



# STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JADERNÉ ENERGETICE

BEŇO MARCEL – ÚTVAR TB ČEZ  
BEŇO FRANTIŠEK – ÚTVAR TB ČEZ  
KOUKAL JAROSLAV – ČSÚ OSTRAVA, VŠB-TUO



SVAŘOVACÍ DEN 2013  
SOŠ A SOU HNĚVKOVICE  
6.-7.6.2013



## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

### Úvod

Článek se zabývá problematikou ověřování strukturní stálosti heterogenních návarů v různých variantách svařovacích materiálů, technologií svařování a tepelného zpracování hotových návarů, s cílem navrhnout technologicky nejvhodnější postupy jejich oprav.

Při spojování zařízení a potrubí z různorodých ocelí svařováním se vytvářejí různé struktury odpovídajících částí feriticko-perlitických a austenitických ocelí. Heterogenní svarové spoje se mohou také využívat jako antikorozní opláštění povrchů přicházejících do styku s chladicí kapalinou. Vlastnosti heterogenních svarových spojů mohou být dále ovlivněny změnami koeficientu lineární roztažnosti a vznikem nauhličených a oduhličených oblastí. V nauhličených oblastech klesá jejich plasticita, v oduhličených oblastech se snižují pevnostní vlastnosti. Vzhledem k rozdílu v koeficientu lineární roztažnosti ve svarových spojkách dochází ke komplexní napjatosti. Rozdíl elektrochemických potenciálů ocelí může způsobit vznik galvanické koroze. Difúze uhlíku při tepelném zpracování a za provozu zařízení zvyšuje náchylnost k MKK.

### *Definice životnosti HSS*

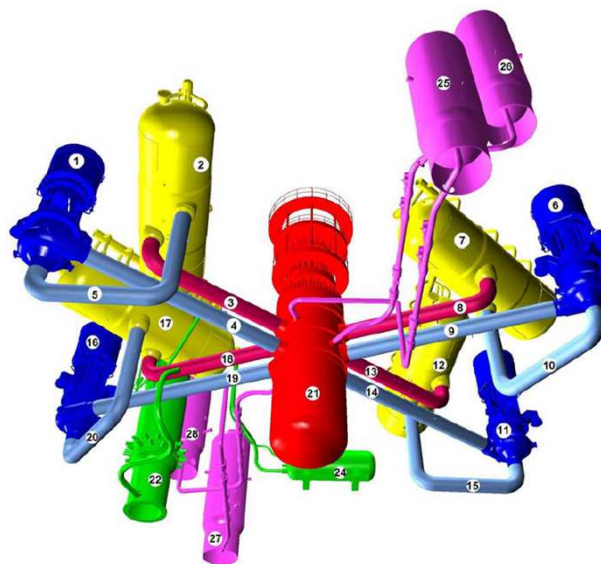
*Jestliže se původní struktura materiálu změní natolik, že součást není schopna přenášet namáhání, pro něž byla určena, tj. strukturní stálost je za daných podmínek nevyhovující, takže se zcela vyčerpá životnost materiálu, přestane součást plnit původní funkci a může dojít k jejímu porušení.*



## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

Základní zařízení primárního okruhu JE Temelín VVER 1000 obsahující HSS:

- Parogenerátory – systém YB
- Kompenzace objemu – systém YP
- Havarijní systémy – aktivní TQ
- Havarijní systémy – pasivní YT
- Hlavní cirkulační potrubí – systém YA
- Tlaková nádoba reaktoru – systém YC



Č.	Technologické zařízení	Značení
1	Hlavní cirkulační čerpadlo	YD10D01
2	Parogenerátor	YB10W01
3	Horká větev cirkulační smyčky	YA11Z01
4	Studená větev cirkulační smyčky	YA12Z02
5	Studená větev cirkulační smyčky	YA12Z01
6	Hlavní cirkulační čerpadlo	YD20D01
7	Parogenerátor	YB20W01
8	Horká větev cirkulační smyčky	YA21Z01
9	Studená větev cirkulační smyčky	YA22Z02
10	Studená větev cirkulační smyčky	YA22Z01
11	Hlavní cirkulační čerpadlo	YD30D01
12	Parogenerátor	YB30W01
13	Horká větev cirkulační smyčky	YA31Z01
14	Studená větev cirkulační smyčky	YA32Z02
15	Studená větev cirkulační smyčky	YA32Z01
16	Hlavní cirkulační čerpadlo	YD40D01
17	Parogenerátor	YB40W01
18	Horká větev cirkulační smyčky	YA41Z01
19	Studená větev cirkulační smyčky	YA42Z02
20	Studená větev cirkulační smyčky	YA42Z01
21	Reaktor	YC00B01
22	Kompenzátor objemu	YP10B01
23	Uzel pojistných ventilů systému kompenzace objemu	YP21,22, 23S01
24	Barbotážní nádrž	YP20B01
25	Hydroakumulátor	YT11B01
26	Hydroakumulátor	YT12B01
27	Hydroakumulátor	YT13B01
28	Hydroakumulátor	YT14B01

