

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**ELEKTROTEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ KOVŮ**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2016/2017

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan KAVALÍR**

Osobní číslo: **E13B0038P**

Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**

Název tématu: **Elektrotepelné zpracování kovů**

Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište druhy a technologické postupy tepelného zpracování kovů.
2. Uveďte vhodná elektrotepelná zařízení ke zpracování kovů.
3. Pro užívaná elektrotepelná zařízení uveďte stručně teoretické základy přeměn elektrické energie na potřebné technologické teplo.
4. Uveďte jakými způsoby lze měřit a regulovat teploty pro tepelné zpracování kovů.
5. Uveďte výhody a nevýhody elektrotepelného zpracování kovů a stanovte závěry pro praxi.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

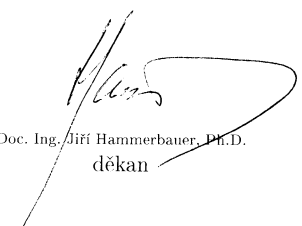
- 1. Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí bakalářské práce: **Prof. Ing. Jiří Kožený, CSc.**

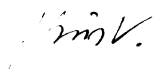
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **14. října 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2017**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Prof. Ing. Václav Kús, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

**Abstrakt**

Předložená bakalářská práce je zaměřena na elektrotepelné zpracování kovů. Popisuje různé typy a metody elektrotepelného zpracování kovů a zařízení, pomocí nichž tohoto zpracování dosáhneme. Dále jsou zde uvedeny možnosti měření, typy užívaných měřících přístrojů a základní možnosti regulace. Závěr této práce je věnován praktické ukázce tepelného zpracování kovů pomocí odporového ohřevu.

**Klíčová slova**

Elektrotepelné zpracování kovů, žihání, kalení, popouštění, odporový ohřev kovů.

**Abstract**

Presented bachelor thesis is focused on electrothermal processing of metals. It describes various types and methods of electrothermal processing and devices used to achieve these processings. Furthermore, means of measuring, types of measuring devices and basic means of regulations are described. Concluding part of thesis is dedicated to practical presentation of thermal processing via resistance heating.

**Key words**

Electrothermal processing of metals, Annealing, Quenching, Tempering, Resistance heating of metals.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....  
podpis

V Plzni dne 17.6.2017

Jan Kavalír

## Obsah

<b>ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI.....</b>	<b>1</b>
<b>OBSAH.....</b>	<b>7</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>9</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>10</b>
<b>1 TEORETICKÝ ÚVOD.....</b>	<b>11</b>
1.1 ROVNOVÁŽNÝ DIAGRAM ŽELEZO – UHLÍK.....	11
1.2 PŘEMĚNA AUSTENITU.....	12
1.3 PŘEMĚNA MARTENZITU .....	12
<b>2 ZÁKLADY TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ KOVŮ .....</b>	<b>13</b>
2.1 ŽÍHÁNÍ .....	13
2.2 KALENÍ .....	15
2.3 POPOUŠTĚNÍ.....	16
2.4 ZUŠLECHŤOVÁNÍ.....	16
2.5 VYTVRZOVÁNÍ.....	16
<b>3 ODPOROVÉ PECE SE STABILNÍ VSÁZKOU.....</b>	<b>17</b>
3.1 KOMOROVÉ PECE .....	17
3.2 ŠACHTOVÉ PECE.....	18
3.3 POKLOPOVÉ PECE.....	18
3.4 ELEVÁTOROVÉ PECE.....	19
3.5 KELÍMKOVÉ TAVÍCÍ PECE .....	19
<b>4 ODPOROVÉ PRŮBĚŽNÉ PECE.....</b>	<b>20</b>
4.1 PÁSOVÉ PECE.....	20
4.2 VÁLEČKOVÉ PECE .....	20
4.3 KROKOVÉ PECE .....	21
4.4 PROTAHOVACÍ PECE .....	21
4.5 BUBNOVÉ PECE .....	22
4.6 KARUSELOVÉ (ROTAČNÍ) PECE .....	22
<b>5 OBLOUKOVÉ PECE.....</b>	<b>23</b>
5.1 PECE S PŘÍMÝM OBLOUKEM.....	23
5.2 PECE S NEPŘÍMÝM OBLOUKEM .....	23
5.3 PECE SE ZAKRYTÝM OBLOUKEM.....	24
<b>6 LASEROVÝ OHŘEV.....</b>	<b>24</b>
<b>7 PLAZMOVÝ OHŘEV .....</b>	<b>25</b>
<b>8 ELEKTRONOVÉ PECE .....</b>	<b>25</b>

<b>9</b>	<b>INDUKČNÍ ELEKTROTEPELNÁ ZAŘÍZENÍ .....</b>	<b>26</b>
9.1	KELÍMKOVÁ PEC S NEVODIVÝM KELÍMKEM A STÍNICÍM PLÁŠTĚM .....	27
9.2	KELÍMKOVÁ PEC S VODIVÝM KELÍMKEM A STÍNICÍM PLÁŠTĚM.....	27
9.3	INDUKČNÍ PROHŘÍVACÍ ZAŘÍZENÍ .....	27
9.4	INDUKČNÍ POVRCHOVÝ OHŘEV .....	28
9.5	KANÁLKOVÉ INDUKČNÍ PECE .....	28
<b>10</b>	<b>MĚŘENÍ TEPLoty .....</b>	<b>29</b>
10.1	TERMOČLÁNKY.....	29
10.1.1	<i>Plášťové termočlánky.....</i>	<i>29</i>
10.1.2	<i>Trubkové termočlánky.....</i>	<i>30</i>
10.1.3	<i>Ploché termočlánky.....</i>	<i>30</i>
10.1.4	<i>Ponorné termočlánky.....</i>	<i>30</i>
10.2	PLÁŠŤOVÉ A TYČOVÉ TERMoeLEKTRICKÉ SNÍMAČE TEPLoty .....	30
10.3	BIMETALICKÉ TEPLoměRY .....	31
10.4	PYROMETRY .....	31
10.5	TERMOKŘÍDY .....	32
<b>11</b>	<b>REGULACE TEPLoty.....</b>	<b>32</b>
<b>12</b>	<b>PŘÍKLAD ELEKTROTEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ Z PRAXE.....</b>	<b>33</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>40</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....</b>	<b>1</b>



## **Úvod**

Předkládaná práce je zaměřena na problematiku elektrotepelného zpracování kovů. Zabývá se různými typy a metodami elektrotepelného zpracování kovů a zařízeními, pomocí nichž lze tohoto zpracování docílit. Při popisu těchto zařízení je kladen důraz na jejich vizuální přiblížení a praktické využití. Dalším tématem jsou zařízení a prvky pro měření teploty, popis základního principu regulace a důvody užívání regulace. V závěru této práce prezentuji proces elektrotepelného zpracování kovů z prostředí praxe pomocí mobilního zařízení Heat-Master.

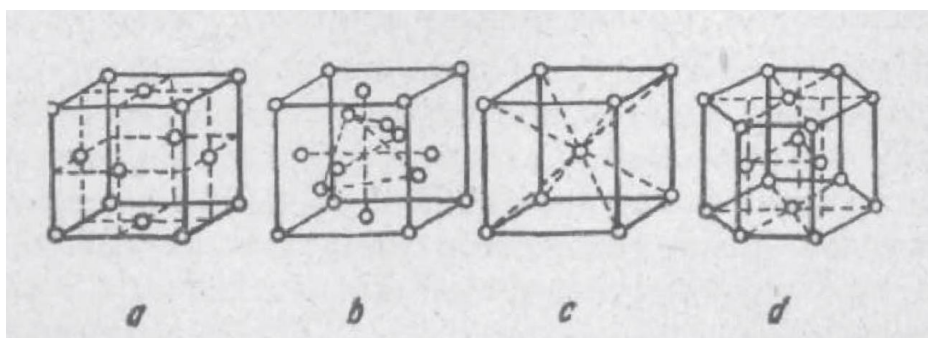
## Seznam symbolů a zkratek

$t$ (°C) .....	Teplota
$\alpha$ .....	Železo v modifikaci ferit
$\gamma$ .....	Železo v modifikaci austenit
$P$ (W) .....	Činný výkon
$f$ (Hz) .....	Frekvence
$U$ (V).....	Napětí
$\delta$ (m) .....	Hloubka vniku
$\omega$ (rad/s) .....	Úhlová rychlost elektrického pole
$\gamma$ (S/m) .....	Měrná vodivost (konduktivita)
$\mu$ (H/m) .....	Magnetická permeabilita
$l$ (m) .....	Délka

## 1 Teoretický úvod

Pro bližší pochopení principů tepelného zpracování kovů jsou v teoretickém úvodu zmíněna základní krystalická uspořádání kovů.

