Stanovení teploty předehřevu

Ostrava 3/2012

Vladislav OCHODEK
VŠB TU Ostrava
Katedra mechanické technologie- ústav svařování

© Vl. Ochodek 3/2012

Stanovení teploty předehřevu –osnova

- Teplota předehřevu-definice
- Trhliny za studena
  - vliv Tp na teplotní cyklus svařování
  - vliv Tp strukturu,
  - vliv Tp na vlastnosti TOO
- Experimentální stanovení Tp-zkoušky praskavosti
- Stanovení Tp výpočtem
- Kontrola teploty předehřevu

© Vl. Ochodek 3/2012

Teplota předehřevu – definice, význam

ČSN EN ISO 13916

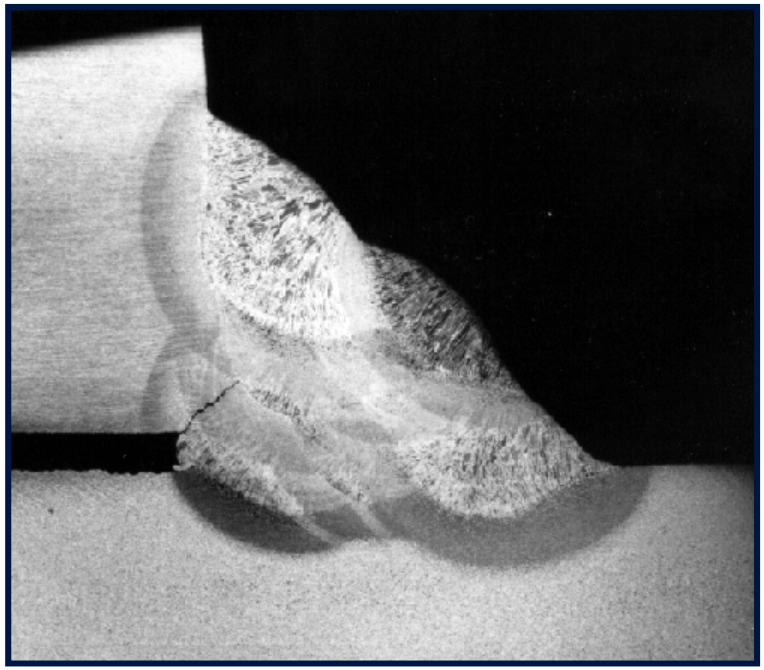
T_p (teplota předehřevu, preheating temperature) = teplota součásti v oblasti svaru bezprostředně před jakoukoli svařovací operací; vyjadřuje minimum a obvykle se rovná minimu teploty interpass.

Tp ovlivňuje (je ovlivňována) :

- teplotní cyklus svařování v zejména v ochlazovací větvi (Δ t8/5, Δ t3/1),
- strukturu (diagram ARA),
- difuzi vodíku,
- úroveň a rozložení zbytkových napětí,
- vlastnosti svarových spojů (Re,Rm,HV..)

© Vl. Ochodek 12/2011

Trhliny za studena



Příčiny vzniku :

- přítomnost vodíku ve svarovém spoji,
- přítomnost struktury citlivé na účinek vodíku ,
- přítomnost tahových zbytkových napětí

Typy vodíkového poškození :

-koroze pod napětím (SCC)

-sulfidová koroze pod napětím,

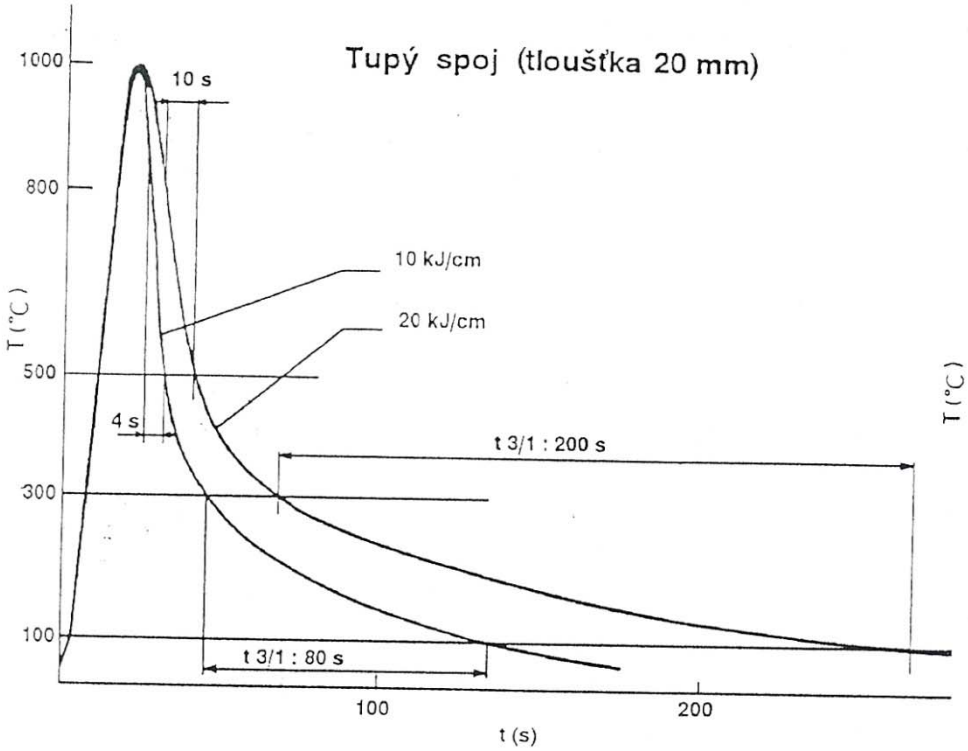
-vodíková křehkost,

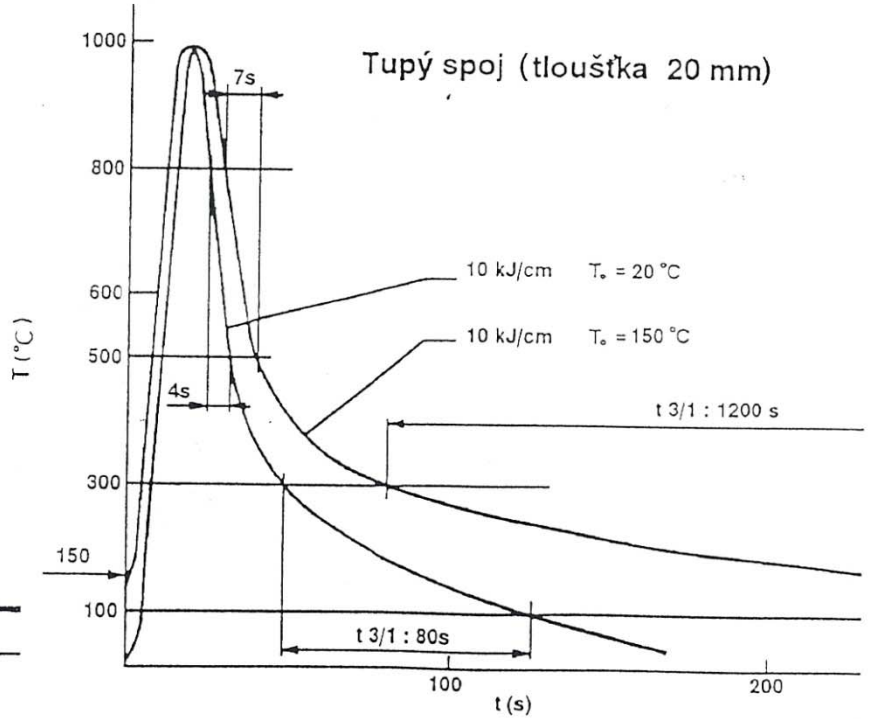
-vodíkem indukované trhliny, zbrzděné lomy

© Vl. Ochodek 12/2011

Teplotní cyklus svařování-vliv Tp

Možnost ovlivnění teplotního cyklu Tp /Q

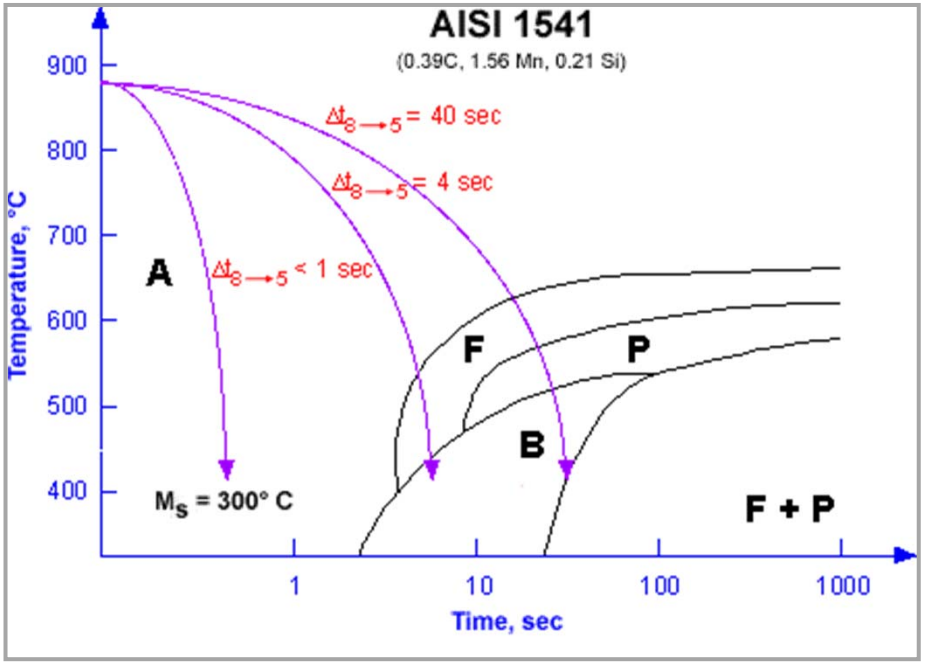


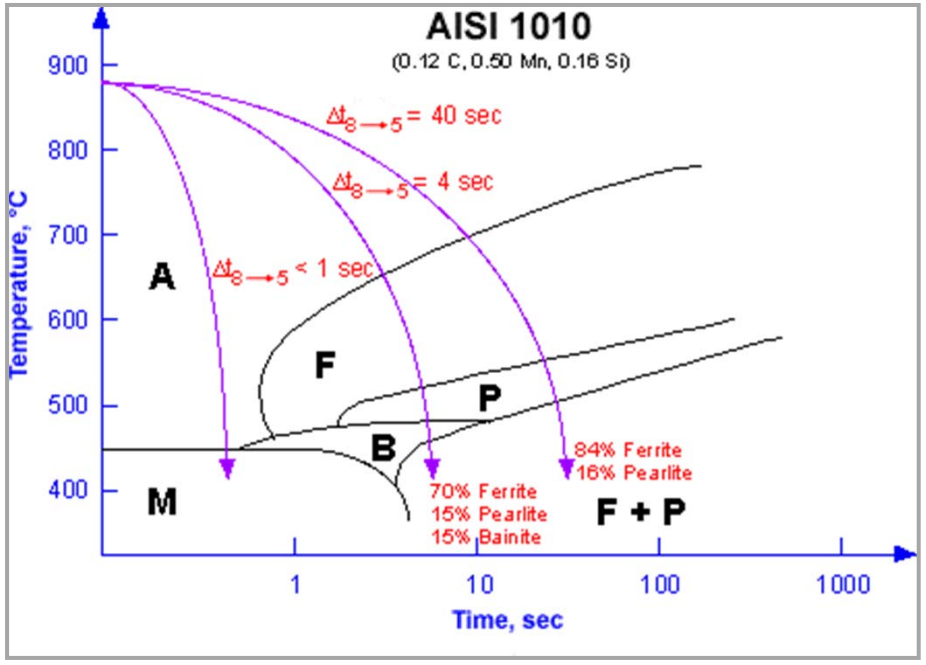


Tp=20 C (Δ t8/5 = 4s, Δ t3/1 = 80s)
Tp=150 C (Δ t8/5 = 7s, Δ t3/1 = 1200s)

© Vl. Ochodek 12/2011

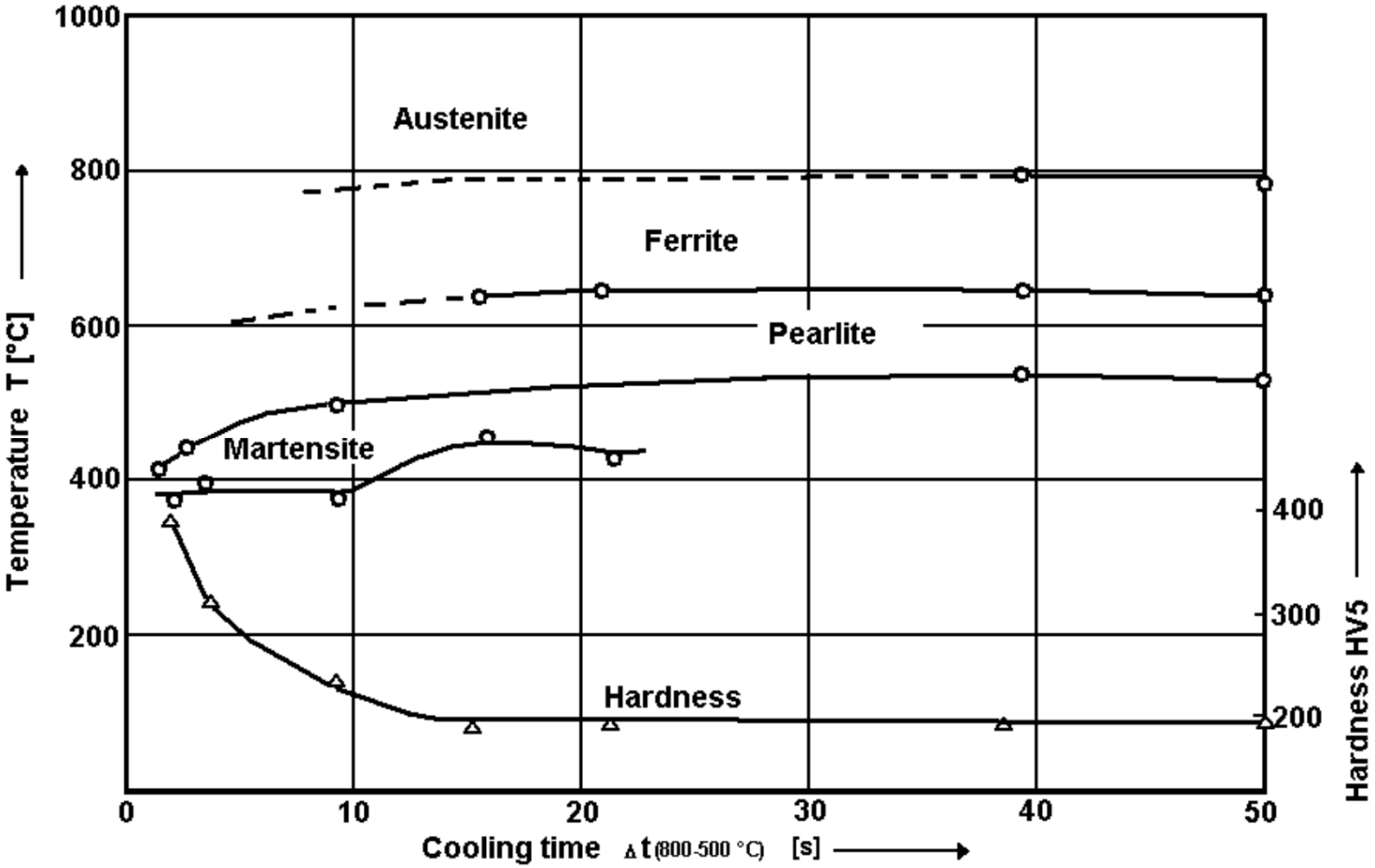
Vliv Tp, Δ t8/5 na strukturu





© Vl. Ochodek 12/2011

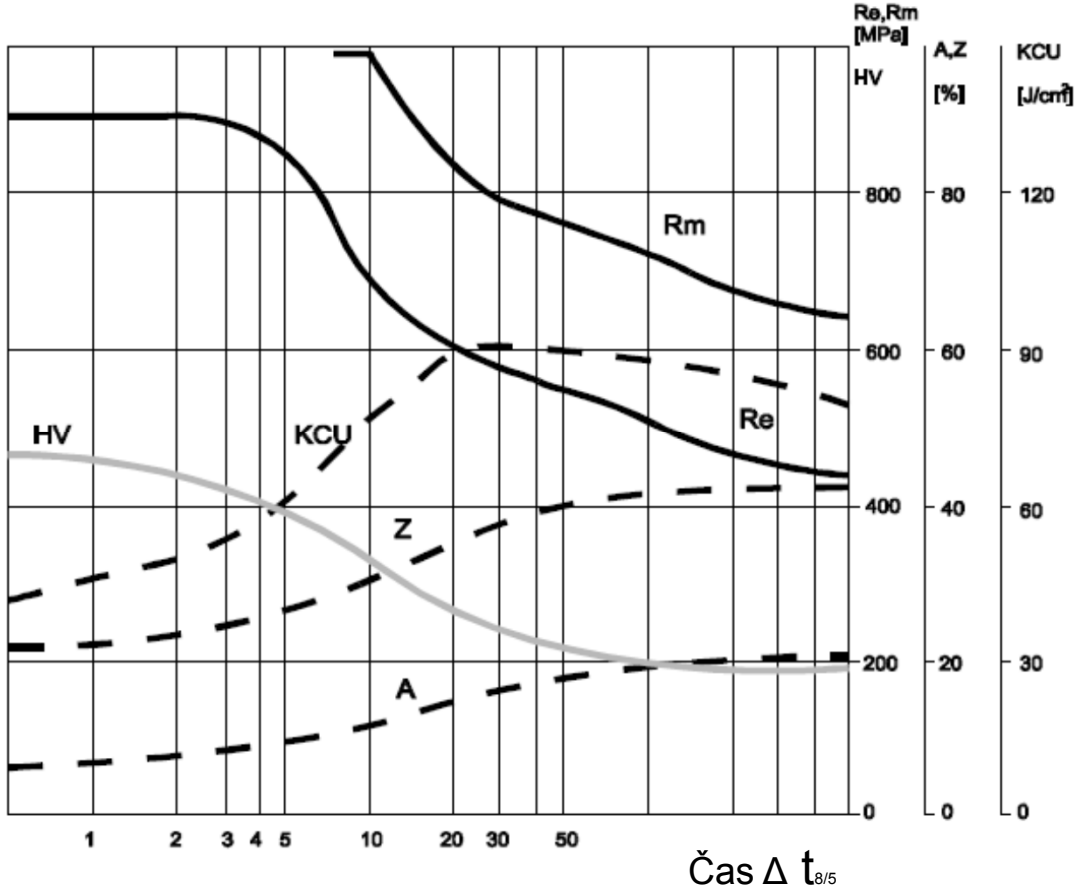
Diagram ARA „in situ“



ARA diagram S355J2G3 (0.18% C, 0.89%Mn, 0.30%Si, 0.01%Mo, 0.05%Ni, 0.08%Cr, 0. 03%Al)

