

## Požadavky na provedení tepelného zpracování svarových spojů v energetice

prof. Ing. Jaroslav Koukal, CSc. – Autor

Český svářečský ústav s.r.o., e-mail: [jaroslav.koukal@csuostrava.eu](mailto:jaroslav.koukal@csuostrava.eu)

### Annotation

Post weld heat treatment is one of the most important operation by welding power plant equipment . Affect the microstructure, basic mechanical properties and creep properties of welded joints and their operating reliability. The paper bring basic requirement international standards on execution, checking and documenting post weld heat treatment. Give also the main requirements on outfit, control accuracy and checking equipment for post weld heat treatment of welded joints.

### 1. Úvod

Tepelné zpracování svarových spojů je jednou z nejdůležitějších operací, která ovlivňuje jejich mikrostrukturu, vlastnosti a provozní spolehlivost. Proto je nutné věnovat mimořádnou pozornost návrhu tepelného zpracování svarových spojů po svařování, jeho provedení a dokumentaci. Základní požadavky na kvalitu tepelného zpracování svarových spojů definuje norma ČSN EN ISO 17 663. V oblasti energetiky jsou pak základní technické požadavky upřesněny v normě ČSN EN 12 952-5.

### 2. Přezkoumání požadavků

Přezkoumání požadavků provádí výrobce (ten kdo provádí tepelné zpracování), aby se ubezpečil, že mu odběratel předal všechny informace nezbytné k provedení požadovaných operací tepelného zpracování, že je schopen požadavky odběratele splnit v požadovaných termínech a kvalitě. Přezkoumává se:

- a) použitá výrobová norma spolu s jakýmkoliv dalšími požadavky;
- b) technická pravidla a zákonné požadavky;
- c) jakékoliv dodatečné požadavky určené výrobcem;
- d) schopnost výrobce vyhovět předepsaným požadavkům

### 3. Přezkoumání technických podkladů

Přezkoumání technických podkladů má za úkol prověřit, zda informace předané odběratelem k provedení tepelného zpracování jsou úplně a dostatečně jasné a zda výrobce je schopen tyto požadavky v následujícím členění splnit [1]:

- a) použitá výrobová norma a odpovídající výkresy;
- b) umístění a přístupnost výrobku nebo jeho součástí, který(á) má být tepelně zpracován(a);
- c) druh označování výrobku nebo součástí, který(á) má být tepelně zpracován(a);
- d) specifikace tepelného zpracování (příslušné hodnoty tepelného zpracování) a kontrolní postupy tepelného zpracování;
- e) souvislost mezi specifikacemi postupů tepelného zpracování a svařování a/nebo tváření;
- f) způsoby tepelného zpracování, např. který(á) výrobek nebo součást má být tepelně zpracován(a) v peci a u kterého se předpokládá, že bude podroben(a) místnímu tepelnému zpracování;
- g) oprávnění pracovníků;

- h) vhodnost zařízení;
- i) dokumentace tepelného zpracování;
- j) opatření pro řízení a kontrolu;
- k) kvalitativní požadavky pro smluvní subdodavatele;
- l) vypořádání neshod tepelného zpracování;
- m) prostředky měření a zaznamenávání teplot;
- n) požadavky na kvalitu a zkoušení tepelného zpracování, pokud nějaké jsou;
- o) časový plán/sled tepelného zpracování;
- p) dostupnost dostatečné energie;
- q) jiné zvláštní dohody, např. podepírání výrobku nebo součástí.

Případný subdodavatel musí být schopen pod odpovědností výrobce splnit požadavky vyplývající z přezkoumání technických podkladů. Výrobce nebo subdodavatel musí mít k dispozici dostatečný počet vyškolených pracovníků pro přípravu, provádění, kontrolu a dokumentaci tepelného zpracování. Musí být schopni podle písemných postupů realizovat předepsané tepelné zpracování, programovat regulátory, přivařovat termočlánky, připojovat a kontrolovat kompenzační vedení mezi termočlánky a zapisovacím zařízením a obsluhovat celé zařízení pro provádění tepelného zpracování.

