hořáku. Jakmile identifikuje svařovací zdroj zkrat, odstartuje se zpětný pohyb drátu se současným poklesem svařovacího proudu. Dojde k exaktně probíhajícímu uvolnění kapky bez nejmenších známek rozstříku. Následně se rozběhne drát dopředu a cyklus se opakuje. Předpokladem absolutně kontrolovatelného přechodu materiálu jsou vysoká frekvence pohybů drátu a mimořádná preciznost.

Posuv drátu na hořáku je navržený pouze na rychlost, avšak ne na vysoké tažné síly. Přísun drátu zajišťuje proto silnější, avšak z principu také pomaleji reagující (setrvačností zatížený), hlavní podavač. Pro vyrovnání superponovaných vysokofrekvenčních pohybů drátu a jejich přechod na lineární posuv slouží vyrovnávací (pufrovací) vložka v hadici pro transport drátu.

Přívod elektrické energie je připojen přes třecí kontakt („průvlak“) při ústí hořáku. Tím se zkracuje elektricky zatížená délka drátu. Oblouk hoří v ochranné atmosféře aktivního plynu. Jak bude kov přenášen obloukem, závisí na parametrech svařování a na ochranném plynu. Rotujícího oblouku se dosahuje vlivem elektromagnetických sil, které vznikají při vysokých proudech, při kterých se mění charakter přenosu kovu obloukem. Závislosti na technologii, vlastnosti materiálu, chemického složení je teplota tavné lázně asi 1600°C až 2500°C. Kapky kovu se obloukem pohybují rychlostí, která je vyšší než 130 m.s⁻¹.

Rychlost svařování dosahuje 150 m.s⁻¹ a to za pomoci vysokých proudů. Teplotní poměry v oblouku, přenos kapek, rozstřík kovu ovlivňuje ochranná atmosféra. Dle druhu svařovaného materiálu se volí příhodný druh ochranné atmosféry, která je tvořena jedním nebo směsí více plynů. Plyn Argon se používá pro svařování vysoce legovaných ocelí a neželezných kovů. Ochranná atmosféra, tvořená kyslíčnickem uhličitým, se uplatní při sváření nízkouhlíkových ocelí. [8] [2]

3. Cíle práce

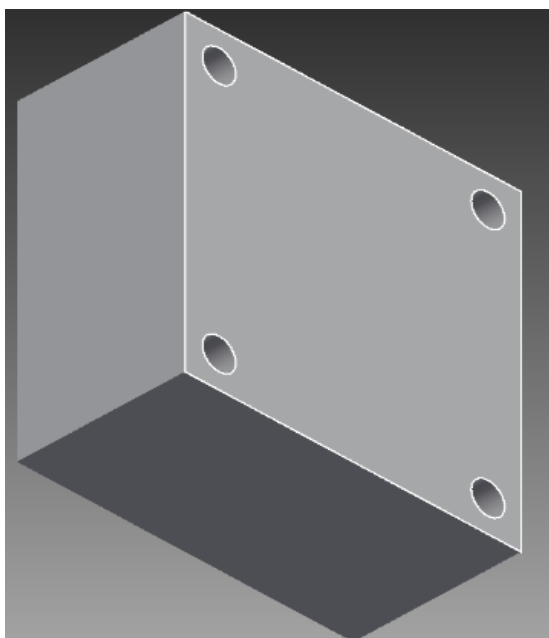
Cílem práce je navrhnout postup experimentu pro zjištění, jak různé strategie tvorby návaru ovlivňují daný polotovar. Tento experiment bude realizován v laboratořích Ústavu výrobních strojů a zařízení, přičemž návrh bude obsahovat způsoby vyhodnocení daného problému.

Experiment bude realizován pouze metodou přímou, jelikož nepřímá metoda by vyžadovala následnou verifikaci do matematického modelu. Pro nepřímou metodu budou v této práci pouze popsány typy senzorů a snímačů, které jsou nejvhodnější pro provedení analýzy a vyhodnocení deformace.

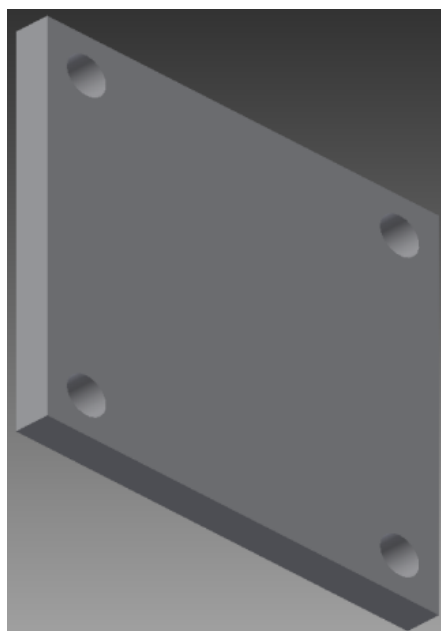
Pro přímou metodu zde bude popsán a vypracován celý průběh navařovacího experimentu a jeho vyhodnocení. Pro tuto metodu bude nutné vytvořit výkresovou dokumentaci pro jednotlivé strategie, napsat NC kódy, označit jednotlivé vzorky, vytvořit na nich rastr pro měření a vytvořit měřicí desku, na níž budou vzorky položeny při proměřování. Ze získaných hodnot bude stanovena nejvhodnější strategie navařování.

4. Návrh vlastního experimentu

Pro experiment byly využívány prostory Ústavu výrobních strojů a zařízení, kde byly pomocí SMS (souřadnicovém měřícím stroji) zkoumány deformační vlivy navařování na kovové vzorky. Vzorků, na něž bylo prováděno navařování, je šest. Pět z nich jsou kovové plechy o rozměrech 100x100x7,5 (mm), (obr. 15), poslední šestý má rozměry 100x100x49,5 (mm), (obr. 16), vzorky jsou vyfrézovány do hladka. Tyto vzorky byly umístěny uvnitř navařovacího zařízení, uloženy na kovové desce a upevněny pomocí šroubu M6 se zápusťnou hlavou (norma DIN 912). Pro experiment byla dále vypracována varianta umístění vzorků na chlazenou desku, ale tato varianta nebyla realizována.