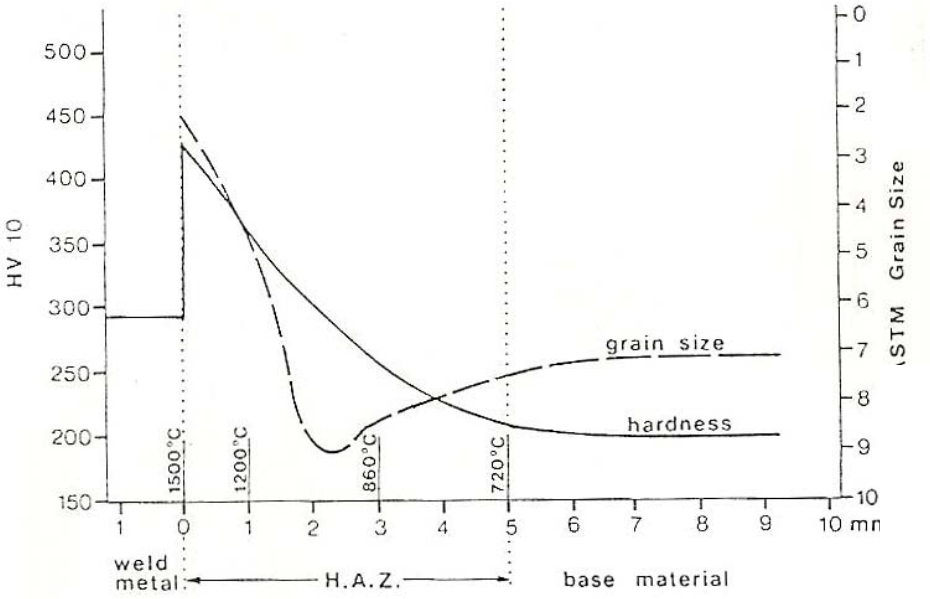
© Vl. Ochodek 12/2011

Vliv Tp, Δ t8/5 na vlastnosti

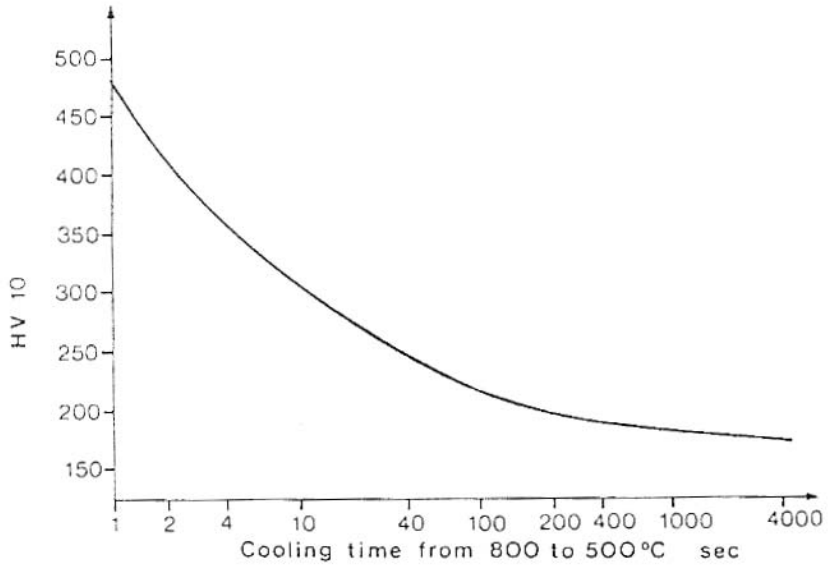


© Vl. Ochodek 12/2011

Teplem ovlivněná oblast-vlastnosti



uhlíkové, nízko-legované oceli



20mm C-Mn ocel

Teplem ovlivněná oblast - vlastnosti

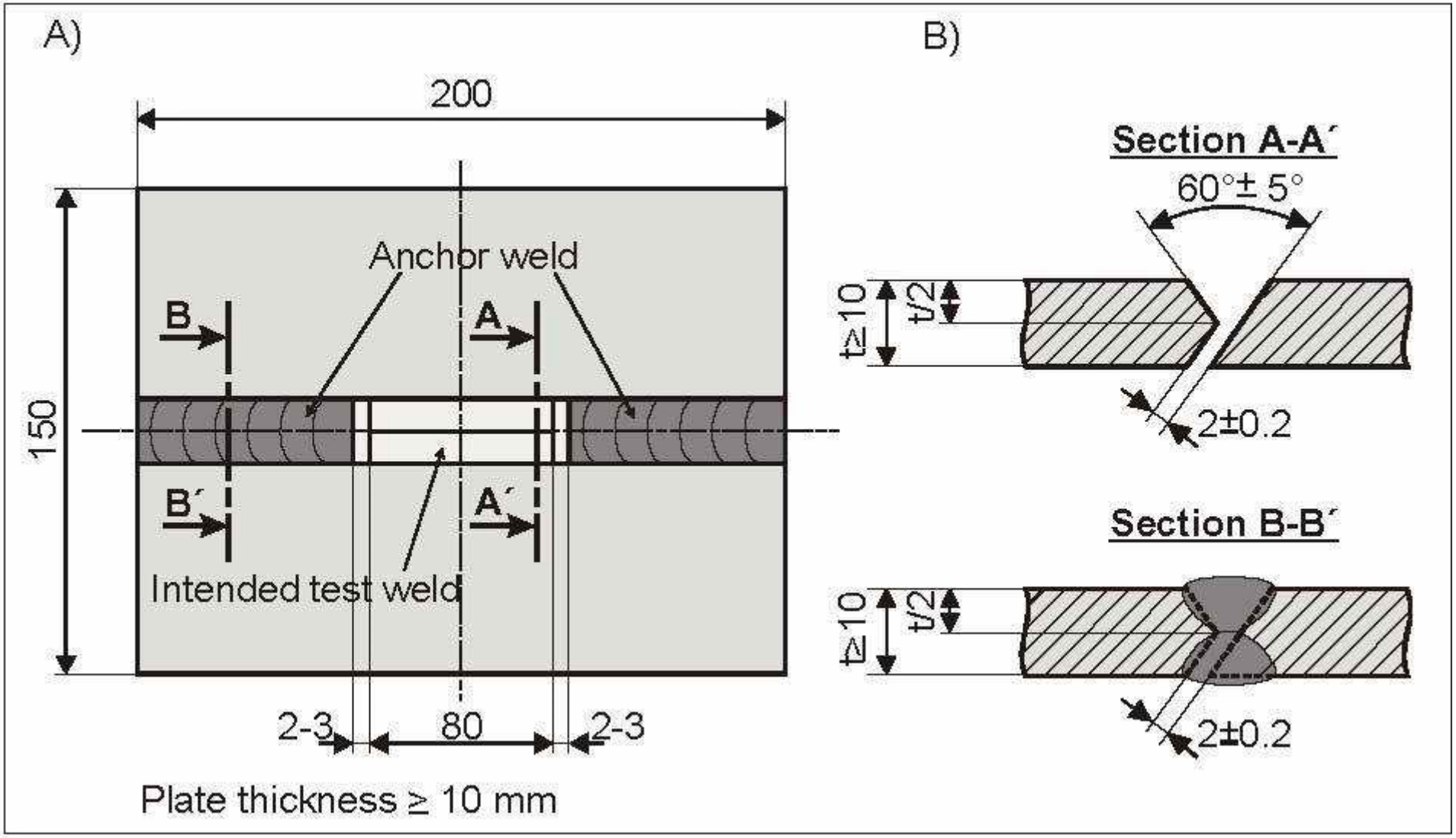
© Vl. Ochodek 12/2011

Experimentální stanovení Tp

Přehled

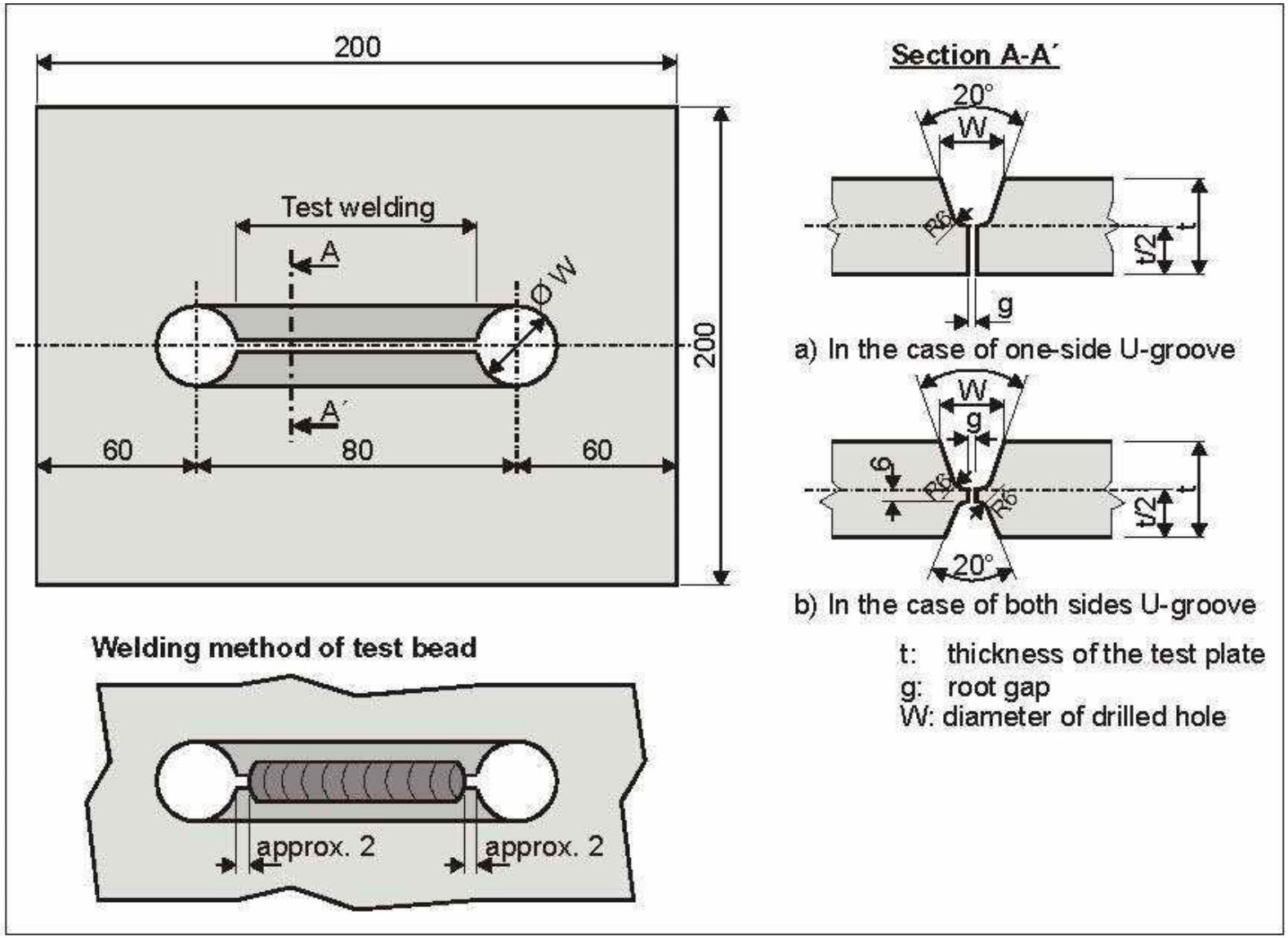
© Vl. Ochodek 3/2012

Zkoušky praskavosti-Tekken [1]



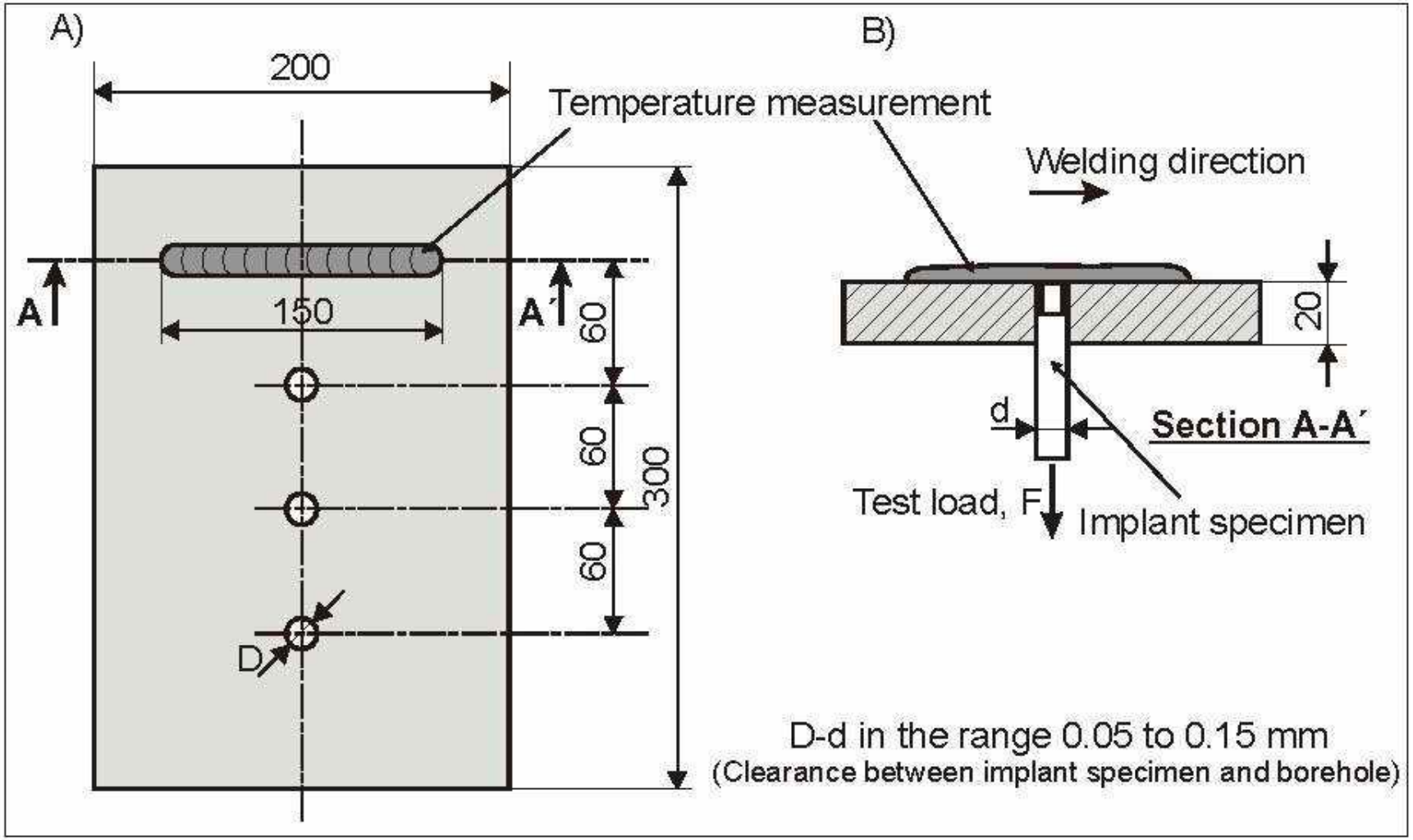
© Vl. Ochodek 12/2011

Zkoušky praskavosti-U drážka [1]



