

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ PRINCIPEM ODPOROVÉHO ŽÍHÁNÍ

HEAT PROCESSING PRINCIPLE OF OPERATION THERMAL RESISTANCE ANNEALING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETRA ŠPIČKOVÁ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

ING. MILAN KALIVODA

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petra Špičková

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Tepelné zpracování principem odporového žíhání.

v anglickém jazyce:

Heat processing principle of operation thermal resistance annealing.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozdělení, vlastnosti a výběr materiálů. Základy metalografie (metalurgie). Tepelné zpracování kovových materiálů (procesy strukturních přeměn). Chemicko-tepelné zpracování. Odporové žíhání pomocí indukčních cívek odporové dečky firmy Heat Masters.

Cíle bakalářské práce:

Zpracování teoretické části. Doložení praktických výsledků u konkrétní firmy.

Seznam odborné literatury:

1. KOCMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
2. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 19.11.2008

L.S.

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Projekt vypracovaný v bakalářském studiu B 2307 rozebírá teorii tepelného zpracování jako takového a odporové žíhání, především dle technologie firmy Heatmasters. Jsou uvedeny i příklady z jiných firem včetně předložené prospektové dokumentace. Odporové žíhání je přenos tepla z odporového drátu, který se průchodem proudu ohřívá a následně dochází k tepelnému nahřívání sáláním či dotykem samotného materiálu. Odporové tepelné zpracování je využíváno jak pro předehřev (pro svařování), tak pro žíhání (pro snížení zbytkového napětí). Dnešní doba klade požadavky na dokumentování průběhů těchto tepelných procesů. Existuje možnost zaznamenávání teploty v celém průběhu tepelného zpracování a výsledky lze doložit prostřednictvím vytištění certifikátu.

Klíčová slova

Tepelné zpracování, odporové žíhání, odporový drát, sálání, odporové tepelné zpracování, předehřev, žíhání, kalení, překrystalizace, rekrytalizace, ferit, perlit, bainit, martenzit, teplo, odporový ohřev, mobilní zařízení, invertorové tepelné jednotky, topné rezistory, izolační materiál, odporové žíhací pece.

ABSTRACT

The project assigned for the bachelors study program B 2307 analyses the theory of heat processing in general and furthermore resistance annealing with the focus on the technology developed by the company Heatmasters. Examples of processing methods used at other technology providers are presented, including documentation and datasheets. Resistance annealing is based on the heat transfer from a resistive wire, which heats up by electrical current. The thermal energy is then transferred to the target material through heat radiation or conductance. The resistance heat processing is used both for welding and for annealing. Nowadays is the documentation and recording of the heat processing of significant importance. Possibilities exist that allow recording of temperature during the entire cycle of the heat processing and subsequently providing the result evidence in a form of a certificate.

Key words

Heat processing, thermal resistance annealing, resistance wire, radiation, thermal resistance heat processing, preheat, annealing, hardening, structural transformation, recrystallization, ferrite, pearlite, bainite, martensite, heat, resistance heating, mobile device, inverter heat treatment units, heating elements, sealing material, thermal resistance annealing furnaces.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠPIČKOVÁ, Petra. *Tepelné zpracování principem odporového žíhání: Bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 47 s., příloh 6. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Tepelné zpracování principem odporového žíhání vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 11. 5. 2009

.....
Petra Špičková

Poděkování

Děkuji tímto zaměstnancům FSI VUT Brno Ing. Milanu Kalivodovi a Ing. Jaroslavu Kubičkovi a zaměstnanci firmy ARC-H Welding s. r. o. Jakubu Mášovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

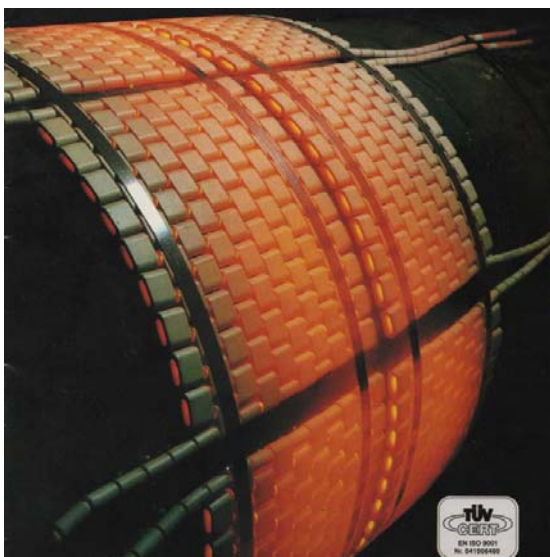
OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
Úvod	8
1 ROZDĚLENÍ, VLASTNOSTI A VOLBA MATERIÁLŮ.....	9
1.1 Rozdělení materiálů.....	9
1.2 Vlastnosti materiálů	9
1.3 Volba materiálů	9
2 STAVBA KOVŮ.....	10
2.1 Krystalická struktura	10
3 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ KOVOVÝCH MATERIÁLŮ.....	12
3.1 Účel a rozdělení způsobů tepelného zpracování.....	12
3.2 Žíhání.....	13
3.2.1 Žíhání ocelí.....	13
3.3 Kalení.....	14
3.3.1 Kalitelnost, prokalitelnost	15
3.3.2 Způsoby kalení	17
3.4 Chemicko–tepelné zpracování	17
3.4.1 Cementování.....	17
3.4.2 Nitridování	17
3.4.3 Nitrocementování	18
4 TEPLLO.....	19
4.1 Joulův-Lenzův zákon.....	19
4.2 Šíření tepla.....	19
4.3 Rozdělení ohřevů.....	20
4.3.1 Odporový ohřev	20
4.3.2 Indukční ohřev	20
4.4 Rozdělení materiálů dle elektrického odporu	21
5 ODPOROVÉ ŽÍHÁNÍ.....	23
5.1 Příklady tepelného zpracování společností Thermoprozess a Weldotherm.....	23
5.1.1 Thermoprozess.....	23
5.1.2 Weldotherm G. M. B. H. Essen.....	26
5.2 Lokální odporové žíhání technologií firmy HeatMasters.....	27
5.2.1 Mobilní zařízení pro tepelné zpracování	27
5.2.2 Software HM20	30
5.2.3 Řízení na velkou vzdálenost	31
5.2.4 Topné prvky.....	32
5.2.5 Instalace topných prvků	36
5.2.6 Izolační materiály	39
5.3 Odporové žíhací pece	40
Závěr	44
Seznam použitých zdrojů	45
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	46
Seznam příloh.....	47

ÚVOD

Tepelné zpracování, kterým se zabývá tato práce, patří mezi důležité procesy ve strojírenství, zlepšuje a ovlivňuje vlastnosti materiálu. Je rozebrána problematika odporového žíhání, především dle technologie firmy Heatmasters. Je zde použit i prospektový materiál jiných firem. Jedná se o odporové žíhání, přenos tepla z odporového drátu, který se průchodem proudu ohřívá a následně dochází k tepelnému nahřívání samotného materiálu sáláním či dotykem. Odporové tepelné zpracování se užívá pro předehřev i pro žíhání materiálu.

Dnešní doba klade požadavky na dokumentaci průběhů těchto tepelných procesů. Existuje možnost zaznamenávání teploty v celém průběhu tepelného zpracování a výsledky je možné doložit prostřednictvím tisku certifikátu.



Obr.1 Ukázka odporové dečky⁹

1 ROZDĚLENÍ, VLASTNOSTI A VOLBA MATERIÁLŮ

1.1 Rozdělení materiálů

Materiály se získávají pomocí chemických dějů a fyzikálních postupů z přírodních surovin (např. kovy z rudy). Materiály také mohou být přírodní látky, např. kůže, dřevo.

Materiály se dělí do základních skupin na:

- kovy – železné kovy (ocel, litina),
 – neželezné kovy (lehké, těžké kovy),
- nekovy – přírodní látky (organické, anorganické),
 – plastické hmoty (termoplasty, reaktoplasty, elastomery).

1.2 Vlastnosti materiálů

Materiály mají fyzikální, chemické, technologické a mechanické vlastnosti.

Fyzikální vlastnosti – určují vnější stav a změny stavu. Nejdůležitější vlastnosti jsou např. hustota, teplota tání a tuhnutí, délková a objemová roztažnost. Samotné látky zůstávají nezměněny.

Chemické vlastnosti – určují strukturu látek (strukturu a stavbu atomů), látkové sloučeniny (sloučeniny s kyslíkem, odolnost proti korozi), látkovou přeměnu (např. při spalování). Vznikají nové látky s novými vlastnostmi. Patří sem například žáruvzdornost, korozivzdornost a žárupevnost.

Mechanické vlastnosti – jsou vlastnosti, při kterých je materiál vystaven složenému namáhání. Mohou to být kombinace namáhání jako je tah, tlak, krut, střih a ohyb. Aby těmto namáháním mohl materiál odolávat, musí mít určité vlastnosti, jako je pevnost, tvrdost, pružnost, tvárnost.

Technologické vlastnosti – souvisí se zpracováním materiálu na výrobek. Patří sem svařitelnost, obrobitelnost, slévatelnost, tvárnost.

1.3 Volba materiálů

Z mnoha materiálů je třeba zvolit ten, který se nejlépe hodí pro určitou oblast použití. Pro volbu materiálu je určující jakost materiálu, vyplývající z fyzikálních, mechanických a technologických vlastností. Dále volbu materiálu ovlivňuje forma dodávky materiálu (profily, tyče, plechy, atd.), velikost dodávky materiálu (délka, šířka, tloušťka, atd.), stav dodávky materiálu (válcovaná, leštěná, žíhaná na měkko, atd.).

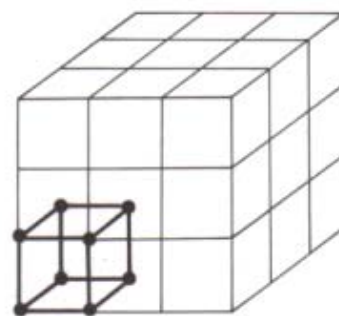
Suroviny potřebné k výrobě se v přírodě nachází jen v omezeném množství. Rostoucí spotřeba nutí k úspornějšímu výběru a zpětnému získávání surovin (recyklace). Při výběru materiálu je třeba brát ohled na ekologickou výrobu.

2 STAVBA KOVŮ

2.1 Krystalická struktura

Všechny kovy a jejich slitiny (s výjimkou rtuti) jsou za normální teploty krystalické látky. Kromě nich existují látky amorfni (sklo, pryž), které mají zcela náhodné rozložení atomů. V tuhých látkách zauímají atomy jakési střední polohy, kolem kterých kmitají, a to v závislosti na teplotě. Když přechází látka z kapalného do tuhého stavu, je tato změna skupenství doprovázena objemovými změnami a změnami v uspořádání a pohyblivosti atomů (pro zjednodušení se zde mluví místo o iontech o atomech).

Atomy a molekuly jsou řízeny vnitřními silami v přesném pořadí, takže vzniká krystalický útvar. Každý krystal má svoje vnitřní pravidelné uspořádání atomů a molekul a tato vnitřní pravidelnost se projevuje i pravidelností vnějšího tvaru. Uspořádání je dáno prostorovou mřížkou. Atomy jsou uloženy v uzlových bodech mřížky (v jejích rozích). Nejmenší část této mřížky se označuje jako elementární buňka (viz obr 2.1). Prostorová mřížka je tvořena seskupením obrovského počtu těchto elementárních buněk.



Obr. 2.1 Schéma prostorové mřížky s vyznačenou elementární buňkou²

Tato elementární buňka může mít různý tvar. Podle toho se rozlišuje několik krystalografických soustav. Např. soustava krychlová, čtverečná, kosočtverečná, šesterečná, jednoklonná, trojklonná nebo klencová.

Krychlová soustava se dělí na:

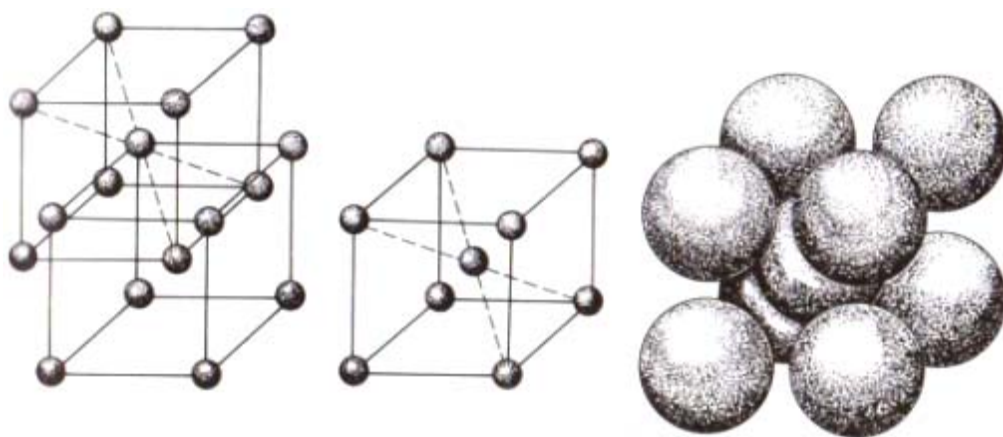
- mřížku krychlově prostorově středěnou,
- mřížku krychlově plošně středěnou.

Mřížka krychlová prostorově středěná (BCC – body centered cubic) obr. 2.2

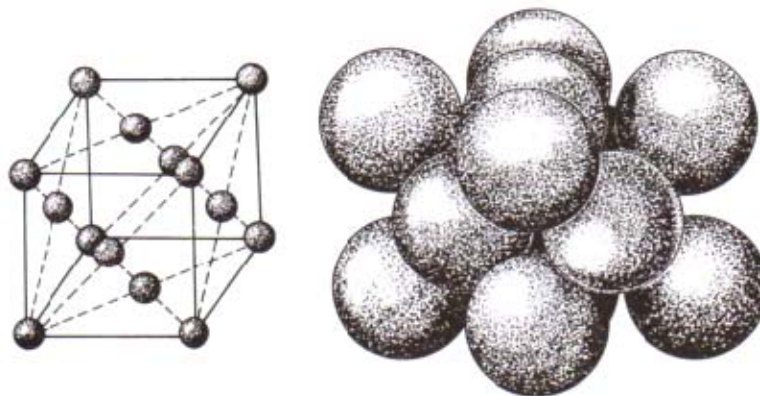
Je to krychle o straně a (parametr mřížky), která má atomy umístěny v rozích a v průsečíku prostorových úhlopříček. Jediné elementární buňce však přísluší pouze 2 atomy, protože každý z rohových atomů náleží vždy osmi buňkám.