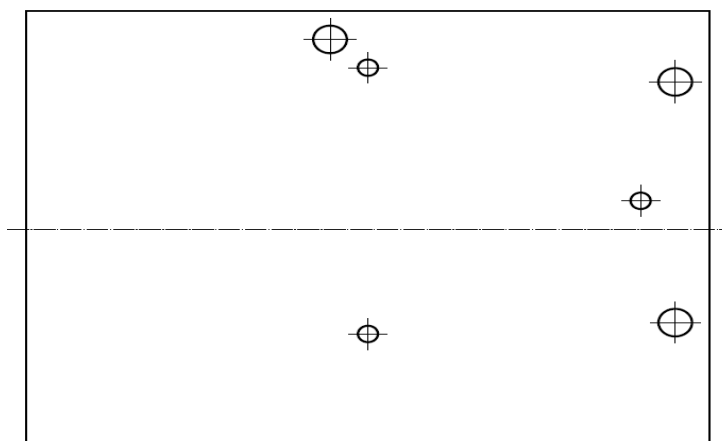
Obr. 9 Vzorek tloušťky 49,5mm



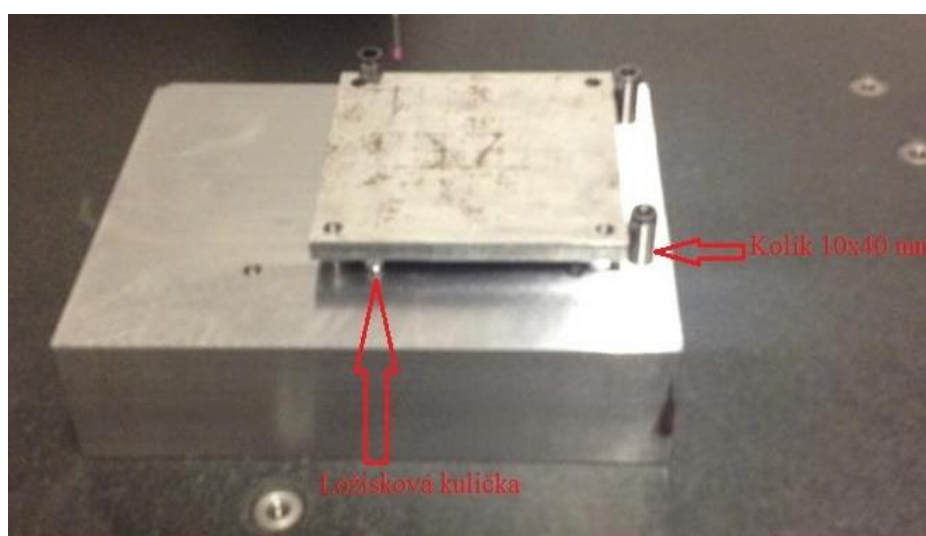
Obr. 10 Vzorek tloušťky 7,5mm

4.1 Experimentální zjištění nejlepší strategie návaru

Před realizací navařovacího procesu bylo nutné proměřit původní rovinnost desek pro stanovení počátečních hodnot. Pro proměření vzorků byla vytvořena měřicí deska, na níž byly při měření umístěny vzorky. Vzorek je v prostoru orientován šesti body, z nichž tři slouží k přiřazení dvou stěn vzorku pro zafixování pozice a na zbylé tři, které postačují k definování roviny, je vzorek položen plochou, na níž se neprovádělo měření. Na měřicí desce je proto vyvrtáno šest děr, z nichž tři (o průměru 10 mm) slouží pro umístění kolíků (DIN 7979 D, 10 x 40 mm), ke kterým byl vzorek přiřazen. Ve zbylých třech (o průměru 6 mm) byly umístěny ložiskové kuličky (o průměru 8 mm), na které se vzorek umístil plochou, na níž byl proveden návar. Tato deska zajišťuje stejnou pozici vzorku pro každé měření. Výkres měřicí desky viz Příloha 1.

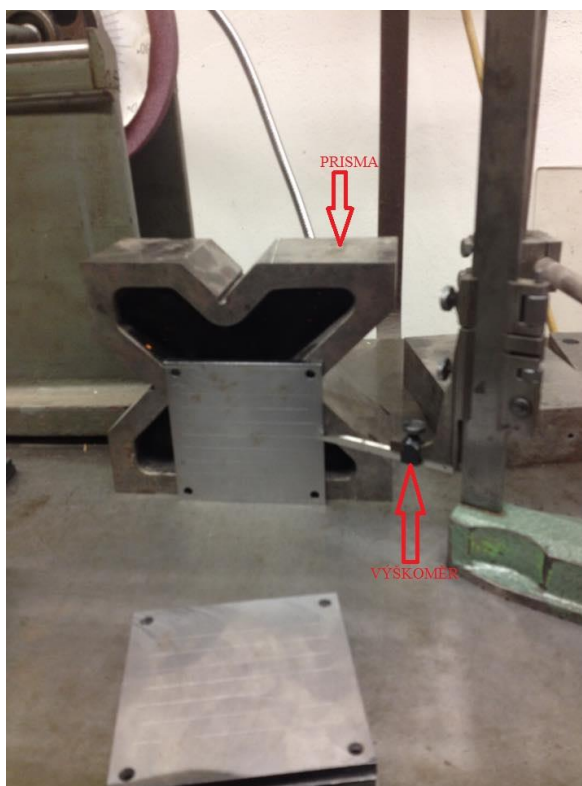


Obr. 11 Měřicí deska



Obr. 12 Fixace pozice vzorku na měřicí desce

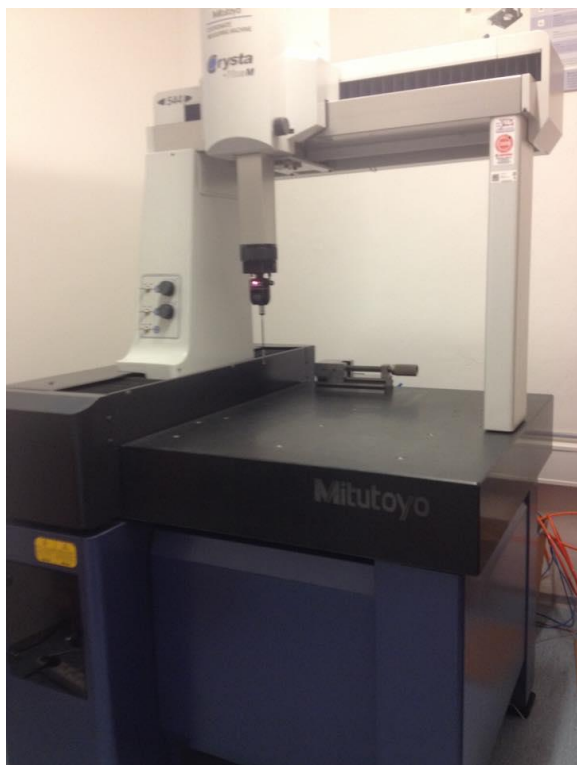
Pro měření byl na plochu bez návaru vytvořen rastr 6 x 8 (cm), jehož jedno pole má velikost 1 x 1 (cm). Rastr byl vytvářen pomocí výškoměru a prisky, o níž byly vzorky opřeny.



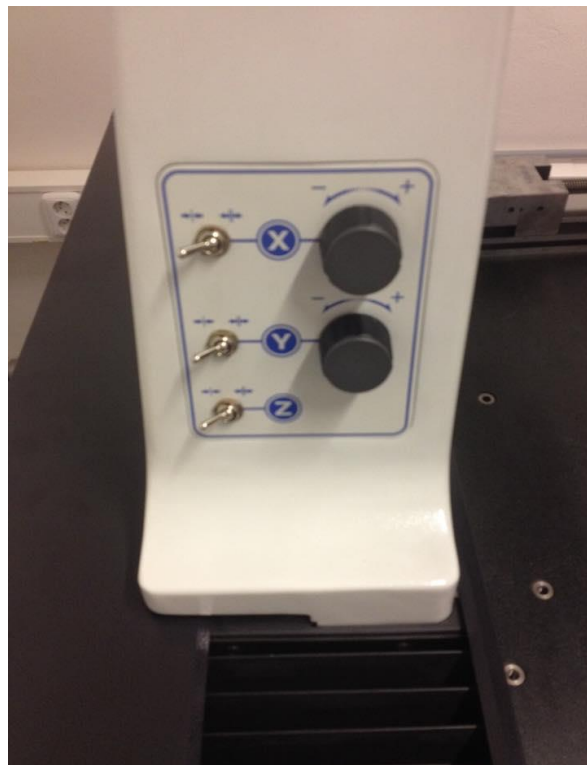
Obr. 13 Vytváření rastru

Proměrování desek bylo prováděno na souřadnicovém měřícím stroji (SMS) Mitutoyo CRYSTA-Plus M, na ploše bez návaru. Tento SMS je manuální se vzduchově odlehčenými osami. Pro měření byl použit software, jenž byl k tomuto přístroji dodán a který je umístěn i se strojem v prostorách Ústavu.

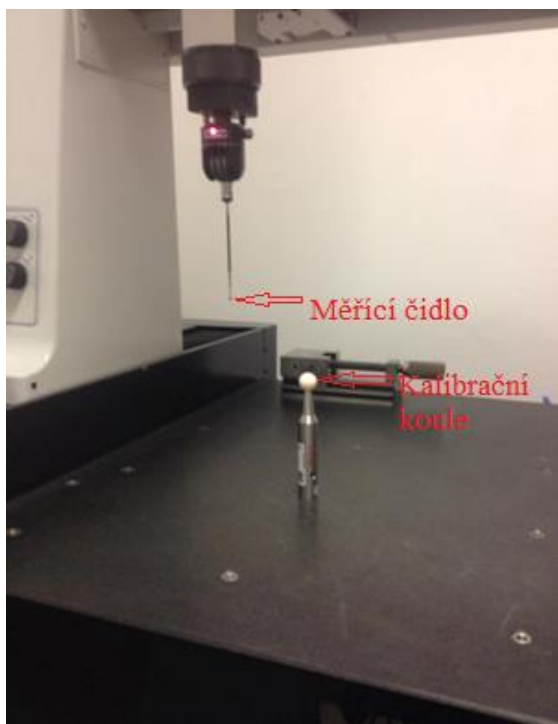
Před vlastní měření bylo třeba kalibrovat měřící čidlo pomocí kalibrační koule. Tato kalibrace se provedla nasnímáním pěti bodů po obvodu kalibrační koule. Dále bylo nutné sjednotit souřadný systém měřící desky se souřadným systémem stroje. Sjednocení se provedlo přiřazením rozměrově přesného kvádru ke kolíkům na měřící desce a pomocí čidla, které se pohybuje ve směru Y osy, byly vyrovnány odchylky. Před měřením bylo také nutno definovat plochu, na níž probíhalo měření. Definuje se pomocí dvou přímek (o třech bodech) a roviny (o čtyřech bodech). Rovinnost vzorků je zjištěna pomocí 48 Gaussových kompenzačních bodů, jimiž se proložila rovina. Data z počítače byla vyexportována do tabulky v Excelu a do protokolů z měření ve formátu PDF (viz Příloha 1). Z nich je následně vytvořena tabulka hodnot pro výsledné stanovení rovinností a profil zdeformované plochy.