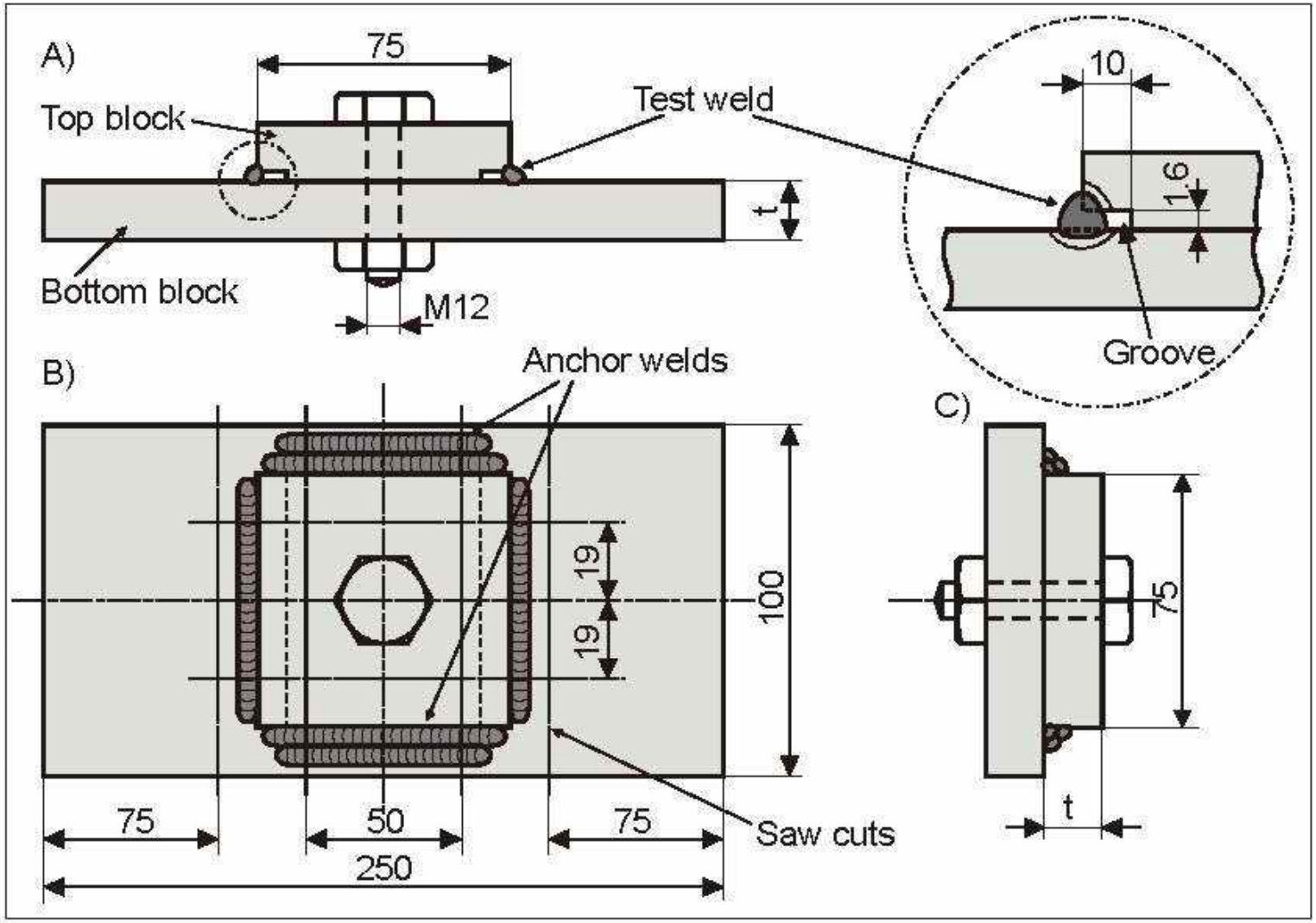
© Vl. Ochodek 12/2011

Zkoušky praskavosti-Implant (pro ZM) [1]



© Vl. Ochodek 12/2011

Zkoušky praskavosti-CTS test [1]



© Vl. Ochodek 12/2011

Zkoušky praskavosti – (+-)

Výhody :

- skutečný základní materiál, svařovací parametry a technologie, přídavný materiál, teplotní režim svařování.

Nevýhody :

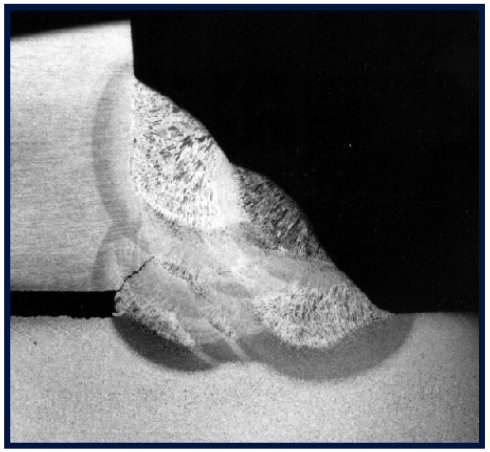
- časová náročnost, omezený rozsah experimentu (chem,složení mat., tloušťka, technologie svařování…) , cena.

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem

© Vl. Ochodek 3/2012

Stanovení Tp výpočtem



Trhliny za studena

příčiny vzniku :

- přítomnost vodíku ve svarovém spoji,
- přítomnost struktury citlivé na účinek vodíku ,
- přítomnost tahových zbytkových napětí

ČSN EN 1011-2 Svařování – Doporučení pro svařování kovových materiálů – Část 2: Obloukové svařování feritických ocelí

ANSI / AWS (D 1.1)
(American National Standart Institute/ American Welding Society)

N .Yurioka- NIPPON STEEL Weldability Calculation (CE_N metoda)

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem-ČSN EN 1011-2

ČSN EN 1011-2 Svařování – Doporučení pro svařování kovových materiálů – Část 2: Obloukové svařování feritických ocelí

Norma uvádí, že: pro výpočet předehřevu pro svařování konstrukcí z nelegovaných, jemnozrnných a nízkolegovaných ocelí, je možno použít dvě metody A a B. Metoda A je založena na rozsáhlých praktických zkušenostech a informacích, které platí převážně pro uhlíko-manganové typy ocelí (příloha C2). Metoda B se používá spíše pro nízkolegované vysokopevnostní oceli (příloha C3). Pro žárupevné oceli a oceli pro nízké teploty se musí používat metoda popisovaná v C4

Metoda A:

Hodnoty uhlíkového ekvivalentu *(CE)* pro základní materiál jsou vypočítávány dle následujícího vzorce:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (\%)$$

pro oceli s uhlíkovým ekvivalentem *(CE)* v rozsahu 0,30 až 0,70.

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem-ČSN EN 1011-2 A

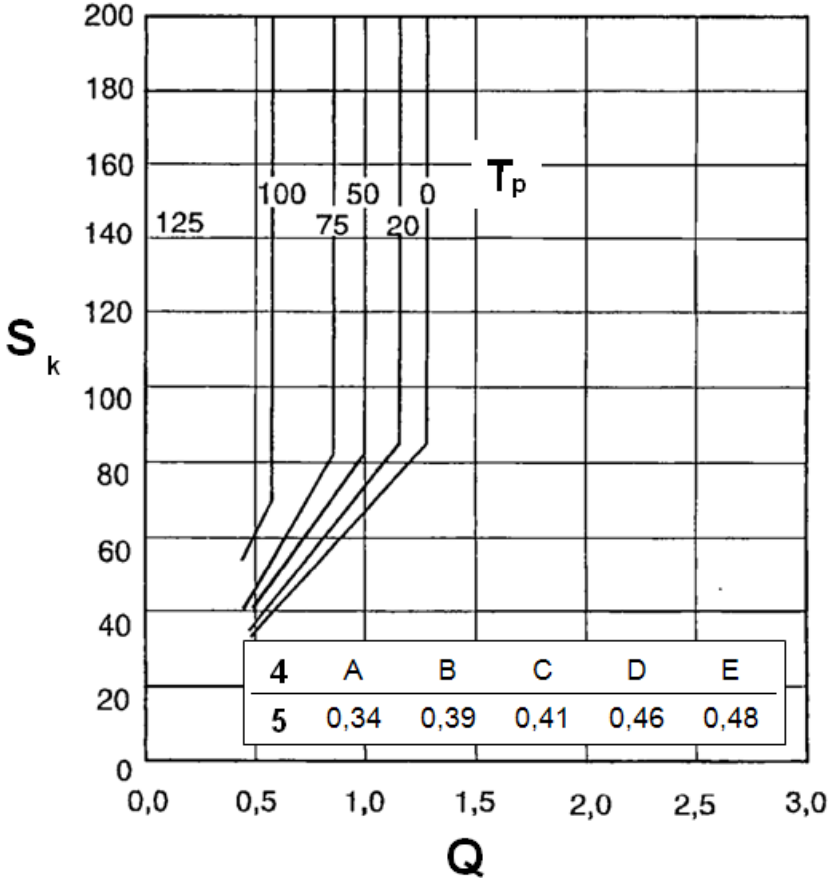
Tabulka C.1 – Příklady maximálních kombinovaných tloušťek (viz C.2.4) svařitelných bez předehřevu

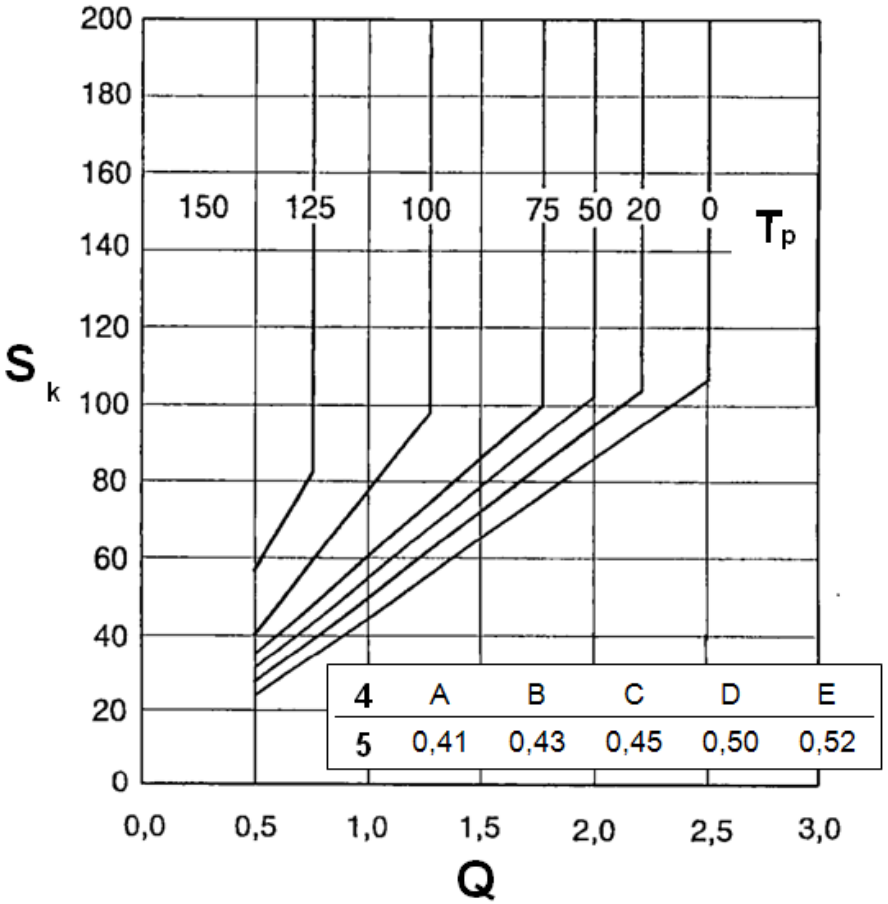
Obsah difúzního vodíku[a] (ml/100 g svarového kovu)	Maximální kombinovaná tloušťka (mm)			
	CE = 0,49		*CE* = 0,43	
	Tepelný příkon		Tepelný příkon	
	1,0 kJ/mm	2,0 kJ/mm	1,0 kJ/mm	2,0 kJ/mm
> 15	25	50	40	80
10 ≤ 15	30	55	50	90
5 ≤ 10	35	65	60	100
3 ≤ 5	50	100	100	100
≤ 3	60	100	100	100

[a] Měřeno podle ISO 3690

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem-ČSN EN 1011-2 A



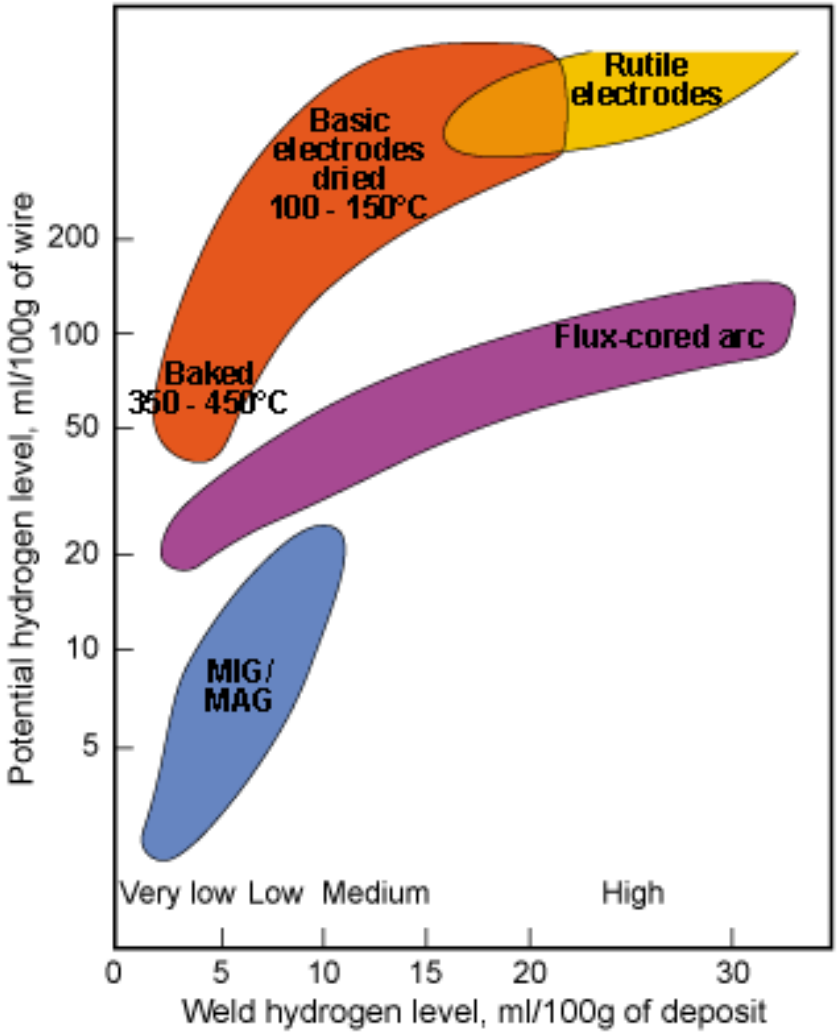


© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem-ČSN EN 1011-2 A

Tabulka C.2 – Stupně obsahu vodíku

Obsah difúzního vodíku (ml/100 g svarového kovu)	Stupně obsahu vodíku
> 15	A
10 ≤ 15	B
5 ≤ 10	C
3 ≤ 5	D
≤ 3	E

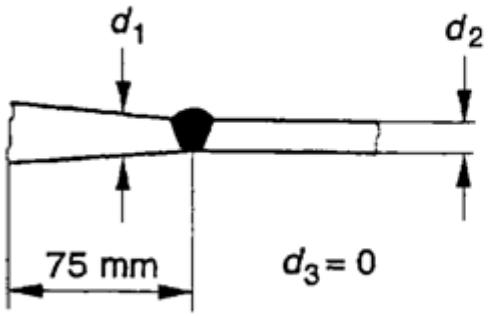


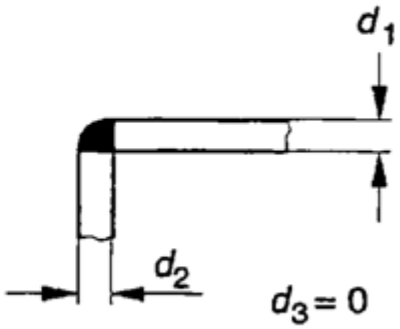
© Vl. Ochodek 12/2011

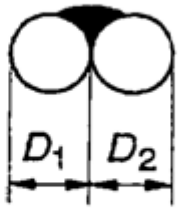
Stanovení Tp výpočtem-ČSN EN 1011-2 A

d_1 = průměrná tloušťka do vzdálenosti 75 mm

Rozměry v milimetrech





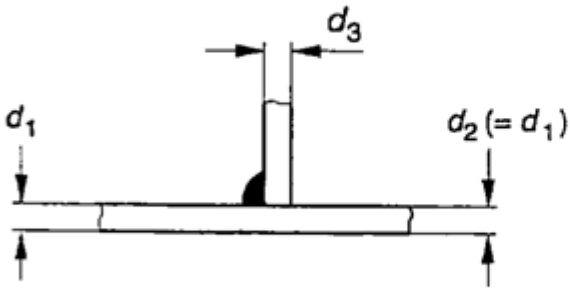


Kombinovaná tloušťka = $d_1 + d_2 + d_3$

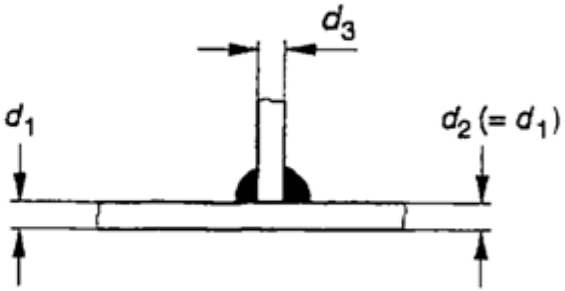
Kombinovaná tloušťka = ½ ($D_1 + D_2$)

Maximální průměr 40 mm

Nutno počítat s omezeným odvodem tepla (viz C.2.10b).