Kovy krystalují v krychlové soustavě, proto mají krystalickou mříž tvaru krychle. Rozlišujeme základní dvě modifikace krystalové mřížky. První modifikace  $\alpha$  má základní mřížku prostorově centrickou. [1]

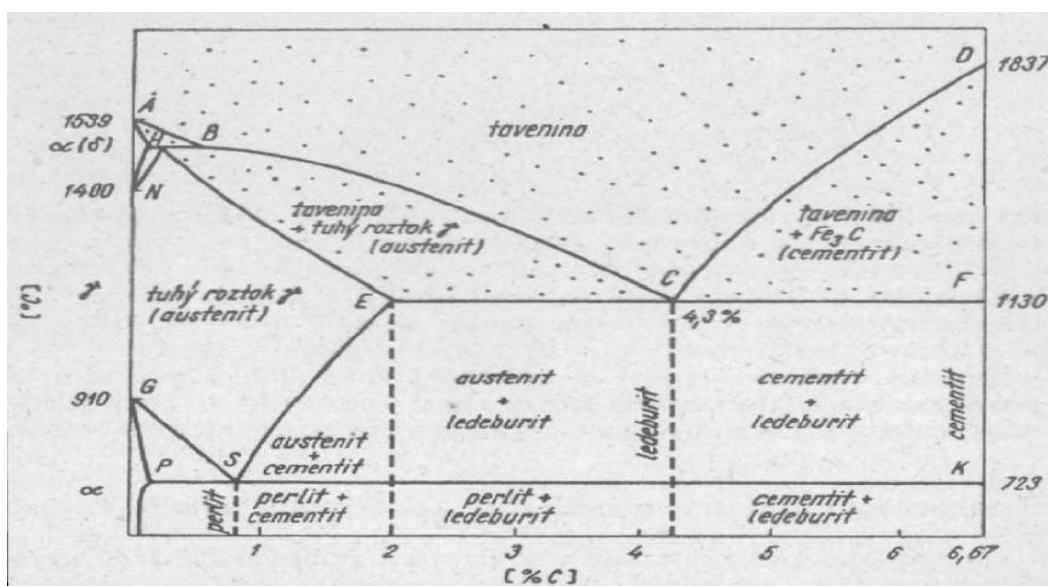


Obr. 1 Nejčastější uspořádání atomů v základních mřížkách kovů a v uhlíku:  
a - krychlová plošně centrická; b - krychlová prostorově centrická; c – krychlová  
diamantová;  
d – šestiúhelná těsně uspořádaná [1].

Železo  $\alpha$  je do 768 °C magnetické, pokud tuto hodnotu překročíme, železo se stává nemagnetickým. Při teplotě 910 °C se železo modifikuje na druhý případ  $\gamma$  a zpět se změní, až nad teplotou 1539 °C. Nejvyšší rozpustnost uhlíku je 0,025% při 723 °C ve spodní oblasti existence. Rozpustnost v horní oblasti existence při teplotě 1492 °C je přibližně 0,1%. Druhý příklad modifikace  $\gamma$  má plošně centrickou krystalovou mřížku. [1]

### 1.1 Rovnovážný diagram železo – uhlík

Elektrotepelné zpracování kovů provádíme za účelem změny vlastností daného kovu, případně slitiny kovů. Rovnovážný diagram byl zkonstruován na základně měření průběhu teploty u velkého počtu slitin. Změny v tomto diagramu jsou pomalé natolik, že se při nich může ustavit rovnováha, proto jakákoli výchylka představuje děj uvnitř kovu například překrystalizaci, tuhnutí či tání slitiny, nebo nové fáze. [1]



Obr. 2 Rovnovázný diagram soustavy železo-uhlík (karbid železa). Oblasti neztuhlých slitin jsou vytečkovány [1].

## 1.2 Přeměna austenitu

Železo v modifikaci  $\gamma$  tvoří s uhlíkem tuhý roztok (austenit). Existence austenitu je omezena rozsahem teplot, které byly popsány dříve. Tato modifikace v sobě může rozpustit až 2% uhlíku při teplotě 1130 °C. Železo v modifikaci  $\alpha$  (ferit) dokáže pro srovnání rozpustit maximálně 0,025% uhlíku při teplotě 723 °C. Přeměna feritu v austenit probíhá v rozmezí 723 – 910 °C. V modifikaci  $\gamma$  je železo (ocel) nejtvárnější, proto je vhodné zpracování za tepla, například kováním. [1]

## 1.3 Přeměna martenzitu

Metoda kalení bude detailněji rozebrána dále. Výchozí je při tomto zpracování rovnovážný diagram železo-uhlík, podle něhož určíme maximální teplotu, na kterou je třeba ocel zahřát. Rychlost ochlazení je v rozporu s rovnovážným diagramem a má velký vliv na přeměnu  $\gamma$  v  $\alpha$ . Tato rychlá přeměna, díky snížení teploty, neumožní uhlíku uniknout z nově vytvořené mřížky  $\alpha$  a zůstane v ní vázán. Mřížka  $\alpha$  se zdeformuje v tetragon. Z krychlové mřížky se stává mřížka nová, tetragonální. Toto nové uskupení nazýváme martenzit. Martenzit bývá typickou součástí zakalené oceli. V martenzitu nalezneme i uhlík a to o maximálním podílu 1 %. Větší podíl uhlíku zvyšuje pnutí v mřížce a zvyšuje tvrdost. [1]

## 2 Základy tepelného zpracování kovů

Vlivem tepelného zpracování kovů dochází ve struktuře daného materiálu (kovu) k cíleným změnám, které mění jeho vlastnosti. Tepelné zpracování kovů provádíme za účelem dosažení lepších mechanických a technologických vlastností kovových materiálů, například vyšší tvrdost nebo houževnatost. Vzniklé vlastnosti závisí na mnoha vlivech, například složení materiálu, podílu křemíku, metodě zpracování, správném technologickém a procesním postupu. [1]

### 2.1 Žihání

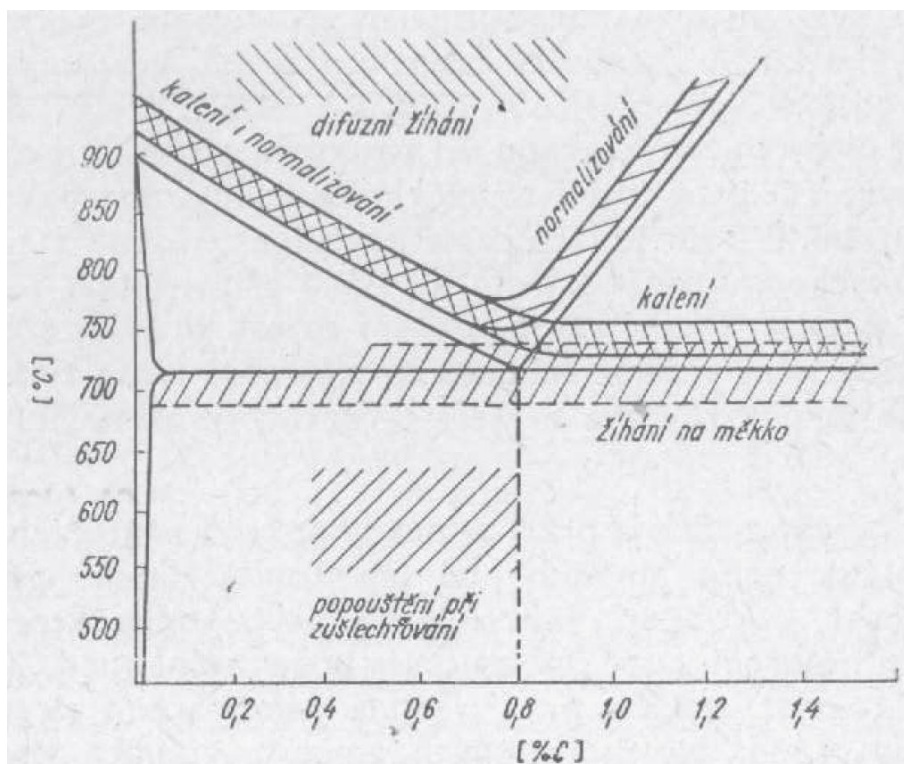
Žihání je postup, užívaný ve snaze dosáhnout **rovnovážného stavu**, tj. zrovnoměření vlastností v celém průřezu, změně materiálových vlastností a zbavení vnitřního pnutí. Tato metoda je základním předpokladem pro následné kvalitní zpracování materiálu, například obrábění, tváření, ale i před dalším tepelným zpracováním.