Obr. 15 Souřadnicový měřicí stroj Mitutoyo



Obr. 14 Ovládání vzduchu pro rozvod vzduch do os



Obr. 16 Kalibrace měřícího čidla



Obr. 17 Kalibrační koule

4.2 Svařovací agregát FRONIUS CMT

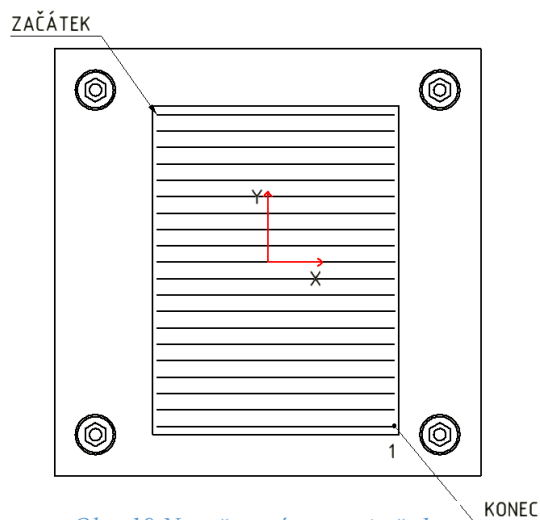
Tabulka 4. Parametry svařovacího agregátu

Základní materiál	Ocel	Svařovací zdroj	TPS 4000 CMT
Metoda	MIG/MAG-CMT	Svařovací program	CMT 1170 DB 0777
Specifikace metody	CMT	Sklon hořáků (°)	0°
Svařovací rychlost(cm/min)	130	Šířka svarová housenky (mm)	4
Přídavný materiál	G3Si1	Polarita elektrody	střídavý
Průměr (mm)	1,0	Rychlost posuvu drátu (m/min)	300
Ochranný plyn	Ar 4/6	Průtok (l/min)	12

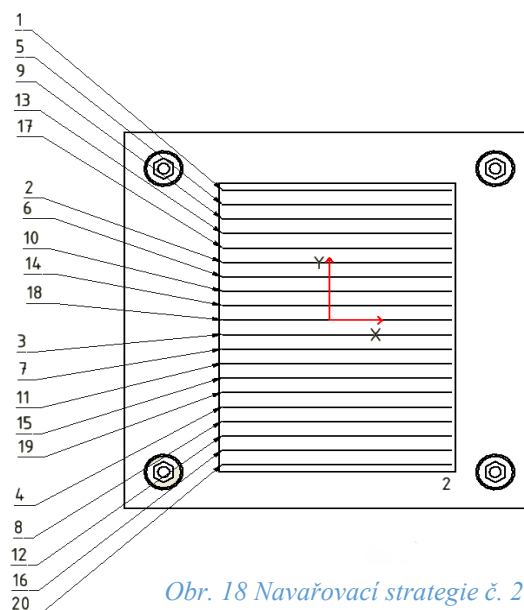
4.3 Strategie kladení návaru

Návary měly více housenek vedle sebe, které byly dány přesnými rozestupy pro komplexnější rozložení tepelně ovlivněné oblasti a stanovení optimální strategie navařování.

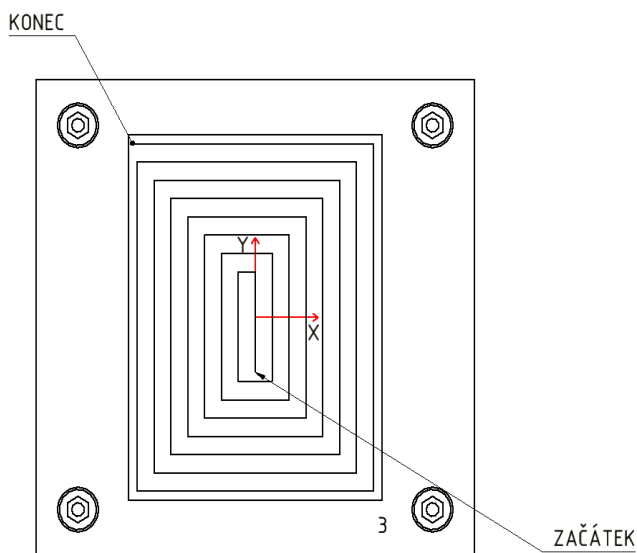
Na základně konzultace, bylo zvoleno 5 základních strategií kladení návaru, jež byly aplikovány na jednotlivé vzorky. Rozestupy mezi jednotlivými housenkami jsou 2 mm z důvodu jejich šířky, která má velikost 4 mm. Pro jednotlivé navařové strategie byly vypracovány dráhy střednic, po níž se pohybovala svařovací elektroda.



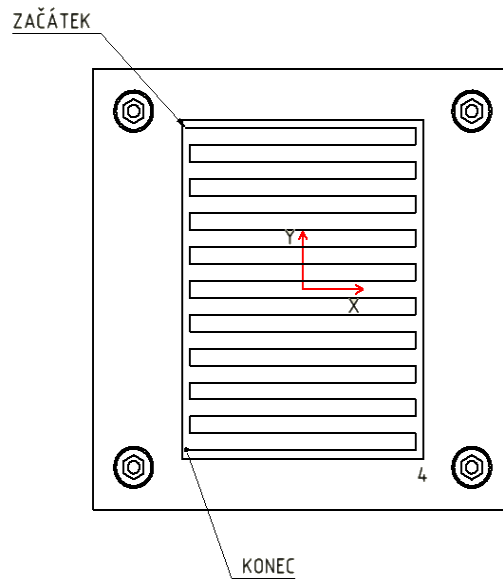
Obr. 19 Navařovací strategie č. 1



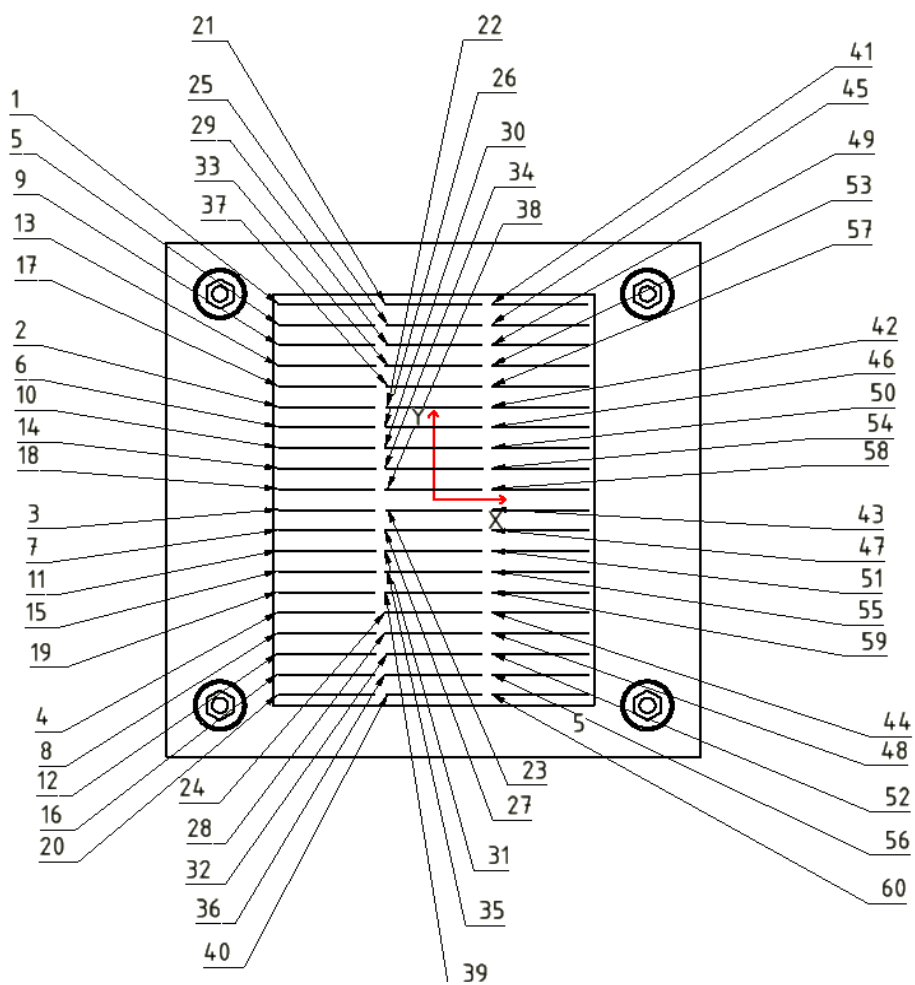
Obr. 18 Navařovací strategie č. 2



Obr. 20 Navařovací strategie č. 3



Obr. 21 Navařovací strategie č. 4



Obr. 22 Navařovací strategie č. 5

Návar byl kladen tak, aby teplotní deformace desky byla co nejmenší a plocha navařované vrstvy co nejrovnoměrnější. Pro tyto parametry byla uzpůsobena volba strategií, které byly zvoleny záměrně souvislé a přerušované. U souvislých je předpokládána větší deformace než u přerušovaných.