Pro oboustranný koutový svar svařovaný současně z obou stran je kombinovaná tloušťka = ½ ($d_1 + d_2 + d_3$).



Obrázek C.1 – Příklady stanovení kombinované tloušťky

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem-ČSN EN 1011-2 B

Metoda B:

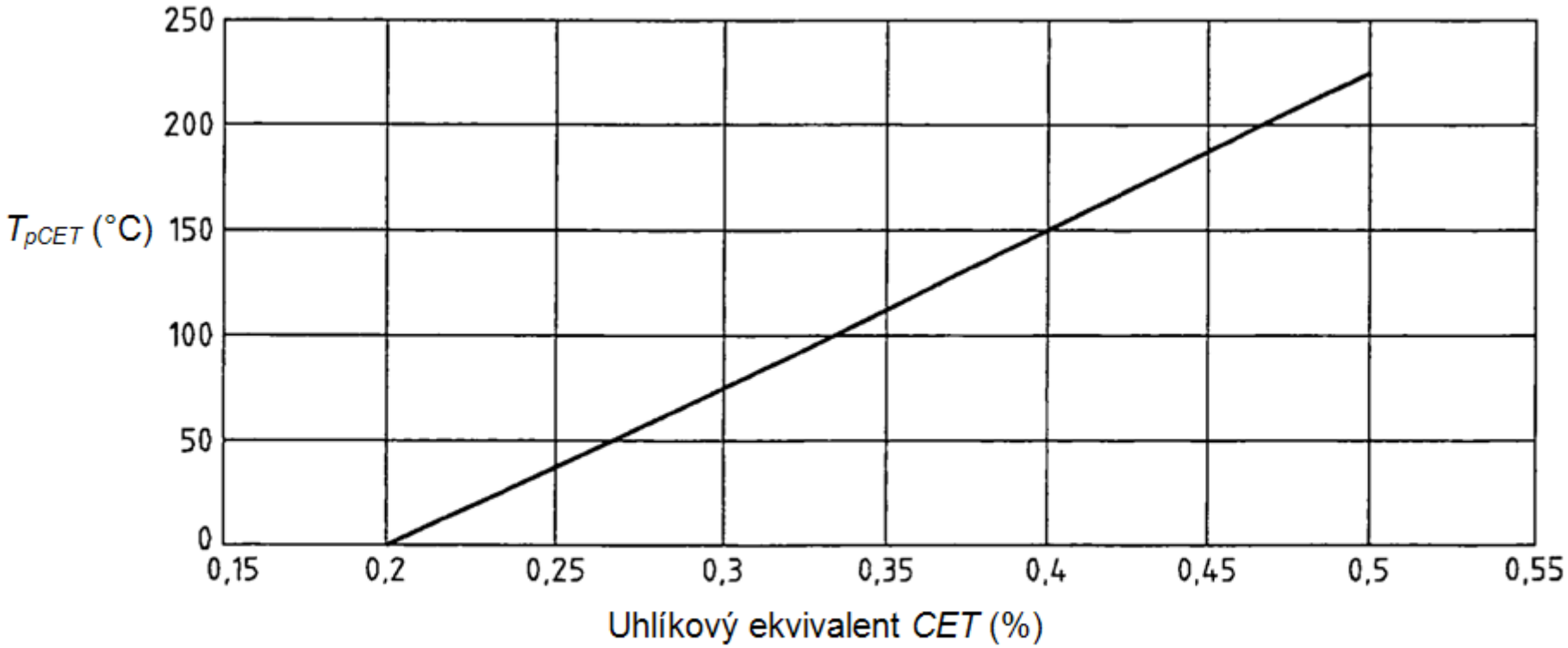
Metoda B se používá spíše pro nízkolegované vysokopevnostní oceli (příloha C3). Algoritmus Uwer-Hohn-Tekken.

Vliv chemického složení na chování ocelí při studeném praskání je vystižen prostřednictvím uhlíkového ekvivalentu *(CET)*. Tento vzorec poskytuje informaci o vlivu jednotlivých legujících prvků na tyto vlastnosti ve vztahu k vlivu uhlíku.

$$CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40} \quad (\%)$$

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem-ČSN EN 1011-2 B

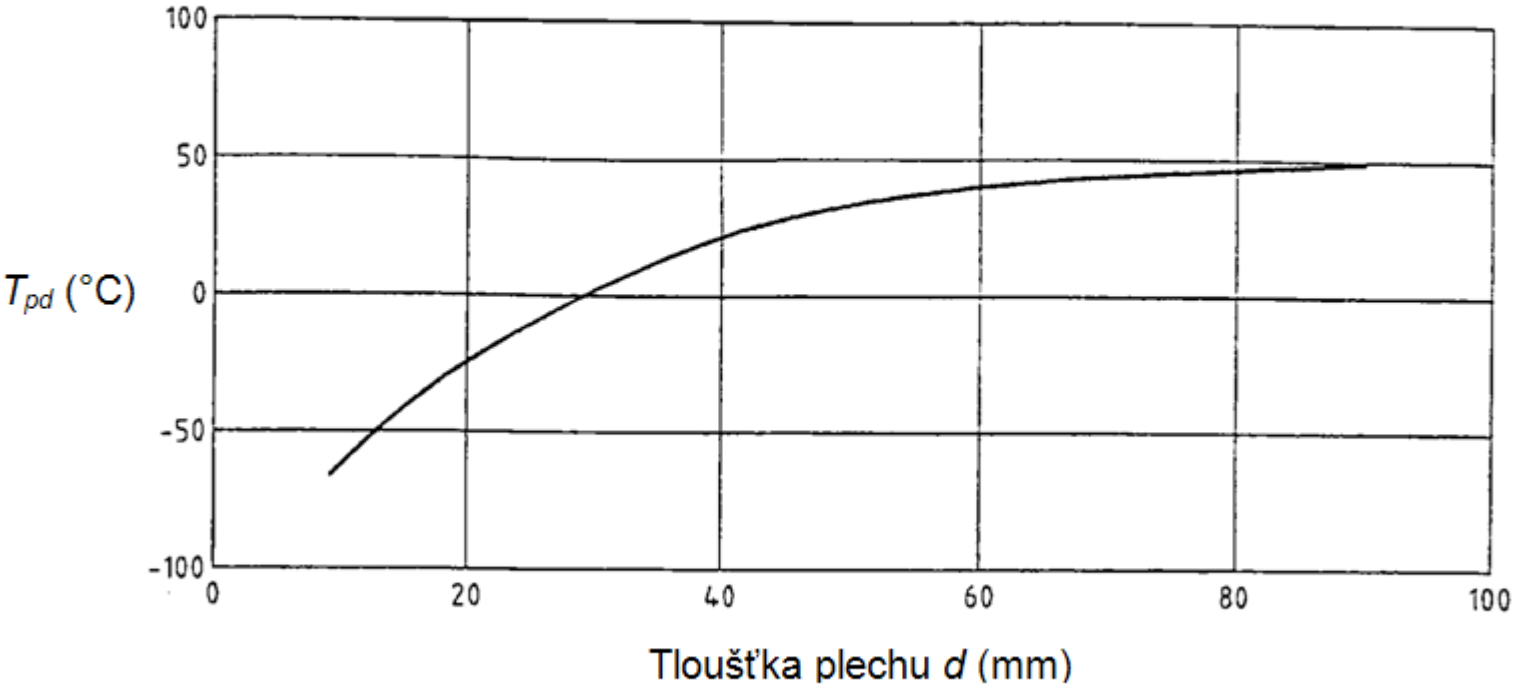


Teplota předehřevu v závislosti na uhlíkovém ekvivalentu *CET*

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem-ČSN EN 1011-2 B

$$T_{pd} = 160 \times \tanh\left(\frac{d}{35}\right) - 110 \quad (°C)$$

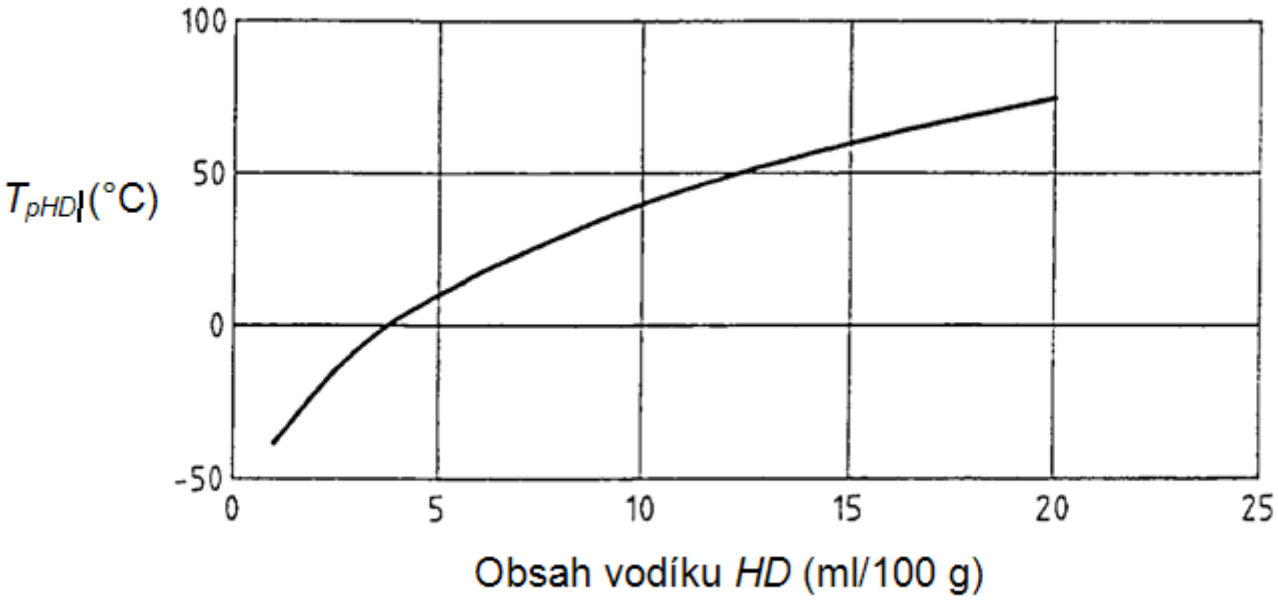


Teplota předehřevu v závislosti na tloušťce plechu *d*

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem-ČSN EN 1011-2 B

$$T_{pHD} = 62 \times HD^{0,35} - 100 \quad (°C)$$

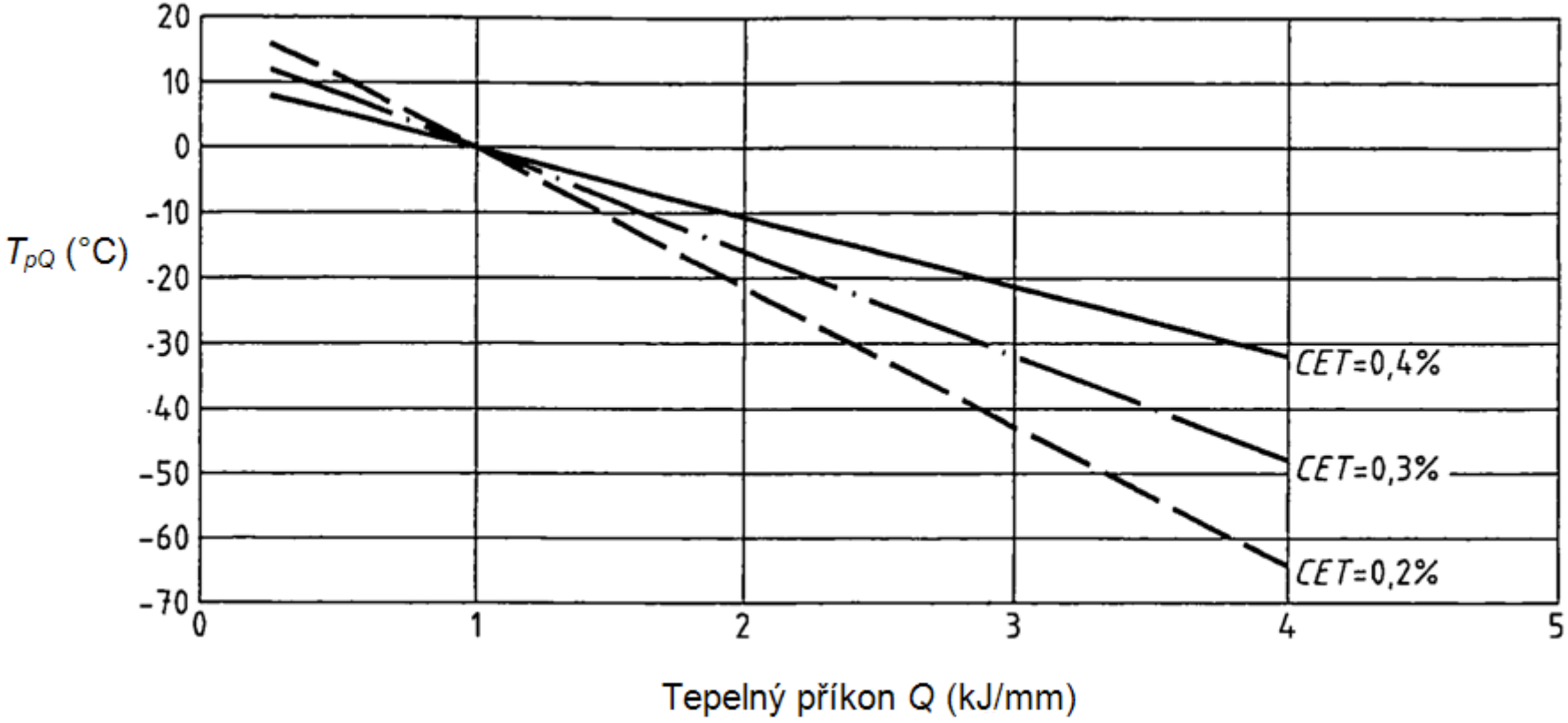


Teplota předehřevu v závislosti na obsahu vodíku *HD* ve svarovém kovu

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem-ČSN EN 1011-2 B

$$T_{pQ} = (53 \times CET - 32) \times Q - 53 \times CET + 32 \quad (°C)$$



Teplota předehřevu v závislosti na tepelném příkonu *Q*

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem-ČSN EN 1011-2 B

$$Q = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} \qquad \text{(kJ/mm)}$$