Mřížka krychlová plošně středěná (FCC – face centered cubic) obr. 2.3

Jedná se opět o krychli se stranou a , která má atomy umístěny tentokrát v rozích a ve středu stěn. Elementární buňka však obsahuje pouze 4 atomy, protože každý z rohových atomů přísluší vždy osmi sousedním buňkám, atomy ve středu stěn jsou společné dvěma buňkám.



Obr. 2.2 Krychlová mřížka prostorově středěná ²



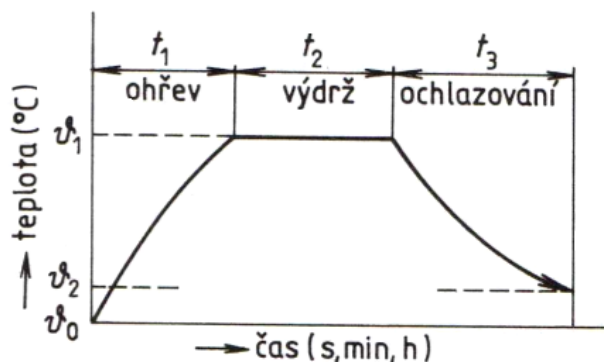
Obr. 2.3 Krychlová mřížka plošně středěná ²

3 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ KOVOVÝCH MATERIÁLŮ

3.1 Účel a rozdělení způsobů tepelného zpracování

Vlastnosti kovových materiálů jsou závislé na chemickém složení, ale především na struktuře, tj. na množství, tvaru, velikosti a rozložení jednotlivých fází. Vhodnou strukturou lze využít kovové materiály co nejlépe, např. snížit hmotnost stroje, popř. použít levnější materiály. Obojí přispívá ke zvýšení hospodárnosti výroby. Požadovaná struktura a hlavně vlastnosti daného kovového materiálu se získají především tepelným zpracováním (dále jen TZ).

TZ se rozumí všechny postupy, při kterých se předmět nebo materiál záměrně ohřívá, ponechá se na požadované teplotě a ochladí se určitým způsobem tak, aby získal požadované vlastnosti. V podstatě se jedná o souhrn těchto operací: ohřev určitou rychlostí na danou teplotu, výdrž na této teplotě a ochlazení určitou rychlostí na konečnou teplotu (viz obr. 3.1). Tyto operace se mohou vícekrát za sebou a za různých podmínek opakovat.



Obr. 3.1 Schéma průběhu tepelného zpracování²

Když je do průběhu ohřevu nebo ochlazování zařazena ještě mechanická deformace, jedná se o tepelně mechanické zpracování. Jestliže se na materiál působí při zvýšené teplotě vhodným prostředím tak, aby se na jeho povrchu změnilo chemické složení, jedná se o chemicko-tepelné zpracování (viz kap. 3.4).

TZ se ovlivňuje nejen vlastnosti mechanické a technologické, ale i mnohé vlastnosti fyzikální (např. elektrický odpor, magnetická indukce).

Dosažení rovnovážného stavu při fázových přeměnách v tuhém stavu je určováno difúzí, proto má průběh difúze rozhodující vliv na výsledek TZ. Její velikost je ovlivněna teplotou a také výdrží na této teplotě, při které ještě difúze může probíhat.

Způsob ovlivnění difúze dělí TZ do dvou základních skupin:

- žihání
 - je to způsob TZ, který difúzi spíše podporuje a tedy zvyšuje stabilitu struktury,
- kalení
 - je to způsob TZ, který difúzi podstatně brzdí nebo ji úplně zamezuje, tedy snižuje stabilitu struktury. Nestabilita struktury je zpravidla tím větší, čím větší je rychlost ochlazování.

3.2 Žíhání

Jeho postatou je rovnoměrný ohřev součásti na teplotu žíhání (ta je pro různé způsoby i materiály jiná), výdrž na této teplotě po určitou dobu a obvykle pomalé ochlazování.

Žíhání se dělí podle druhu žíhaného materiálu do tří skupin:

- žíhání ocelí,
- žíhání litin,
- žíhání neželezných kovů.

Bakalářská práce je zaměřena především na TZ ocelí.

3.2.1 Žíhání ocelí

Oceli lze žíhat:

- bez překrystalizace, zde teplota žíhání prakticky nepřekročí překrystalizační teplotu A_{c1} , patří sem například – žíhání na měkko, protivločkové, rekrystalizační, ke snížení pnutí, k odstranění křehkosti po moření, ke stabilizaci rozměrů,
- s překrystalizací, kde teplota žíhání překročí teplotu A_{c1} , A_{c3} nebo A_{cm} , patří sem například – žíhání homogenizační, ke zvětšení zrna, normalizační, stabilizační, izotermické,
- kombinovaně.

Žíhání rekrystalizační

Slouží k odstranění deformovaných zrn a zpevnění, které je způsobeno tvářením za studena. Současně vznikají nová zrna bez znaků předchozí deformace a dochází k obnovení schopnosti plastické deformace.

Používá se jako mezioperační žíhání během tváření za studena, obvykle u ocelí s nízkým obsahem uhlíku. Je to ohřev nad rekrystalizační teplotu (550 – 700 °C), výdrž na této teplotě (od desítek sekund až po 1 i více hodin v závislosti na zpracovávaném polotovaru a technologickém zařízení) a následné ochlazování, u něhož rychlost není rozhodující.

Teplota rekrystalizačního žíhání se volí v závislosti na stupni předchozí deformace a na původní a požadované velikosti zrna. Platí, že čím větší je stupeň deformace, tím nižší je rekrystalizační teplota. Žíhá se zpravidla v ochranné atmosféře, aby nedošlo k oxidaci povrchu.

Při rekrystalizaci jde o obnovení deformovaných zrn beze změny krystalografické mřížky.

Žíhání ke snížení zbytkového napětí

Používá se ke snížení zbytkových napětí, která vznikají v součástech po svařování, po obrábění, po tváření za tepla, apod. Po ohřevu na teplotu 500 až 650 °C a výdrži na této teplotě (1 až 10 hod podle velikosti a tvaru součásti) následuje pomalé ochlazování v peci až do teplot 250 až 300 °C, pak dochlazení na vzduchu. Vzhledem k požadavku rovnoměrného ohřevu je účelné používat pro toto žíhání pece s nucenou cirkulací atmosféry.

Žihání na měkko

Používá se především u nástrojových ocelí a u některých konstrukčních legovaných ocelí. Cílem je dosažení nejnižší možné tvrdosti a struktury s převážně globulárními karbidy. Žihání podle tohoto postupu spočívá v ohřevu na teplotu těsně pod Ac_1 , v dlouhodobé výdrži na této teplotě (2 až 8 hod i více dle druhu oceli) a v pomalém ochlazování v peci na teploty v rozmezí 450 až 550 °C s rychlostí ochlazování zpravidla menší než 50 °C · h⁻¹. Z této teploty se pak ochlazuje na vzduchu, není-li požadavek na snížení zbytkového napětí.

Žihání normalizační

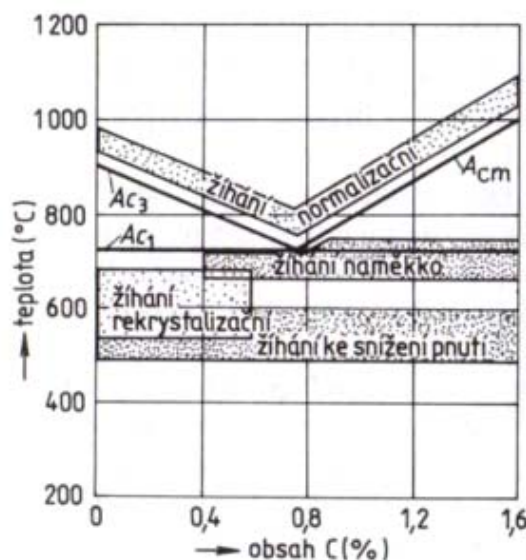
Zde dochází k překrystalizaci. Materiál se ohřeje na teplotu o 30 až 50 °C vyšší než Ac_3 popř. A_{cm} a po výdrži na této teplotě se dosáhne homogenního austenitu. Poté následuje ochlazování na klidném vzduchu. Výsledkem je poměrně jemnozrnná struktura s vyšší pevností. U tenkých součástí někdy může vzniknout ve struktuře i bainit, popř. částečně i martenzit.

Normalizačním žiháním se odstraní nerovnoměrnosti struktury vzniklé předchozím tvářením za studena nebo litím. Normalizační žihání se používá velmi často, a to například u výkovků a odlitků. Protože ochlazování na vzduchu vede většinou ke vzniku zbytkových napětí (což je nežádoucí zejména u složitějších výkovků a odlitků), provádí se rychlé ochlazování na vzduchu jen v oblasti rozpadu austenitu, tj. asi do 650 °C. Další ochlazování probíhá již pomalu v peci.

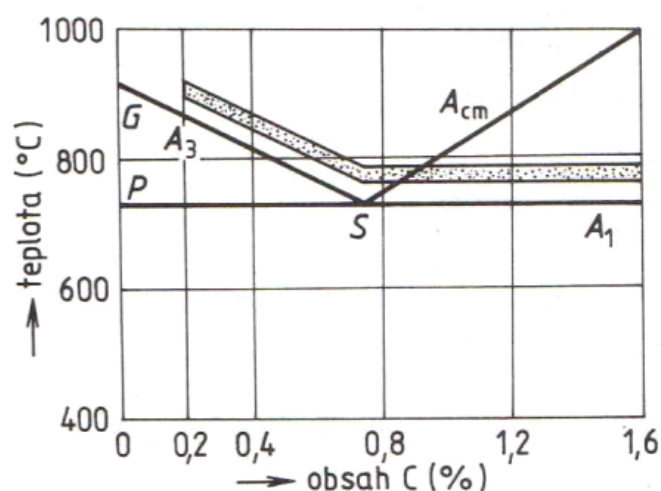
3.3 Kalení

Úkolem kalení je zvýšit tvrdost oceli. Tvrdost závisí na obsahu uhlíku v oceli. Dobře kalitelné jsou oceli s obsahem uhlíku od 0,35 % C.

Jedná se o ohřev součástí na kalicí teplotu nad Ac_3 , popř. Ac_1 (viz obr. 3.3), výdrž na této teplotě a ochlazování kritickou rychlostí. Tím dojde k potlačení vzniku feritu a perlitu. Zachovaný nestabilní austenit se při teplotách pod 500 °C přemění na bainit nebo martenzit. Takže kalicí teplota musí ležet nad překrystalizačními teplotami oceli, aby struktura před kalením byla u podeutektoidních ocelí homogenním austenitem a u ocelí nadeutektoidních směsí austenitu a cementitu. Správné kalicí teploty se volí 30 až 50 °C nad Ac_3 u ocelí podeutektoidních nebo nad Ac_1 u ocelí nadeutektoidních.



Obr. 3.2 Oblasti žihacích teplot v rovnovážném diagramu Fe-Fe₃C pro nejčastěji používané žihací způsoby²



Obr. 3.3 Oblasti vhodných kalicích teplot
v diagramu Fe-Fe₃C²

3.3.1 Kalitelnost, prokalitelnost

Kalitelnost je schopnost oceli dosáhnout kalením zvýšení tvrdosti. Nejvyšší dosažitelná tvrdost oceli po kalení je závislá především na obsahu uhlíku.

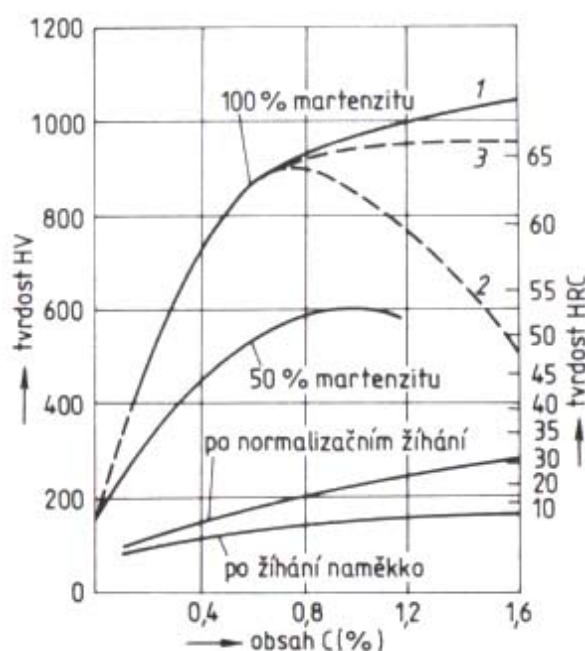
Tvrdost základního materiálu souvisí s nutností předehřevu. U svařovaných konstrukcí se musí zhodnotit postup tepla a teplotní cyklus při vlastním svařování.

Na obrázku 3.4 je vidět průběh dosažitelné tvrdosti v závislosti na obsahu uhlíku. A to pro strukturu čistě martenzitickou i pro strukturu, která obsahuje 50 % martenzitu (to znamená, že se přeměnilo 50 % austenitu na martenzit, ostatní struktura je zbytkový austenit a produkty difúzního rozpadu, jako bainit, popř. jemný perlit).

V praxi se považuje ocel s 50 % martenzitu ve středu součásti ještě za zakalenou, a to zejména u konstrukčních ocelí.

Z tohoto obrázku je patrné, že při nízkém obsahu uhlíku se nedosáhne vysoké tvrdosti. Teprve nelegované oceli, které obsahují více než 0,35 % C jsou dobře kalitelné a méně než 0,2 % C jsou nekalitelné. U legovaných ocelí je hranice obsahu uhlíku posunuta k nižším hodnotám. Zvyšuje-li se obsah uhlíku nad eutektoidní obsah (nad 0,8 % C), tvrdost martenzitu již mnoho nestoupá.