#### Normalizační žihání

Vsázka se ohřívá na teplotu o 50 °C vyšší, než je teplota austenického stavu, na dané teplotě setrvává a následně se volně ochlazuje na teplotu vnějšího okolí. Díky užití teplotě proběhne překrytalizace, tím se zjemní zrna rovnoměrně v celé vsázce. K normalizačnímu žihání používáme normalizační pece. Normalizační žihání užíváme k docílení především těchto vlastností: zjemnění zrna odstranění pnutí, odstranění nerovnoměrnosti krytalizace. [1]

#### Žihání na měkko

U tohoto typu žihání ohřejeme vsázku těsně nad teplotu Ac1 (viz *obr. 2*), tuto teplotu je třeba udržovat a následně pozvolně ochlazovat. Často žihané materiály jsou uhlíkaté oceli, které budou dále tepelně zpracovány. Změna materiálových vlastností se projeví odstraněním pnutí, ale také zvětšením tvrdosti v případě, že byl materiál před žiháním na měkko jinak tepelně zpracován. [1]



Obr. 3 Oblasti teplot vhodné pro různé druhy tepelného zpracování uhlíkových ocelí, zakreslené do rovnovážného diagramu soustavy železo-uhlík [1].

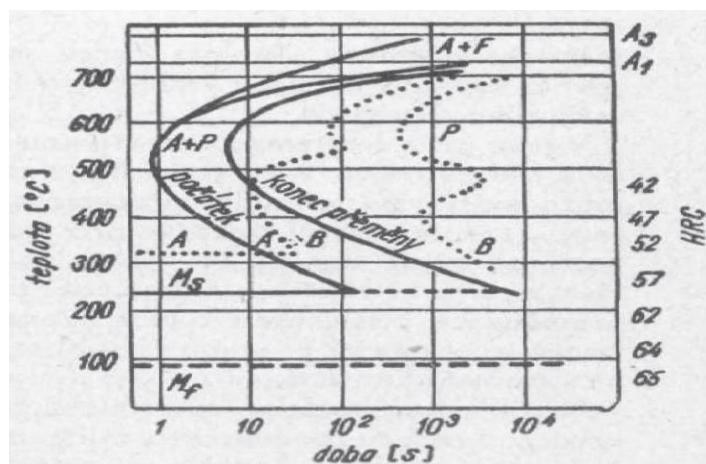
V praxi se často můžeme setkat s kombinacemi tepelného zpracování. Vsázka se nejdříve žihá normalizačně a následně na měkko.

### Rekrytalizační žhání

Rekrytalizační žhání je způsob vyvolávající vznik nového pnutí zbaveného zrna, ze zrn deformovaných tvářením za studena. Pro různé typy ocele je nutné vhodně zvolit žhací teplotu. Nejzajímavější parametr je v tomto ohledu procentuální obsah uhlíku v oceli. U ocelí s obsahem uhlíku do 0,25 % bychom měli žihat maximálně do 750 °C, při vyšších teplotách hrozí silné zhrubnutí zrna. Pokud je obsah uhlíku vyšší než 0,25 %, zhrubnutí zrna nehrozí. Rekrytalizační žhání se často nahrazuje žháním na měkko (oceli s vyšším obsahem Si) a Normalizačním žháním (bezuhlíkaté oceli, výlisky). [1]

## 2.2 Kalení

Nejtypičtějším tepelným zpracováním kovů je kalení. Zahřátím na kalící teplotu a vlivem rychlého zchlazení vzniknou nerovnovážné (nestabilní) struktury, které jsou velice pevné a tvrdé. Pomocí dalšího tepelného zpracování lze dosáhnout různých vlastností u stejného typu oceli použitím například různých teplot a metod zpracování. K určení maximální teploty, která bude vhodná pro daný materiál, se používá rovnovážný diagram.



Obr. 4 Diagram izotermické přeměny austenitu (IRA) u uhlíkové oceli s obsahem 0,44% uhlíku. Tečkovaně je zakreslen diagram pro chromovou ocel o stejném obsahu uhlíku [1].

Čím vyšší byla maximální dosažená teplota, tím více zhrublého martenzitu můžeme pod mikroskopem pozorovat. Pomocí této metody lze zjistit, zda byl materiál ohřát na správnou teplotu. Pro dosažení potřebných parametrů má také velký vliv rychlost a koncová teplota ochlazení. Chladí se nejčastěji ve vodě a vzduchu, může být též využito i olejových či slaných lázní, případně zmrazování. Kalením vzroste objem martenzitu, který vede k deformacím. Tvrdost takto zakaleného materiálu, nejčastěji oceli, záleží na procentuálním obsahu uhlíku. [1]

### Termální kalení

Tento typ zpracování se nejčastěji používá pro složité, členěné nebo tenkostěnné výrobky. Kalíme v olejové lázni na teplotu okolo 300 °C, austenit se ještě nezačne přeměňovat. Výrobek se musí prohřát v celém svém objemu, následně se nechá zchladnout na vzduchu. [1]

## 2.3 Popouštění

Ohřev a setrvání na určené teplotě za účelem odstranění pnutí. Vlivem ohřevu se mění i struktura martenzitu. Tato změna struktury pak způsobuje zlepšení houževnatosti. Užívá se nejčastěji ve spojení s kalením. Maximální teplota a doba, po kterou udržujeme tuto maximální teplotu, musí být předem určena a odzkoušena, jelikož prodloužení popouštěcí doby má stejný účinek jako vyšší teplota. Abychom docílili rovnoměrného prohřátí vsázky, užíváme nejčastěji pece, případně solné nebo olejové lázně. [1]

Popouštění se skládá z několika následujících etap.

- 1) Děj při 100 °C. Začíná se uvolňovat uhlík z mřížky a vzniká zvláštní druh karbidu [1].
- 2) Do 300 °C je přeměna uhlíku na karbid u konce a karbid se mění v cementit. Tvrdost i pnutí klesají. [1]
- 3) Nízké popouštění  
Probíhá při teplotách přibližně 300-320 °C. Používá se pro získání vyšší tvrdosti materiálu. Od těchto teplot vzniká tzv. druhotná tvrdost, kdy tvrdost začne opět stoupat. [1]
- 4) Popouštění za vysokých teplot  
Probíhá v teplotním rámci 500-650 °C. Tvrdost materiálu opět klesá, ale stoupá houževnatost. [1]

## 2.4 Zušlechťování

Zušlechtěné oceli mají příznivý poměr mezi pevností v tahu, průtažností a zúžením průřezu. Nejčastěji zušlechťované jsou různé konstrukční oceli či tepelně zatěžované ocelové součásti. [1]

## 2.5 Vytvrzování

Vytvrzování užíváme pouze u některých typů ocelí. K vytvrzení materiálu užíváme různé metody, přičemž výběr metody závisí na složení oceli. Při vytvrzování se využívá poměrně vysokých teplot, které mohou přesáhnout i 1 000 °C. Doba držení je v těchto zmíněných případech v řádech desítek hodin. [1]



### 3 Odporové pece se stabilní vsázkou

Velké spektrum výkonů, typů a jednoduchá konstrukce dopomohly k rozšíření těchto pecí, které jsou v současnosti nejrozšířenější. Vsázka se v pecích nepohybuje.

#### 3.1 Komorové pece

Jedná se o hojně užívané univerzální pece. Vsázka je nejčastěji vkládána dveřmi pece, proto je důležitým parametrem pro výběr pece nejen velikost celé pece, ale i velikost dveří. Dále musíme vzít v úvahu množství energie potřebné k roztopení celé pece na určitou teplotu, proto některé podniky spouští velké pece až po naplnění minimální hmotnosti vsázky. Topné články mohou být umístěny na všech stěnách pece včetně dveří. Nejčastěji je najdeme ve stěnách nebo na dně pece. Dle konstrukce dané komorové pece lze dosáhnout teploty 1 400 °C. [10]



Obr. 5 Příklad komorové pece [12]



Obr. 6 Příklad vozové pece [12]

### 3.2 Šachtové pece

Šachtové pece patří mezi nejsostikovanější typ pecí. Nejčastěji mají kruhový průřez a délku i několik desítek metrů. Tento typ pece se používá pro zpracování rotorů, hřídelí a osově souměrných výrobků [11]. Většinou jsou zapuštěny do země a topné články bývají umístěny na vnitřním povrchu pece viz *obr. 7*. Často jsou k zajištění správného rozložení teploty užívány ventilátory umístěné na koncích pece. [10]



*Obr. 7 Ukázka šachtové pece osazené topnicemi uvnitř pláště. [13]*

### 3.3 Pokloповé pece

Základem pokloповé pece je lože, které je opatřeno topnými články. Lože bývá překryto krycím plechem, který brání propadnutí kovových částí do prostoru topných těles a následnému poškození topnic. Lože je osazeno tepelně izolovaným poklopem, který se usazuje pomocí halového jeřábu. Tyto pece jsou díky své jednoduché konstrukci vyráběny v různých velikostech od jednotek kW do jedné MW. [10]