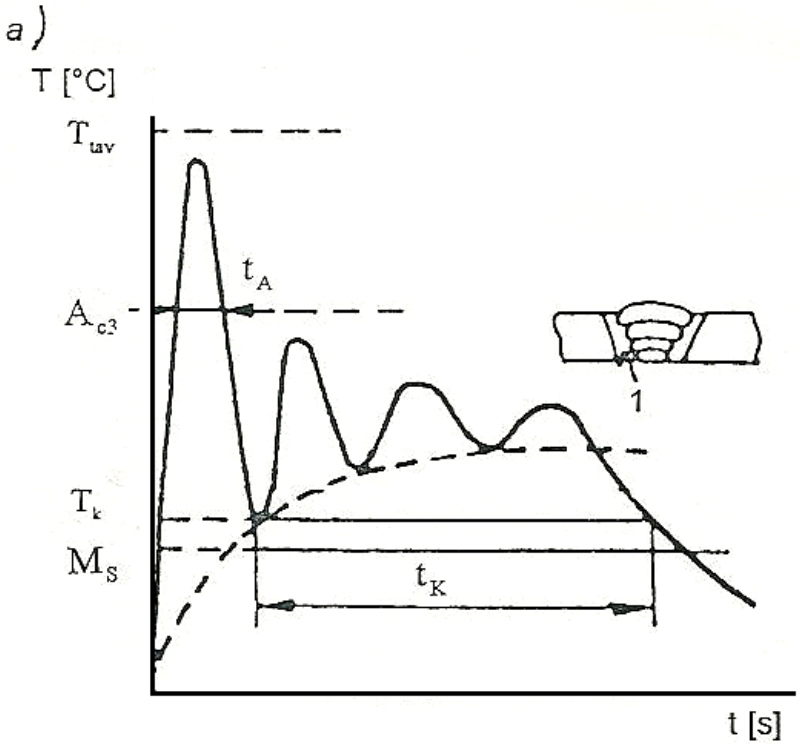
Koeficient tepelné účinnosti *k* jednotlivých metod svařování

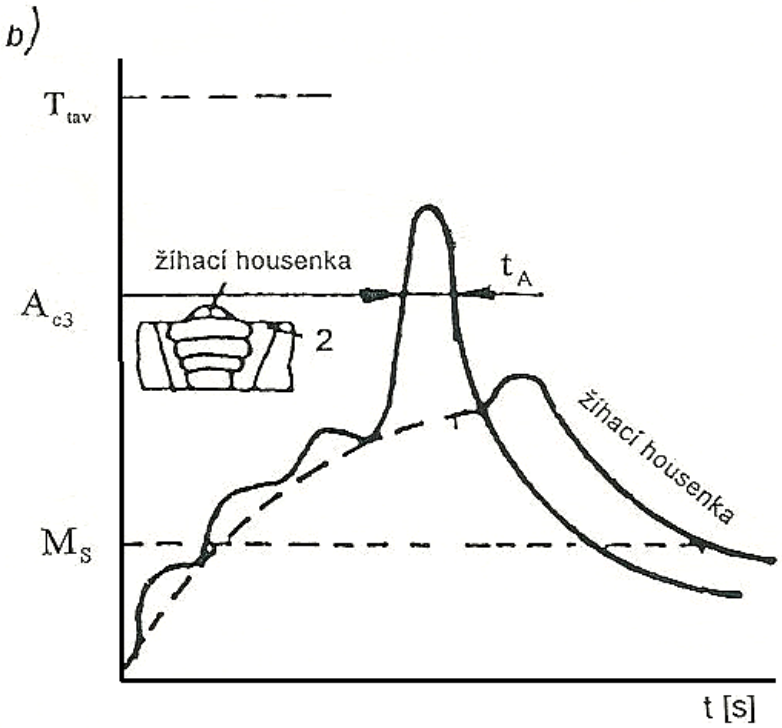
Č. metody	Metoda svařování	Koeficient *k*
121	svařování pod tavidlem drátovou elektrodou	1,0
111	ruční obloukové svařování obalenou elektrodou	0,8
114	obloukové svařování plněnou elektrodou bez ochranného plynu	0,8
131	obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu; MIG svařování	0,8
135	obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu; MAG svařování	0,8
136	obloukové svařování tavidlem plněnou elektrodou v aktivním plynu	0,8
137	obloukové svařování tavidlem plněnou elektrodou v inertním plynu	0,8
138	obloukové svařování kovem plněnou elektrodou v aktivním plynu	0,8
139	obloukové svařování kovem plněnou elektrodou v inertním plynu	0,8
141	obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu; WIG (TIG) svařování	0,6
15	plazmové svařování	0,6

© Vl. Ochodek 12/2011

Vliv několikavrstvého svařování

Teplotní cyklus svařování : T=f (t)





© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem-ČSN EN 1011-2 B

Vlivy chemického složení, vyjádřené uhlíkovým ekvivalentem *CET*, tloušťky plechu *d*, obsahu vodíku ve svarovém kovu *HD* a tepelného příkonu *Q* lze pro výpočet teploty předehřevu T_p sloučit ve vzorci uvedeném níže.

$$T_p = T_{pCET} + T_{pd} + T_{pHD} + T_{pQ} \quad (°C)$$

Teplotu předehřevu lze také vypočítat dle následujícího vztahu:

$$T_p = 697 \times CET + 160 \times \tanh\left(\frac{d}{35}\right) + 62 \times HD^{0,35} + (53 \times CET - 32) \times Q - 328 \quad (°C)$$

Tento vztah platí pro konstrukční oceli s mezí kluzu do 1000 N/mm^2 a

CET	=	0,2 až 0,5 %
d	=	10 až 90 mm
HD	=	1 až 20 ml/100 g
Q	=	0,5 až 4,0 kJ/mm.

a) Uhlíkový ekvivalent *CET* základního materiálu je větší než *CET* svarového kovu nejméně o 0,03 %. Jinak se výpočet teploty předehřevu provede na základě *CET* svarového kovu navýšeného o 0,03 %.

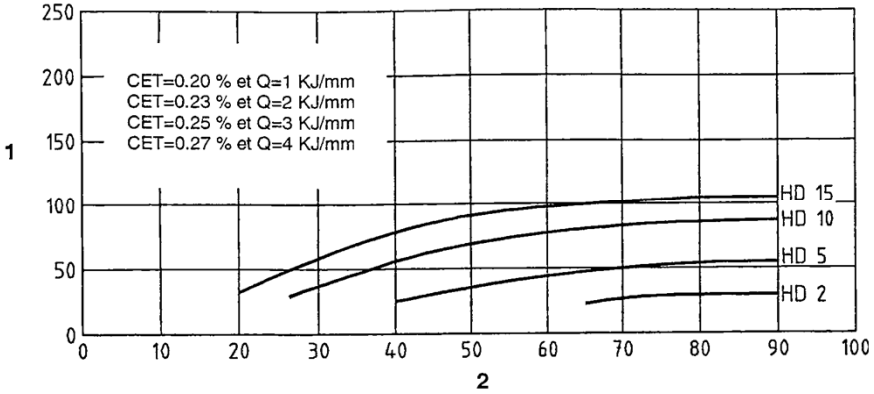
b) Jednovrstvé (jednoprůchodové) koutové, stehové a kořenové svary jsou dlouhé minimálně 50 mm. Jestliže tloušťka plechu přesahuje 25 mm, provedou se stehové a kořenové svary ve dvou vrstvách při použití měkkého houževnatého kovu.

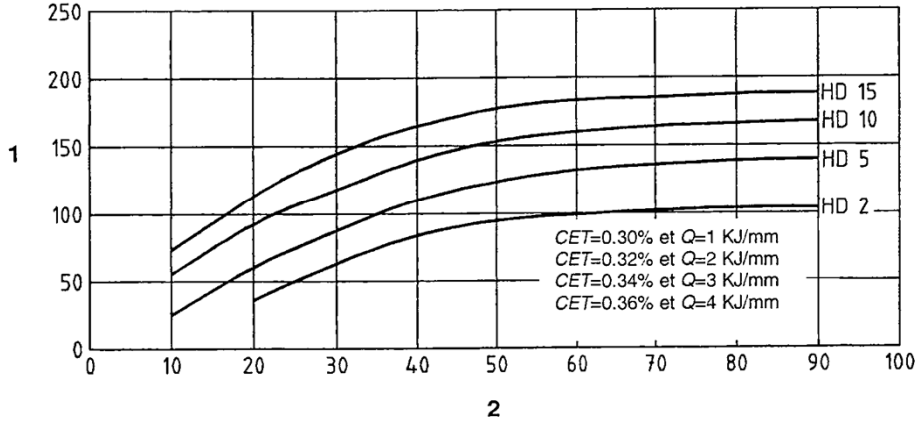
c) V případě svařování výplňových vrstev, které zahrnuje také vícevrstvé koutové svary, se neprovádí interpass (mezihousenkové) ochlazování tak dlouho, pokud tloušťka svaru nedosahuje jedné třetiny tloušťky plechu. Jinak je nutné snížit obsah vodíku prostřednictvím tepelného zpracování po svařování.

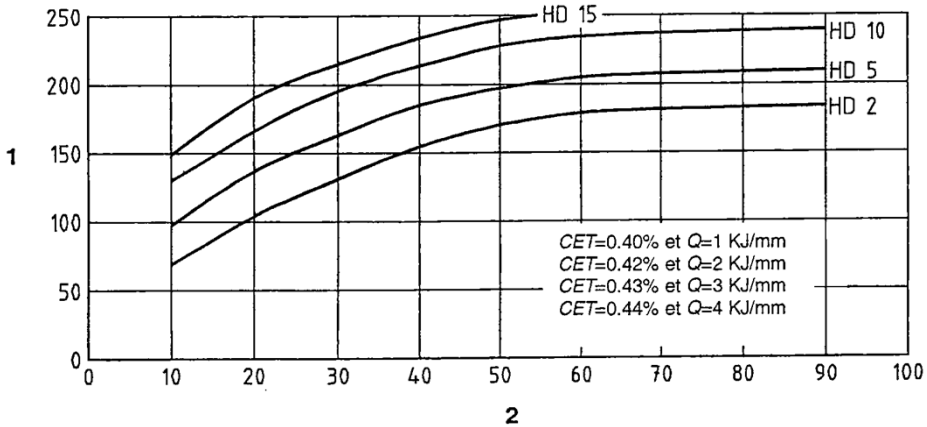
d) Musí být zvolen takový sled svařování, aby byla eliminována silná plastická deformace svarů s částečným průvarem.

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem-ČSN EN 1011-2 B







Teplota předehřevu T_p v závislosti na tloušťce plechu *d*

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem-ČSN EN 1011-2 C

Pro žárupevné oceli a oceli pro nízké teploty se musí používat metoda popisovaná v C4

Tab. 2.1 - Žárupevné oceli - minimální teplota předehřevu a minimální teplota interpass

Typ oceli	Tloušťka	Minimální teplota předehřevu a minimální teplota interpass (°C)			Maximální teplota interpass (°C)
		Stupeň obsahu vodíku			
		D ≤5 (ml/100 g)	C 5 až 10 (ml/100 g)	A > 15 (ml/100 g)	
0,3 Mo	≤ 15 > 15 ≤ 30 > 30	20 75 75	20 75 100	100 100 nepoužitelné	250
1 Cr 0,5 Mo 1,25 Cr 0,5 Mo	≤ 15 > 15	20 10	100 150	150 nepoužitelné	300
0,5 Cr 0,5 Mo 0,25 V	≤ 15 > 15	100 100	150 200	nepoužitelné nepoužitelné	300
2,25 Cr 1 Mo	≤ 15 > 15	75 100	150 200	200 nepoužitelné	350
5 Cr 0,5 Mo 7 Cr 0,5 Mo 9 Cr 1 Mo	všechny	150	200	nepoužitelné	350
12 Cr Mo V	≤ 8 > 8	150 200 a 350 b	nepoužitelné nepoužitelné	nepoužitelné nepoužitelné	300 a 450 b

a Martenzitická metoda, při které je teplota předehřevu nižší než teplota počátku martenzitické transformace $M_{(s)}$ a transformace na martenzit nastane před tím, než je použito jakékoliv tepelné zpracování.

b Astenitická metoda, při které je teplota předehřevu vyšší než M(s) a spoj musí být ochlazen pod M(s) aby bylo zajištěno, že transformace na martenzit nastane před tím, než je použito jakékoliv tepelné zpracování po svařování.

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem-ČSN EN 1011-2 C

Pro žárupevné oceli a oceli pro nízké teploty se musí používat metoda popisovaná v C4

Tab. 2.2 - Oceli pro nízké teploty - minimální teplota předehřevu a minimální teplota interpass				
Typ oceli	Tloušťka (mm)	Minimální teplota předehřevu a minimální teplota interpass (°C)		Maximální teplota interpass (°C)
		Stupeň obsahu vodíku		
		D ≤5 (ml/100 g)	5 až 10 (ml/100 g)	
3,5 Ni	nad 10	100 a	150 a	
5,0 Ni	nad 10	100 b	nepoužitelné	250
5,5 Ni	nad 10	100 b	nepoužitelné	250
9,0 Ni	nad 10	100 b	nepoužitelné	250
a Hodnoty uvedené pro minimální předehřevu jsou typické pro běžnou výrobu při použití přídavných materiálu, jejichž chemického složení odpovídá základnímu materiálu.				
b Stanovená úroveň předehřevu se vztahuje na ty případy, ve kterých se použijí podobné přídavné materiály nebo svařování bez přídavného materiálu.				
Oceli s 5 až 9% Ni jsou obvykle svařovány s použitím přídavných svařovacích materiálů na bázi Ni a předehřev není obvykle požadován do tloušťky 50 mm.				

Tab - 2.3 Příklady maximálních kobinovaných tloušťěk svařitelných bez předehřevu.				
Obsah difuzního vodíku (ml/100 g svarového kovu)	Maximální kombinovaná tloušťka (mm)			
	CE = 0,49		CE = 0,43	
	Tepelný příkon		Tepelný příkon	
	1,0kJ/mm	2,0kJ/mm	1,0kJ/mm	2,0kJ/mm
> 15	25	50	40	80
10 ≤ 15	30	55	50	90
5 ≤ 15	35	65	60	100
3 ≤ 15	50	100	100	100
≤ 15	60	100	100	100

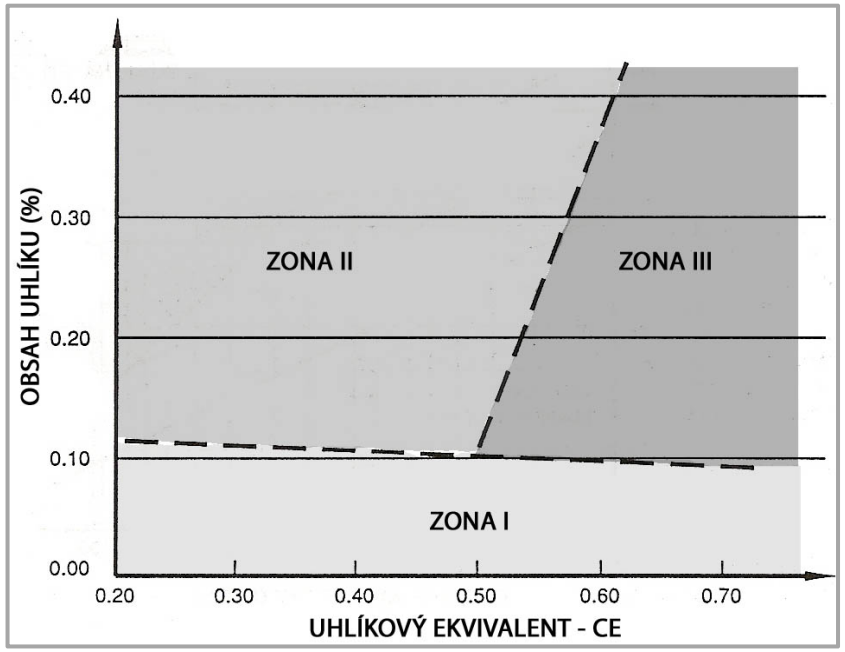
© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem- ANSI/AWS

dle ANSI / AWS (D 1.1)
(American National Standart Institute/ American Welding Society)

Výpočtové metody
1.Hardness Method (HM) – výpočet optimálního tepelného příkonu svařování k eliminaci studeného praskání.

2.Hydrogen Control Method (HCM) – výpočet předehřevu dle chemického složení ZM a obsahu difusního vodíku ve svaru.



$$Ce = C + \frac{Mn + Si}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

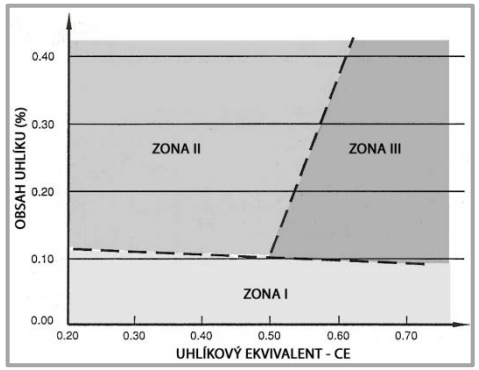
© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem- ANSI/AWS 2

Zona I
V této oblasti je vznik studeného praskání nepravděpodobný. Pouze v případě vysokého obsahu difusního vodíku nebo vysoké úrovně zbytkového napětí, se teplota předehřevu stanoví metodou HCM.

Zona II
Nebezpečí vzniku studených trhlin lze eliminovat stanovením minimálního tepelného příkonu svařování metodou HM.

Zona III
Pokud je úroveň tepelného příkonu příliš vysoká a hrozí degradace mechanických a technologických vlastností TOO, stanoví se předehřev metodou HCM.