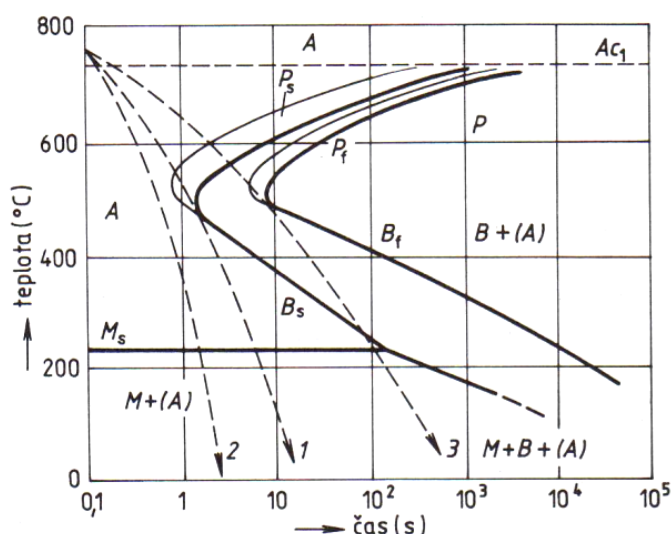
Nejvyšší tvrdost martenzitu bývá 950 HV nebo 66 HRC. Ostatní prvky mají na tvrdost po kalení jen nepatrný vliv. Pouze prvky karbidotvorné (Cr, W, atd.) mohou mírně přispívat ke zvýšení tvrdosti.



Obr. 3.4 Tvrdost nelegovaných ocelí ve stavu kaleném a žíhaném v závislosti na obsahu uhlíku ²

- 1 – maximální teoretické hodnoty tvrdosti po kalení
- 2 – po kalení z teploty nad A_{cm} (martenzit a zbytkový austenit)
- 3 – po kalení z teploty nad Ac_1

Prokalitelnost je schopnost oceli zakalit se do určité hloubky pod povrchem při 50 % martenzitu ve struktuře. Prokalitelnost závisí především na tvaru diagramu ARA (viz obr. 3.5). Čím bude inkubační doba delší, tj. křivky P_s a B_s více vpravo, tím se dosáhne větší hloubky zakalené vrstvy při stejné rychlosti ochlazování. Je to proto, že rychlost ochlazování předmětu na jeho povrchu je dána kalicím prostředím, a také tím, jak rychle je schopno odnímat teplo z povrchu. Naproti tomu rychlosti ochlazování uvnitř průřezu v určitých vzdálenostech od povrchu jsou dány tepelnou vodivostí oceli a teplotním rozdílem mezi povrchem a daným místem.

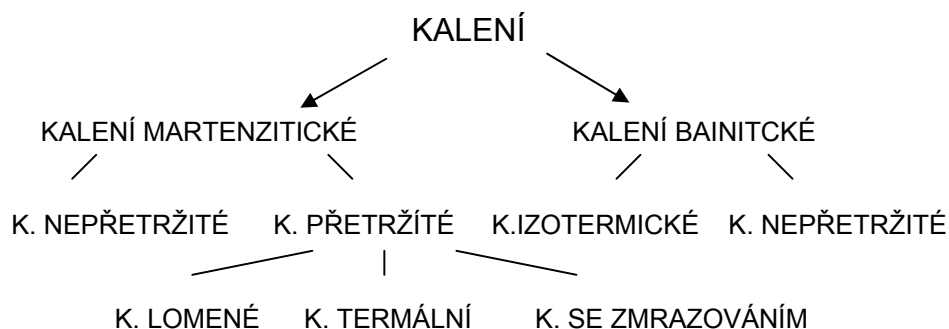


Obr. 3.5 Diagram ARA pro eutektoidní ocel se zakresleným diagramem IRA (tenké čáry) ²

3.3.2 Způsoby kalení

Kalení se dělí do dvou základních skupin:

- kalení martenzitické,
- kalení bainitické.



Obr. 3.6 Přehled způsobů kalení ²

3.4 Chemicko–tepelné zpracování

Při chemicko–tepelném zpracování (dále jen CHTZ) se provádí sycení povrchu součástí různými prvky, aby bylo dosaženo požadovaných vlastností, např. žáruvzdornost, korozivzdornost, odolnost proti opotřebení atd. Sytí se většinou nízkouhíkaté oceli, které vzhledem k nízkému obsahu chemických prvků nelze tepelně zpracovávat.

3.4.1 Cementování

Je to jeden z nejpoužívanějších způsobů CHTZ. Jedná se o sycení povrchu uhlíkem difúzí. Provádí se u nízkouhíkatých ocelí s obsahem uhlíku do 0,35 %. Malý obsah uhlíku je příčinou malé tvrdosti a nekalitelnosti oceli.

Cementování probíhá při teplotách od cca 850 až 950 °C. Čím vyšší teplota, tím je cementace rychlejší a dosáhne se vyšší cementační hloubky. Všeobecně se cementuje až do hloubky 1,5 mm. Povrch ocelového předmětu z měkké oceli je sycen uhlíkem při teplotách nad A_{c3} (pouze austenit v sobě rozpouští uhlík) na obsah uhlíku od 0,7 do 0,9 % C. Cementování se provádí ve třech pracovních postupech: cementování – kalení – popouštění.

Oceli vhodné pro cementování: 12 010, 12 020, 14 120, 14 220, 15 124, 16 220, 16 520.

3.4.2 Nitridování

Zde se provádí sycení povrchu oceli dusíkem ke zvýšení tvrdosti. Tím vznikají velmi tvrdé nitridy. Přijímání dusíku se děje při zahřívání součástí na teplotu asi 500 – 600 °C v plynném prostředí nebo v kapalných solných lázních.

Nitridování je velmi pomalé a jeho vrstva je poměrně tenká (max. 0,5 mm), ale vyznačuje se vysokou tvrdostí a nejlepšími otěruvzdornými vlastnostmi. Je odolná do teploty 500 °C a odolná též proti otěru, korozi a zvětšuje únavovou pevnost.

Pro části, u kterých dochází k velkým plošným tlakům není nitridování vhodné. Hloubka nitridační vrstvy roste s dobou nitridace a činí asi 0,1 až 0,5 mm (0,1 mm/10 – 12hod). Jako nitridační oceli se používají oceli legované hliníkem, chromem nebo vanadem, protože tyto legovací přísady ulehčují pronikání atomárního dusíku.

Oceli pro nitridování: 14 340, 15 230, 15 330, 15 340.

3.4.3 Nitrocementování

Jedná se o sycení povrchu dusíkem a uhlíkem současně. Nitrocementuje se v kyanidových solných lázních při teplotách 750 až 850 °C nebo v plynné cementační atmosféře s přísadou amoniaku při teplotách 800 až 880 °C. Za vyšších teplot probíhá sycení uhlíkem.

Další způsoby CHTZ jsou:

- alitování – sycení povrchu hliníkem,
- inchromování – sycení povrchu chromem,
- šeradování – sycení povrchu zinkem,
- křemíkování – sycení povrchu křemíkem.

4 TEPLO

Teplu je druh energie. Jedná se o kinetickou energii pohybu molekul. Má stejnou jednotku jako mechanická energie, tj. $1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$. Pod názvem elektrické teplo se rozumí teplo získané elektrickými prostředky.

Základní veličinou je teplota. Jednotkou teploty je K (kelvin). Současně se také používá Celsiův stupeň, který je rozměrově stejný, avšak $0^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K}$. 0 K je takzvaná absolutní nula, při které ustává pohyb molekul.

4.1 Joulův-Lenzův zákon

Je základem tepelných výpočtů v elektrotechnice. I nejlepší vodiče kladou elektrickému proudu odpor R . Průchodem proudu se vodič zahřívá a část elektrické energie se mění na teplo. Velikost tepelných ztrát Q závisí nejen na odporu vodiče, ale především na druhé mocnině procházejícího proudu (dvakrát větší proud způsobí čtyřikrát větší ztráty).

Joulův-Lenzův zákon ⁴ :

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t \quad [\text{J}] \quad (4.1)$$

4.2 Šíření tepla

Teplu se šíří z teplejšího prostředí do chladnějšího prostředím třemi způsoby:

- vedením (kondukcí),
- prouděním (konvekcí),
- sáláním (radiací).

Vedení (konduktce)

Vedení tepla se vyskytuje u pevných látek a jedná se o tzv. prostup tepla.

Proudění (konvektce)

Proudění tepla nastává tehdy, když prostředím přenášející teplo je plyn nebo kapalina a prostředím přivádějícím teplo je tuhé těleso nebo naopak. Teplo se přenáší prostřednictvím pohybujících se částic plynu nebo kapalin. Pohyb částic může být přirozený, tj. nestejnoměrným rozdělením v kapalině nebo plynu, popř. nucený, tj. zrychluje-li se pohyb částic čerpadlem nebo ventilátorem. Jako příklad lze uvést přenos tepla v elektrické odporové peci z roztopených stěn nebo rezistorů na vsázku prouděním plynného prostředí.

Sálání (radiace)

Těleso, jehož teplota je vyšší než 0 K, vyzařuje (sálá) všemi směry infračervené paprsky s vlnovou délkou $\lambda = 750$ až $10\,000 \text{ nm}$ a paprsky s vlnovou délkou $\lambda = 10\,000$ až $1\,000\,000 \text{ nm}$ (tzv. tepelné). Pro sálání platí tytéž zákony jako pro světelné záření.

Zpravidla se šíří všemi těmito způsoby současně, ale některý z nich může převládat.

4.3 Rozdělení ohřevů

4.3.1 Odporový ohřev

Zde je ohříváný předmět zahříván průtokem proudu elektricky izolovaným odporovým drátem, který je jednostranně tepelně izolován vláknitou izolační hmotou. Vlastní odporový drát je umístěn do keramických elektricko–izolačních tvarovek a sestaven do těles různých velikostí a výkonů. Teplo se na tento předmět přenáší sáláním z pásu a uvnitř ohřívaneho materiálu je rozváděno kondukcí. Tento způsob je velmi vhodný pro předehřev a žíhání svarů. Jeho nevýhodou je relativně dlouhá doba potřebná k dosažení rovnoměrného ohřevu součástí.

Elektrický příkon $P = R \cdot I^2$ se přitom mění v teplo (Joulovo-Lenzovo).

Na materiály používané pro výrobu topných rezistorů jsou kladeny tyto požadavky:

- velká rezistivita,
- malý teplotní součinitel odporu,
- vysoký bod tavení,
- odolnost proti oxidaci,
- dobrá zpracovatelnost.

Použití: v domácnosti – žehličky, elektrické sporáky, rychlovarné konvice, fény, atd., v průmyslu – odporové pece.

Odporové pece

Odporové pece se používají k:

- sušení vinutí elektrických strojů a celých elektrických strojů (asi do teploty 250 °C),
- tepelnému zpracování kovů, např. žíhání, kalení, popouštění (asi do teploty 1050 °C),
- tavení kovů s nižším bodem tání,
- smaltování,
- sterilizace ve zdravotnictví.

4.3.2 Indukční ohřev

Zde vyzařuje induktor, kterým protéká střídavý proud, elektromagnetické vlnění, které v ohřívané součásti indukuje vířivé proudy, a ty ohřívají materiál. Teplo se v materiálu nevyvíjí rovnoměrně. Nejvíce tepla je u povrchu součásti a do hloubky se postupně jeho intenzita nelineárně zmenšuje. Tento efekt je tím větší, čím větší je kmitočet, kterým je induktor napájen.

Ohřevy indukovanými proudy se dělí podle použitého kmitočtu na:

- nízkofrekvenční ohřev,
- středofrekvenční ohřev,
- vysokofrekvenční ohřev.

Nízkofrekvenční ohřev

Kmitočet je 50 Hz. Jedná se o transformátor se závitem nakrátko, který je proveden jako kanálek nebo žlábek ze šamotu. Proudění se indukují do vsázky. Ohřev je od Joulova tepla. Pec s nízkofrekvenčním ohřevem má železné jádro a používá se nejen k tavení neželezných kovů s lící teplotou pod 1450 °C, ale i k tavení litiny a oceli. Z těchto pecí se nevylévá všechnen kov, ale nechává se v nich tekutý závit nakrátko, tzv. hnízdo. Tavenina se dobře mísí vlivem tepavého elektromagnetického pole.

Středofrekvenční ohřev

Kmitočet je 500 až 3000 Hz. Vsázkou jsou železné i neželezné kovy. Vsázka se ohřívá vířivými proudy a u železné vsázky navíc ještě hysterezními ztrátami. Pec je bez železného jádra, kelímková a používá se i pro nízký kmitočet. Zvláštním provedením je pec se železným kelímkem, u které se teplo vyvíjí ve stěně kelímku. Používá se k tavení hořčíku. Účinnost pece je velmi malá.

Vysokofrekvenční ohřev

Kmitočet je až 500 000 Hz. Hustota proudů indukovaných do vloženého kovového předmětu ubývá se vzdáleností od povrchu. Pro tavící účely se volí nižší kmitočet, pro povrchové kalení vyšší kmitočet. Je vhodný pro kalení.

4.4 Rozdělení materiálů dle elektrického odporu

Vyšší odpor mají slitiny, a to tuhé roztoky. Odporové slitiny se dají rozdělit do tří skupin:

- přesné odpory,
- odpory pro funkční použití,
- topné odporové materiály.

Přesné odpory – pro měření a regulaci.

Pro přesné odpory, které se užívají v měřicí technice, se požadují co nejvyšší hodnoty měrného elektrického odporu a co nejnižší hodnoty teplotního součinitele elektrického odporu. Pro změnu odporu s teplotou obecně platí, že relativní teplotní součinitel elektrického odporu je tím menší, čím vyšší je elektrický odpor materiálu.

Odpory pro funkční použití

Molybden a wolfram se v elektrotechnice často používají jako konstrukční nebo funkční materiály. Oba prvky patří do skupiny materiálů, které mohou být za nízkých teplot zařazeny do materiálů vodivých a za vysokých teplot mezi materiály odporové. Pro elektrotechniku se užívají nejčastěji ve formě pásek a drátů. Tvářením za studena se u nich zvyšuje elektrický odpor, ale teplotní součinitel elektrického odporu klesá.

Topné odporové materiály

Vhodný materiál pro topné odpory má mít poměrně vysoký měrný elektrický odpor a měrné povrchové zatížení. Musí být schopen pracovat i při nejvyšších teplotách a zachovat při nich dobrou pevnost i odolnost proti oxidaci.

Z neželezných kovů je nejznámějším odporovým materiálem slitina Ni–Cr s 20 % Cr. V soustavě Ni–Cr se měrný elektrický odpor se stoupajícím obsahem chromu zvětšuje, Curieův bod klesá, stejně jako klesá i měrná hmotnost. Mřížková konstanta se zvětšuje s rostoucím obsahem chromu. TZ, zejména při 400 °C, u vybraných slitin odpor zvyšuje následkem nerovnoměrného rozložení atomů složek v tuhém roztoku.