*Obr. 8 Ukázka pokloповé pece při ochlazování vsázky*

### 3.4 Elevátorové pece

Elevátorové pece patří k největším odporovým pecím. Vynikají svou účinností a konstrukčními teplotami do 1 200 °C s výkony až 2 MW. Jsou určeny pro nadrozměrné vsázky. Často bývají vloženy do výrobního procesu linky, kdy vsázka přijede na podvalníku z předchozího zpracování do elevátorové pece, kde se tepelně zpracuje a následně pokračuje k dalšímu zpracování. [10]



Obr. 9 Vkládání vsázky do elevátorové pece [14]

### 3.5 Kelímkové tavící pece

Kelímkové pece jsou určeny pro tavení kovů s nízkým bodem tání. Kolem kelímku, který je nejčastěji z kovu nebo keramiky, jsou umístěny topné články. Mezi plášť a topné články je vložena tepelná izolace. Tento typ pece bývá sklopný, nebo umístěný na sklápěcím mechanismu, aby se dal roztavený kov odlít do formy. Dané pece se používají i pro pocínování, pozinkování atd., proto se můžeme setkat s pecí, která nedisponuje sklápěním ani sklápěcím mechanismem. [10]



Obr. 10 Stolní kelímková pec pro zpracování kovů s nízkým bodem tání [15]

## 4 Odporové průběžné pece

Slouží k tepelnému zpracování velkého množství výrobků, proto skrze pec vede dopravník, aby byl zajištěn požadovaný odbyt. Tento typ pece nedosahuje takových teplot jako pece se stacionární vsázkou. Lze provádět ohřev, výdrž i ochlazování, jelikož často disponují několika teplotními pásmy. Používají se v kombinaci s chladícími lázněmi, sušícími zařízeními a dalšími částmi výrobních linek. [10]

### 4.1 Pásové pece

Doprava výrobků pro lehké součásti probíhá pomocí pásu z kovového pletiva, pro těžké součásti slouží pás z ražených desek. Topné články se nejčastěji nacházejí na dně, stropnici, ale i bocích pece. Pásové pece užíváme pro zpracování menších výrobků do teploty 900 °C. [10]



Obr. 11 Pohled do pásové pece [17]



Obr. 12 Válečková pec [18]

### 4.2 Válečkové pece

Jedná se o obdobu pásové pece. Spektrum výroby a užitých teplot zůstává stejné, mění se pouze princip dopravy. Válečková pec využívá žárupevných válečků, které procházejí pecí. Žárupevné válečky jsou teplotně namáhány a musí se tak počítat s jejich teplotní roztažností, aby byl zajištěn správný chod pece. [10]

### 4.3 Krokové pece

Krokové pece jsou konstruovány pro tepelné zpracování velkých výrobků na vysoké teploty. Využívají krokového mechanismu za pomoci hydrauliky nebo elektromotoru. [10] Vsázka je uložena na nepohyblivých traverzách. Během přemístování se vsázka nadzdvihne pohyblivým mechanismem, přenesse se a položí zpět na nepohyblivé traverzy. Pohyblivý mechanismus následně provede zpětný chod a proces lze opakovat. Mezi hlavní výhody tohoto typu pece patří snadné vyprazdňování pece a možnost zpracovávat rozměrově odlišné materiály bez změny nastavení pece. [20]



Obr. 13 Kroková pec [13]

### 4.4 Protahovací pece

Určení těchto pecí je zejména pro tepelné zpracování drátů a pásů. Výrobky se protahují pecí, díky čemuž dosahují rovnoměrného prohřátí. [10]



Obr. 14 Protahovací pec [17]

## 4.5 Bubnové pece

Používají se pro tepelné zpracování šroubů, podložek a jiného drobného materiálu. Dosahují velice přesných teplot díky bubnu. Buben pece je tepelně i mechanicky namáhán, proto je konstruován ze žárupevného materiálu. Tento materiál podstatně prodlužuje životnost bubnu.[10]



Obr. 15 Bubnová pec [19]

## 4.6 Karuselové (rotační) pece

Tento typ pecí slouží k tepelnému zpracování za nejvyšších teplot. Mechanismus pece je mimo pracovní prostor. Vsázka se ukládá na otočnou podlahu poháněnou elektromotorem. Díky otáčení se vsázka prohřívá rovnoměrně, doba zpracování závisí na rychlosti otáčení. [10]



Obr. 16 Ukázka karuselové pece [13]

## 5 Obloukové pece

Oblouk, přeskok vzniká mezi dvěma elektrodami. Přeskok mezi dvěma elektrodami určují především následující podmínky: typ, tvar a vzdálenost elektrod, velikost přiloženého napětí a atmosférické podmínky. Dojde-li k přeskoku mezi oběma elektrodami, začne procházet proud, oddálíme-li elektrody, kterými prochází proud, dojde k vytvoření elektrického oblouku. Oblouk ionizuje okolní vzduch a hoří díky parám z elektrod. [20]

Z energetického hlediska odebírají tyto pece proměnlivý výkon činný i jalový, změny proudu jsou zcela náhodné a fázově nesymetrické. K omezení těchto změn užíváme tlumivky, změny proudu vyvolávají změny napětí. Řešením je filtračně kompenzační zařízení, které musí být nedílnou součástí těchto typů pecí. [20]

### 5.1 Pece s přímým obloukem

Elektrický oblouk pece hoří skrze vsázku. Tyto pece jsou hojně užívány k výrobě ocelí a litin. [20]

### 5.2 Pece s nepřímým obloukem

Elektrický oblouk hoří mezi elektrodami, vsázka je umístěna pod elektrodami. Teplo se do vsázky přenáší sáláním. Užíváme je k výrobě bronzu, mědi, karbidů a jiných materiálů. [20]



Obr. 17 Ukázka elektrod obloukové pece s nepřímým obloukem [23]

### 5.3 Pece se zakrytým obloukem

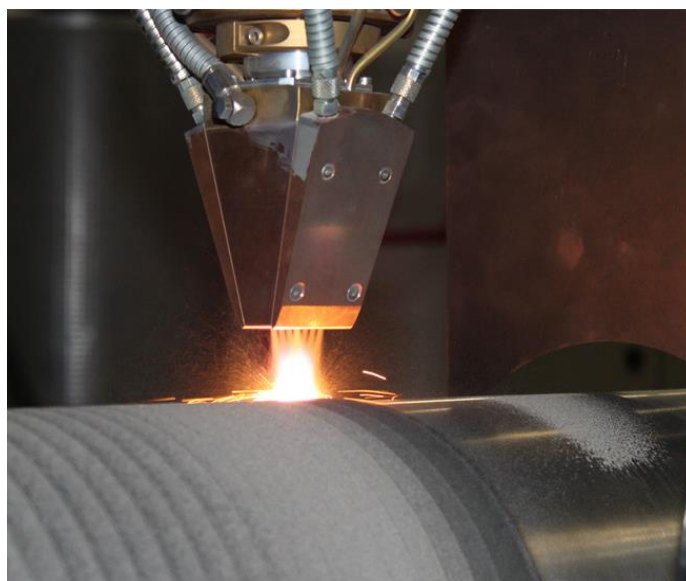
V principu podobné, jako u pece s přímým obloukem. Elektrody jsou potopeny do roztavené strusky a zasypány zavázkou rud a různých příměsí pro výrobu slitin. [20]



Obr. 18 Pohled do pece se zakrytým obloukem [22]

## 6 Laserový ohřev

Laser tvoří kvantový generátor s frekvencí v řádech desítek THZ. Laserový paprsek díky vysoké frekvenci neproniká do kovu, ale ohřívá povrchovou vrstvu. Použití laserového ohřevu se tedy specifikuje spíše k tepelnému povrchovému zpracování, ale i vrtání či řezání. [20]

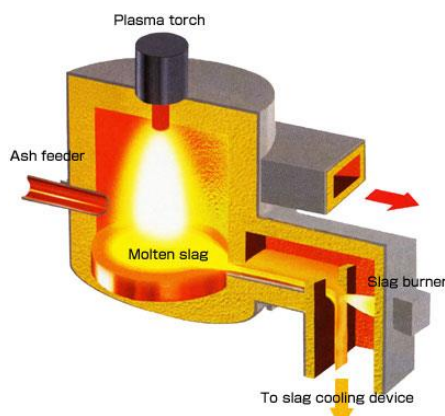


Obr. 19 Zpracování kovu pomocí laseru [26]



## 7 Plazmový ohřev

Plazmový ohřev můžeme považovat za zdokonalený ohřev elektrickým obloukem. V tomto případě je elektrický oblouk koncentrovaný tryskou spolu s ochrannou atmosférou plynu, například Argonu. Plazmové hořáky mají největší využití v řezání a svařování kovů a slitin s vysokým bodem tání. Teplota plazmatu dosahuje teplot v rozmezí 10 000 – 14 000 °C. [20]



Obr. 20 Řez plazmovou pecí [24]

## 8 Elektronové pece

Napětí těchto pecí se pohybuje v řádech desítek až stovek kV. Výhoda těchto pecí spočívá v kontrole a možného řízení procesu tavení. Používají se zejména pro tepelné zpracování kovů, ale i přetavování, případně opracování tvrdých a těžko zpracovatelných kovů. [20]



Obr. 21 Elektronová pec [25]

## 9 Indukční elektrotepelná zařízení

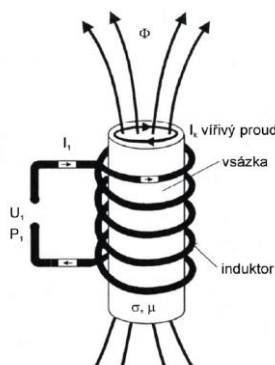
Indukční ohřev vychází ze základních rovnic popisující magnetické a elektrické pole.