Úrove ň obsahu Hd	Index náchylnosti k vodíkovému praskání				
	Parametr chemického složení Pcm				
	< 0,18	< 0,23	< 0,28	< 0,33	< 0,38
H1	A	B	C	D	E
H2	B	C	D	E	F
H3	C	D	E	F	G

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem- ANSI/AWS 2

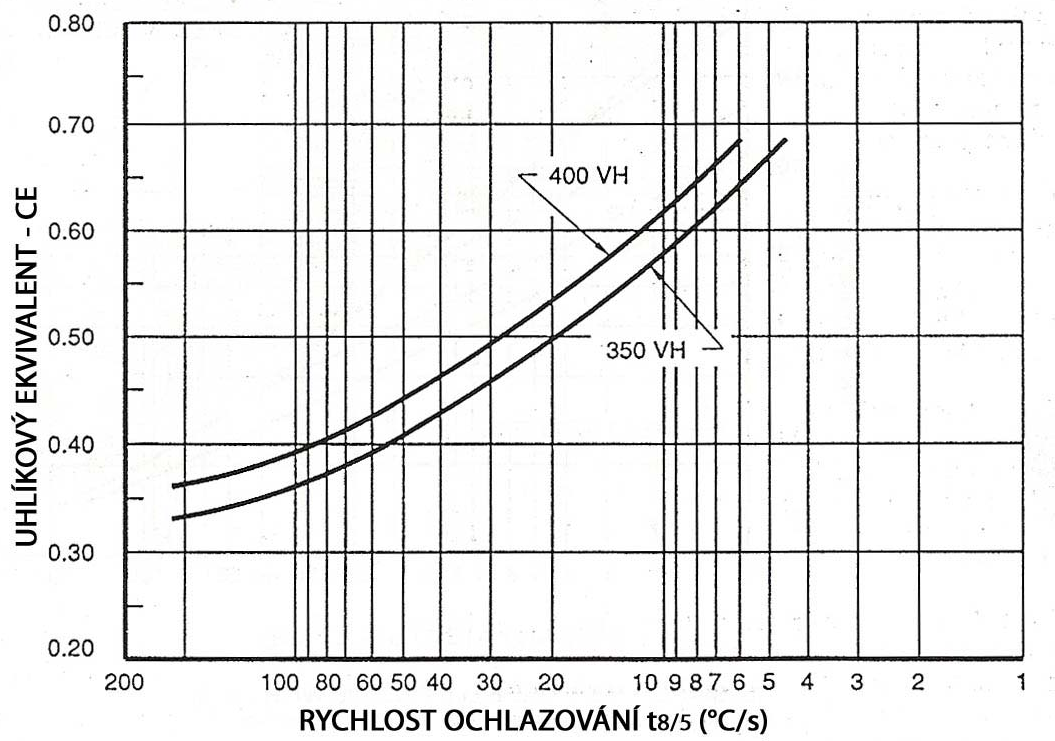
Tuhost konstrukce	Tloušťka desky (mm)	Minimum teploty předehřevu a interpass (C)						
		Index náchylnosti k vodíkovému praskání						
		A	B	C	D	E	F	G
nízká	<10	<18	<18	<18	<18	60	140	150
	10 - 20	<18	<18	18	60	99	140	150
	20 - 25	<18	<18	18	80	110	140	150
	25 - 75	18	18	40	93	120	140	150
	>75	18	18	40	93	120	140	150
střední	<10	<18	<18	<18	<18	70	140	160
	10 - 20	<18	<18	18	80	115	145	160
	20 - 25	<18	18	74	110	140	150	160
	25 - 75	18	80	110	130	150	150	160
	>75	90	120	140	150	160	160	160
vysoká	<10	<18	<18	<18	40	110	150	160
	10 - 20	<18	18	65	105	140	160	160
	20 - 25	18	85	115	140	150	160	160
	25 - 75	115	130	150	150	160	160	160
	>75	115	130	150	150	160	160	160

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem- ANSI/AWS 1

Metoda výpočtu HM - Hardness Method

Stanovení kritické rychlosti ochlazování dle ekvivalentu CE a úrovně tvrdosti,



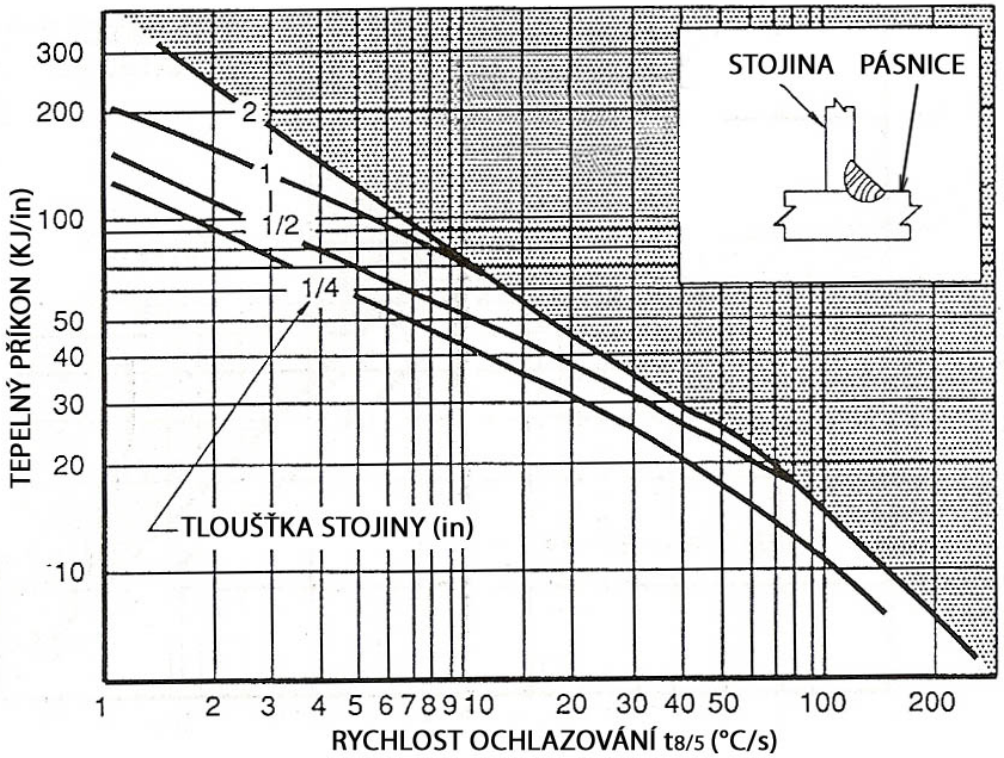
Rychlost ochlazování jako funkce ekvivalentu CE a tvrdosti.

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem- ANSI/AWS 1

Metoda výpočtu HM - Hardness Method

Odečet hodnoty tepelného příkonu svařování ze sady grafů, zkonstruovaných pro jednotlivé typy a rozměry svarových ploch,



Tepelný příkon, jednovrstvý koutový svar, tloušťka pásnice 0,5 in (≈ 12,7 mm).

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem-Yurioka [4]

http://homepage3.nifty.com/yurioka/index.html
http://www-it.jwes.or.jp/weld_simulator/en/index.jsp

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem-Yurioka

Calculation menu of steel weldability and weld metal property

1. Carbon equivalents and transformation temperature	1. Remarks 2. Calculation	4. Minimum necessary preheat temperature	1.Remarks 2. Calculation
2. Thermal history and welding cooling time in arc welding	1. Remarks 2. Calculation	5. Weld metal tensile strength	1. Remarks 2. Calculation
3. HAZ maximum hardness	1. Remarks 2. Calculation	6. Charpy transition temp. of all-weld-metal	1. Remarks 2. Calculation

鋼材の溶接性・溶接金属材質計算メニュー

1. 炭素当量と変態温度	1. 説明 2. 計 算	4. 鋼材溶接必要予熱温度	1. 説明 2. 計算
2. アーク溶接の熱履歴と冷却時間	1. 説明 2. 計算	5. 溶接金属引張強さ	1. 説明 2. 計算
3. 熱影響部最高硬さ	1. 説明 2. 計算	6. 溶着金属靭性	1. 説明 2. 計算

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem-Yurioka

1. Carbon Equivalents and Transiton Temperatures of Low-alloy Steels

Chemical Composition Input (wt%)

C(<0.8)	0.15	Mo(<1.0)	0.0
Si(<1.5)	0.25	V(<0.1)	0.0
Mn(<3.0)	1.2	Nb(<0.1)	0.0
P(<0.025)		Ti(<0.1)	0.0
S(<0.025)		Al(<0.1)	0.02
Cu(<2.0)	0.01	N(<0.01)	
Ni(<10.0)	0.0	O(<0.01)	
Cr(<10.0)	0.0	B(<0.003)	0.0001

Carbon Equivalents (wt%)

CE(IIW)	0.350
CE(WES)	0.360
Pcm	0.219
CEn	0.336

Transformation Temp (oC)

(Mn<2,Cu<1,Cr<2.5,Mo<0.5)

Ac3	866.3
Ac1	733.5
Ms	433.5

Calculate | Initialize

May 12, 2007 updated

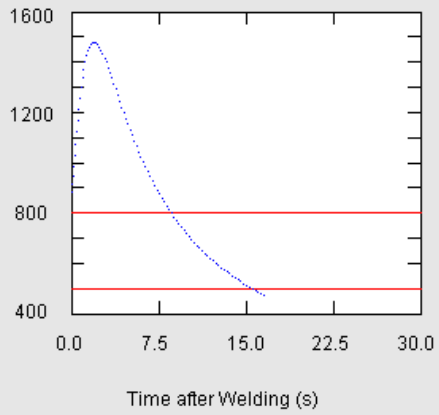
Source code by N.Y

2. Welding Thermal History at Fusion Line of Low-alloy Steels

Welding Condition Input

Current (A) 50<Amp<5000	170
Voltage (V) 5<Volt<100	25
Velocity(cm/min) 1<Velocity<1000	15
Arc Efficiency 0.3<Eata<1.0	0.80
Thickness (mm) 5<Thick<200	20
Ambient Temp (oC) -50<Temp<50	20
Preheat & Interpass(oC) -50<Temp<400	20

Thermal History at Fusion Line



Welding Condition Output

Arc Energy, AE(kJ/mm)	1.70
Heat Input, HI(kJ/mm)	1.36
Weld Cooling Time, t85(s)	**7.00**

Calculate

initialize

May 12, 2007, updated
Source code by N.Y.

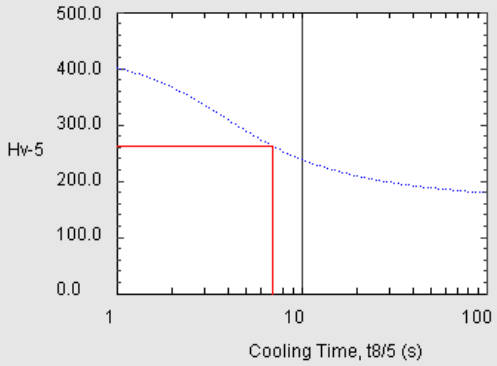
© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem-Yurioka

3. HAZ Maximum Hardness of Low-alloy steels

Welding Condition Input

Current (A) 50<A<5000	170
Voltage (V) 5<V<100	25
Velocity, (cm/min) 1<Vel<1000	15
Arc Efficiency 0.3<Eata<1.0	0.8
Thickness, (mm) 5<Thick<200	20
Ambient Temp, (oC) -50<Temperature<50	20
Preheat & Interpass, (oC) -50<Temperature<400	20



Welding Condition Output

Arc Enegy, (kJ/mm)	1.70
Heat Input, (kJ/mm)	1.36
Welding Cooling Time, t8/5(s)	**7.00**

HAZ Maximum Hardness estimated

Hv-5	**261.4**
Martensite Volume (%)	**29.7**

Composition Input (wt%)

C <0.8	0.15	S <0.025		Mo <1.0	0.0	Al <0.1	
Si <1.5	0.25	Cu <2.0	0.0	V <0.1	0.02	N <0.01	0.004
Mn <3.0	1.20	Ni <10.0	0.0	Nb <0.1	0.01	O <0.01	
P <0.025		Cr <10.0	0.0	Ti <0.1		B <0.003	0.0001

Calculate

Weld Condition Initialize

Composition Initialize

May 12, 2007, updated

Source code by N.Y.

4. Minimum Necessary Preheat Temperature in Welding of Low-alloy Steels

Welding Condition Input

Arc Energy (kJ/mm) 0.5<AE<6.0	1.70
Arc Efficiency 0.3<Eata<1.0	0.8
Heat Input (kJ/mm)	1.36
Weld Metal Yield Stress (MPa) 300<WM_YS<1000	360
Diffusible Hydrogen (ml/100g) 0.2<Hiiw<60	7.0
Thickness (mm) 5<Thick<250	25

Composition Input (wt%)

C <0.8	0.15	Ni <2.0	0.00		
Si <1.5	0.25	Cr <3.0	0.00		
Mn <3.0	1.20	Mo <1.0	0.00		
P <0.025		V <0.1	0.02		
S <0.025		Nb <0.1	0.01		
Cu <2.0	0.01	B <0.0003			

Carbon Euivalent (wt%)

CE(IIW)	0.354	**CEn**	**0.341**
Pcm	0.220		

Min Necessary Preheat predicted (oC)

y-groove Restraint Test	58
Repair Welding	33
Normal Welding	**5**

Calculate

Welding Condition Initialize

Composition Initialize

May 13, 2007, updated

Source code by N.Y.

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem – porovnání [2]

Mechanické vlastnosti

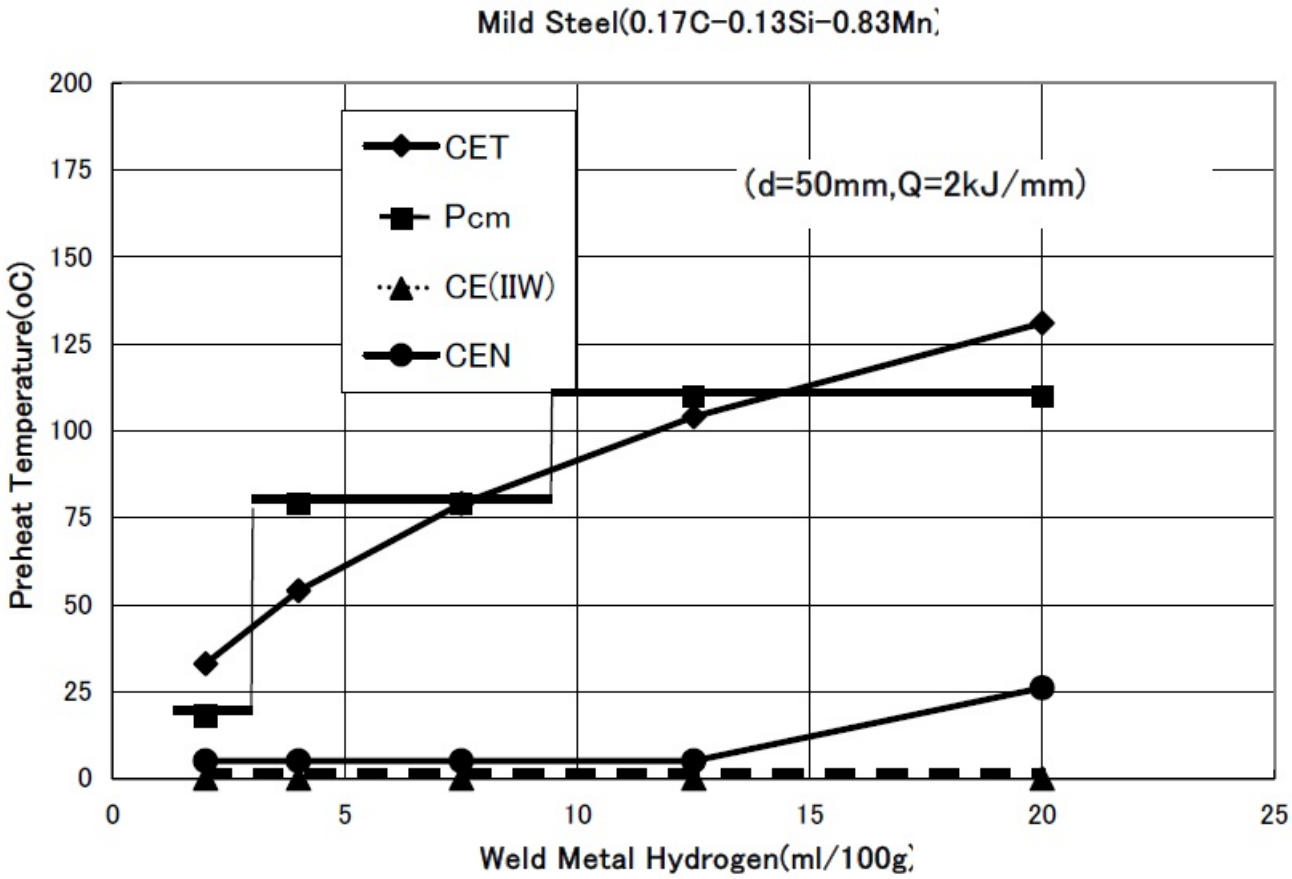
No	Steel	Process	Thick.(mm)	YS(MPa)	TS(MPa)	El(%)
1	Mild steel	As rolled	50	283	438	30
2	TS490	Normalized	32	370	550	28
3	TS590	Direct Q&T	100	470	680	28
4	TS780	Q&T	50	780	820	21
5	TS780-Cu	Direct A&T	38	784	837	25
6	A516 Gr70	Normalized	100	340	560	32
7	API X80	TMCP	20	601	661	30