4.4 Tvorba NC kódu pro návar

Konkrétní NC kódy jsou uvedeny v příloze 2. Zde uvádím pouze obecné informace o funkcích navařovacího kódu a jmenovitý seznam použitých funkcí. NC kód nebyl tvořen cyklicky, ale postupným vypsáním souřadnic, protože jejich použití není nutné a pro spojitě strategie velmi složité.

Vzorky byly při experimentu umístěny na ocelové desce bez chlazení, avšak byla vytvořena i varianta s chlazením. NC kód by se odlišoval pouze ve funkci zapnutí/vypnutí chlazení (M55/M54), která by byla umístěna na začátku a konci programu.

4.4.1 Seznam použitých funkcí

Tabulka 5. Obecné funkce jednotlivých znaků

Značka	Popis struktury bloku	Druh informace
N	Číslo bloku	Ostatní
G	Přípravné funkce	Geometrické (souřadnice)
F	Rychlost posuvu	Technologické
S	Otáčky vřetena	
T	Volba nástroje	
M	Pomocné funkce	Pomocné

Použité funkce:

Tabulka 6. Použité funkce tvoření návaru (konzultace Ing. T.Fornůsek)

Označení	Funkce
G00	Funkce rychloposuvu
G01	Funkce pracovního posuvu lineární interpolace
G4	Časová prodleva (parametr 4 udává dobu čekání, v sekundách)
G17	Výběr roviny x/y
G30;G31	Definice polotovaru
G40	Bez korekce rádiusu (vypnutí vyrovnání stroje)
G53 P01 1	Posunutí počátku stroje (dle předdefinovaného nastavení P01 1)
G71	Nastavení rozměrových jednotek na milimetry
G90	Absolutní programování (souřadnice budou vztaženy do počátku souřadného systému), zadání cílových souřadnic pomocí absolutních souřadnic
M5	Zastavení vřetene (pro navařování se vřeteno nepoužívá)
M30	Vypnutí programu stroje
M51	Zapnutí navařovacího procesu
M52	Vypnutí navařovacího procesu
M54	Vypnutí chladicí desky (pro možnost s chlazením)
M55	Zapnutí chladicí desky (pro možnost s chlazením)
M72	Nastavení rozjezdu stroje pro svařovačku
T16	Volba nástroje (parametr 16 udává číslo nástroje)
S0	Otáčky vřetene (parametr 0 udává počet otáček)

5. Návrh vyhodnocení dat

Návrh vyhodnocení dat je vypracován pro obě metody. Jelikož nebyla realizována nepřímá měřicí metoda, způsob vyhodnocení je rozepsán jen teoreticky, bez konkrétních hodnot. Ty jsou pouze u přímé metody, jež byla provedena.

5.1 Vyhodnocení dat nepřímým měřením

Výsledky byly vyhodnoceny pomocí softwaru od výrobce termokamery FLIR, tento program poskytuje přímý toolbox do Microsoft Wordu (flir word reporting). Výsledky lze dále verifikovat na výpočtový model pomocí softwaru Image Proceing pro přesnou analýzu. Jelikož jsem experiment nerealizoval touto metodou, více se již tímto SW nebudu zabývat.

5.2 Vyhodnocení dat přímým měřením

Měření proběhlo na souřadnicovém měřicím stroji, z něhož byla exportována data o měření v podobě hodnot v Excelu a do protokolů z měření ve formátu PDF (viz Příloha 1).

Tabulka 7. Původní rovinnost vzorků

Vzorek č.	Rovinnost plochy
1	0,021
2	0,020
3	0,042
4	0,007
5	0,049
6	0,043

Tabulka 8. Rovinnost vzorků po navařování

Vzorek č.	Rovinnost plochy
1	0,276
2	0,286
3	0,344
4	0,302
5	0,285
6	0,041

Tabulka 9. Výsledná rovinnost vzorků

Vzorek č.	Rovinnost plochy
1	0,255
2	0,266
3	0,302
4	0,295
5	0,236
6	0,000

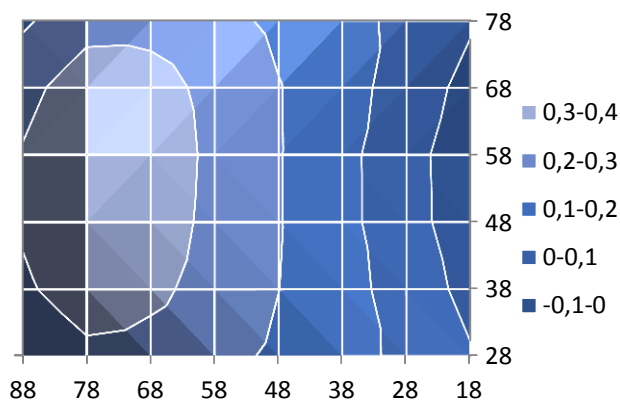
Výsledky experimentu dopadly dle očekávání. Jako nejvhodnější byla zjištěna navařovací strategie u vzorku číslo 5, která mohla dopadnout i lépe, pokud by nebylo zvoleno navařování po jednotlivých sloupcích, ale skokově. Nejhorší navařovací strategie je u vzorku číslo 3, která nejvíce provařila a teplotně zdeformovala desku, jelikož jsou vrstvy uprostřed kladeny velmi blízko sebe a není tudíž dostatečný čas na vychladnutí předchozí návarové housenky.

Žádné deformace nezpůsobilo navařování na vzorku číslo 6, jenž jediný měl tloušťku 49,5 mm (ostatní 7,5 mm).

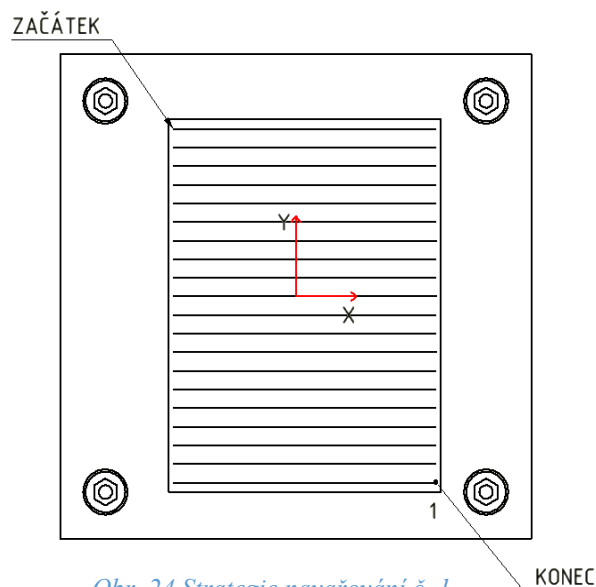
5.2.1 Grafické znázornění deformací

Vzorek číslo 1. (tloušťka 7,5 mm)

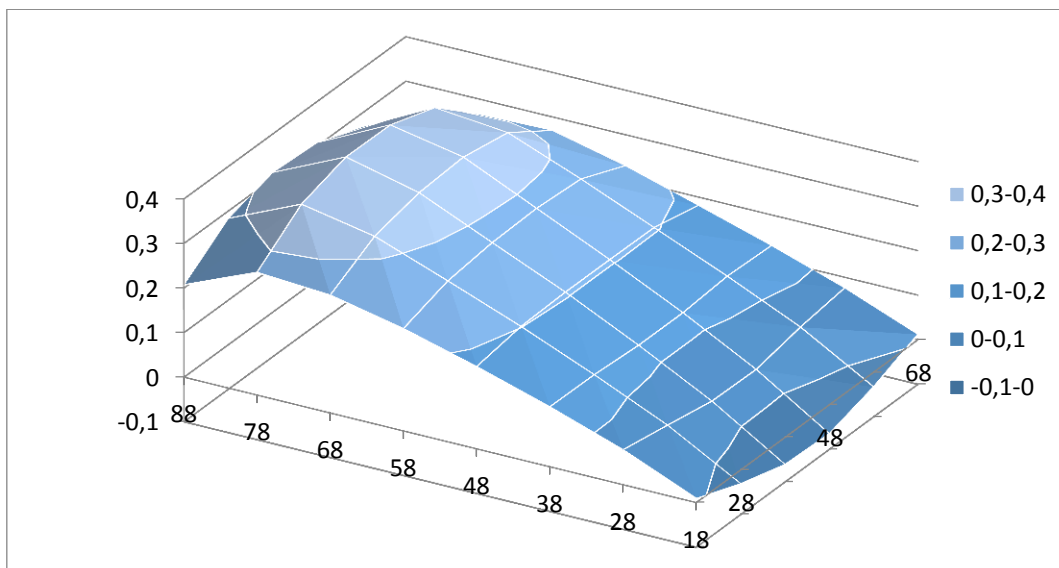
Z grafického znázornění je patrné, že byla deska zdeformována postupně, kdy největší deformaci způsobilo rychlé prohřátí vzorku z počáteční teploty.