/	Maxwellovy rovnice	Integrální tvar	Diferenciální tvar
I	Ampérův zákon celkového proudu	$\oint_c H dl = I + \frac{d\psi}{dt}$	$\text{rot } H = J + \frac{\partial D}{\partial t}$
II	Faradaův indukční zákon	$\oint_c E dl = -\frac{d\phi}{dt}$	$\text{rot } E = -\frac{\partial B}{\partial t}$
III	Gaussova věta	$\oint_s D dS = Q$	$\text{div } D = \rho$
IV	Rovnice kontinuity magnetického pole	$\oint_s B dS = 0$	$\text{div } B = 0$

Tab. 1 Maxwellovy rovnice [21]

Tento ohřev lze realizovat jen u elektricky vodivých materiálů [20]. Ohřev je prováděn pomocí cívky procházené střídavým proudem. Vsázka přijímá elektromagnetické vlnění vyzářené cívkou. Umístíme-li souose uvnitř cívky vsázku. Dopadající elektromagnetické vlnění vstoupí do vsázky povrchem a vyvolá indukované proudy. Díky těmto proudům vznikají Jouleovy ztráty a materiál se zahřívá. Důležitým parametrem tohoto jevu je pronikání elektromagnetického vlnění do vsázky. [10]

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \gamma}} \quad (9.1)$$



Obr. 22 Princip indukčního zařízení [10]

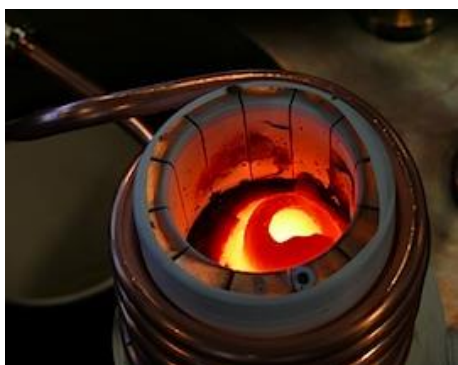
Účinnost indukčního ohřevu závisí na materiálu vsázky a tloušťce materiálu ku hloubce vniku. [10]

### 9.1 Kelímková pec s nevodivým kelímkem a stínícím pláštěm

Keramický kelímek je umístěn uvnitř cívky. Uvnitř kelímku je umístěna vsázka, kterou prochází magnetický tok buzený z induktoru. Celá konstrukce kelímkové pece musí být tvořena z ocelového, nebo měděného pláště, skrze který se uzavírá magnetický tok. Tento typ pece se užívá především pro tavení různých typů oceli. [10]

### 9.2 Kelímková pec s vodivým kelímkem a stínícím pláštěm

Pec tvořena vodivým kelímkem je využívána zejména pro tavení dobře vodivých materiálů. Účinnost pece s vodivým kelímkem je podstatně větší, než u pece s nevodivým kelímkem. V peci s vodivým kelímkem tavíme hlavně hliník a jeho slitiny, které nepotřebují vysoké teploty. Pro tavení při vyšších teplotách se užívá jiných typů kelímků. [10]



Obr. 23 Indukční kelímkový ohřev [9]



Obr. 24 Indukční kelímková pec [27]

### 9.3 Indukční prohřívací zařízení

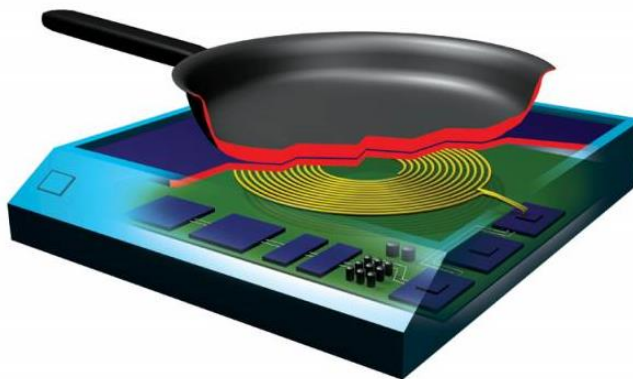
Použití nalézají tyto pece převážně při mechanickém zpracování kovů, kdy je nutné rovnoměrné prohřátí materiálu, například před kovááním. Velkou výhodou je rychlé a efektivní prohřátí na vysoké teploty. [10]



Obr. 25 Indukční prohřívací zařízení [28]

## 9.4 Indukční povrchový ohřev

Povrchový ohřev uvažujeme do hloubky 10 mm. Na rozdíl od celkového prohřátí, kdy užíváme nízké frekvence, se v těchto případech užívá frekvence v řádech kHz – MHz. [10]



Obr. 26 Využití indukčního povrchového ohřevu v gastronomii [29]

## 9.5 Kanálkové indukční pece

Tuto pec lze po teoretické stránce přirovnat k transformátoru se sekundární stranou spojenou nakrátko. Užívají se především pro tavení barevných kovů. Při odlévání se vyprazdňuje pec pouze ze dvou třetin. Zbytek vsázky se ponechá pro zaplnění kanálku a dna, tento zbytek vsázky při opětovném zapnutí pece tvoří uzavřený závit a teplo vzniká pouze uvnitř vsázky umístěné v kanálku. Teplo se následně šíří do celé vsázky. [10]



Obr. 27 Indukční kanálková pec [11]

## 10 Měření teploty

V oboru tepelného zpracování kovů je obecně nejdůležitější veličinou teplota. Teplota má vliv na správné zpracování kovu, dimenzování elektrotepelných zařízení, ale i ekonomiku provozu. V Evropě uplatňujeme jednotku teploty stupně Celsia. [3] K měření teploty užíváme různých prvků i zařízení. Od nejjednodušších, jako jsou termokřídly po složitá zařízení typu pyrometrů nebo termokamer.

### 10.1 Termočláanky

Měření pomocí termočláanky je založeno na termoelektrickém jevu. Termočláanek tvoří dva vzájemně odizolované elektricky vodivé dráty. V místě měření se termočláanek spojí nakrátko, je-li zahříván, vzniká tzv. teplý konec termočláanky. Druhý (rozpojený) konec termočláanky nazýváme studený konec. Vlivem rozdílů teploty mezi oběma konci vzniká termočláankové napětí v řádu mV. [3] Studený konec musí být připojen do zařízení, které vyhodnotí výslednou teplotu ve stupních Celsia.