#### 4. Stejnomenost teploty v peci

Stejnomenost teploty v peci musí být verifikována měřením v intervalech max. 36 měsíců, nebo po každé opravě, nebo přestavbě pece. Měření se provádí v prázdné peci termočlánky validovaným zařízením se záznamem teploty. Provádí se minimálně 4 měření, dvě v horní části pece a dvě v dolní části pece v opačných rozích, při teplotě odpovídající maximální pracovní teplotě a polovině této teploty. Pro tepelné zpracování svarových spojů se měření stejnoměrnosti provádí při teplotě odpovídající používanému rozsahu teplot po 15 minutách po dosažení předepsané teploty. Výsledky měření se uvedou do protokolu a archivují se v dokumentaci kvality. Dovolené rozdíly teploty v měřených místech jsou uvedeny v tabulce č.1[1].

#### 5. Validace zařízení k nastavování teploty a jejího záznamu

Validace se musí provádět u mobilních zařízení v následujících termínech:

Regulátor teploty	max. 12 měsíců (v případě místního tepelného zpracování musí být tato lhůta stanovena výrobcem zařízení)
Zařízení pro záznam teploty	max. 6 měsíců
Měřicí systém	max. 12 měsíců

Záznamová zařízení se musí verifikovat validovaným kalibrátorem. Pro stabilní pece jsou uvedené lhůty validace dvojnásobné. Termočlánky dodávané s osvědčením třídy přesnosti se nemusí validovat. Písemné protokoly z validace se zakládají do dokumentů kvality výrobce. U nových zařízení nebo po údržbě starých zařízení musí být provedeny odpovídající zkoušky včetně záznamů.

#### 6. Parametry tepelného zpracování

V technické dokumentaci a v prováděcím postupu musí být definovány následující parametry:

- a) teplota při vsazování (teplota při zahájení);
- b) rychlost ohřevu;
- c) teplota výdrže (rozmezí, pokud to je nezbytné);
- d) doba výdrže (rozmezí, pokud to je nezbytné);
- e) rychlost ochlazování;
- f) teplota při vytahování (teplota konce řízeného ochlazování).

## 7. Specifikace postupu tepelného zpracování

Výrobce musí připravit specifikace tepelného zpracování. V případě svařečských aktivit by měl být postup tepelného zpracování zahrnut ve specifikaci postupu svařování nebo se specifikace postupu svařování může vztahovat ke specifikaci tepelného zpracování. Specifikace stanovuje, jak je třeba provádět práci správně.

Specifikace postupu tepelného zpracování musí obsahovat příslušné následující údaje:

- a) druh tepelného zpracování, např. předehřev, žíhání ke snížení pnutí, normalizace;
- b) způsob tepelného zpracování, např. v peci, indukční, odporové, prstencový hořák;
- c) umístění a počet měřících míst teploty;
- d) požadavek na ochranný plyn;
- e) parametry tepelného zpracování;
- f) podepírání a vsazování výrobku(ů) nebo součástí(i);
- g) druh chlazení;
- h) identifikace výrobku nebo součástí, např. označení, číslování;
- i) podmínky okolního prostředí např. ochrana před větrem a deštěm;
- j) rozmezí ohřívané oblasti a oblasti tepelné izolace.

Specifikace postupu tepelného zpracování musí být kvalifikovány podle návodů uvedených ve výrobových normách nebo ve smlouvách.

Pro volbu teploty pro tepelné zpracování se doporučuje použít kritéria uvedená v tabulce č. 4. Doporučené rozsahy teplot pro tepelné zpracování udává tabulka č. 5. V této tabulce nejsou uvedeny doporučené rozsahy teplot pro materiály T/P23, T/P24, T/P91, T/P92 a WM12 SHC. Doporučené teplotní režimy pro jejich tepelné zpracování jsou uvedeny na obrázku č. 1 až 4.

Specifikace tepelného zpracování nebo specifikace postupů svařování jako takové se mohou použít pro pracovní návodky. Jinak se mohou použít jednoúčelové pracovní návodky. Takové pracovní návodky se musí připravit z kvalifikované specifikace postupu tepelného zpracování a nevyžadují samostatnou kvalifikaci.

## 8. Počet měřících míst

Během tepelného zpracování se teploty musí přiměřeným způsobem měřit prostřednictvím minimálního počtu měřících míst podle tabulky 2 nebo 3. Pokud to způsob měření vyžaduje, termočlánky musí být zakryty pro zamezení přímého ohřevu. Na obou koncích ohřívané oblasti se mohou teploty měřit, pokud je to stanoveno.

Pokud je pec rozdělena do ohřívacích úseků, např. zadního, středního a čelního, doporučuje se nejméně jedno měřící místo na úsek.