Nejlepšími odporovými slitinami na bázi železa jsou slitiny typu Fe–Cr–Al, které se vyrábí pod různým označením. Nejznámější jsou megapyr, kantál, apod., u nás aluterm. Běžné slitiny mají obsah 20 % Cr, 5 % Al a zbytek Fe. Větší obsah hliníku způsobuje i zvýšení měrného elektrického odporu. Výhoda těchto slitin je v odolnosti proti oxidaci, která je zajištěna vyloučením oxidu hliníkového (Al_2O_3) na povrchu materiálu ($T_{\text{TAV Al}} = 2050 \text{ °C}$). Druhý typ slitiny má vyšší obsah chromu (25 %) při stejném obsahu hliníku. Mívá přísadu Cu (3 %). Měrný elektrický odpor i maximální teploty slitiny jsou vyšší, avšak obtížně se zpracovává. Proti slitinám Ni–Cr je výhodou i nižší měrná hmotnost. Společnou nevýhodou všech slitin typu Fe–Cr–Al je poměrně nízká pevnost za tepla, což omezuje použití nebo nutí speciálně řešit konstrukce a podložky topných článků.

Nejpoužívanější materiály pro výrobu topných rezistorů:

- do 350 °C – slitiny Cu–Ni (nikelin, konstantan),
- do 800 °C – chromová litina, křemíková litina,
- do 1350 °C – slitina: Fe–Cr–Mn, Fe–Cr–Al (kanthal, chromal), Fe–Cr–Co, Ni–Cr 80/20,
- nad 1350 °C – kovy: Pt, Mo, W.

5 ODPOROVÉ ŽIHÁNÍ

Tepelné zpracování odporové: – odporový předeheřev,
– odporové žihání,
– odporový dohřev.

Odporová metoda

Jedná se o přenos tepla z odporového drátu, který se průchodem proudu ohřívá a následně se ohřeje i keramické díly. Dochází k tepelnému nahřívání samotného materiálu sáláním či dotykem. Odporový drát bývá umístěn nejčastěji do keramických dílů, aby se zabránilo zkratování odporového drátu s materiálem.

5.1 Příklady tepelného zpracování společností Thermoproze-ss a Weldom

5.1.1 Thermoproze

Společnost Thermoproze má úspěch ve speciální oblasti TZ více než dvacet let.

Vyrábí vybavení pro lokální TZ – zvláště užívané na stavbách a stacionární pece pro TZ.

Tepelné zpracování velkých součástí v místě výroby prostřednictvím vysoko rychlostních hořáků

Velikost jednotlivých dílů v moderních továrních a lodních stavbách vede stále více k uvědomění si, že je není možné nadále tepelně zpracovávat tradičními metodami a vybavením. Zařízení na TZ je nemobilní a často příliš malé na to, aby bylo vhodné pro zpracování velkých součástí. Navíc mohou být komponenty tak velké a těžké, že doprava k tepelnému zařízení je nepohodlná a extrémně nákladná.

Mnoho ocelí vyžaduje TZ po svařování, které může být uskutečněno pouze na místě stavby. Použití nemobilních (pevně umístěných) zařízení je proto v takovýchto případech zcela nepraktické.

Proto se nabízejí dvě alternativní řešení:

- obtočení samotných komponentů na pec přímo na místě stavby tím, že bude izolován jejich vnější povrch a zavedena dovnitř tepelná energie, která je třeba pro TZ,
- stavba dočasných pecí nízké hmotnosti, konstrukce okolo komponent v místě stavby.

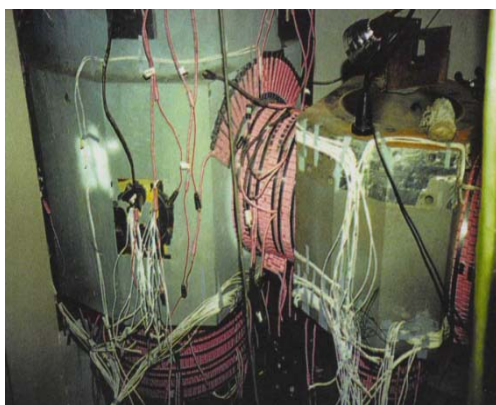
Na obrázku 5.1 se provádí TZ pro snížení zbytkového napětí obvodového svaru (průměr 1450 mm, 40/25 tloušťka stěn, materiál: žárupevná ocel 15 NiCoMo Nb 5) HP předehřivačem v jaderné elektrárně.



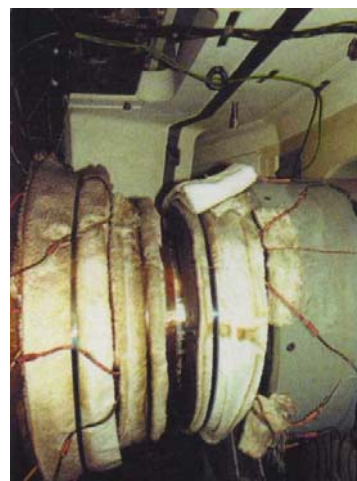
Obr. 5.1 TZ obvodového svaru (viz příloha 1)

Na obrázku 5.2 je vyobrazen proces TZ ke snížení zbytkového napětí na svaru ventilu a potrubí spojené k ventilové stanici.

Předehřev hlavního chladicího potrubí napojeného k reaktoru autoklávu, po kterém má následovat svařování je zobrazen na obrázku 5.3.



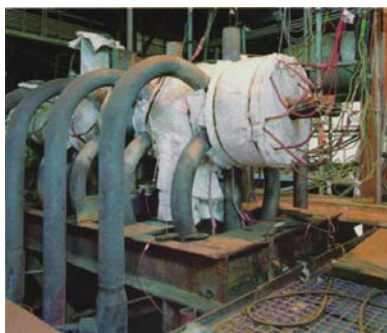
Obr. 5.2 TZ na svaru ventilu a potrubí (viz příloha 2)



Obr. 5.3 Předehřev chladicího potrubí před svařováním (viz příloha 2)

TZ pro snížení zbytkového napětí výchozí trubky ohřívače během revize v uhelné elektrárně (viz obr 5.4).

Na obrázku 5.5 je TZ pro snížení zbytkového napětí opravného svaru na HP turbíny.



Obr. 5.4 TZ trubky ohřívače v uhelné elektrárně (viz příloha 3)



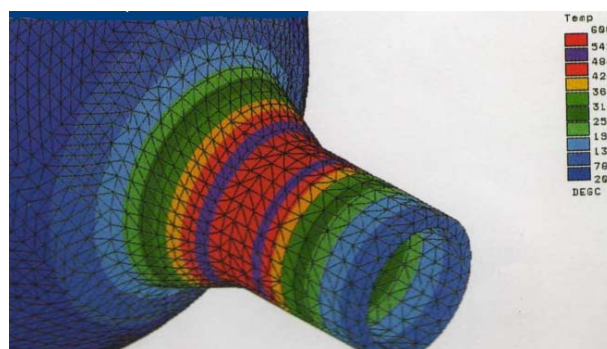
Obr. 5.5 TZ opravného svaru na rotoru (viz příloha 3)

Na obrázku 5.6 lze vidět předehřívání a snižování zbytkového napětí TZ hlavního chladicího potrubí v továrně pro konečnou montáž v 1,3 MW jaderné elektrárně.

Tepelná analýza pro TZ vyobrazuje spojování potrubí k přívodové trysce na kulatém konci HP předehříváče na obrázku 5.7.



Obr. 5.6 Předehřev, TZ chladicího potrubí v jaderné elektrárně (viz příloha 2)



Obr. 5.7 FE řešení spojování potrubí k přívodové trysce (viz příloha 4)

5.1.2 Weldotherm G. M. B. H. Essen

Kontejnerové jednotky na tepelné zpracování

Všude tam, kde se montují ocelové konstrukce, i ve stále nevyvinutých oblastech, musí být proces TZ proveden. I kdyby tam nebyl žádný zdroj energie.

Zde je jeden příklad:

Stavba potrubí na zemní plyn se často uskutečňuje v extrémních klimatických podmínkách – jak v oblastech tropů, tak v ledových oblastech.

Obtížný, téměř neschůdný terén by s konvenčním vozidlem činil práci ještě těžší. TZ potrubních svarů je tam tedy za běžných podmínek nemožné. Weldotherm navrhl řadu speciálních mobilních a samostatných jednotek TZ, které dobře zvládají práci ve zmíněných podmínkách.

20 – 40 stopé kontejnery, vybavené jednotkou TZ s 24 – 220 kW dle požadavků zákazníka. Jsou dodávány dieselovými generátory s potřebným trojfázovým střídavým proudem. Kontejnery lze rozdělit buď na 2 nebo 3 komory nebo jsou vytvořeny oddělené sekce tak, aby souprava dieselového generátoru a jednotka TZ mohla být nezávisle umístěná.



Obr. 5.8 Mobilní jednotka TZ (viz příloha 5)

Připojení na jednotku TZ je doplněné o dvě připojení na vysoké napětí pro svařovací zařízení. Jsou přístupné z venku a chráněné před chvěním a neoprávněným přístupem.

Jsou možné tři metody dopravy:

- prostřednictvím kontejnerového vozidla pro normální terén,
- dopravní sáně pro měkkou půdu,
- pásové vozidlo.

Množství jednotek TZ Weldothermu, kde je každá vybavená jednotkou TZ s 170 – 192 kW a sáněmi, už byly dodávány se značným úspěchem pro TZ plynových potrubí v Německu.



Obr. 5.9 Práce mobilní kontejnerové jednotky na TZ v terénu (viz příloha 5)



Obr. 5.10 Mobilní jednotka TZ (viz příloha 5)

5.2 Lokální odporové žíhání technologií firmy HeatMasters

Heatmasters Oy je finská společnost, která poskytuje služby zákazníkům v oblasti vysoce výkonných zařízení pro TZ. Navrhuje, vyrábí, prodává a poskytuje servis pro zařízení pro TZ a příslušenství. Vysoce kvalitní výkon a přesné měření teploty jsou podstatné pro práci s TZ.

Tato společnost používá nové technologie programování a vyhodnocování procesů, proto může nabídnout svařovacím technologům úplný přehled nad celým průběhem tepelného procesu.

5.2.1 Mobilní zařízení pro tepelné zpracování

Tato zařízení (viz obr. 5.11) jsou navržena převážně pro použití na stavbách a také pro použití v omezených prostorech. Jsou praktická a snadno přemístitelná.

Při návrhu se využívá nejnovější technologie v zájmu dosažení vysoké kvality TZ.

Inventory

Invertorové tepelné jednotky HeatMasters (viz obr. 5.12) jsou navrženy především pro předehřívání trubkových svarů menších průměrů. Jsou vhodné jak pro indukční, tak pro odporový ohřev.



Obr. 5.11 Mobilní zařízení pro tepelné zpracování ⁶



Obr. 5.12 Předehřívání trubek pomocí invertorových zdrojů ⁶

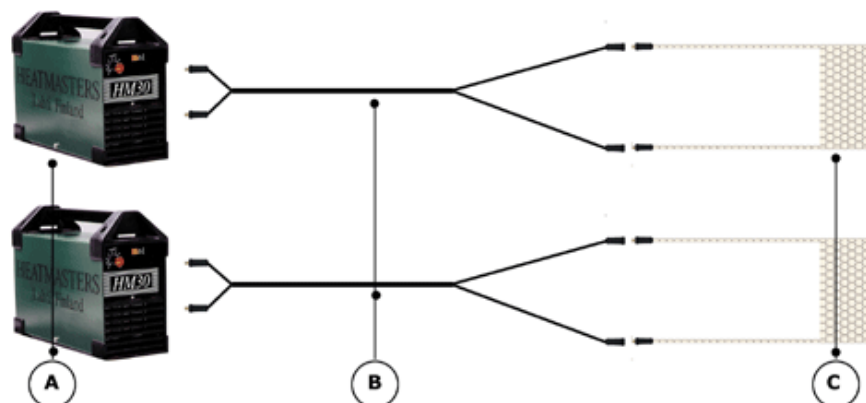
Invertorová předehřívací jednotka HM30

Tato jednotka je určena především pro trubky pro indukční a odporový ohřev. Díky svým rozměrům a nízké hmotnosti je vhodná pro použití v těžce přístupných místech. Je snadné s ní manipulovat a přepravovat ji. HM30 udržuje stálou teplotu trubky při svařování a má manuální krokové nastavení výkonu. Teplota se měří na povrchu externím měřicím zařízením.



Obr. 5.13 Invertorová předehřívací jednotka HM 30 ⁶

HM30 vybavení



Obr. 5.14 Odporové přehřívání se dvěma jednotkami HM30 ⁶

Standardní kombinace zařízení HM30: – A – přehřívací jednotka HM30,
 – B – prodlužovací kabely, L = 2,5 m,
 – C – topný prvek VHVP.

Invertorová přehřívací jednotka HM31

HM31 je určená také hlavně pro trubky. Je řízena vlastním zabudovaným ovladačem a je programována pomocí počítače. Jednotka HM31 má malou hmotnost, takže s ní lze snadno manipulovat a přepravovat ji.

Tepelný proces je naprogramován programem HM20 (viz níže) a vlastní regulátor zabudovaný přímo v zařízení udržuje přesnou tepelnou křivku dle požadavků obsluhy. Po ukončení procesu je ihned možný tisk certifikátu o průběhu tepelného procesu.



Obr. 5.15 Invertorová přehřívací jednotka HM31 ⁶

Programování

Pomocí řídicího systému Heatmasters lze vytvořit a v paměti počítače uložit neomezené množství instrukcí TZ a převést je do jednotek HM31. Když je programování dokončeno, jednotka HM31 provede TZ podle instrukcí, které dostala. Kontrolka HM31 ukazuje, zda během operace nedošlo k nějakým poruchám. Digitální displej na předním panelu ukazuje postup TZ. HM31 lze připojit na sledování z velké dálky.

Tyristorová jednotka HM403T

Tato jednotka HM403T je totožná s tyristorovou jednotkou HM406T jen s tím rozdílem, že HM403T je plně automatická tříkanálová jednotka pro TZ, přehřívání a žíhání kovových předmětů a má tři samostatně programovatelné a sledované kanály pro TZ.

Tyristorová jednotka HM406T

HM406T je plně automatická šestikanálová jednotka pro TZ, předehřívání a žíhání kovových předmětů. Výstupní výkon řídí tyristor, což umožňuje uživateli používat různé velikosti topných prvků. Nastavení, řízení, sledování a dokumentaci parametrů tepelného procesu provádí počítačový řídicí systém HeatMasters Control System. HM406T zajišťuje přesné TZ a snadnou dokumentaci a může být i dálkově ovládána.