Obr. 23 Průběh deformací vzorku č. 1



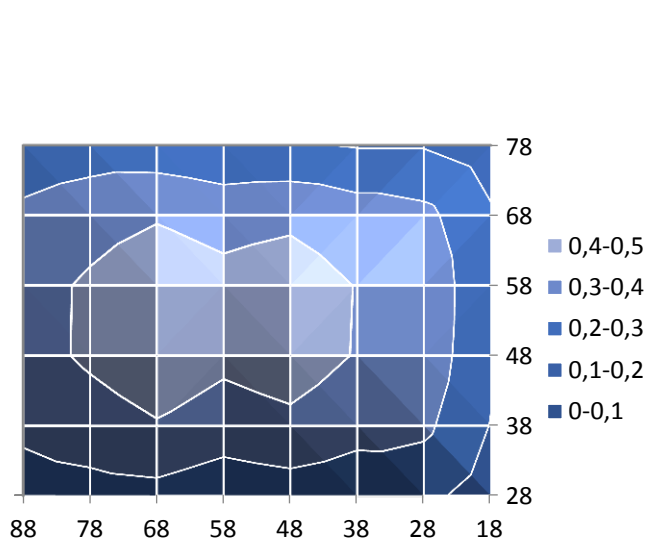
Obr. 24 Strategie navařování č. 1



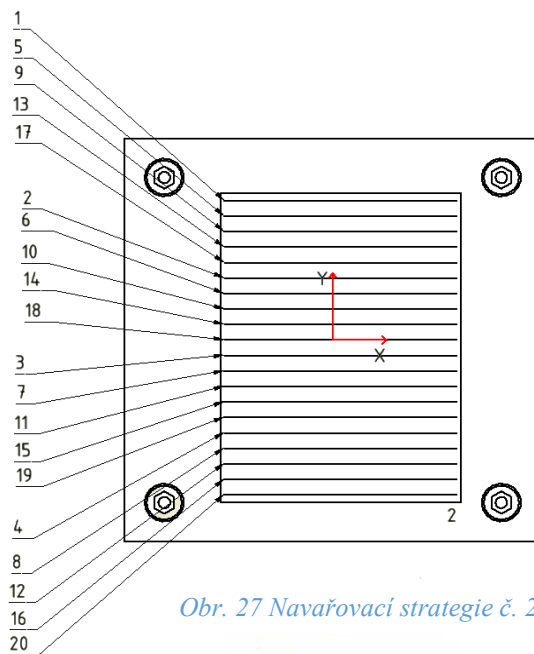
Obr. 25 Průběh deformací vzorku č. 1

Vzorek číslo 2. (tloušťka 7,5 mm)

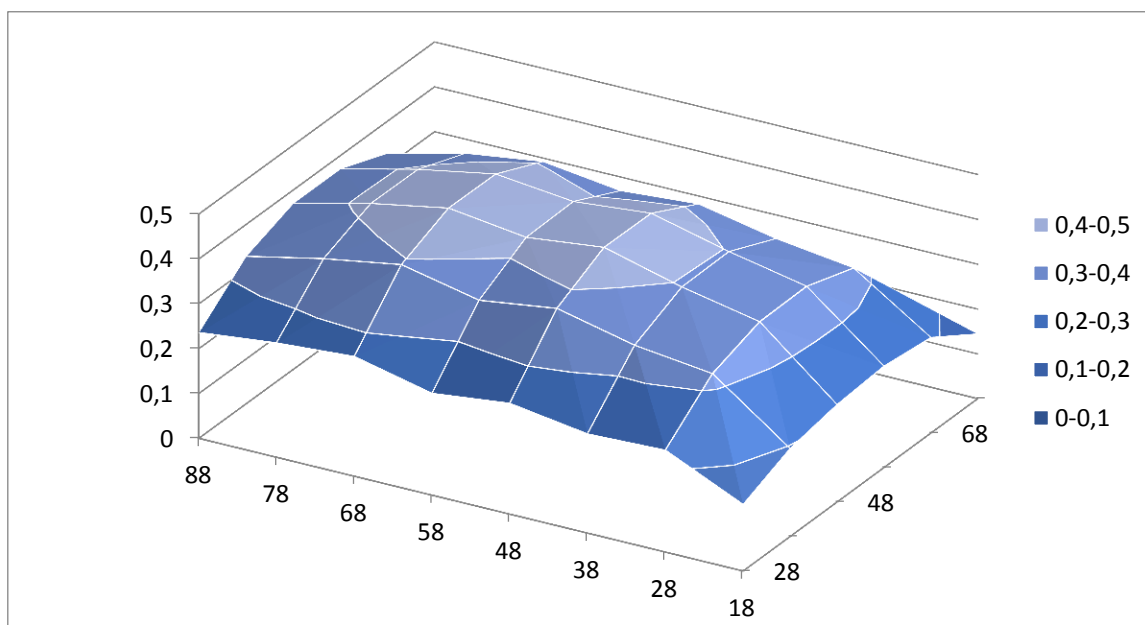
Zde došlo k největší deformaci při střetu dvou návarových housenek. Proto rovinnost této strategie vyšla horší než u první strategie. Dále je zde patrné, že na okrajích byla deformace menší.



Obr. 26 Průběh deformací vzorku č. 2



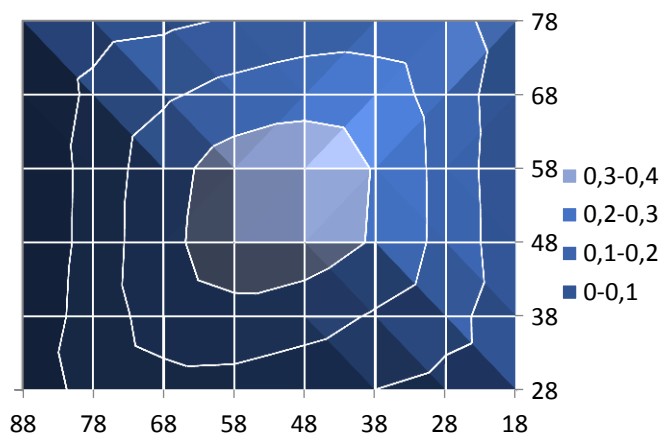
Obr. 27 Navařovací strategie č. 2



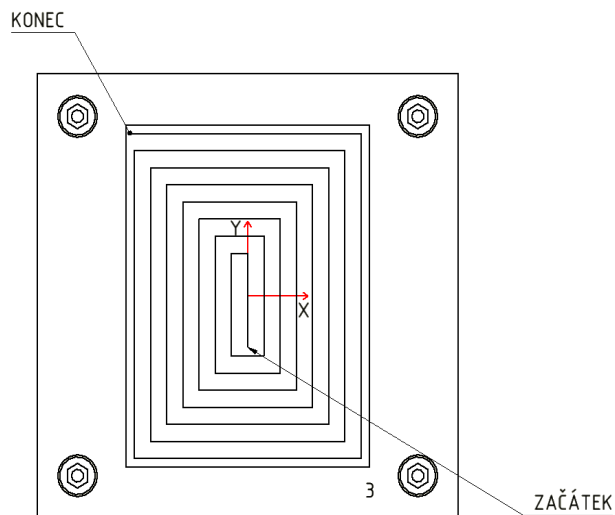
Obr. 28 Průběh deformací vzorku č. 2

Vzorek číslo 3. (tloušťka 7,5 mm)