Pro tepelné zpracování v peci musí být stanoveno umístění měřících míst, aby byla ověřena stejnoměrná teplota.

Kde je stanoveno, mohou být měřící místa na pracovním kusu. Termočlánky musí být připojeny postupy které nepříznivě neovlivňují pracovní kus, např. použitím kondenzátorového přivařování.

U místního tepelného zpracování jiných výrobků musí být umístění měřících míst stanoveno na výkrese nebo náčrtku.

U výrobků, které jsou složeny z několika trub např. u trubkových stěn, je dostačující měřit pouze trubky umístěné na obou koncích.

## 9. Všeobecná pravidla pro místní tepelné zpracování svarů potrubí

Je dovoleno tepelně zpracovat oddělené úseky výrobků nebo součástí v peci při zajištění, že délka překrytí dříve tepelně zpracovaných úseků,  $L$ , vyjádřená v milimetrech, je větší než 1500 mm nebo se rovná v hodnotě  $L$ , podle rovnice (1):

$$L = 2,5\sqrt{(2D - 4t) \cdot t} \qquad L = 5\sqrt{r_{is} \cdot e_s} \quad (\text{ČSN EN 12 952-5})$$

Kde

$D$  je vnější průměr výrobků nebo součástí v milimetrech;

$t$  jmenovitá tloušťka svaru, v milimetrech

$r_{is}$  je vnitřní poloměr v milimetrech

$e_s$  je tloušťka svaru v milimetrech

Je dovoleno místně tepelně zpracovávat obvodové svary indukčním nebo odporovým ohřevem po celém obvodu výrobku nebo součásti. Šířka ohřivané oblasti,  $L_w$ , v milimetrech, nesmí být menší než hodnota  $L$  podle rovnice (1), ani větší než  $12t$ , přičemž svar je uprostřed ( $L = 5\sqrt{r_{is} \cdot e_s}$  ČSN EN 952-5).

Teplota ve vzdálenosti  $2,5\sqrt{r_{is} \cdot e_s}$  musí být nejméně rovna polovině teploty žíhání. Pro splnění tohoto požadavku se doporučuje nejmenší šířka izolace pásu o velikosti  $2,5\sqrt{r_{is} \cdot e_s}$ .

Kde je vzdálenost připojovacího tupého svaru od svaru odbočky / nátrubku k plášti,  $L_{BW}$ , v milimetrech, větší než hodnota  $L$  podle rovnice (1), může být jeho tepelné zpracování po svařování provedeno samostatně.

Kde je vzdálenost připojovacího tupého svaru od svaru odbočky/nátrubku k plášti,  $LBW$ , v milimetrech, menší než hodnota  $L$  podle rovnice (1), musí být po svaření provedeno tepelné zpracování připojovacího tupého svaru současně se svarem odbočky/nátrubku k plášti.

V případě, že je obvodový svar, který musí být tepelně zpracován, mezi lubem pláště a klenutým polokulovým dnem, musí být do ohřivaného pásu zahrnuto celé dno. Šířka ohřivaného pásu na straně lubu musí být nejméně  $2,5\sqrt{r_{is} \cdot e_s}$ .

## 10. Záznam tepelného zpracování

Pracovníci provádějící tepelné zpracování musí zpracovat záznam z tepelného zpracování pro každý výrobek nebo součást, který(á) byl(a) tepelně zpracován(a). Pokud není uvedeno jinak ve výrobkové normě, musí být uvedeny odpovídající příslušné následující údaje:

- a) identifikace výrobku nebo součástí ;
- b) údaje o materiálu (označení materiálu, rozměry);
- c) zařízení pro tepelné zpracování (identifikace);
- d) druh tepelného zpracování (např. předeřev, žíhání ke snížení pnutí, normalizace)
- e) způsob tepelného zpracování (např. v peci, indukční, odporové, prstencovými hořáky);
- f) teplota při vsazování (teplota při zahájení);
- g) rychlost ohřevu;
- h) teplota výdrže;
- i) doba výdrže;
- j) rychlost ochlazování
- k) způsob chladnutí
- l) teplota při vytahování (teplota konce řízeného ochlazování)
- m) druh měření teploty, počet a umístění měřících míst;
- n) místo a datum tepelného zpracování.

Záznam z tepelného zpracování musí být podepsán určenou osobou.