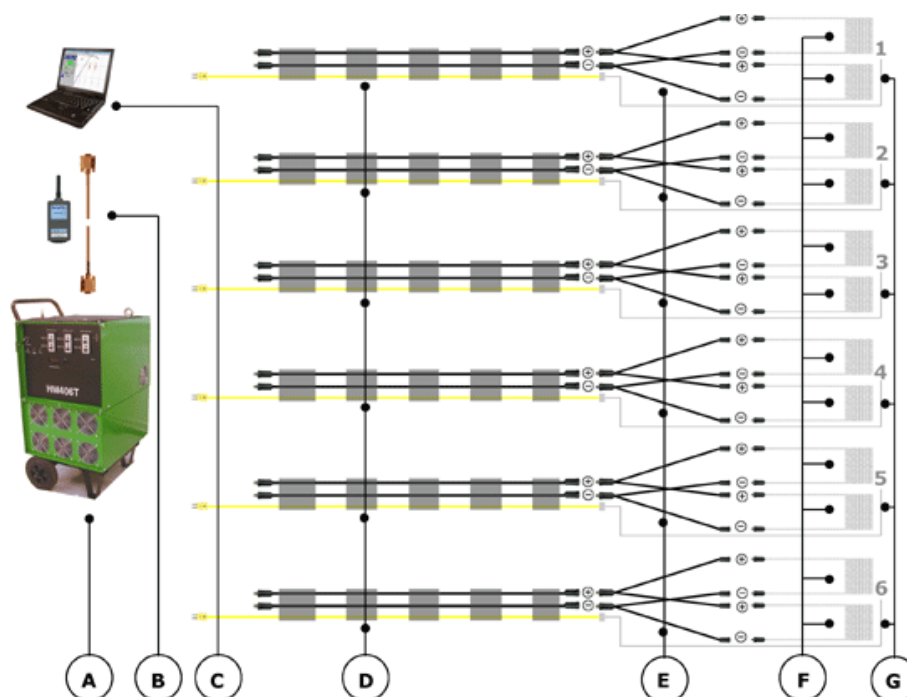
Programování

Parametry TZ se programují v paměti šesti ovladačů jednotky. Ohřev může být zahájen v kterékoli požadované době. HM406T provede naprogramovaný proces TZ podle zadaných instrukcí.

Kapacita

HM406T má šest tepelných kanálů a šest nezávislých programových alternativ. Kontrolky HM406T indikují jakékoli rušení v elektrické síti nebo v topných prvcích a stejně tak i jakákoli jiná rušení během TZ.

HM406T vybavení



Obr. 5.16 Zařízení HM406T ⁶

Standardní kombinace pro zařízení HM406T:

- | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| – A – jednotka HM406T, | – E – rozdělovací kabely, |
| – B – datový kabel PC – HM406T, | – F – odporové prvky, |
| – C – PC, | – G – termočlánek – snímač teploty. |
| – D – prodlužovací kabely, | |

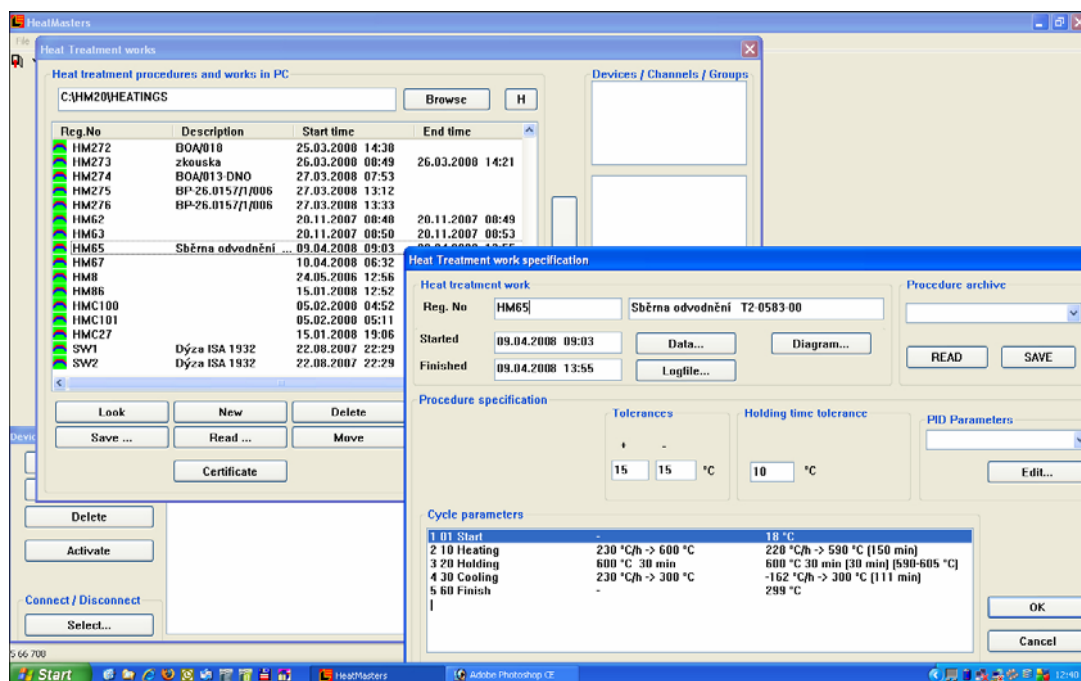
5.2.2 Software HM20

Program HM20 firmy Heatmasters je řídicí program procesů TZ v prostředí softwaru na bázi Windows. Software je navržen pro řízení ovladačů HM-Rigel26. Používání softwaru je snadné a je dostupný v několika jazycích. Dodává se spolu s jednotkou pro TZ na CD.

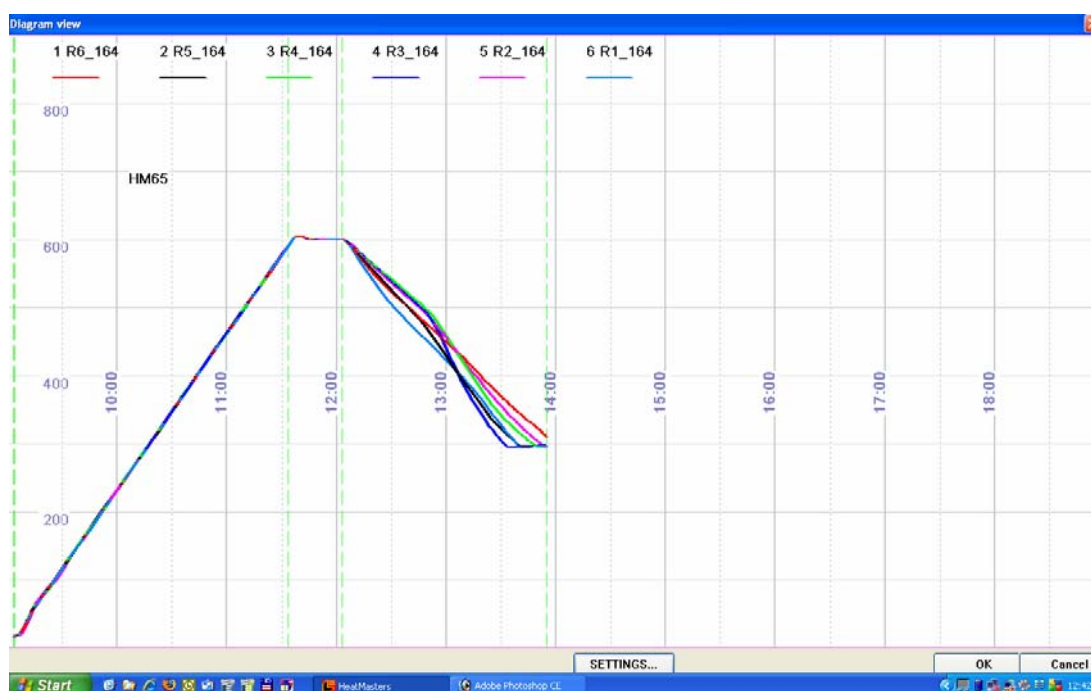
Program HM20 je určen pro kompletní nastavení, sledování a vyhodnocování každého tepelného procesu. Obsluha zařízení si připraví křivku tepelného průběhu a po připojení k zařízení, pomocí kabelu nebo na dálku přes modem, ho nahraje do regulátoru, který je umístěn v zařízení a stará se o dodržování dané tepelné křivky.

V průběhu procesu je možné počítač s programem HM20 odpojit od zařízení a nebo sledovat teplotní křivku, která je aktuálně zobrazována v reálném čase na obrazovce (viz obr. 5.17).

Po ukončení procesu se program využívá k nahrání výsledků zpět do počítače, kde může být doplněn o další informace o procesu a následuje tisk certifikátu, který je dokládán zákazníkovi.



Obr. 5.17 Průběh procesu v PC v reálném čase ⁶

Obr. 5.18 Křivka průběhu tepelného procesu v PC v reálném čase ⁶

5.2.3 Řízení na velkou vzdálenost

Pro větší přehled nad tepelnými procesy je možné každou jednotku připojit na dálku pomocí modemu nebo GSM linky. Tuto funkci často využívají technologové, kteří mají možnost ze své kanceláře kontrolovat všechna zařízení v dílně a sledovat stav každého procesu.

Dosah mezi ohřívací jednotkou a PC s programem HM 20 je až 3 kilometry. Pomocí vysílače, který je připojen k ovladači v zařízení a přijímačem připojenému k PC, je možné sledovat aktuální hodnoty procesu.

GSM linka je využitelná pro sledování procesů kdekoli na světě. Zařízení má v sobě zabudovanou SIM kartu a zasílá obsluze informace o procesu pomocí speciálního kódového hlášení. Obsluha se ihned dozví o každém problému (pokles teploty, překročení teploty, utržení termočlánku nebo závadě na odporovém tělese).

Obr. 5.19 Řízení na velkou vzdálenost ⁶

5.2.4 Topné prvky

Heatmasters vyrábí topné prvky nejen pro své vlastní jednotky ohřevu, ale také pro další výrobce. Velkou část těchto topných prvků vyrábí na zakázku.

TOPNÉ REZISTORY

Topné prvky Heatmasters pro předehtřívání a TZ po svařování jsou navrženy proto, aby bylo zajištěno, že bude pro správný úkol použit správný prvek. Rozsah topných prvků je široký a je tedy snadné vybrat pro použití správný druh prvku.

Konstrukční detaily

Odporový drát používaný v topných deskách je z materiálu Ni–Cr 80/20, který je pro daný úkol nejvhodnější. Materiál drátu používaný na jeho koncích je nikl, který se během TZ nezahřívá. V tepelných prvcích jako jsou typy VLV, VLH, VPE a prvky v pecích je drátem pevný drát Ni–Cr (80/20) ve tvaru spirály.

Koncový drát a odporový drát jsou svařené dohromady tak, aby vytvořily spolehlivý spoj. Krycí keramické díly jsou tvořeny z vysoce kvalitní keramiky oxidu hlinitého. Základní barvy jsou bílá a růžová. Topné prvky, u nichž hrozí nebezpečí zlomení konce, jsou vybavené koncovými podpěrami. Tato konstrukce zajišťuje delší životnost výrobku.

Typy prvků

Tab.5.1 Standartní typy prvků ⁶

Typ	°C max	Aplikace
VHV	1050	Ohřívací rohož, předehtřev a žihání
VHVP	1050	Ohřívací rohož, předehtřev a žihání
VHM	1050	Ohřívací rohož pro trubky Ø 30 - 63 mm
VHK	1050	Pružný rozpěrový ohříváč
VHY	1050	Čepový ohříváč
VLV	800	Kanálový ohříváč
VLH	800	Kanálový ohříváč pro náročné podmínky
VET	450	Pružný předehtříváč, zkracování od konce
VETS	450	Pružný předehtříváč, zkracování ze strany
VETI	450	Pružný předehtříváč, zkracování od konce
VETIS	450	Pružný předehtříváč, zkracování ze strany
VEK	450	Pevný předehtříváč, zkracování od konce
VEKS	450	Pevný předehtříváč
VLE	800	Předehtříváč s izolovaným kanálem
VPE	800	Komorový ohříváč

VYBRANÉ TYPY PRVKŮ

VHV

Ohřívací podložka pro žihání

Ohřívací podložky VHV jsou vhodné pro předeřev, TZ po svařování, atd. Topné články VHV se používají pro ploché nebo kruhové díly.

Konstrukce

Kombinace okrajů s vysokým stupněm keramiky a kroucený kvalitní nízkonapěťový odporový drát (80/20 nikl/chrom) vytváří pružnou ohřívací podložku.

Materiál zakončení všech topných prvků je vyroben z tepelně odolného materiálu, který se během TZ neohřívá.

Data: topný výkon (69 V) 3,4 kW, pracovní teplota 0 – 1050 °C.

VHY

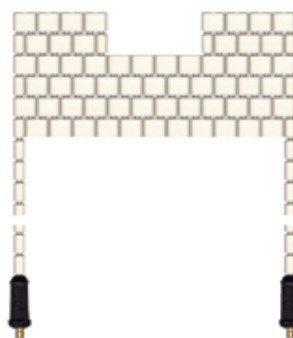
Svorníkový ohříváč

Svorníkový ohříváč VHY se používá pro ohřev svorek a výstupních potrubí před i po svařování. Tvar ohříváče VHY umožňuje připevnit ohříváč v blízkosti (okolo) svaru.

Konstrukce

Kombinace okrajů s vysokým stupněm keramiky a kroucený vysoce kvalitní nízkonapěťový odporový drát (80/20 nikl/chrom) vytváří pružnou ohřívací podložku.

Data: – topný výkon (69 V) 3,0 kW,
– pracovní teplota 0 – 1050 °C.



Obr. 5.20 Typ prvku VHY ⁶

VHK

Pružný rozdělovací ohříváč

Topné podložky VHK jsou vhodné pro předeřev a pro tepelné úpravy po svařování, ohřev při procesu atd. Topné prvky VHK se dají tvarovat ve směru zobrazeném na obrázku a jsou vhodné pro použití na kuželovitých dílech. Typicky se používá ve svarech svorek a výstupních trubek atd.

Data: – průměrný topný výkon 3,0 kW/69 V,
– pracovní teplota 0 – 1050 °C.