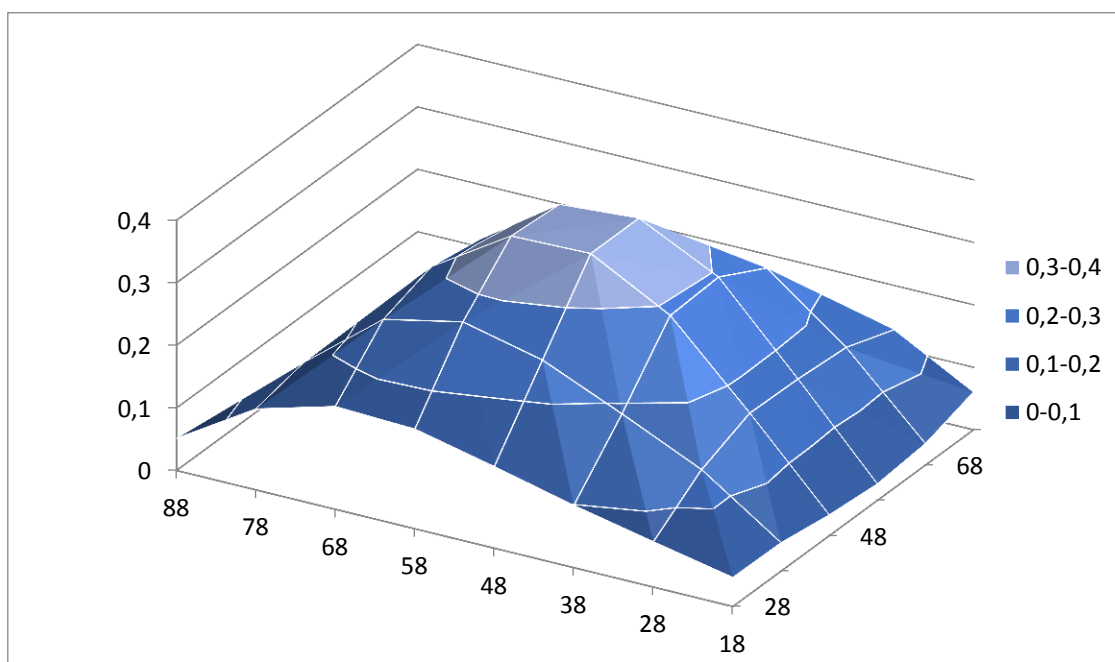
Tato strategie dopadla nejhůře. Největší deformace vznikla ve středu vzorku. Byla způsobena dlouhým tepelným působením na střed vzorku, kde byly housenky kladeny blízko sebe.



Obr. 30 Průběh deformací vzorku č. 3



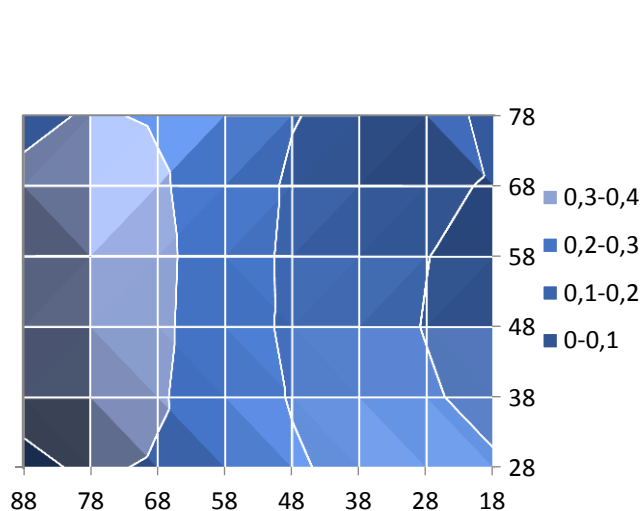
Obr. 29 Strategie navařování č.3



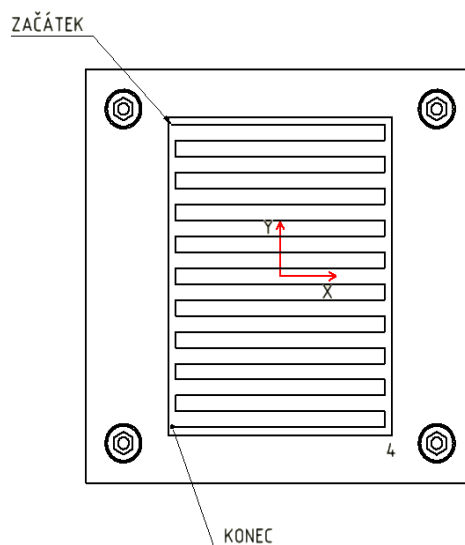
Obr. 31 Průběh deformací vzorku č.3

Vzorek číslo 4. (tloušťka 7,5 mm)

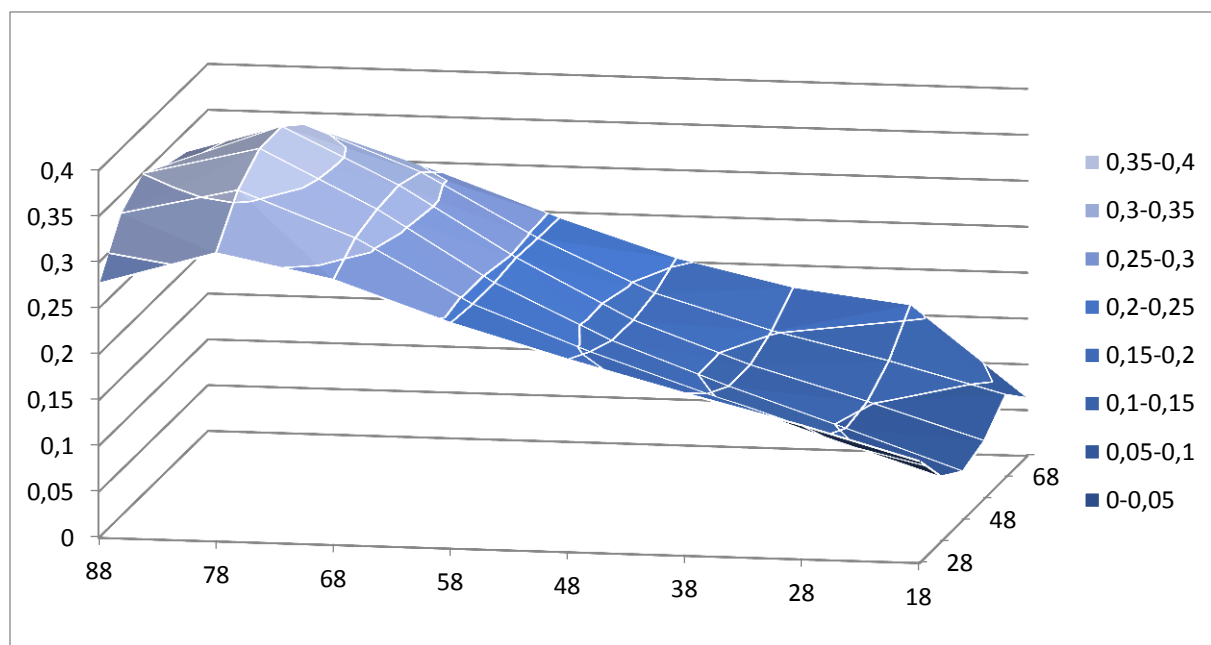
Rovinnost této strategie je druhá nejhorší, protože vzorek je navařován spojitě a tudíž dochází k větším deformacím. Z grafického zpracování můžeme vidět, že vzorek se postupně deformoval rovnoměrně, kdy největší deformaci opět způsobil vysoký nárůst teploty na počátku svařování.