## 11. Neshody a nápravná opatření

Pokud tepelné zpracování nespĺňuje specifické požadavky, nesmí být hodnocena přípustnost výrobku nebo součásti. V takových případech musí být informován zákazník. Pokud je to nezbytné, musí se provést nápravná opatření. Musí se připravit zpráva o neshodách a uložit do složky se záznamy kvality.

Musí se předložit vyhovující výsledek jakéhokoliv nápravného tepelného zpracování.

Nápravná opatření se musí provádět podle připravené specifikace. Při přípravě specifikace je nezbytné zabezpečit, aby nápravné opatření nemělo nepříznivý vliv na výrobek nebo součást. Musí se připravit zpráva o této činnosti a výrobek nebo součást se musí znovu zkontrolovat a vyzkoušet podle původních požadavků.

## 12. Záznamy kvality

Výrobce a subdodavatel musí vytvořit postupy pro kontrolování odpovídajících záznamů kvality. Záznamy kvality podle požadavků smlouvy musí, pokud je to nezbytné, obsahovat:

- a) záznam z přezkoumání požadavků a technických podkladů;
- b) specifikace tepelného zpracování, specifikace postupu svařování a záznamy z jejich kvalifikací;
- c) oprávnění pracovníků provádějících tepelné zpracování;
- d) záznamy z měření zařízení pro tepelné zpracování;
- e) záznamy tepelného zpracování;
- f) zprávy o validaci měřicích zařízení;
- g) postupy a zprávy o opravách;
- h) zprávy o neshodách.

Záznamy kvality musí být uschovány po dobu nejméně 5 let, pokud to neurčují jiné specifické požadavky.

## Použitá literatura

- [1] ČSN EN ISO 17663
- [2] ČSN EN 12 952-5
- [3] Materiály firmy Böhler Thyssen Welding

### 13. Tabulky

Tabulka č. 1 Minimální počet měřicích míst v prostředí pece

Objem pece $V$ $m^3$	Počet měřicích míst
$V < 40$	2
$40 \leq V < 60$	3
$60 \leq V < 80$	4
$80 \leq V < 100$	5
$V \geq 100$	6

Tabulka č. 2 Minimální počet měřicích míst pro místní tepelné zpracování kruhových součástí

Vnější průměr trubky $D$ mm	Počet měřicích míst	Rozteč °
$D < 170$	1	–
$170 \leq D < 370$	2	180
$370 \leq D < 550$	3	120
$D \geq 550$	4	90

Tabulka č. 3 Dovolené teplotní rozdíly v různých měřicích místech

Měřená teplota $T$ °C	Rozmezí teplot úseku jakostní třídy °C		
	I	II	III
$T < 300$	15	10	6
$300 \leq T < 700$	20	15	10
$700 \leq T < 1\ 000$	30	20	15
$1\ 000 \leq T < 1\ 300$	40	30	20

Tabulka č. 4 Kritéria pro volbu teploty

Metoda	Řídící teplota
Tepelné zpracování v peci	Použije se střední hodnota stanoveného rozsahu
Tepelné zpracování bez použití pece (odporové, indukční, řízeným plamenem atd.)	Použije se horní hodnota stanoveného rozsahu
Doplňující tepelné zpracování (mezioperační nebo opravné)	Použije se dolní hodnota stanoveného rozsahu



Tabulka č. 5 Teplotní rozsahy tepelného zpracování po svařování u svarových spojů podobných nebo odlišných materiálů

Typ oceli	Skupina oceli	Teplotní rozsah °C								
		1	1	2.1	2.1	4 <sup>a)</sup>	5.1	5.2	6 <sup>b)</sup>	6 <sup>b)</sup>
C-Mn	1	550 - 600	550 - 600	550 - 600	550 - 600					
0,3 Mo	1	550 - 600	550 - 630	550 - 600	550 - 600		600 - 630			
Jemnozrnné	2.1	550 - 600	550 - 600	550 - 600	570 - 600					
1 NiMoCuNb	2.1	550 - 600	550 - 600	570 - 600	570 - 620		600 - 620			
	4 <sup>a)</sup>									
1 Cr ½ Mo	5.1		600 - 630		600 - 620		620 - 680	660 - 700		
2 ¼ Cr 1 Mo	5.2						660 - 700	680 - 730	730 - 760 710 - 730 <sup>c)</sup>	730 - 760 710 - 730 <sup>c)</sup>
9 Cr 1 Mo	6 <sup>b)</sup>							710 - 730 <sup>c)</sup> 730 - 760	740 - 780	740 - 770
12 Cr 1 MoV	6 <sup>b)</sup>							730 - 760 710 - 730 <sup>c)</sup>	740 - 770	730 - 770

a) Určí se na základě odkazu na materiálovou specifikaci.

b) Tyto materiály vyžadují před tepelným zpracováním po svařování přeměnu na martenzit.