Obr. 5.21 Typ prvku VHK ⁶

VEK**Pevný předeříváč**

Izolovaná předeřívací tělesa VEK jsou vhodná pro předeřívání plochých dílů. Používání izolovaného předeříváče je velmi jednoduché. Tepelná izolace je součástí tělesa.

Konstrukce

Rozměrný předeříváč VEK je pro účely předeřívání upevněný v rámu z nerezové oceli s tepelnou izolací keramickými vlákny a minerální vlnou. Topný prvek je vyroben z vysoce kvalitního odporového drátu (80/20 nikl/chrom), který je pokryt keramickými zrnky odolnými vůči vysokým teplotám.

Konektory pro připojení ke zdroji jsou umístěné na konci ohříváče.

Předeříváč VEK stejně tak i prvky typu VET, VLV, VLH, VPE mají dlouhou životnost, protože jejich zakončení mají podpěry.

Data: – průměrný topný výkon 2,5 kW/69 V,
– pracovní teplota 0 – 450 °C.



Obr. 5.22
Typ prvku
VEK⁶

VET**Pružný předeříváč**

Izolované předeříváče VET jsou vhodné pro předeřívání plochých nebo kulatých dílů a snadno se používají. Tepelná izolace je součástí prvku. Pružné nízkonapěťové těleso podložky je vyrobeno z krouceného vysoce kvalitního odporového drátu (80/20 nikl/chrom). Odporový drát je opět pokryt keramickými zrnky odolnými vůči vysoké teplotě. Topná podložka je připevněna na pružnou desku z nerezové oceli. Izolací je keramická tkanina zabalená do sítě z nerezové oceli.

Konektory pro připojení ke zdroji jsou umístěny na konci prvku.

Data: – průměrný topný výkon 3,0 kW/69 V,
– pracovní teplota 0 – 450 °C.



Obr. 5.23
Typ prvku
VET⁶

VLV**Kanálový ohříváč**

Kanálový ohříváč VLV je navržen pro ohřívání před a po svařování při použití běžných zařízení pro TZ. Používá se pro vnitřní ohřev trubek a dalších válcových součástí stejně jako pro vyhřívání dočasných pecí.

Konstrukce

Kombinace spirálového nízkonapětového a vysoce kvalitního odporového drátu a kuliček s vysokým obsahem keramiky je připevněna na žáruvzdorný ocelový rám. Přívodní konce jsou vybaveny konektory umístěnými na konci prvku.

Data: – průměrný topný výkon 3,0 kW/69 V,
– pracovní teplota 800 °C.



Obr. 5.24
Typ prvku
VLV⁶

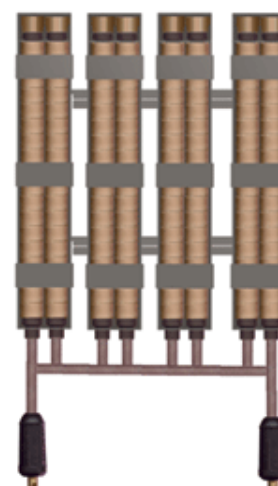
VLH**Kanálový ohříváč pro velké výkony**

Kanálový ohříváč pro velké výkony VLH je navržen pro ohřívání před i po svařování při použití běžných zařízení pro TZ. VLH se přednostně používá se pro předehřev plochých součástí a pro dočasné pece pro TZ, ale je vhodný i pro mnoho dalších aplikací.

Konstrukce

Kombinace spirálového nízkonapětového a vysoce kvalitního odporového drátu a zrněk s vysokým obsahem keramiky je připevněna na žáruvzdorný ocelový rám. Čtyři topné prvky jsou zapojené do série. Přívodní konce jsou vybavené konektory umístěnými na konci tělesa.

Data: – topný výkon 12,0 kW/69 V,
– pracovní teplota 800 °C.



Obr. 5.25 Typ prvku
VLH⁶

VPE**Komorový ohříváč**

Komorový ohříváč VPE je navržen pro předehřev rour a trubek zevnitř při použití normálních zařízení pro TZ.

Konstrukce

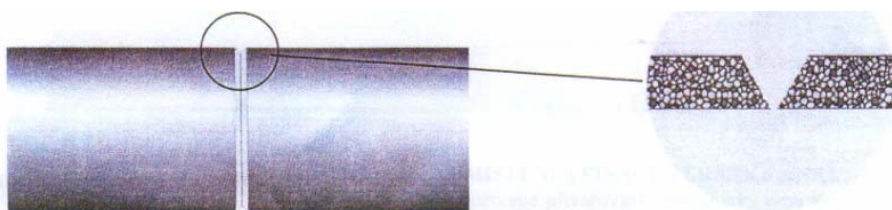
Kombinace spirálového nízkonapěťového a vysoce kvalitního drátu a zrněk s vysokým obsahem keramiky je připevněna na žáruvzdorný ocelový rám. Tři nebo čtyři topné prvky jsou zapojené do série.

Přívodní konce jsou vybavené konektory umístěnými na konci tělesa.

Data: – topný výkon je daný sekundárním napětím 69 V,
– pracovní teplota 800 °C.



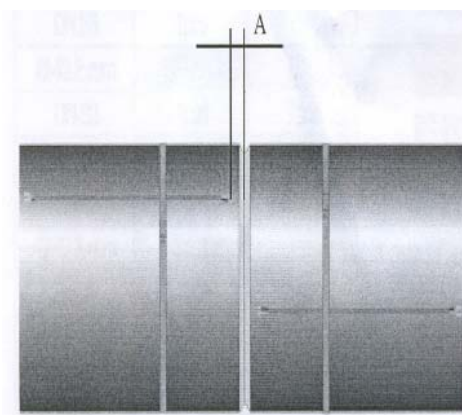
Obr. 5.26 Typ prvku VPE⁶

5.2.5 Instalace topných prvků**INSTALACE TOPNÝCH PRVKŮ PŘI PŘEDEHŘEVU**

Obr. 5.27 Materiál před svařováním⁶

Upevnění topných článků je snadné, provádí se pomocí ocelového pásku nebo magnetických svorek. Upevňovací nástroje jako napínač pásky a tmel se snadno používají.

Nejčastěji se při instalaci topných prvků u předehřívání užívá termočlánek typu K, jako senzor měření teploty. Přivaří se na obě strany svarového spoje pomocí jednotky na připojení termočlátku HM250 (viz níže). Vzdálenost bodu měření od svarového spoje bývá obvykle doporučena vzorcem $A = 4 \times s$, pokud je tloušťka trubky menší než 50 mm. Když je tloušťka trubky větší než 50 mm, pak je vzdálenost vždy $A = 75$ mm.

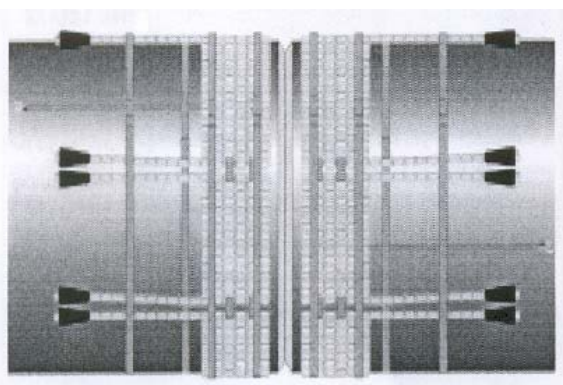
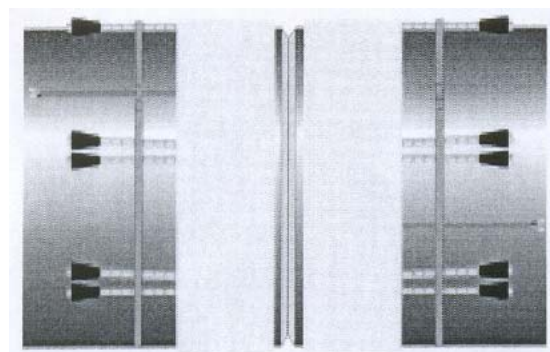
Obr. 5.28 Měřící body ⁶

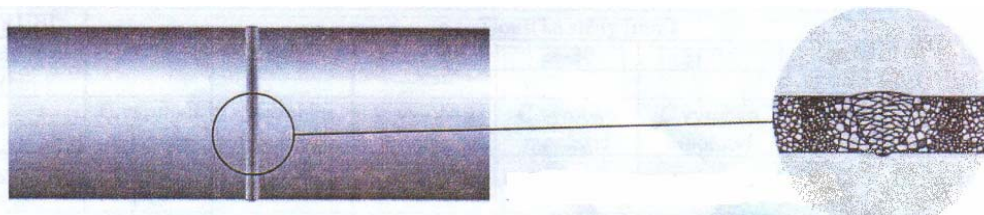
Předeheřivací prvky se zafixují na obou stranách svarového spoje dvěma ocelovými pásky s užitím páskovacího nářadí. K fixování topných článků se zásadně nedoporučuje užívat ocelové dráty, aby nedošlo ke zkratování. Velikost topného článku závisí na průměru a tloušťce potrubí. Mezera mezi dvěma topnými články by neměla být širší, než je tloušťka materiálu.

Topné články by neměli být nikdy umístěny jeden na druhém.

Izolace (viz obr. 5.30) pomáhá snižovat vyzařování tepla a tepelné ztráty. Používají se nejčastěji skleněná vlákna nebo keramická plst.

Jestliže je teplota nižší než 200 °C, používá se dvojitě omotání skleněným vláknem. Pokud je teplota vyšší než 200 °C, užije se buď minerální vlna nebo vrstva keramické plsti mezi dvěma vrstvami skleněného vlákna. Minimální šířka izolace je dvakrát šířka topného článku.

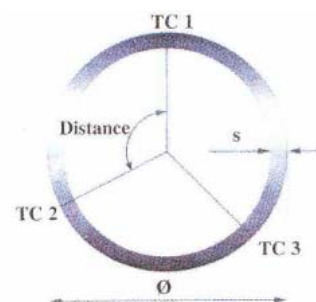
Obr. 5.29 Instalace topného článku ⁶Obr. 5.30 Izolace při předeheřívání ⁶

INSTALACE TOPNÝCH PRVKŮ PŘI ŽÍHÁNÍObr. 5.31 Žíhání přes svar ⁶

Stejně jako u instalace při předehřevu se zde běžně používají přivařovací termočlánky typu K s drátem průměru 2x 0,8 mm. Drát musí být dostatečně dlouhý tak, aby připojení kompenzačního kabelu mohlo být provedeno mimo izolaci. Termočlánek se opět zafixuje pomocí připojovací jednotky termočlánek HM250.

Tab.5.2 Minimální počet termočlánků ⁶

Průměr Ø	Množství	Vzdálenost
< 170	1	
171 < 370	2	180°
371 < 550	3	120°
551 <	4	90°

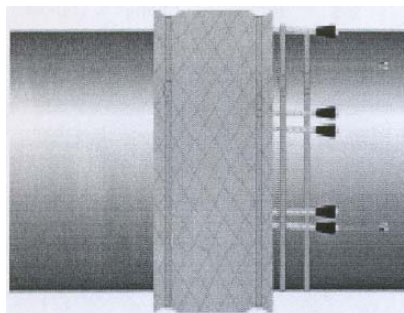
Obr. 5.32 Umístění termočlánků ⁶

Doporučená šířka rezistoru je 10x tloušťka stěny potrubí. Mezera mezi prvky nemusí překračovat tloušťku materiálu. Prvky se opět nikdy neumisťují jeden na druhém.

Rezistory se umisťují tak, aby se svar nacházel uprostřed prvku. K zafixování rezistoru se opět používá ocelová bandáž. Jestliže průměr potrubí překročí 300 mm nebo když je rezistor širší než 180 mm, je třeba užít dva ocelové pásky. Při horizontálním umístění se užívá vždy dvou pásek. Je potřeba vyvarovat se používání ocelového drátu z důvodu nebezpečí zkratu.

K izolaci se zde běžně se užívá minerální vlna. Normální tloušťka izolace z minerální vlny je 50 mm, na těsných místech 30 mm.

Minimální šířka izolace je dvakrát šířka topného článku. Izolace se fixuje z obou stran ocelovou bandáží.

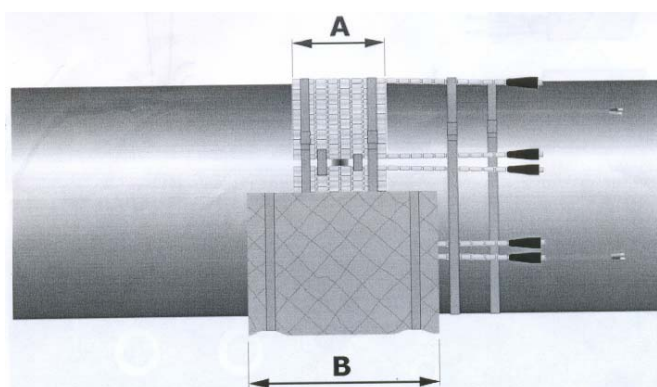
Obr. 5.33 Izolace při žíhání ⁶

Jednotka připojení termočlánu HM250

Tento vylehčený kondenzátorový svařovací přístroj je speciálně navržený pro snadné připojení drátu termočlánu k opracovávanému dílu. HM250 poskytuje rychlé a přesné měření teploty, protože je drát termoprisku přivařen přímo na součást do jakékoli pozice. Maximální tepelný průnik je méně než 0,2 mm. HM250 má vestavěný nabíječ. Zdrojem jednotky je nabíjecí baterie. Jedno plné nabití zajišťuje přibližně 250 svarů.

ZÓNA OHŘEVU A IZOLOVANÁ ZÓNA

Zóna ohřevu	$A = 2,5 \times \sqrt{2\varnothing s}$
Izolovaná zóna	B = 2x zóna ohřevu



Obr. 5.34 Zóna ohřevu a izolovaná zóna ⁶

5.2.6 Izolační materiály

Existují různé izolační materiály, například minerální vlny, tkaniny z křemičitých vláken, potahy z křemičitých vláken. Nejčastěji se užívá speciální vlna SIBRAL.

SIBRAL

Je to volná vlna. Krácená vlákna z hlinitokřemičitých vláken se vyrábí tavením oxidu hlinitého a oxidu křemičitého v elektrické peci a rozvlákněním taveniny rotačním způsobem. Jemné, poměrně dlouhé vlákno (volná vlna), má dobré izolační vlastnosti a odolává teplotám až do 1430 °C. Mechanickým krácením dlouhého vlákna se vyrábí vlákno krácené. Technická izolace Sibal se dodává lubrikovaná či nelubrikovaná.