Rozlišujeme několik typů termočláanky, například termočláanky typu T, J, E, K, N, S, R, B a jiné. Odlišnost typů termočláanky spočívá v jiné citlivosti a maximální použitelné teplotě. V praktické části bakalářské práce jsou použity termočláanky typu K pro teplotní rozsah od  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $1\ 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  s teplotní citlivostí  $40\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$



Obr. 28 Různé provedení a typy termočláanky [8]

#### 10.1.1 Plášťové termočláanky

Dráty jsou uloženy v práškovém keramickém materiálu a ochranný plášť je z nerezové oceli. Vynikají krátkou dobou odezvy, zvláště díky malému průměru drátů. [3]

### 10.1.2 Trubkové termočlánky

Tento typ termočlánků byl vyroben za účelem dosažení především dlouhé životnosti a krátké odezvy. Hojně se užívají k měření v olejových lázních. [3]

### 10.1.3 Ploché termočlánky

Dráty jsou nahrazeny vodiči ve tvaru pásků. Pásky jsou vzájemně izolovány jako dráty. [3]

### 10.1.4 Ponorné termočlánky

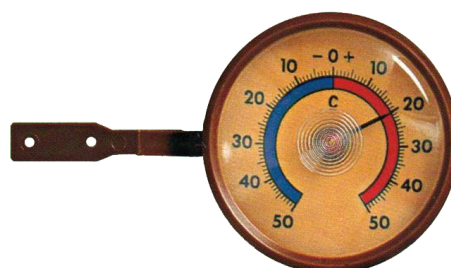
Jedná se o speciální typ termočlánků pro měření roztavené oceli při teplotách vyšších než 1600 °C. Ponorné termočlánky jsou schopny tyto vysoké teploty měřit jen krátce, jelikož dochází k destrukci teplého konce, který ale lze u těchto typů termočlánků měnit. Další typy konstrukcí termočlánků jsou strunové, vpichovací a dotykové. [3]

## 10.2 Plášťové a tyčové termoelektrické snímače teploty

Jedná se o nastavbu samotného termočlánku doplněnou o A/D převodník či nikoli a ochranné pouzdro. Termoelektrické snímače tvoří obvykle jeden nebo dva termočlánky uložené v keramických izolačních tvarovkách či kapilárách. Takto upravené termočlánky jsou vloženy do ochranných trubek, z nichž vnitřní bývá keramická a vnější kovová. Počet trubek závisí na umístění měření. Používá se například v pecích nebo spalovacích komorách.



Obr. 29 Tyčový termoelektrický článek [7]



Obr. 30 Bimetallový teploměr [6]

### 10.3 Bimetalické teploměry

Jsou určeny k tepelné ochraně elektromotorů, transformátorů a jiných silnoproudých zařízení. Bimetal je tvořen dvěma kovovými pásky s výrazně odlišným součinitelem roztažnosti oproti druhé vrstvě. Při zahřátí dochází k dilataci a ohybu pásku. Tato deformace značí dosažení mezní teploty dle konstrukčních vlastností daného bimetalového pásku. Takto připravený slitinový pásek je většinou svinut do spirály, kde je jeden konec pevně přichycen a druhý ve formě, například ručičky udává na přiložené stupnici příslušnou teplotu. [2]

### 10.4 Pyrometry

Měření probíhá na základě snímání světelného nebo tepelného záření. Pokud má daný objekt vyšší teplotu než jeho okolí, vyzařuje elektromagnetické záření o určitých vlnových délkách. Čím vyšší bude teplota, tím kratší vlnová délka bude vyzařována. Naopak pokud má teplotu nižší, než je teplota okolí, vyzařuje záření o delších vlnových délkách (infračervené záření). Měření probíhá bezdotykově, proto se nejčastěji užívají tam, kde hrozí poškození nebo destrukce jiného kontaktního měřicího zařízení. Důležitým parametrem pro měření pyrometry jsou vnější podmínky, v nichž dochází ke zkreslení vyzařovaného elektromagnetického záření. Tyto nežádoucí podmínky jsou například kouřové plyny, pára a jiné, proto je důležité mít vhodný typ pyrometru s různými optickými filtry před senzorem pro různé vlnové délky. [3]



Obr. 31 Pyrometr značky FLUKE [5]



Obr. 32 Ukázka různých typů termokříd [4]

## 10.5 Termokřídly

Termokřídly představují jednoduchou, levnou a rychlou metodu měření povrchové teploty. Využívají se pro teploty od 40 °C do 1050 °C. Fungují na principu změny skupenství tuhého na kapalné a plynné, případně na změnu barvy, tzn. pokud povrchová teplota přesáhne teplotu dané křídly, začne se křída odpařovat, kapalnět, nebo změni barvu.

## 11 Regulace teploty

Elektrotepelné zpracování kovů se ve většině případů neobejde bez měření a regulace teploty. Díky regulaci lze trvale a přesně korigovat požadovanou teplotu. Nejjednodušší je **skokové řízení**, kterého lze dosáhnout opakovaným zapínáním a vypínáním, nebo připínáním a odpínáním různých sekcí. Tato regulace je primárně určena pro odporová zařízení. Složitější řízení se realizuje pomocí polovodičových součástek a různých typů měničů. Jedná se o tzv. **plynulou regulaci**. K dosažení požadované teploty využíváme různé typy modulací a měničů. V dnešní době se nejčastěji užívá pulzně šířkové modulace, PID regulátory, další možné varianty modulace jsou amplitudová, fázová a frekvenční.

### Regulační zařízení

Vstupní hodnoty regulátoru určují snímače (čidla), v praxi se nejčastěji jedná o různé typy termočlánků. Čidla měří skutečnou hodnotu, která musí být porovnána s referenční hodnotou. Regulátor porovnáva vstupní teplotu s požadovanou a na základě tohoto rozdílu vysílá řídicí signál o sepnutí nebo rozepnutí topných částí zařízení. V praxi je tak vyslán impulz, například na hradlo tyristoru nebo relé, které ovládají silovou část pece (topné články).



## 12 Příklad elektrotepelného zpracování z praxe

Celý proces začíná v kanceláři technologie. Spolu se svařencem je dodaný i průvodní list se specifikací ocele, hmotností a dalšími údaji, včetně požadavku zpracování. Dle technologa se nastaví celý proces zpracování.

Svařenec se nejprve zváží a následně za pomoci halového jeřábu přesune nad lože pokloповé pece.



Obr. 33 Vážení svařence pomocí digitální závěsné váhy

Pec je složená ze dvou topných sekcí. Topná tělesa jsou tvořena odporovým drátem provlečeným speciálními keramickými korálky.



*Obr. 34 Lože poklokové pece*

Vlivem průchodu proudu se drát roztahuje v řádech centimetrů. Díky roztažení se odkrývá samotný odporový drát. I z tohoto důvodu musí být celý svařenec podepřen, aby neležel přímo na topných tělesech. Po vypodložení se svařenec opatrně usadí.



*Obr. 35 Usazený svařenec*

Následuje přivaření termočlánků. Používají se termočlánky typu K, které jsou přivařeny pomocí speciální svařovací stanice. K svařenci se přivaří dvojnásobný počet termočlánků, než je počet sekcí (v našem případě dvě sekce). Zdvojení termočlánků je důležité z hlediska regulace a měření, aby v případě přerušení jednoho měření bylo k dispozici náhradní.



*Obr. 36 Detail přivařených termočlánků*

Vsázka je tedy připravena ke zpracování. Pec se uzavře izolovaným poklopem pomocí halového jeřábu.



*Obr. 37 Uzavřená pokloповá pec*

Pec ovládá mobilní zařízení Heat-Master pro tepelné zpracování kovů. Na *obr. 38* lze vidět připojené mobilní zařízení Heat-Master. Vrchní řada konektorů je určena pro kompenzační vedení (měření). Na jejímž konci nalezneme termočlánek spojený nakrátko.

Spodní řady jsou určeny pro silové zapojení topnic. Konkrétně toto zařízení je šestikanálové. Výkon jednoho mobilního zařízení činí 40 kVA. Výhodou těchto zařízení je možná kooperace, tedy můžeme využít výkonů a silových vývodů ostatních zařízení, které budou řízeny a regulovány jedním, předem zvoleným zařízením.



*Obr. 38 Mobilní zařízení Heat-Masters*

Toto zařízení využívá PID regulátoru na základě programu firmy IceStar. V tomto programu lze snadno nastavit maximální teplotu ohřevu a dobu ohřevu, držení i koncovou teplotu procesu.

Program získává informace z termočlánků, dle kterých spíná silový obvod s topnicemi. Pro ilustraci je na *obr. 39* graf ideálního zpracování. Reálná teplotní křivka (zápis z měření) bude popsán dále. Spodní část grafu je připravena pro přidání vstupních hodnot (měření), která se v průběhu zpracování budou zapisovat. Další zajímavou částí je časová osa, která ukazuje předpokládané časy dosažení teplot. Vzhledem k faktu, že některá zpracování trvají i několik desítek hodin, je tato osa taktéž velice důležitou z hlediska logistiky v celém podniku.