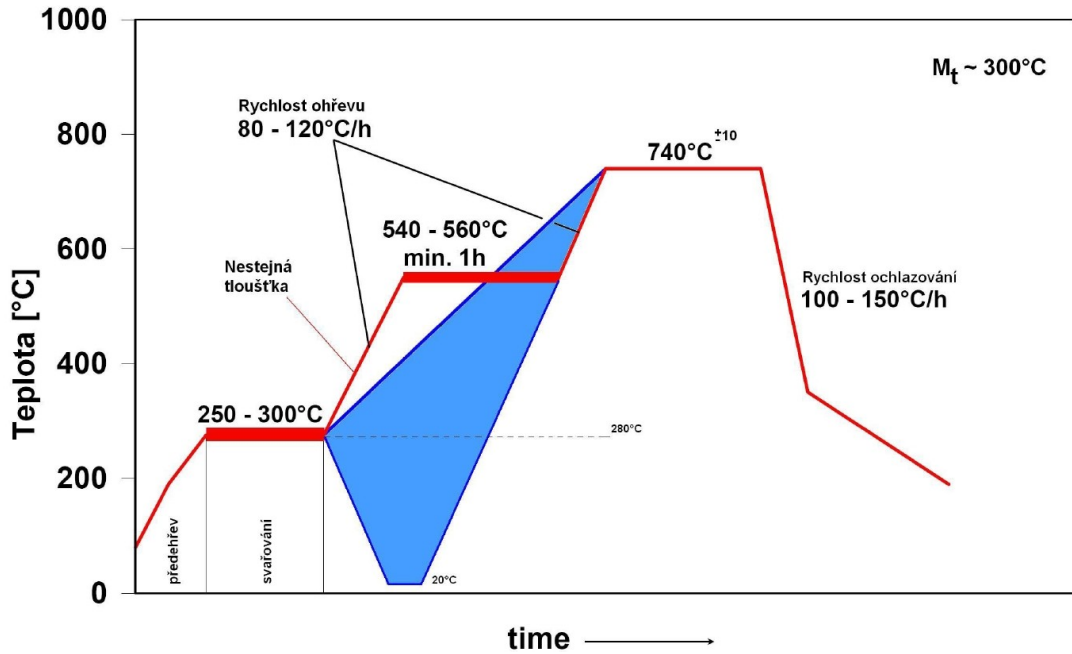
c) Pouze pro svařovací materiály typu 2 ¼ Cr 1 Mo.

POZNÁMKA 1 Mohou být přijatelné jiné kombinace materiálů, které neobsahuje výše uvedená tabulka, a odchylky teplot, které obsahuje výše uvedená tabulka v případě, že výrobce zajistí, že v důsledku jejich použití nedojde k narušení bezpečnosti kotle.