Obr. 5.35 Izolační materiál - Sibal ⁶

5.3 Odporové žíhací pece

Existují různé druhy odporových pecí. Například stacionární pece, které nelze přemísťovat. Naproti tomu dočasné pece, které se staví okolo objemnějších součástí, které nelze dopravit do pece. Dále například vozové pece či s odklopným víkem.

Elektrické pece na tepelné zpracování oceli (REALISTIC)

Komorové, vozové a šachtové pece se používají k TZ oceli do teploty 1 200 °C (kalení, žíhání, popouštění, předehřevy). Pece jsou izolovány převážně lehčenými nebo vláknitými materiály tak, aby splňovaly požadavky technologie ohřevu i provozu. Při provozních teplotách do 750 °C jsou osazeny ventilátory. Rovnoměrné rozložení teploty a intenzivní předávání tepla do objektů zajišťuje nucená cirkulace vzduchu. Výměnu pecní atmosféry umožňuje soustava přísavacích a odtahových klapek, která může být doplněna ventilátorem k intenzivní výměně vzduchu.

Vozové pece umožňují zakládání hmotných a rozměrných objektů jeřábem na vůz v prostoru před pecí. Pecní vrata se většinou otevírají vzhůru nad pec, a to ručně nebo elektrickým pohonem. Kolmé zavírání zaručuje těsné uzavření pece. Vůz pece má obvykle elektromotorický pohon.

Pecní těleso, které bývá obvykle kruhového průřezu, se při větší pracovní hloubce zapouští pod úroveň podlahy. Víko pece se zdvihá a otáčí do strany ručně nebo hydraulickým válcem. Teplota v peci se měří termoelektrickými teploměry, termistory nebo termostaty a je regulována digitálními mikroprocesorovými přístroji s regulací na nastavenou hodnotu nebo plně programovatelnými regulátory. U větších celků je možná regulace průmyslovým řídicím automatem na bázi PC. Příkon pece je řízen bezkontaktními polovodičovými jednotkami (solid state relé, tyristory). K pecím se dodávají i kalicí vany pro kalení do vody, polymeru nebo oleje.



Obr. 5.36 Elektrická pec ⁷

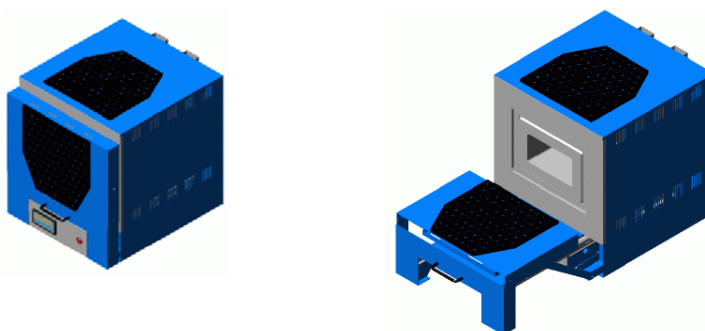


Obr. 5.37 Elektrická pec ⁷

Elektrická komorová pec řady MLF (REALISTIC)

Komorové pece s elektrickým odporovým ohřevem jsou určeny pro laboratorní, výzkumné a vývojové práce, TZ keramiky, skla, kovů či jiných materiálů. Jsou vhodné i pro provádění ověřovacích testů nejen pro strojírenský, sklářský či chemický průmysl, ale nalézají využití i ve zdravotnictví, stomatologických laboratořích či zlatnických dílnách. Pracovní teploty jsou od 900 do 1280 °C.

Teplotní proces bývá řízen programovým PID regulátorem, do kterého lze uložit až 9 teplotních programů a každý tento program může obsahovat až 9 kroků. V každém kroku lze nastavit libovolnou pracovní teplotu a čas. Tím můžeme dosáhnout nastavení ohřívací i ochlazovací křivky, a také časově řízený start pece. S výhodou můžeme regulátorem využít funkci konce cyklu, která po vhodném nastavení aktivuje zabudovanou akustickou sirénku při ukončení libovolně zvoleného kroku. Případné chybové a poruchové stavy jsou indikovány na LED displeji.



Obr. 5.38 Elektrická komorová pec řady MLF ⁷

Vozokomorové pece s nucenou cirkulací VNKC (LAC)

Jsou vhodné pro všechny typy TZ při nižších teplotách, kde je kladen důraz na rychlý a současně rovnoměrný ohřev v celém objemu, průchodem horkého vzduchu.

Používá se pro maximální teploty 450 °C/650 °C /850 °C. Vnější plášť je pro lepší odvětrávání tvořen „U“ plechy. Mufle je zhotovena z nerezové oceli, což způsobuje vysokou mechanickou odolnost a dlouhou životnost. Dveře se otvírají nahoru pomocí hydraulických válců. Oběhová vložka zaručuje optimální rozvod cirkulujícího vzduchu. Vůz je poháněn ručně, od velikosti VNKC 2000 je poháněn elektricky. Větrací klapka je také ovládána ručně. Jako izolace se používají minerální vlákna, která zaručují nízké provozní náklady. Pec obsahuje programovatelný PID regulátor INDUSTRY. Pro přesnější regulaci, plynulé a tiché spínání a vyšší životnost má pec polovodičové bezkontaktní spínací relé.



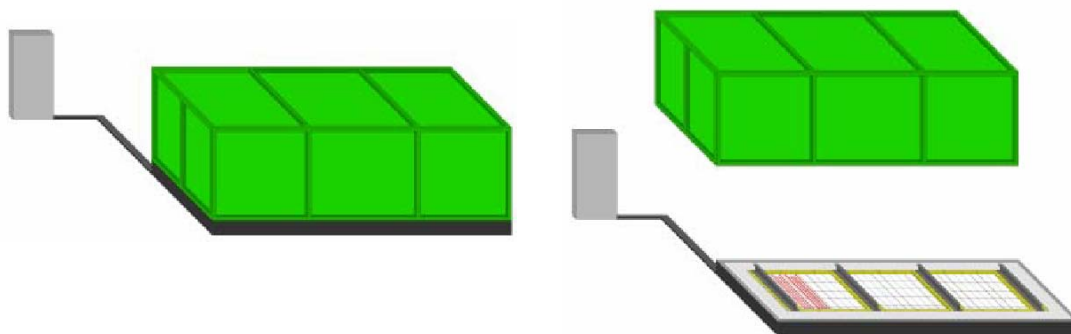
Obr. 5.39 Vozokomorová pec VNKC (viz příloha 6)

Elektrická odporová pec s odnímatelným horním krytem (HEATMASTERS)**Konstrukce odporové žihací pece**

Spodní část pece je ocelová konstrukce z nosníků ve tvaru C, které jsou dohromady spojeny šrouby. Izolace a čepy pro podepření nosníků jsou z cihel. Topné prvky ve spodní části jsou umístěny mezi čepy. Silové kabely od topných prvků i kompenzační kabely jsou do řídicí kabiny vedeny kabelovým kanálem uvnitř nosníku.

Horní část pece je izolovaná ocelová konstrukce. Tloušťka izolace z keramických vláken je 300 mm. Horní část je projektována pro zdvihání jeřábem. Pokud je kryt vyzdvihnutý na stranu, naložení i vyložení výrobku je velmi snadné, podobně jako vyčištění spodní části.

Řídicí kabina musí být umístěna v blízkosti pece. V řídicím boxu se nachází hlavní vypínač, operační spínače, kontrolky, pojistky, stykače a ovladače s příslušenstvím.



Obr. 5.40 Zavřená pec a otevřená pec pomocí jeřábu ⁶

Řízení procesu

Regulace, sledování a měření teploty se provádí řídicím systémem HeatMasters' Control System. Pec je rozdělena na tři topné sekce, které řídí ovladač HM–Rigel26. To zaručuje rovnoměrnou teplotu v peci a bere v úvahu různé tloušťky materiálu ohříváných objektů. Tři měřící body jsou připojeny na objekt.

HeatMasters' Control System se skládá z řídicího softwaru HM20 a ovladačů HM–Rigel26. Ovladač HM–Rigel je vybaven řídicí kartou HMIceStar, která umožňuje ohlášení alarmu po GSM telefonu. Řídicí systém je vytvořen pro tepelné procesy, které vyžadují vysokou přesnost.

Systém zajišťuje řízení kompletního procesu tepelného zpracování – od přípravy instrukcí pro proces tepelného zpracování až po vytisknutí záznamů (certifikátu) o tepelném zpracování a uložení výsledků.

Heatmasters Control System umožňuje následující operace*Udržovací práce*

Provádí se kalibrace zařízení použitím programu HM20, kterou mohou provádět pouze odpovědné osoby. Vytisknutí certifikátu o kalibraci.

Plánování práce

Spočívá ve vytvoření instrukcí pro proces TZ, uložení do paměti počítače a přenos těchto parametrů přímo do topného zařízení a zahájení procesu. Dále se získávají (obnovují) instrukce pro proces z paměti počítače a dochází k přenosu dat přímo do topného zařízení. Nastavují se parametry ovladače HM-Rigel26 a GSM – vzdálené kontroly parametrů. Používá se automatického časovače pro zahájení procesu nastavením data a času.

Proces tepelného zpracování

Zde se sledují tepelné procesy v peci centrálně z jednoho počítače. Sledování je možné v grafickém nebo číselném formátu. Dají se provádět změny tepelných parametrů během procesu, pokud je třeba. Je možné přijímat alarmy poruch či zpráv o stavu procesu na GSM telefon, kdykoliv je třeba.

Dokumentace a uložení

Výsledky procesu se uloží do paměti počítače, na CD nebo se odesílají emailem na jiný počítač. Dále se tiskne certifikát o procesu TZ na standardní kancelářské tiskárně. Do certifikátu se zpravidla přidává výkres či fotografie žíhaného výrobku a logo společnosti. Nakonec se tiskne samostatný graf procesu.

ZÁVĚR

V práci byla zhodnocena metoda odporové tepelného zpracování pomocí topných článků, elektrických odporových pecí a tepelných jednotek z různých firem. Bylo zjištěno, že tepelné zpracování principem odporového žíhání je pro strojírenství velice přínosná metoda.

Například součásti určené k tepelnému zpracování jsou takových rozměrů, že je není možné zpracovávat obvyklým způsobem. Byla vytvořena mobilní zařízení na tepelné zpracování, která jej umožňují provádět i v obtížně přístupných místech. Stejně tak je třeba provádět montáže i v oblastech bez zdroje energie. Proto nekonvenční jednotky tepelného zpracování dobře zvládají práci ve zmíněných podmínkách.

Pro větší přehled a kontrolu nad tepelnými procesy je možné každou jednotku tepelného zpracování připojit na dálku pomocí modemu nebo GSM linkou. Tato funkce je využívána technologi, kteří ze své kanceláře kontrolují všechna zařízení v dílně a sledují stav každého procesu. Dosah mezi ohřívací jednotkou a PC s programem HM20 pomocí modemu je až 3 kilometry, ale pomocí GSM linky je možné sledovat proces kdekoli na světě. Ze SIM karty, která je uvnitř zařízení, přijde pracovníkovi v případě problému SMS. Pomocí vysílače, který je připojen k ovladači v zařízení a přijímačem připojenému k PC, je možné sledovat aktuální hodnoty procesu.

Dnešní doba klade požadavky na dokumentování průběhů těchto tepelných procesů, proto je výhodné, že existuje možnost zaznamenání teploty a následné doložení výsledků prostřednictvím vytištění certifikátu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HLUCHÝ, Miroslav, KOLOUCH, Jan. *Strojírenská technologie 1 : Nauka o materiálu 1.díl.* 3. přeprac. vyd. Praha : Scientia spol. s r. o., pedagogické nakladatelství, 2002. 266. ISBN 80-7183-262-6.
2. HLUCHÝ, Miroslav, MODRÁČEK, Oldřich, PAŇÁK, Rudolf. *Strojírenská technologie 1 : Metalografie a tepelné zpracování 2.díl.* Ing. Pavel Vávra. Praha : Scientia spol. s r. o., pedagogické nakladatelství, 1999. 165. ISBN 80-7183-140-9.
3. FRISCHHERZ, Adolf, SKOP, Paul. *Technologie zpracování kovů 1 : Základní poznatky.* Jiří Dvorský. Praha : Nakladatelství Wahlberg Praha, 1993. 268. ISBN 80-901657-2-9.
4. KOSTKA, Tomáš. *Elektrotepelná technika : stručný přehled pro studenty oboru Provozní elektrotechnika* [online]. 2000 [cit. 2009-03-27]. Dostupný z WWW: <<http://www.volny.cz/kostka2000/teplo.htm>>.
5. DORAZIL, Eduard. *Nauka o materiálu I.* 3. vyd. Vysoké učení technické v Brně : Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1979. 218.
6. *Zařízení pro tepelné zpracování.* HEATMASTERS – ARC–H Welding s. r. o. Finsko. Březen 2009
7. *Realistic : Průmyslové elektrické a plynové pece* [online]. 2005 [cit. 2009-03-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.realistic.cz/stazeni.php>>.
8. SEDLÁČEK, Vladimír. *Neželezné kovy a slitiny.* Praha : SNTL Nakladatelství technické literatury, 1979. 400.
9. Prvky a zařízení pro tepelné zpracování. THERMOPROZESS COOPERHEAT – THERMOPROZESS COOPERHEAT s. r. o. Německo. Březen 2009

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
a		Parametr mřížky
Ac ₁		Oblast teploty 723°C v diagramu Fe-Fe ₃ C
Ac ₃		Počátek překrystalizace austenitu na ferit v diagramu Fe-Fe ₃ C
A _{cm}		Křivka změny rozpustnosti uhlíku v austenitu v diagramu Fe-Fe ₃ C
ARA		Anizotermický rozpad austenitu
B _s		Bainit start
°C		Stupeň Celsia
Hz		Herz
HRC		Tvrdost podle Rockwella
HV		Tvrdost podle Vickerse
I	A	Proud
IRA		Izotermický rozpad austenitu
J		Joule
K		Kelvin
m		Metr
P	W	Elektrický příkon
P _s		Perlit start
Q	J	Teplo
R	Ω	Odpor
r	Ω.m	Rezistivita
s		Tloušťka materiálu
t	s	Čas
V		Volt
Ws		Wattsekunda
λ	nm	Vlnová délka
Ø	mm	Průměr