Obr. 32 Průběh deformací vzorku č. 4



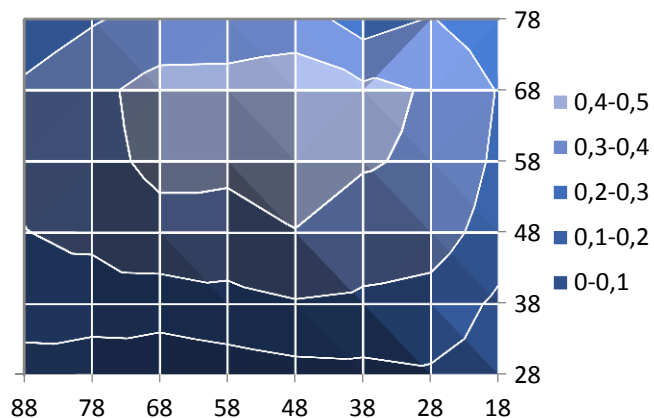
Obr. 33 Strategie navařování č. 4



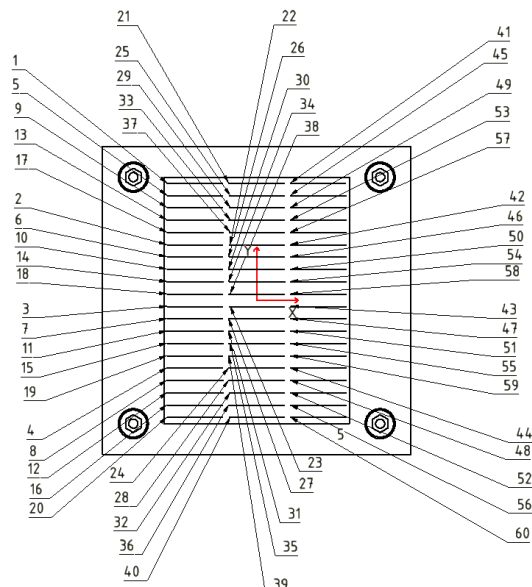
Obr. 34 Průběh deformací vzorku č. 4

Vzorek číslo 5. (tloušťka 7,5 mm)

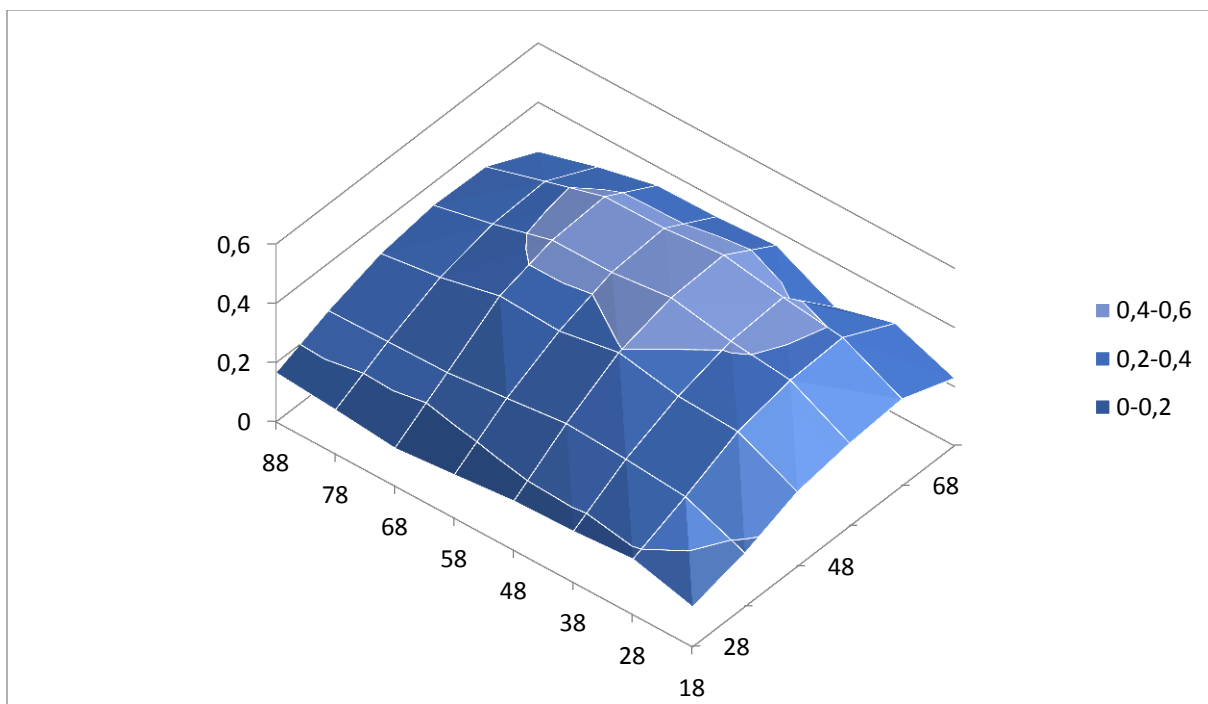
Pro tento vzorek vyšla nejlepší rovinnost. To je způsobeno postupným pokládáním housenek. Deformace mohla být menší, pokud by se jednotlivé sloupce navařovaly na přeskáčku. Takto bohužel nebyla navržena, a proto došlo ve třetím sloupci k větší deformaci.



Obr. 35 Průběh deformací vzorku č. 5



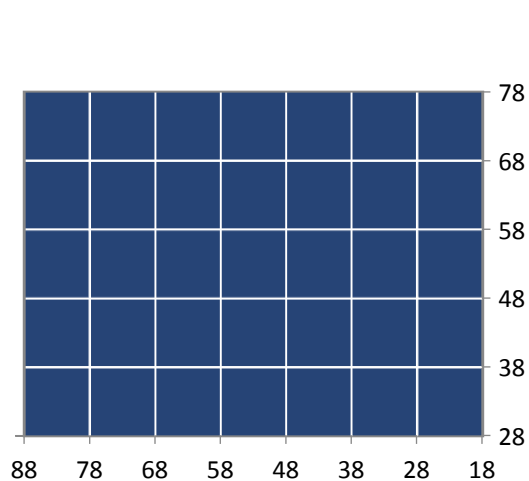
Obr. 36 Strategie navařování č. 5



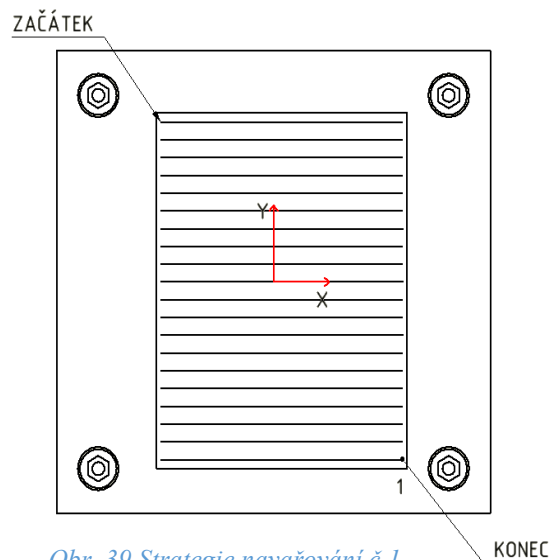
Obr. 37 Průběh deformací vzorku č. 5

Vzorek číslo 6. (tloušťka 49,5 mm)

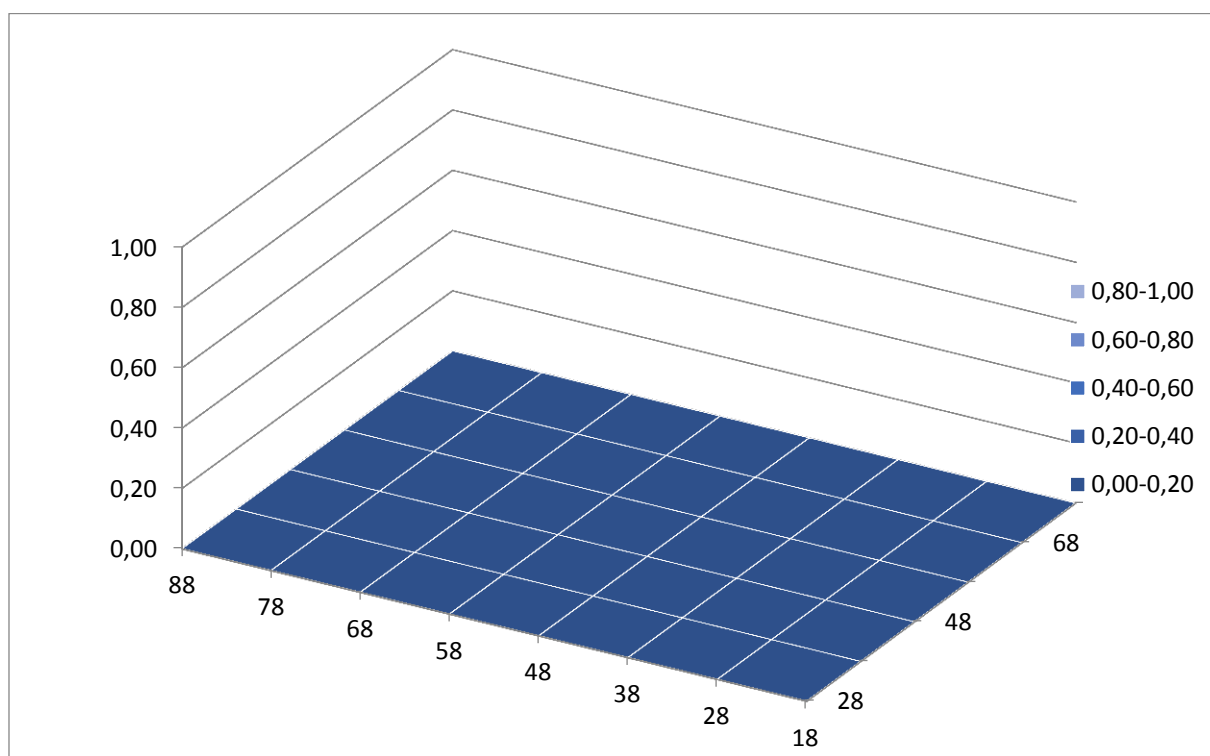
Tento vzorek byl jako jediný o tloušťce 49,5 mm. Z grafického zobrazení je patrné, že nedošlo k žádné deformaci vzorku. Pro navařování byla zvolena strategie č. 1



Obr. 38 Průběh deformací vzorku č. 6



Obr. 39 Strategie navařování č.1



Obr. 40 Průběh deformací vzorku č. 6

6. Závěr

Hlavním cílem předkládané bakalářské práce bylo navržení alespoň dvou variant analýzy teplotních deformací při navařování a vybrání finální varianty řešení. Finální varianta pak byla vybrána s ohledem na technické možnosti. Pro tuto variantu byl následně vytvořen experiment pro zjištění deformací. Tyto veškeré cíle byly splněny.