Chemické složení ocelí

No	Steel	C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	B
1	Mild steel	0.170	0.13	0.83							
2	TS490	0.140	0.41	1.44							
3	TS590	0.120	0.27	1.44	0.23	0.19		0.22	0.04		
4	TS780	0.110	0.21	0.85	0.22	0.97	0.53	0.43	0.05		0.0010
5	TS780-Cu	0.060	0.26	1.34	0.97	1.03	0.46	0.31	0.09	0.04	
6	A516 Gr70	0.234	0.21	1.19	0.018	0.02	0.026		0.036		0.0005
7	API X80	0.034	0.15	2.06		0.31	0.017	0.30		0.056	0.0010

© Vl. Ochodek 12/2011

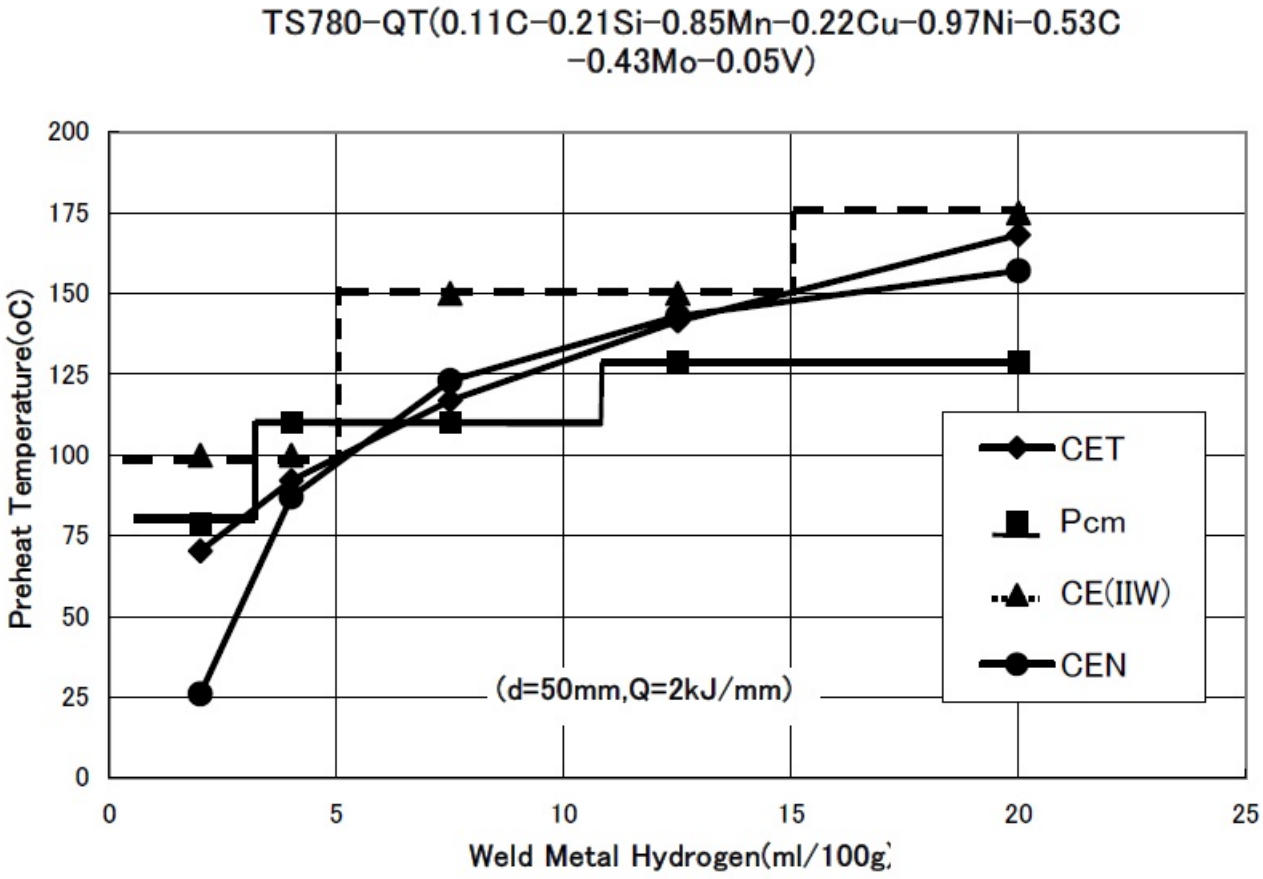
Stanovení Tp výpočtem – porovnání [2]



Predicted preheat temperatures against weld metal hydrogen (Mild steel)

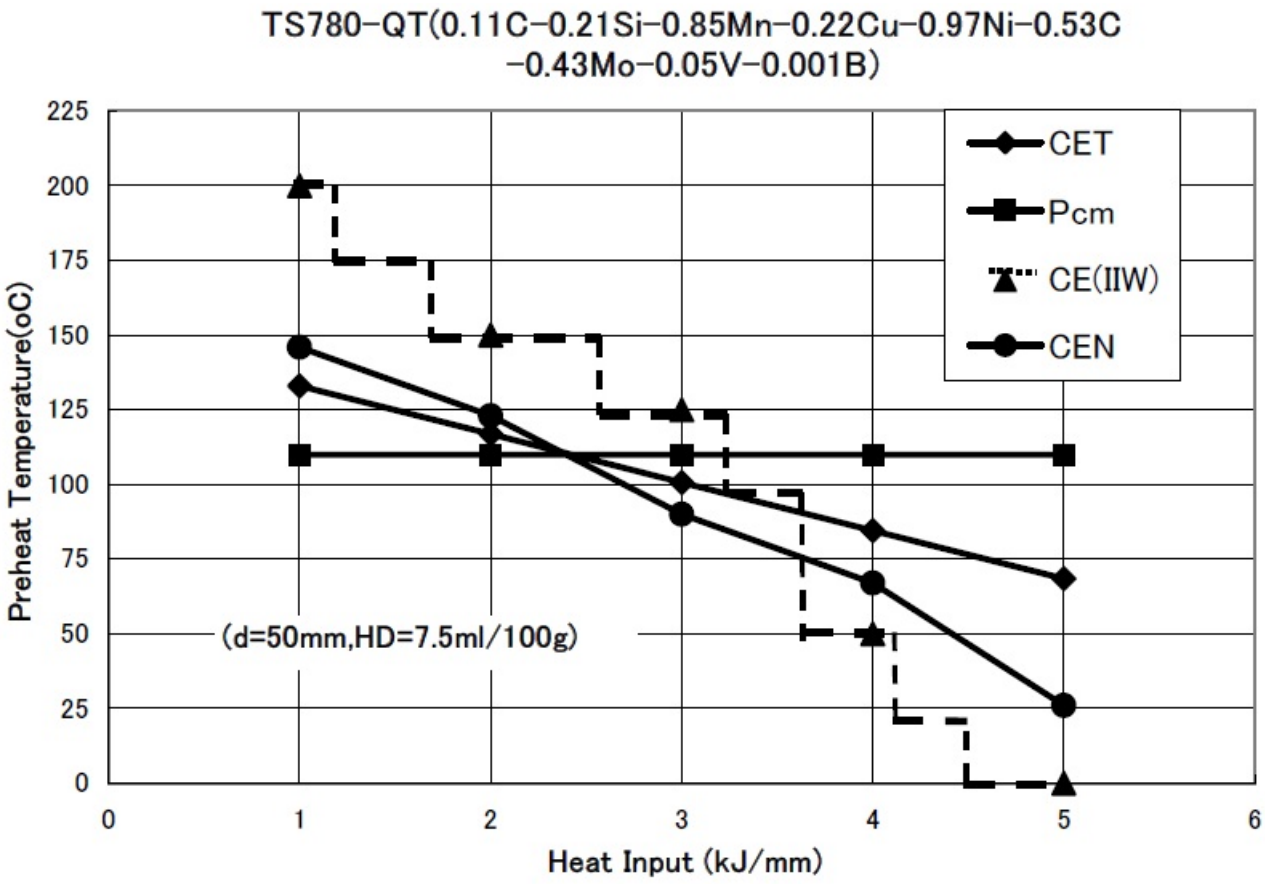
© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem – porovnání [2]



Predicted preheat temperatures against weld metal hydrogen (TS780steel)

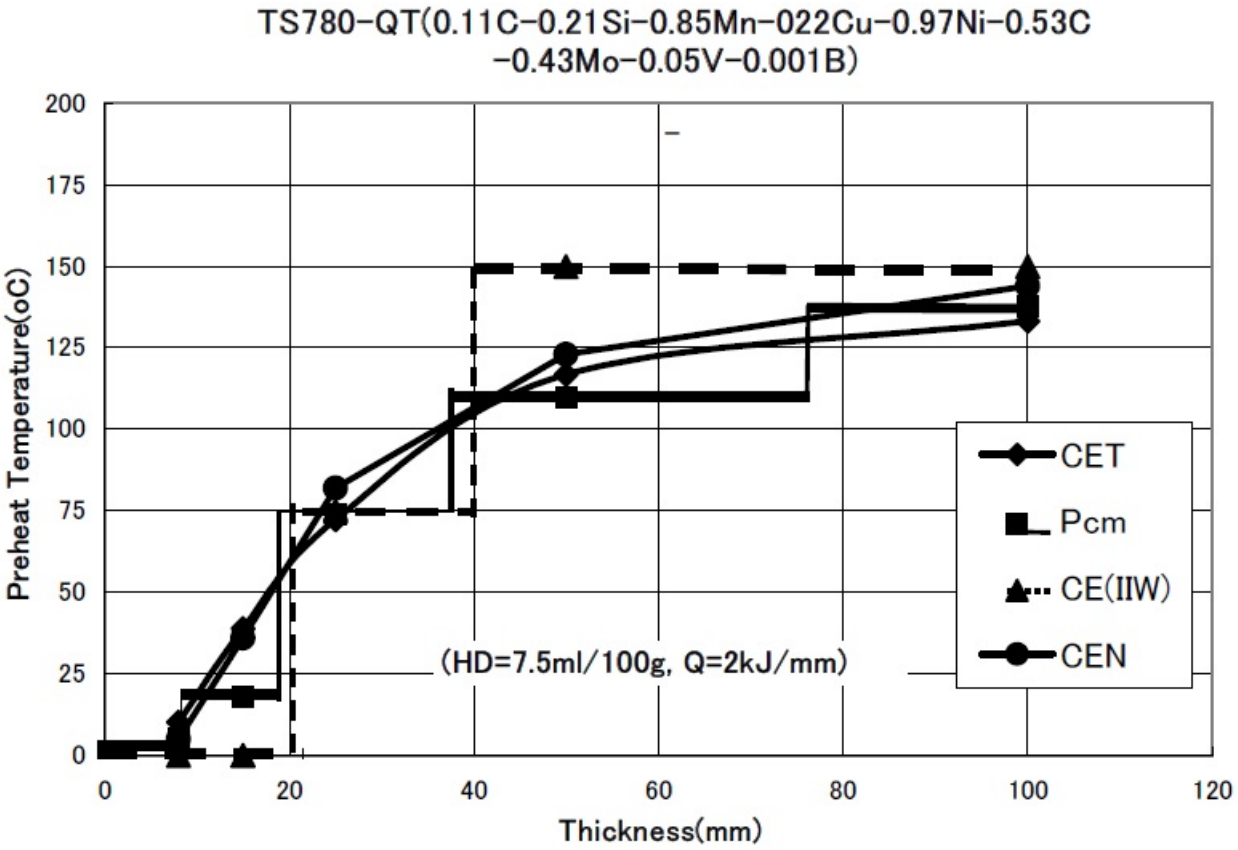
Stanovení Tp výpočtem – porovnání [2]



Predicted preheat temperatures against heat input (TS780MPa steel)

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem – porovnání [2]



Predicted preheat temperatures against plate thickness (TS780MPa steel)

© Vl. Ochodek 12/2011

Stanovení Tp výpočtem - závěr

Svařitelnost moderních vysoce odolných ocelí se výrazně zlepšila snížením uhlíku ,legující prvků a termomechanickým zpracováním.

Problematickou oblastí s ohledem na legování je pak svarový kov, kde není možné použít termomechanický princip. Zvyšování obsahu legur ve svarovém kovu může vést k nárůstu náchylnosti na studenou praskavost.

Všechny metody predikce reagují podobně na základní faktory ovlivňující praskavost za studena.

Metoda ČSN EN 1011-2 B (CET method) je poměrně velmi konzervativní pro C-Mn oceli.

Pro moderní oceli je vhodné použít algoritmy ,které reagují na základní faktory ovlivňující studenou praskavost : svařovací příkon , difuzní vodík, chemické složení, tuhost svarového spoje (příp. tloušťku- komb. tloušťku), strukturu (t8/5. t3/1, tm.)

© Vl. Ochodek 12/2011

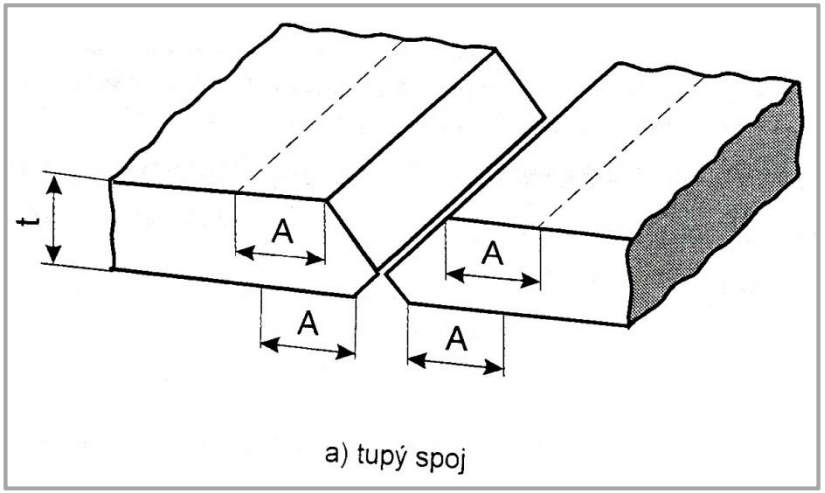
Kontrola teploty předehřevu

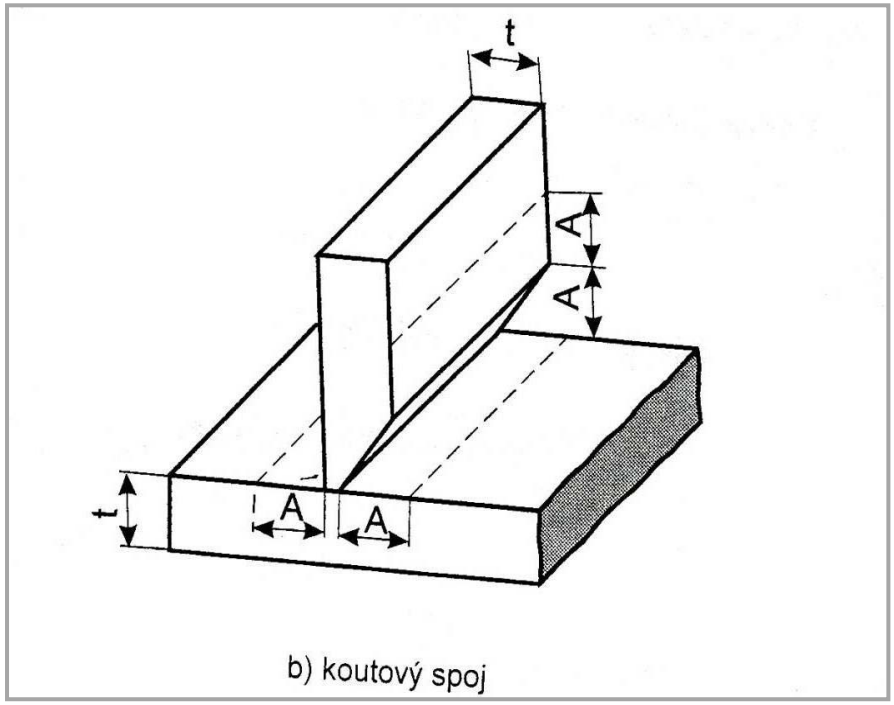
Ostrava 3/2012

© Vl. Ochodek 3/2012

Teplota předehřevu -kontrola

Kontrola teploty předehřevu (ČSN EN ISO 13916) :





t <= 50 : A= 4x t max. 50mm
t > 50 : A=75 mm

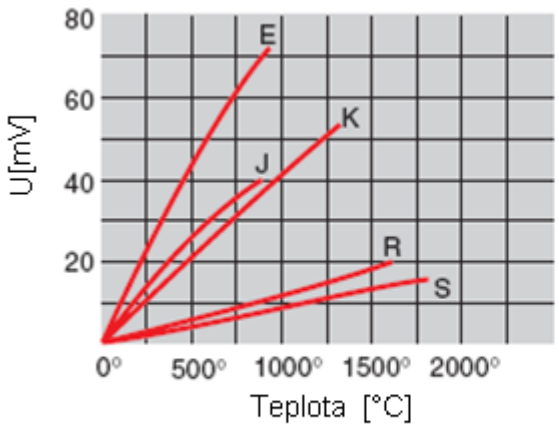
Měření na opačné straně, než která je ohřívaná.
Přístup z ohřívané strany po odstranění topných elementů, čas pro vyrovnání teploty je 2 min. na každých 25 mm tloušťky ZM.