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Prospektový materiál firmy Thermoprozess – jaderná elektrárna 1
Příloha 2 Prospektový materiál firmy Thermoprozess – jaderná elektrárna 2
Příloha 3 Prospektový materiál firmy Thermoprozess – tepelná elektrárna
Příloha 4 Prospektový materiál firmy Thermoprozess – FA analýza
Příloha 5 Prospektový materiál firmy Weldotherm – kontejnerové jednotky
 tepelného zpracování
Příloha 6 Prospektový materiál firmy Lac – pec vozokomorová s nucenou
 cirkulací VKNC

Příloha 1

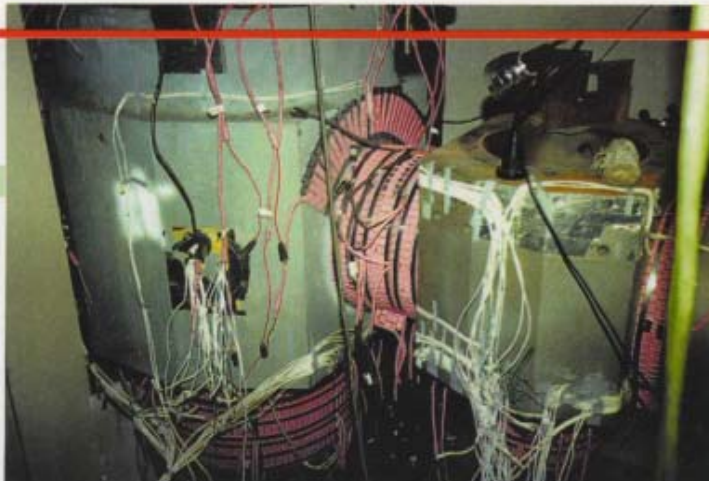
Prospektový materiál firmy Thermoprozess – jaderná elektrárna 1



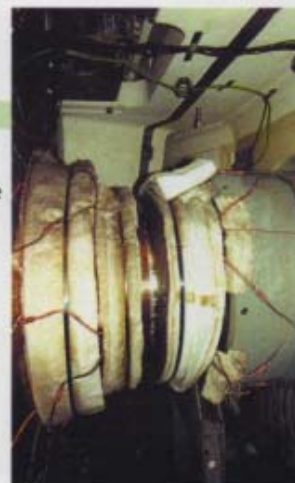
Příloha 2

Prospektový materiál firmy Thermoprozess – jaderná elektrárna 2

Stress relief heat treatment of valve connecting welds and pipework connections on HP valve station.



Preheating for welding the main coolant piping (I.D. 750 x 57 mm wall thickness; material 20 MnMoNi 55) connecting to the reactor pressure vessel (max. 500 mm wall thickness).



Preheating, dehydrogenation (soaking) and stress relief heat treatment of the main coolant pipings in the factory for the complete run assembly in 1,300 MW nuclear power plants.



Příloha 3

Prospektový materiál firmy Thermoprozess – tepelná elektrárna

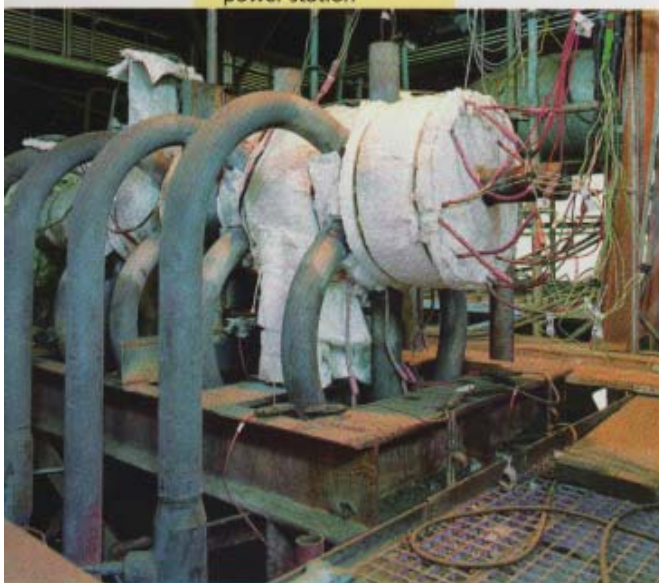
6

Thermic Power Station

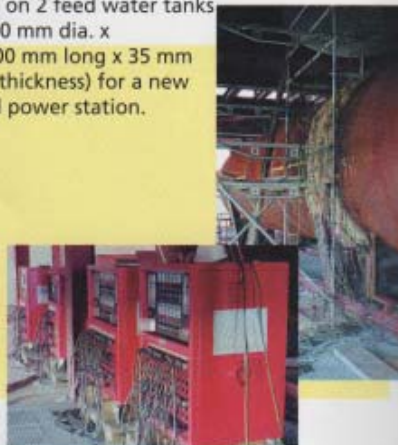
Stress relief heat treatment of a repair weld on a HP turbine rotor.



Stress relief heat treatment of a reheater outlet header during revision in a coal-fired power station



Stress relief heat treatment of circumferential weld on 2 feed water tanks (3,300 mm dia. x 22,000 mm long x 35 mm wall thickness) for a new build power station.



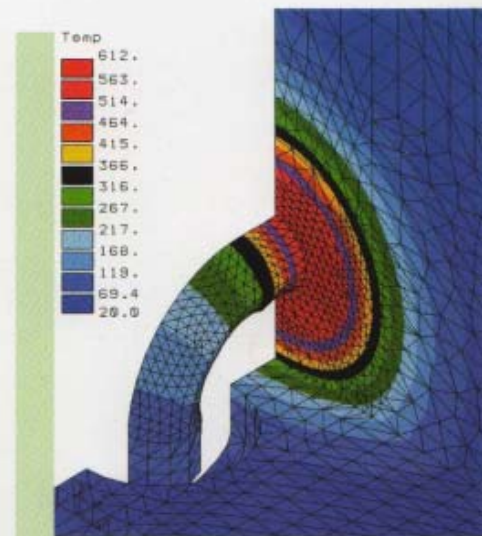
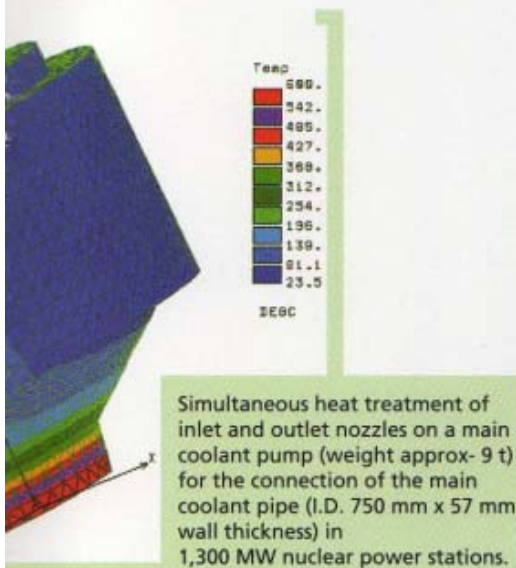
Příloha 4

Prospektový materiál firmy Thermoprozess – FA analýza

magnitude of the thermal stresses are calculated, taking into account high temperature properties, temperature distribution, and boundary surface losses by radiation and convection.

This method of calculation can also be applied to the safe design of supports for the component during heat treatment.

The observance of the specified temperature conditions during the heat treatment is ensured by installing a corresponding number of control circuits in the heat treatment facility.



FE analysis for the heat treatment for the connection of the piping to an inlet nozzle in the spherical end of a HP preheater 1,500 mm dia.



Příloha 5

Prospektový materiál firmy Weldotherm - kontejnerové jednotky tepelného zpracování



Container-Glühanlagen Container Heat Treatment Units



Überall dort, wo höherfeste Stahlkonstruktionen in noch unerschlossenen Gebieten errichtet werden, müssen Wärmebehandlungen, unabhängig von elektrischen Energiequellen, durchgeführt werden.

Hier nur ein Beispiel:

Der Bau von Erdgaspipelines findet sehr oft unter extremen Klimabedingungen statt, entweder bei großer Hitze in tropischen Gebieten oder bei eisiger Kälte. Eine Wärmebehandlung der Pipeline-Schweißnähte, wie sie unter normalen Voraussetzungen durchgeführt wird, ist also nicht möglich.

WELDOTHERM hat spezielle mobile und vollkommen autarke Container-Glühanlagen konzipiert, die den vorgenannten Bedingungen gerecht werden.

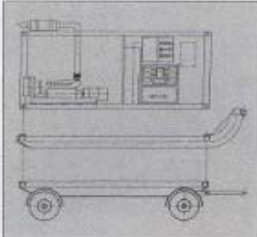
Ganz gleich wo und mit welcher Leistung Sie Ihre Wärmebehandlung durchführen müssen, WELDOTHERM hat die Lösung.

20- und 40-Fuß-Container, je nach Bedarf bestückt mit Glühanlagen von 24 bis 220 kW, werden über Dieselgeneratoren mit Drehstrom versorgt. Entsprechend ihrer Größe sind die Container in 2 bzw. 3 Räume aufgeteilt oder teilbar, so dass Dieselaggregat und Glühanlage getrennt voneinander benutzt werden können. Die Anschlüsse der Glühanlage, ergänzt durch zwei Kraftstromanschlüsse für Schweißanlagen, sind von außen zu erreichen und mit einer Klappe gegen unbefugten Zugriff geschützt.



Als Fortbewegungsmittel bieten sich drei Möglichkeiten an:

1. ein Container-Fahrgestell mit bereiften Stahlscheibenrädern für normales Gelände,
2. ein Transportschlitten mit Kufen für Weichen Untergrund oder
3. die Möglichkeit des Aufbaus auf ein Raupenfahrzeug.

Everywhere where steel constructions in the upper strength ranges are being built in still underdeveloped areas, heat treatment processes must still be carried out even though there is no electric power source.

Here is just one example:

The construction on natural gas pipelines often takes place under extreme climatic conditions – at hot weather in tropical as well as icy regions.

Difficult terrain which is almost impassable with conventional vehicles and equipment make the work that much more difficult.

Heat treatment of pipeline welds such as that carried out under normal conditions is, therefore, not possible.

WELDOTHERM has designed a range of special mobile and completely self contained heat treatment units which can cope well with the above mentioned conditions.



20- and 40 foot containers, equipped with heat treatment units from 24 to 220 kW according to requirements, are supplied by diesel generators with their requisite three phase A.C. Depending on their size, the containers are divided into either 2 or 3 compartments, or they are made up of separate sections so that the diesel generator set and the heat treatment unit can be independently sited.

The connections for the heat treatment unit, supplemented by two power current connections for welding equipment, are accessible from the outside and protected with a flap against unauthorised access.

Three different transport methods are possible:

1. by means of a container undercarriage with tyred steel hub wheels for normal terrain,
2. a transport sledge with runners for soft ground
3. mounting on a crawler vehicle.

A lot of WELDOTHERM heat treatment units, each equipped with heat treatment units from 170-192 kW and mounted on sledges have already been supplied and employed with considerable success for the heat treatment of a sour gas pipeline in the USSR.

No matter where and no matter at what power level you have to carry out your heat treatment, WELDOTHERM has the solution for you.

Příloha 6

Prospektový materiál firmy Lac – pec vozokomorová s nucenou cirkulací VKNC

PECE VOZOKOMOROVÉ S NUCENOU CÍRKULACÍ **VKNC**

Použití
Pro všechny typy tepelného zpracování při nízkých teplotách, kde je kladen důraz na rychlý a současně rovnoměrný ohřev vsázky v celém objemu průchodem horkého vzduchu. Vsázka a její uložení v peci musí průchod vzduchu umožňovat.



VKNC 3600

STANDARDNÍ PROVEDENÍ

- Pro max. teploty 450 °C / 650 °C / 850 °C
- Vnější plášť pro lepší odvětrání tvořen „U“ plechy (nízká teplota pláště pece)
- Mufla zhotovena z nerezové oceli
 - vysoká mechanická odolnost
 - dlouhá životnost
- Dveře otevírané nahoru pomocí hydraulických válců
- Oběhová vložka
 - optimální rozvod cirkulujícího vzduchu
- Vertikální cirkulace vzduchu
 - rovnoměrné rozložení teploty v peci dle DIN 17052-1 (třída B)
- Ruční pohon vozu
- Od velikosti VKNC 2000 vůz poháněn elektricky
- Ručně ovládaná větrací klapka
- Izolace z minerálního vlny
 - nízké provozní náklady
- Programovatelný PID regulátor INDUSTRY
- Regulátor a ovládání v rozváděči na pravém boku
- Polovodičový bezkontaktní spínací mě
 - přesnější regulace
 - plynulé a tiché spínání
 - vyšší životnost

PŘÍSLUŠENSTVÍ ZA PŘÍPLATEK

- Další vůz
- Elektrický pohon vozu i pro ostatní velikosti
- Pufňkový chladič systému
- Kolejnice v peci a před pecí v požadované délce
- Druhé dveře
- Automaticky ovládaná větrací klapka
- Grafický zapisovač teploty
- Připojení regulátoru k PC
- Atypické vnitřní rozměry

Typ	T max °C	Objem l	Vnější rozměry mm (šxv)xh	Vnitřní rozměry mm (šxv)xh	Příkon kW	Jistič A	Napětí V	Hmotnost kg
VKNC 1000/45	450	1000	2200x2900x1800	900x900x1260	42	80/3	400	1350
VKNC 1500/45	450	1500	2300x3100x2000	1000x1000x1500	54	100/3	400	1600
VKNC 2000/45	450	2000	2300x3100x2100	1000x1000x2000	74	125/3	400	1950
VKNC 3600/45	450	3600	2500x3300x3000	1200x1200x2500	87	160/3	400	2400
VKNC 1000/65	650	1000	2200x2900x1800	900x900x1260	42	80/3	400	1350
VKNC 1500/65	650	1500	2300x3100x2000	1000x1000x1500	54	100/3	400	1600
VKNC 2000/65	650	2000	2300x3100x2100	1000x1000x2000	74	125/3	400	1950
VKNC 3600/65	650	3600	2500x3300x3000	1200x1200x2500	87	160/3	400	2400
VKNC 1000/85	850	1000	2200x2900x1800	900x900x1260	48	100/3	400	1350
VKNC 1500/85	850	1500	2300x3100x2000	1000x1000x1500	60	125/3	400	1600
VKNC 2000/85	850	2000	2300x3100x2100	1000x1000x2000	80	160/3	400	1950
VKNC 3600/85	850	3600	2500x3300x3000	1200x1200x2500	96	160/3	400	2400

Technické změny vyhrazeny