IceStar ISPort

Exit PC Settings Ports Devices Projects New Project Templates Save template Load template Reports

Control Project Information Process Information Diagrams Log Devices View

T304 1 : No connection (or controllers are not selected)

Upload Start Pause Recording Stop Return

Status Diagram Plotter Point List Step List Scale Fit to scale

Add step Add a Point Settings

No	And/Or	Type	Function	Comment
1		H	Začátek záznamu	
2		H	Nastavení paramet	Temp: 600°C Max heating rate: 50°C/h Max cooling rate: 50°C/h Pos.Tol: 10°C Neg.Tol: 10°C
3		T	Testování času	When the tolerance time exceeds 6h then continue else wait
4		H	Nastavení paramet	Temp: 0°C
5		T	Testování teplot	If the average under 200°C then continue else wait
6		P	Konec ohřevu	End of the process

Set temperature Maximum heating rate 50°C/h Maximum cooling rate 50°C/h

Pos. Tol (Over) 10°C Neg Tol (Under) 10°C

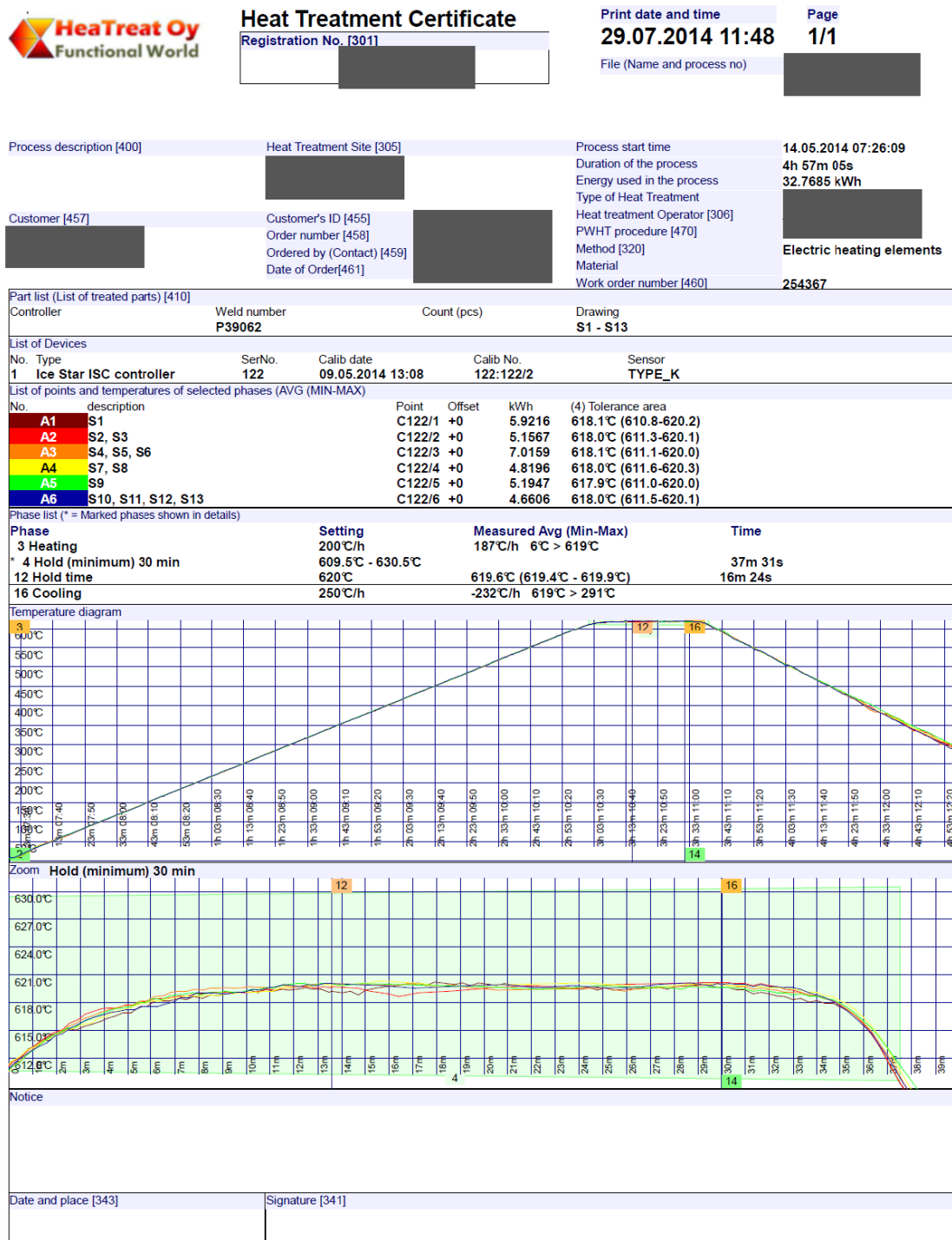
No	Group	ID (name)	Temp.Mes	Temp	Error	Slew ...	P.State	Power Out	Current	Power	Param
05			01.05	01.05	01.05	02.05	02.05	02.05	02.05	02.05	02.05
16:00			17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	00.00	01.00
			02.05	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00
			11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00		
			02.05	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00
			11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00		

Project Filenames: HEATINGS, T304, TEST17

Project Start: 13.08.2015 09, 10.06.2015 13, 10.09.2015 11

Obr. 39 Ukázka prostředí ovládacího softwaru firmy Ice-Star

Program ukončí celý proces po dosažení koncové teploty. V případě *obrázku 39* se jedná o teplotu 200 °C. Hodnoty všech měření jsou v průběhu procesu zaznamenávány. Nelze je nijak upravit ani zaměnit. Jedná se o programové opatření, které dokládá průhlednost měření. Výstupem celého procesu je certifikát o průběhu procesu spolu s hotovým svařencem. Zákazník si tak snadno z grafu zkontroluje, zda jeho materiál byl skutečně správně zpracován.



Obr. 40 Ukázkový výstupní certifikát po ukončení tepelného zpracování

O ohřev a udržení teploty se PID regulátor stará jen s menším překmitem, ovšem s ochlazením, dle předpokladu, si bez pomoci neporadí. Proto musí i u několikahodinového procesu být stále obsluha. Operátor, dle potřeby, za pomoci halového jeřábu pozvolna nadzvedává poklop pece, čímž dochází k postupnému ochlazování. Po dokončení procesu se nechá svařenec zchladnout na vzduchu a spolu s výchozí zprávou je v nejbližší možné době odvezen.



*Obr. 41 Teplotně zpracované svařence*



*Obr. 42 Teplotně zpracovaný svařenec připraven k odvozu*

Následuje kontrola a oprava topných těles, tepelné izolace uvnitř pece a konektorů topných těles. Tyto konektory jsou velice tepelně namáhány, tudíž často dochází k jejich mechanické destrukci.

## Závěr

V úvodu práce je uveden teoretický základ pro bližší pochopení tepelného zpracování kovů. Změny struktury krystalové mřížky a vlastnosti, které se díky těmto změnám mění.

Druhá kapitola popisuje základní typy tepelného zpracování kovů a změny vlastností, které toto zpracování přináší. Dále zde uvádím materiály užívané k tepelnému zpracování a teploty nutné pro dosažení správných parametrů. Zejména u žíhání vysvětluji několik typů dělení tohoto zpracování. V literatuře můžeme nalézt mnoho způsobů dělení žíhání i dalších typů zpracování kovů, a proto jsem se inspiroval rozdělením dle Ing. Dr. Jana Koreckého.

Nedílnou součástí tepelného zpracování jsou pece. Tato kapitola je zaměřena na rozdíly mezi elektrickými pecemi se stabilní a průběžnou vsázkou. Pro vizuální představu jsou zde obrázky všech typů zmíněných pecí. U těchto pecí se setkáváme s ohřevem pomocí topných spirál a těles. Teplo se nejčastěji přenáší sáláním. V dnešní době začínají být některé typy elektrických pecí z ekonomických důvodů nahrazovány pecemi plynovými.

Další kapitoly prezentují obloukové pece, které se hojně využívají k tavení kovů. Lasery, pomocí kterých se taví, ale i povrchově upravují kovy. Dále zpracování pomocí elektronových a plazmových zařízení.

Indukční ohřev, pomocí něhož lze tepelné zpracovávat i tavit kov, je hojně využíván v hutích, malých provozovnách i domácnostech. Ve srovnání s ostatními pecemi jsou indukční pece menší (pro stejné výkony). V moderních domácnostech lze vidět indukční ohřev v podobě indukční varné desky.

Měření a měřící technika jsou důležité pro regulaci pecí a jiných ohřevů. Měření lze realizovat pomocí termokříd či pyrometrů, nevýhodou je nutnost vizuálního spojení se zahříváním materiálem. Pro pece a hutní průmysl se nejčastěji využívají tyčové termoelektrické články nebo termočlánky, které musí být připojeny do převodníku anebo přímo do regulátoru.



Poslední kapitolou je praktická ukázka pomocí mobilního zařízení pro tepelné zpracování kovů. Princip tohoto zařízení a efektivní možnost zpracovávání kovů, není zcela obvyklý, avšak za velikou výhodu považují vysokou mobilitu a kompaktní rozměry celého zařízení. Váha celého zařízení včetně transformátoru disponujícího výkonem 40kVA činí přibližně 200 kg. Dalšími přednostmi tohoto zařízení jsou například: kooperace více zařízení, díky které lze navyšovat celkový výkon celku, dále možnost bezdrátového řízení a kontroly celého procesu zpracování. Naopak nevýhodou je odebíraný výkon. Tato nevýhoda spočívá ve velkém odběru při sepnutí všech silových kanálů regulátorem. Pokud takto sepne větší množství kooperujících zařízení současně, lze snadno překročit rezervovaný výkon daný distributorem sítě. Za překročení rezervovaného výkonu pak distributor účtuje vysoké poplatky. Tímto se využitelnost těchto zařízení omezuje.