© Vl. Ochodek 9/2010

Termokřídy , termolaky [3]

© Vl. Ochodek 1/2011

Měření teploty termočlánky

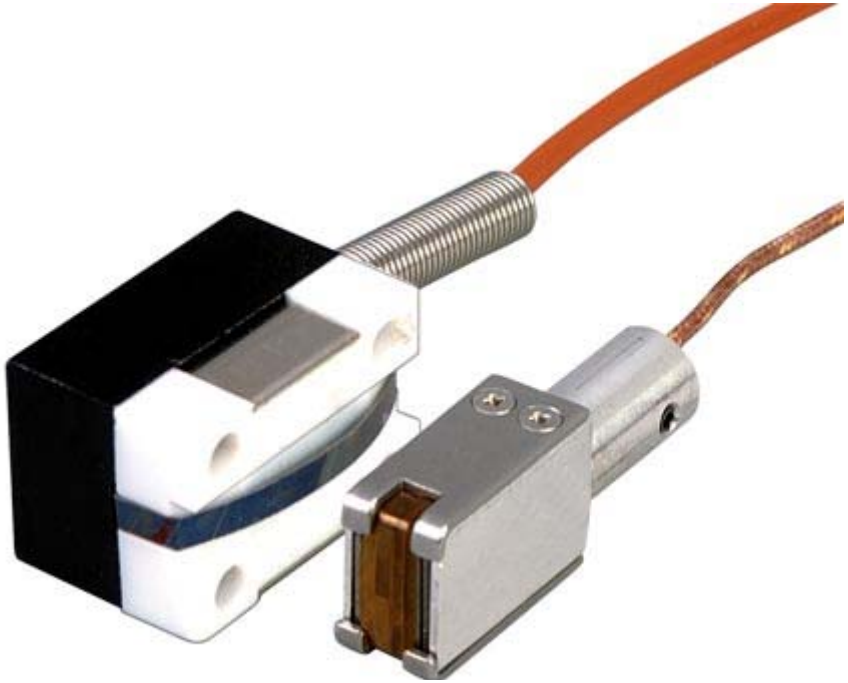


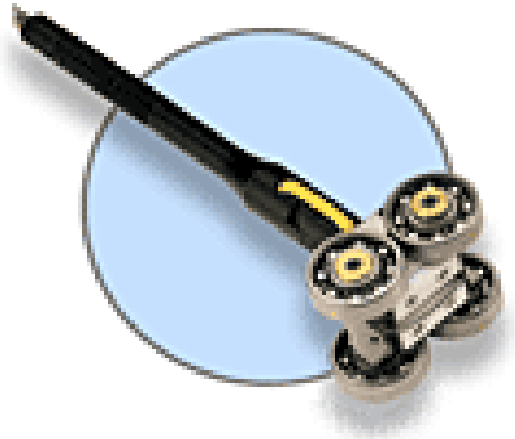
Typ	Kov +	Kov –
E	Chromel vs.	Constantan
J	Iron vs.	Constantan
K	Chromel vs.	Alumel
R	Platinum vs.	Platinum 13% Rhodium
S	Platinum vs.	Platinum 10% Rhodium
T	Copper vs.	Constantan

Rozsah teplot pro termočlánky

© Vl. Ochodek 9/2010

Termočlánkové sondy [3]





© Vl. Ochodek 1/2011

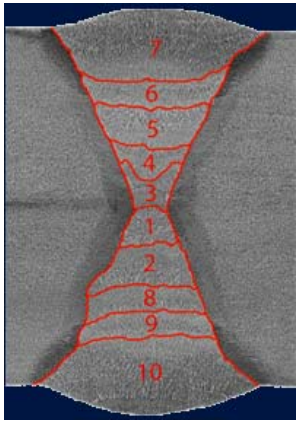
Digitální teploměry [3]

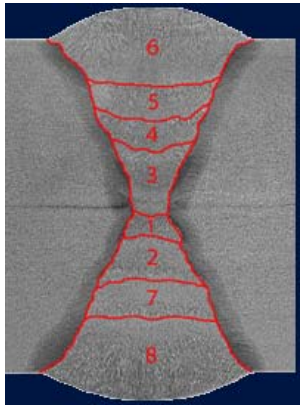
© Vl. Ochodek 1/2011

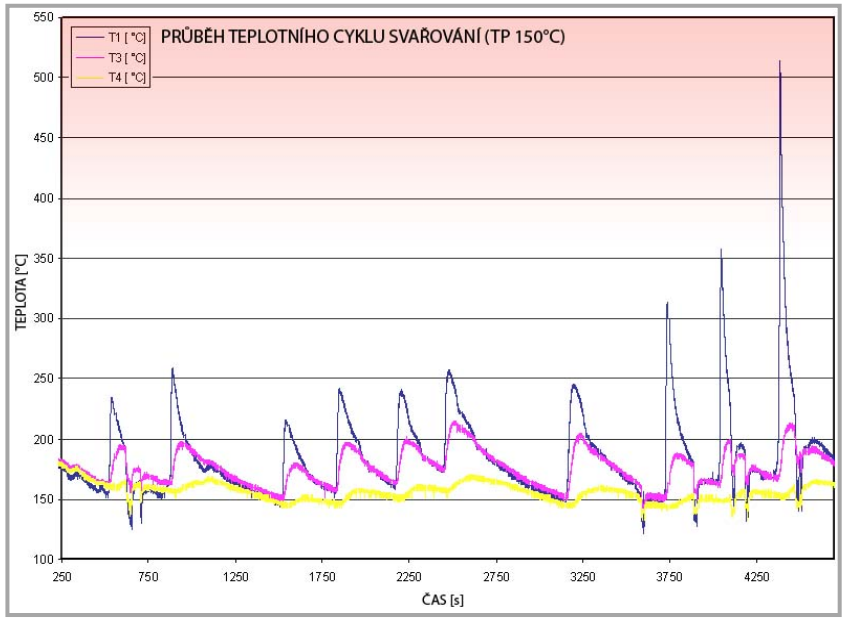
Kalibrátory [3]

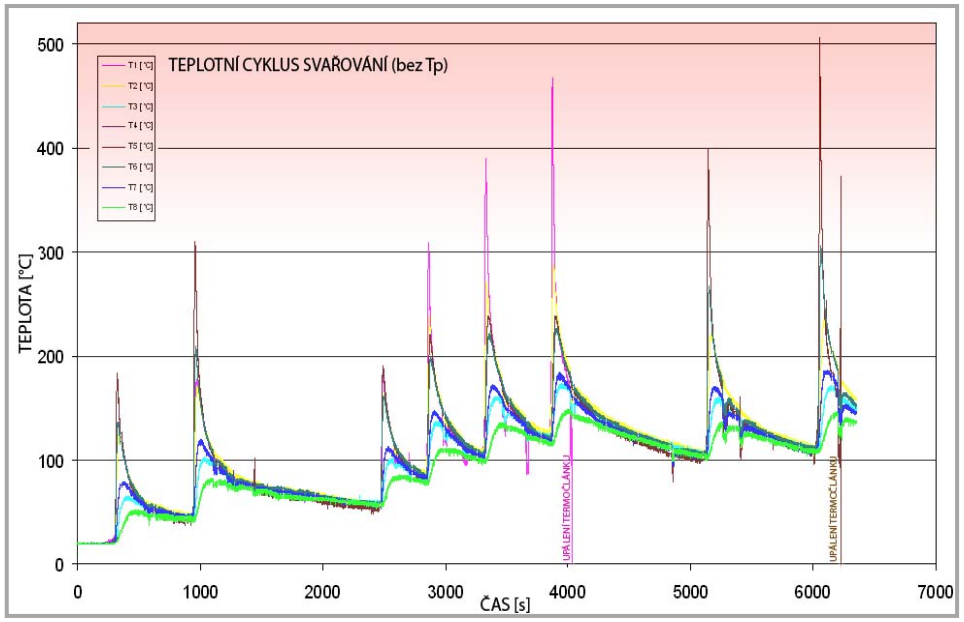
© Vl. Ochodek 1/2011

Záznam teploty v průběhu svařování





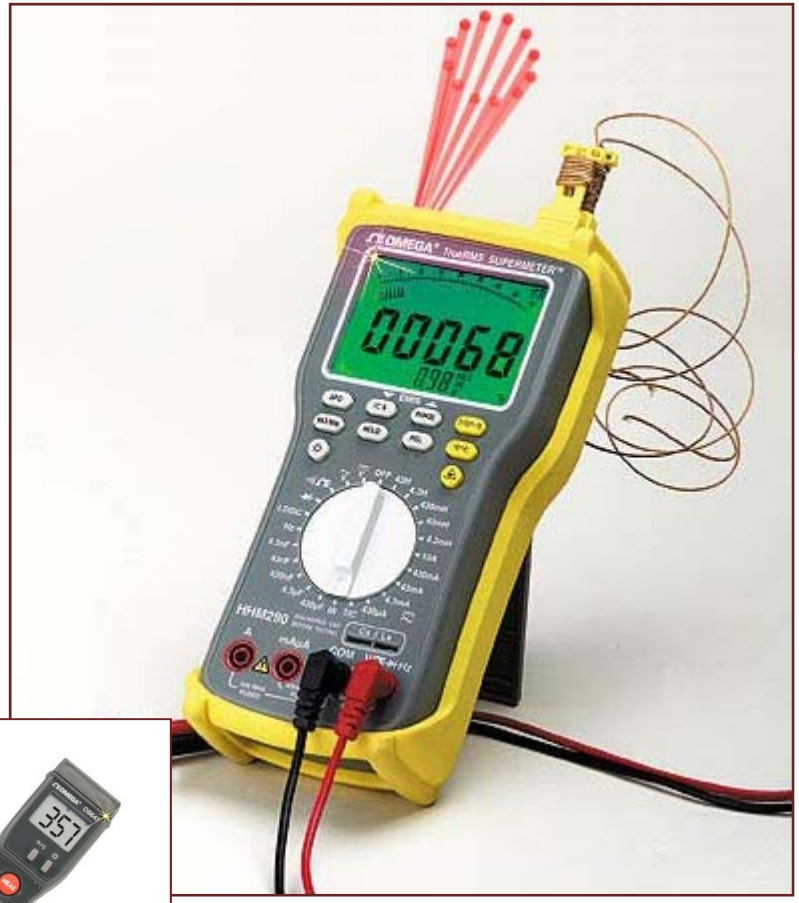




© Vl. Ochodek 9/2010

Bezkontaktní měření teploty [3]

Infratermočlánek



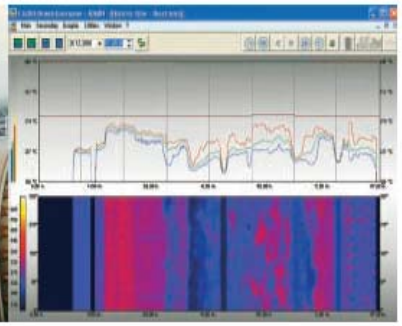
Rozsah teplot do 2482 C
Emisivita k nastavení od 0.1 do 1.00 po kroku 0.01

© Vl. Ochodek 1/2011

Bezkontaktní měření teploty [3]

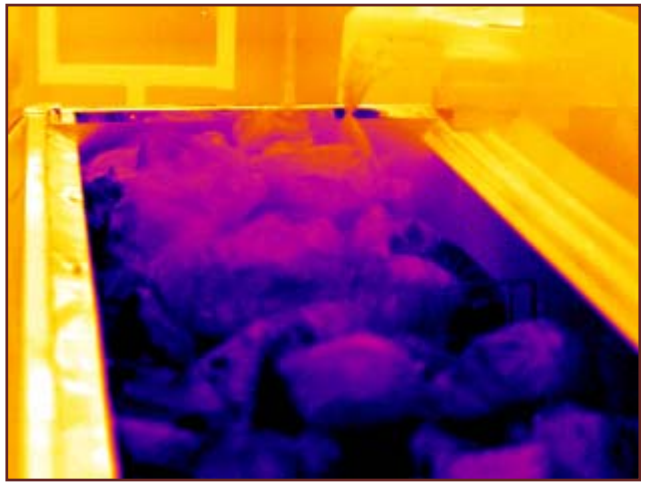
Model	Temperature Range	Spectral Response	Response Time (95% response)
LT	-40°C to 800°C (-40°F to 1472°F)	8 - 14 µm	120 ms
G5L	250°C to 1650°C (482°F to 3002°F)	5 µm	60 ms
G5H	450°C to 2250°C (842°F to 4082°F)	5 µm	60 ms
MT	250°C to 1100°C (482°F to 2012°F)	3.9 µm	120 ms
New! 3M	100°C to 600°C (212°F to 1112°F)	2.3 µm	20 ms
2ML	300°C to 1100°C (572°F to 2012°F)	1.6 µm	2 ms
2MH	450°C to 2250°C (842°F to 4082°F)	1.6 µm	2 ms
1ML	450°C to 1740°C (842°F to 2732°F	1 µm	2 ms
1MH	650°C to 3000°C (1202°F to 5432°F)	1 µm	2 ms

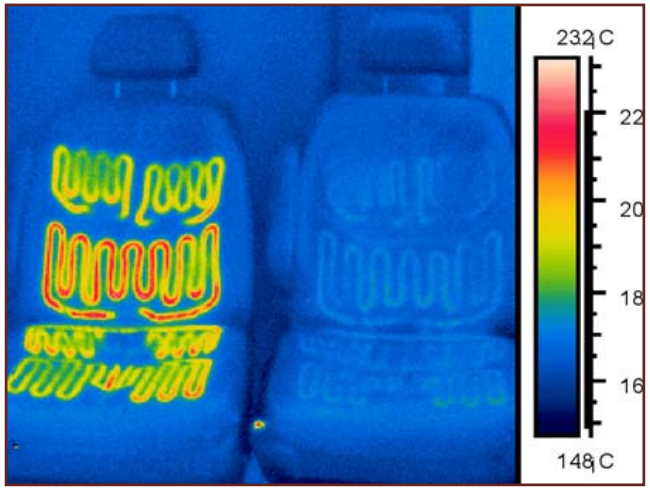
CS200 System Installation

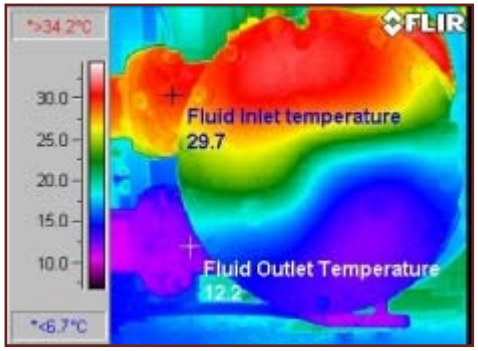


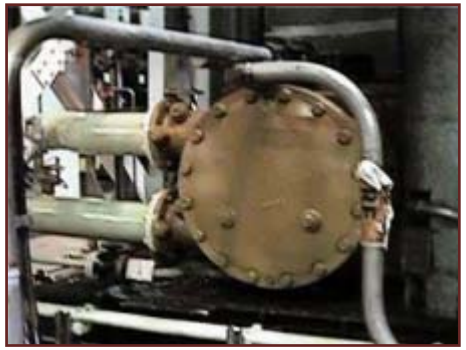
Thermogram with temperature profiles

Bezkontaktní měření teploty









Stanovení teploty předehřevu

Děkuji za pozornost.

Dotazy ?

vladislav.ochodek@vsb.cz

Odkazy :

[1] Boellinghaus, Th. At al. Cold cracking tests –revision. IIW-Doc.NoII-A-111-03
[2] Yurioka,N.Comparison of Preheat Predictive Method. IIW-Doc.IX/2135-04
[3] http://www.newportelect.com/
[4] Yurioka,N. Welding Cal. http://www-it.jwes.or.jp/weld_simulator/en/index.jsp

© Vl. Ochodek 3/2012