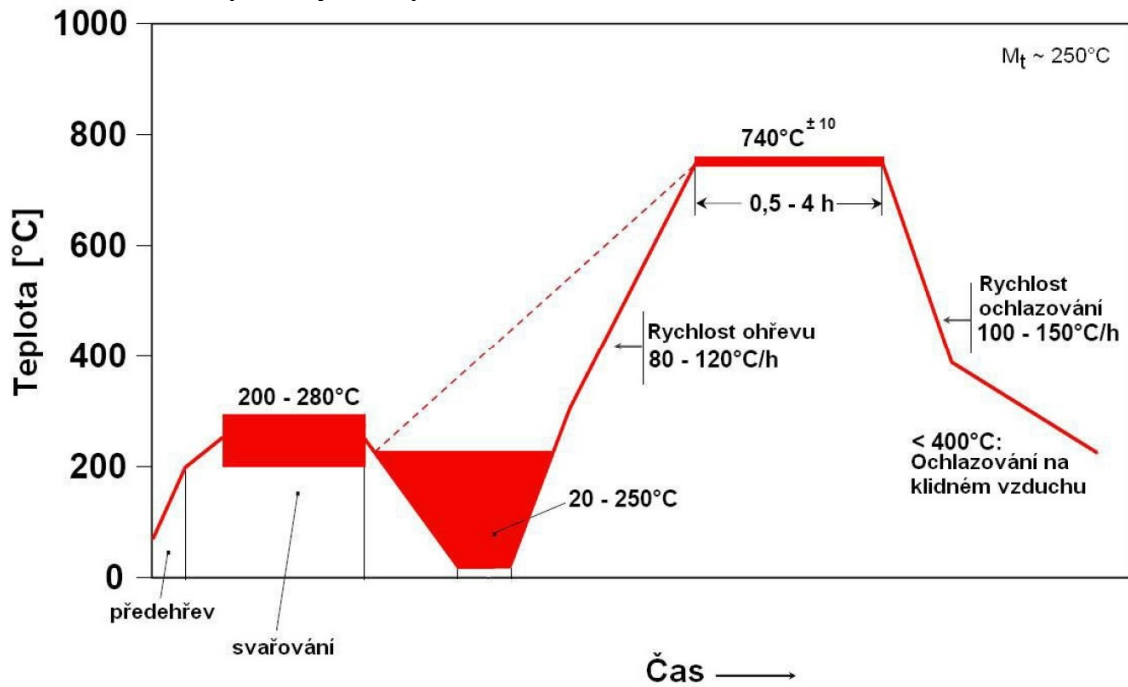
POZNÁMKA 2 Teplota pro tepelné zpracování po svařování v případě feriticko-austenitických spojů mezi odlišnými materiály musí být taková, jaká se požaduje pro feritickou stranu spoje.

14. Obrázky

Obr. č. 1 Teplotní cyklus v průběhu svařování a TZ materiálu T/P23

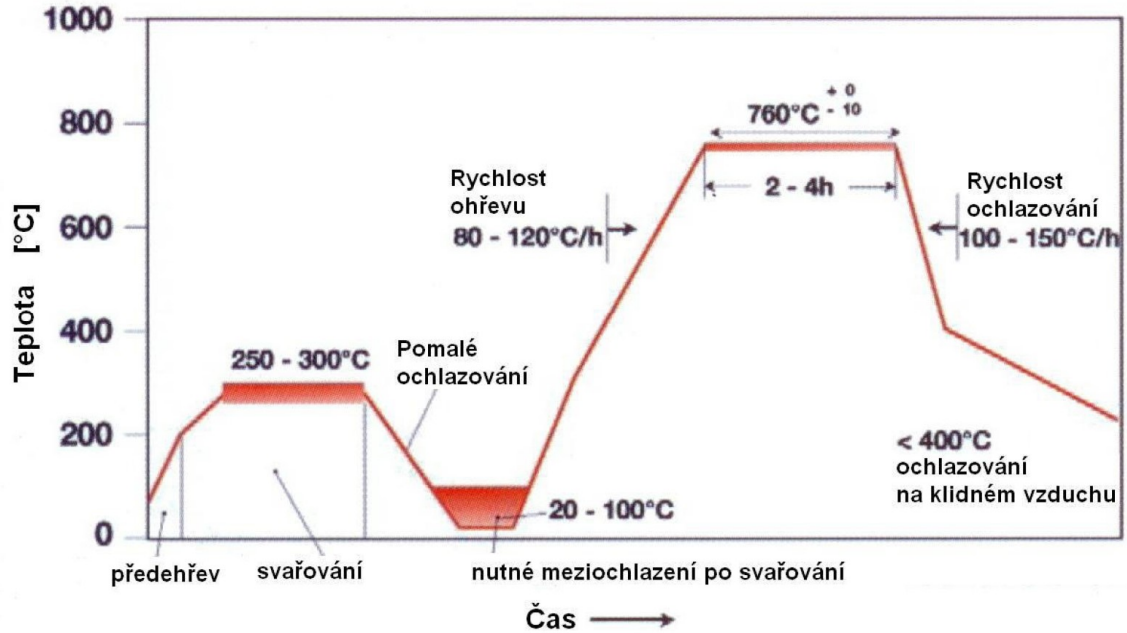


Obr. č. 2 Teplotní cyklus v průběhu svařování a TZ materiálu T/P24





Obr. č. 3 Teplotní režim v průběhu svařování a TZ ocelí P91 a P92



Obr. č. 4 Teplotní cyklus při svařování a TZ ocelí VM12 - SHC