Mobilní žíhací zařízení pracuje na základě dat získaných z termočlánků, které jsou připojeny na kompenzační vedení a propojeny s PID regulátorem. Ovládání silové části řídí šest aktivně chlazených tyristorů. Topným elementem je odporový drát typu NiCr 80/20 provlečený speciálními keramickými korálky. Díky čemuž lze tvořit různě velké topné plochy. V praktické ukázce je užito pokloповé pece řízené jedním mobilním zařízením.

Tato zařízení jsou využívána i v těžko přístupných místech, jako jsou staveniště, kde se užívají pro předehřev před svařováním a následné vyžihání svárů. Z fotodokumentace je vidět průběh celého procesu včetně ukázky programového prostředí a výstupního certifikátu s detailem doby držení.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] KORECKÝ, Jan. *Tepelné zpracování kovů*. 2. doplněné vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965. 88s.
- [2] HRADÍLEK, Zdeněk, KRÁL, Vladimír, LÁZNIČKOVÁ, Ilona. *Elektrotepelná technika*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. 266 s. ISBN 978-80-01-04938-9.
- [3] MACHÁČKOVÁ, Adéla, MRŇKOVÁ, Lenka. *Průmyslové pece*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2013. 101 s.
- [4] Svářecí technika – STAP. *Termokřídly* [online]. [Cit. 20. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.svarenistap.cz/svareni/eshop/19-1-PRISLUSENSTVI-OBECNE/0/5/34-TERMOKRIDY-50-az-1200-C-c-82600-az-82683>.
- [5] TME. *Pyrometr* [online]. [Cit. 21. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/details/flk-62max/infracervene-teplomery/fluke/fluke-62-max/>.
- [6] LOUDY.CZ. *Bimetalický teploměr*. [online]. [Cit. 5. 5. 2017]. Dostupné z: [http://www.loudy.cz/zbozi/102467\\_big.png](http://www.loudy.cz/zbozi/102467_big.png).
- [7] MAVIS. *MTC 7 - termočlánky s kovovou jímkou 21,3 mm (tzv. tyčový)* [online]. [Cit. 2. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.mavis.cz/produkty/termoclanek-s-kovovou-jimkou-21-mm-mtc-7>.
- [8] UALLOY. *Ocelové lanko E typ termočlánek kabel* [online]. [Cit. 20. 5. 2017]. Dostupné z: <http://cz.alloystrip.com/thermocouple-alloy/extension-cable/steel-braid-e-type-thermocouple-cable.html>.
- [9] DWOT- QD SHUIMU INDUCTION EQUIPMENT CO., LTD. *INDUCTION MELTING FURNACE WITH COLD CRUCIBLE* [online]. [Cit. 20. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.dw-inductionheating.com/New-163.html>.
- [10] HRADÍLEK, Zdeněk et. al. *Elektrotepelná zařízení*. 1. Vyd. Praha: IN-EL, spol. s.r.o., 1997. 170s. ISBN 80-902333-2-5.
- [11] IAS- Induction. *MetalLine induction channel-type furnaces* [online]. [Cit. 23. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.ias-induction.com/en/products/inductive-melting/metalline-channel-type-furnaces.html>.
- [12] BVD PECE. *Realizace*. [online]. [Cit. 22. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.bvd.cz/realizace-sklo>.
- [13] E-THERM. *Šachtové pece pro tepelné zpracování* [online]. [Cit. 22. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.ethermtz.cz/vyrobky/sachtove-pece-pro-tepelne-zpracovani/>.
- [14] TECHNICKYPORTAL.CZ. *SAFINA spouští novou technologii na recyklaci materiálu s obsahem drahých kovů* [online]. Poslední změna 20. 6. 2014 [Cit. 24. 5. 2017]. Dostupné z: [http://www.technickytydenik.cz/rubriky/denni-zpravodajstvi/safina-spousti-novou-technologie-na-recyklaci-materialu-s-obsahem-drahych-kovu\\_25738.html](http://www.technickytydenik.cz/rubriky/denni-zpravodajstvi/safina-spousti-novou-technologie-na-recyklaci-materialu-s-obsahem-drahych-kovu_25738.html).
- [15] expondo. *Tavící pec -1 KG* [online]. [Cit. 2. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.expondo.cz/GOLDBRUNN-TAVICI-PEC-1-KG-7003>.

- [16] Mansell and Associates. "FatBoy" Package Rotary Unit [online]. [Cit. 23. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.mansellandassociates.net>.
- [17] NABERTHERM. *Continuous Furnaces Electrically Heated or Gas-Fired* [online]. [Cit. 21. 5. 2017]. Dostupné z: [http://www.nabertherm.cz/produkte/details/cz/glas\\_durchlaufofen](http://www.nabertherm.cz/produkte/details/cz/glas_durchlaufofen).
- [18] Labgas.cz. *Válečková pec* [online]. [Cit. 23. 5. 2017]. Dostupné z: [http://www.labgas.cz/images/produkty/5\\_2.jpg%20](http://www.labgas.cz/images/produkty/5_2.jpg%20).
- [19] KOMPASS. *Technologie výroby* [online]. [Cit. 22. 5. 2017]. Dostupné z: <http://cz.kompass.com/p/technologie-vyroby/7f17d22b-c772-4a90-b01c-bbf14dfc3767/>.
- [20] VRÁNA, Václav. *Elektrické teplo*. Studijní materiál pro bakalářské programy. Ostrava: VŠB – TU OSTRAVA, 2008. 22 s.
- [21] BENEŠOVÁ, Zdeňka, MAYER, Daniel. *Základní příklady z teorie elektromagnetického pole*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008. 167 s. ISBN 978-80-7043-737-7.
- [22] TENOVA. *Submerged Arc Furnaces* [online]. [Cit. 24. 5. 2017]. Dostupné z: [HTTP://WWW.TENOVACORE.COM/MELTSHOP\\_04.HTML](HTTP://WWW.TENOVACORE.COM/MELTSHOP_04.HTML).
- [23] SIEMENS. *Více oceli za méně peněz* [online]. Poslední změna 7. 12. 2011 [Cit. 24. 5. 2017]. Dostupné z: [http://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/o\\_nas/inovace/archiv/page/s/vice-oceli-za-mene-penez.aspx](http://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/o_nas/inovace/archiv/page/s/vice-oceli-za-mene-penez.aspx).
- [24] KOBELCO ECO - SOLUTION CO., LTD. *Plasma Melting Furnace* [online]. [Cit. 22. 5. 2017]. Dostupné z: [http://www.kobelco-eco.co.jp/english/product/haikibutushori/plasma\\_gaiyou.html](http://www.kobelco-eco.co.jp/english/product/haikibutushori/plasma_gaiyou.html).
- [25] AMG. *Vacuum furnaces* [online]. [Cit. 22. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.amg-nv.com/Products/Vacuum-Furnaces/>.
- [26] Fraunhofer. *Laser cladding*. [online]. [Cit. 22.5.2017]. Dostupné z: [HTTP://WWW.IWS.FRAUNHOFER.DE/EN/BUSINESS\\_FIELDS/SURFACE\\_TREATMENT/LASER\\_CLADDING/SERVICE\\_OFFERS.HTML](HTTP://WWW.IWS.FRAUNHOFER.DE/EN/BUSINESS_FIELDS/SURFACE_TREATMENT/LASER_CLADDING/SERVICE_OFFERS.HTML).
- [27] DWOT- QD SHUIMU INDUCTION EQUIPMENT CO., LTD. *Induction Furnace*. [online]. [Cit. 22. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.dw-inductionheating.com/Induction-Heating-Equipment-37.html> <http://www.dw-inductionheating.com/Induction-Furnace-43.html>.
- [28] DWOT- QD SHUIMU INDUCTION EQUIPMENT CO., LTD. *Induction Heating Equipment* [online]. [Cit. 2. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.dw-inductionheating.com/Induction-Heating-Equipment-37.html>.
- [29] ZOUZALÍK, Marek. 21. století. *Jak pracuje indukční varná deska* [online]. Poslední změna 18. 2. 2005 [Cit. 21. 5. 2017]. Dostupné z: <http://21stoleti.cz/2005/02/18/jak-pracuje-indukcni-varna-deska/>.