Výsledky experimentu dopadly dle předpokladů, ze kterých vycházela volba navařovacích strategií. U strategie číslo 3 a 4, u nichž byl návar tvořen spojitě bez přerušení, došlo k největším deformacím. To bylo způsobeno stálým tepelným působením na vzorek, bez možnosti zchladnutí předchozích návarových housenek.

Nejmenší deformace vzorku způsobila navařovací strategie číslo 5 s rozčleněním na malé návarové housenky, které byly kladeny do tří sloupců. V každém sloupci byly housenky kladeny na přeskáčku pro nejmenší možné zdeformování vzorku. Tato strategie mohla dopadnout i lépe, pokud by se sloupce nenařovaly postupně, ale také na přeskáčku.

Zcela bez deformací byl po navařování vzorek číslo 6, který byl jako jediný o tloušťce 49,5 mm (ostatní 7,5 mm). Z toho vyplývá, že navařování na součásti velkých tlouštěk mají velmi malé, téměř zanedbatelné deformační účinky.

7. Použitá literatura

- [1] Kreidl, M. *Měření teploty: sensory a měřící obvody*. BEN, Praha 2005
- [2] KUNCIPÁL, Josef. *Teorie svařování*, SNTL, Praha 1986
- [3] Žák, Jan. *Teorie svařování*, 1. vyd. Brno VUT, 1988
- [4] Löbl, Karel. *Navařování*, SNTL, Praha 1961
- [5] NĚMEC, Milan, Jan SUCHÁNEK a Jan ŠANOVEC. *Základy technologie I*. 2.,přepřac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické,2011,159 s. ISBN 978-80-04867-2
- [6] *Souřadnicové stroje* [online] [cit. 2015-04-04]. Dostupné na http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/rp1_skripta.pdf
- [7] HW: Vše o elektronice a programování [online]. [cit. 2014-10-10]. Dostupný z WWW : <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe>
- [8] FRONIUS Česká republika s.r.o [online]. [cit. 2014-04-11].Dostupný z WWW: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-E137835C-25F56E9D/fronius_ceska_republika/hs.xsl/29_3916.htm#.VL6ChkeG9G5
- [9] Sensit [online]. 2014 [cit. 2015-03-01]. Dostupný z WWW: <http://www.sensit.cz/shop/snimace-teploty-do-600-c-s-krytim-ip-68-s-programovatelnym-prevodnikem-4%E2%80%9320-ma/122/772b7566.html>
- [10] Katedra strojní, SPŠSE a VOŠ Liberec[online]. [cit. 2015-03-03]. Dostupný z WWW: https://www.pslib.cz/komplex_CNC_a_CAM/files/Prezentace_PDF/Komplex_CNC_Hk_01.pdf

[11] VŠCHT v Praze, elektronický učební text: Měřicí a řídicí technika [online]. [cit. 2015-03-01]. Dostupný z WWW:

[https://www.pslib.cz/komplex CNC a CAM/files/Prezentace PDF/Komplex CNC Hk 01.pdf](https://www.pslib.cz/komplex_CNC_a_CAM/files/Prezentace_PDF/Komplex_CNC_Hk_01.pdf)

[12] Hayashi Denko [online]. [cit. 2015-08-02]. Dostupný z WWW:

<http://www.hayashidenko.co.jp/en/rtdelement.html>

Seznam obrázků

<i>Obr. 1 Teplotní závislost odporových kovových snímačů na poměru odporů [1].....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 2 Uspořádání vývodů měřicích odporů [9].....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 3 Konstrukce odporového senzoru [9].....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 4 Tolerance Pt standardních měřicích odporů dle IEC [7].....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 5 Závislost odporu (resp. R/R0) Pt senzoru na teplotě – modrá křivka, červená přímka je zde pro zvýraznění nelinearity. [7].....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 6 Platinové senzory teploty [12].....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 7 Tolerance Ni standardních měřicích odporů dle IEC [7].....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 8 Princip svařování metodou MAG [2].....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 9 Vzorek tloušťky 49,5mm.....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 10 Vzorek tloušťky 7,5mm.....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 11 Měřicí deska.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 12 Fixace pozice vzorku na měřicí desce.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 13 Vytváření rastru.....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 14 Ovládání vzduchu pro rozvod vzduch do os.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 15 Souřadnicový měřicí stroj Mitotoyo.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 16 Kalibrace měřicího čidla.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 17 Kalibrační koule.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 18 Navařovací strategie č. 2.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 19 Navařovací strategie č. 1.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 20 Navařovací strategie č. 3.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 21 Navařovací strategie č. 4.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 22 Navařovací strategie č. 5.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 23 Průběh deformací vzorku č. 1.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 24 Strategie navařování č. 1.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 25 Průběh deformací vzorku č. 1.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 26 Průběh deformací vzorku č. 2.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 27 Navařovací strategie č. 2.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 28 Průběh deformací vzorku č. 2.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 29 Strategie navařování č.3.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 30 Průběh deformací vzorku č. 3.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 31 Průběh deformací vzorku č.3.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 32 Průběh deformací vzorku č. 4.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 33 Strategie navařování č. 4.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 34 Průběh deformací vzorku č. 4.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 35 Průběh deformací vzorku č. 5.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 36 Strategie navařování č. 5.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 37 Průběh deformací vzorku č. 5.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 39 Strategie navařování č.1.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 38 Průběh deformací vzorku č. 6.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 40 Průběh deformací vzorku č. 6.....</i>	<i>42</i>

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1. Materiály používané pro kovové snímače teploty [1]</i>	<i>13</i>
<i>Tabulka 2. Základní veličiny pro bezdotykové měření teploty (ČSN ISO 31-6) [1].....</i>	<i>18</i>
<i>Tabulka 3. Technické údaje kamery FLIR [1]</i>	<i>20</i>
<i>Tabulka 4. Parametry svařovacího agregátu.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabulka 5. Obecné funkce jednotlivých znaků</i>	<i>33</i>
<i>Tabulka 6. Použité funkce tvoření návaru (konzultace Ing. T.Fornůsek).....</i>	<i>34</i>
<i>Tabulka 7. Původní rovinnost vzorků.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabulka 8. Rovinnost vzorků po navařování.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabulka 9. Výsledná rovinnost vzorků</i>	<i>36</i>

Seznam použitého software

Autodesk Inventor Professional 2014 – Student version

MS Word 2010

MS Excel 2010

MS PowerPoint 2010

Seznam příloh

- Příloha 1 Výkresová dokumentace
Příloha 2 NC kódy pro navařování
Příloha 3 Protokoly z měření rovinnosti

Elektronické přílohy (uvedeny na CD)

Simecek_BP_0187.PDF – Bakalářská práce

Simecek_BP_0187_Priloha_1.PDF – Výkresová dokumentace

Simecek_BP_0187_Priloha_2.PDF – NC kódy pro navařování

Simecek_BP_0187_Priloha_3.PDF – Protokoly z měření vzorků na měřícím stroji

Výkresová dokumentace

- | | | |
|---------------|---|----------------|
| 03-BP-0187-01 | - | NAVAR VZORKU 1 |
| 03-BP-0187-02 | - | NAVAR VZORKU 2 |
| 03-BP-0187-03 | - | NAVAR VZORKU 3 |
| 03-BP-0187-04 | - | NAVAR VZORKU 4 |
| 03-BP-0187-05 | - | NAVAR VZORKU 5 |
| 03-BP-0187-06 | - | NAVAR VZORKU 6 |
| 03-BP-0187-07 | - | MERICI DESKA |