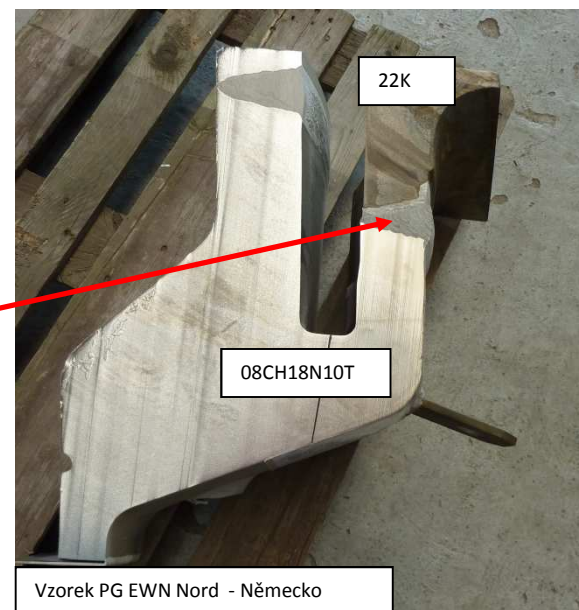
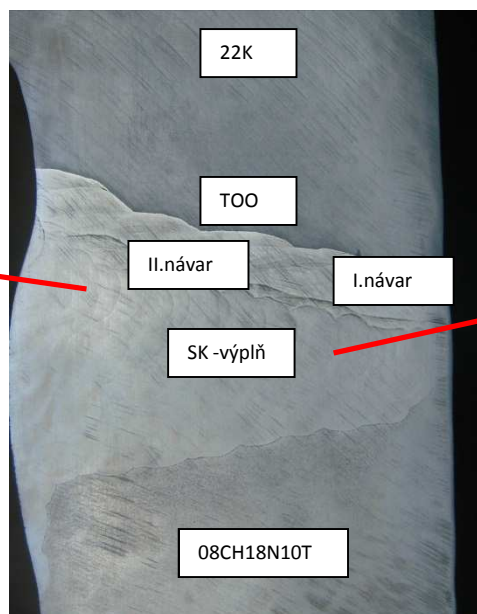
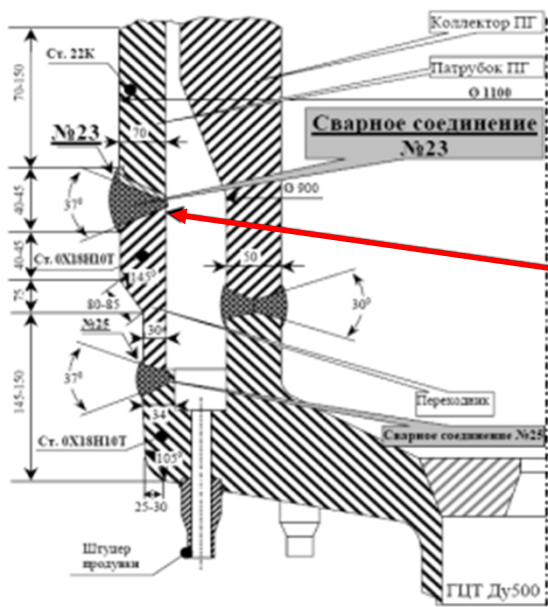


## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

### Příklad konstrukčního provedení HSS:

► Obvodový heterogenní obvodový svarový spoj mezi hrdlem kolektoru parogenerátoru (22K feriticko-perlitická ocel) a přechodovou redukcí hlavního cirkulačního potrubí (08Ch18N10T austenitická ocel) na horké nebo studené větvi:

□ HSS č. 23 PGV-4M (I. návar-10Ch16N25AM6, II. návar + výplň-04Ch19N11M3)





### Ověřovací zkoušky heterogenních návarů v JE

#### ► Zhotovení zkušebních návarů

Z materiálu 22K byly vyrobeny vzorky R38 a R39 o rozměrech 390(250) x 130 x 80 mm. Na plochu byly navařeny zkušební návary v různých variantách svařovacích materiálů metodou svařování MAG 136 – obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu. Během navařování byly parametry svařování standardně kontrolovány. Zároveň u návaru R38 a R39 proběhlo kontinuální monitorování parametrů svařování pomocí zařízení Weldmonitor, včetně uložení a zpracování dat.



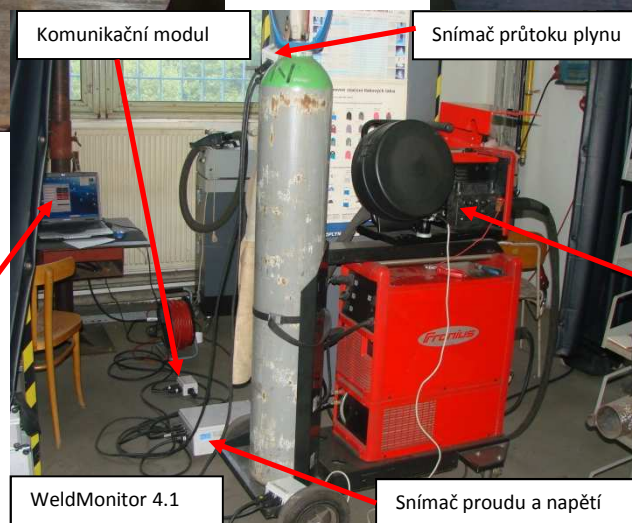




# STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

## Ověřovací zkoušky heterogenních návarů v JE

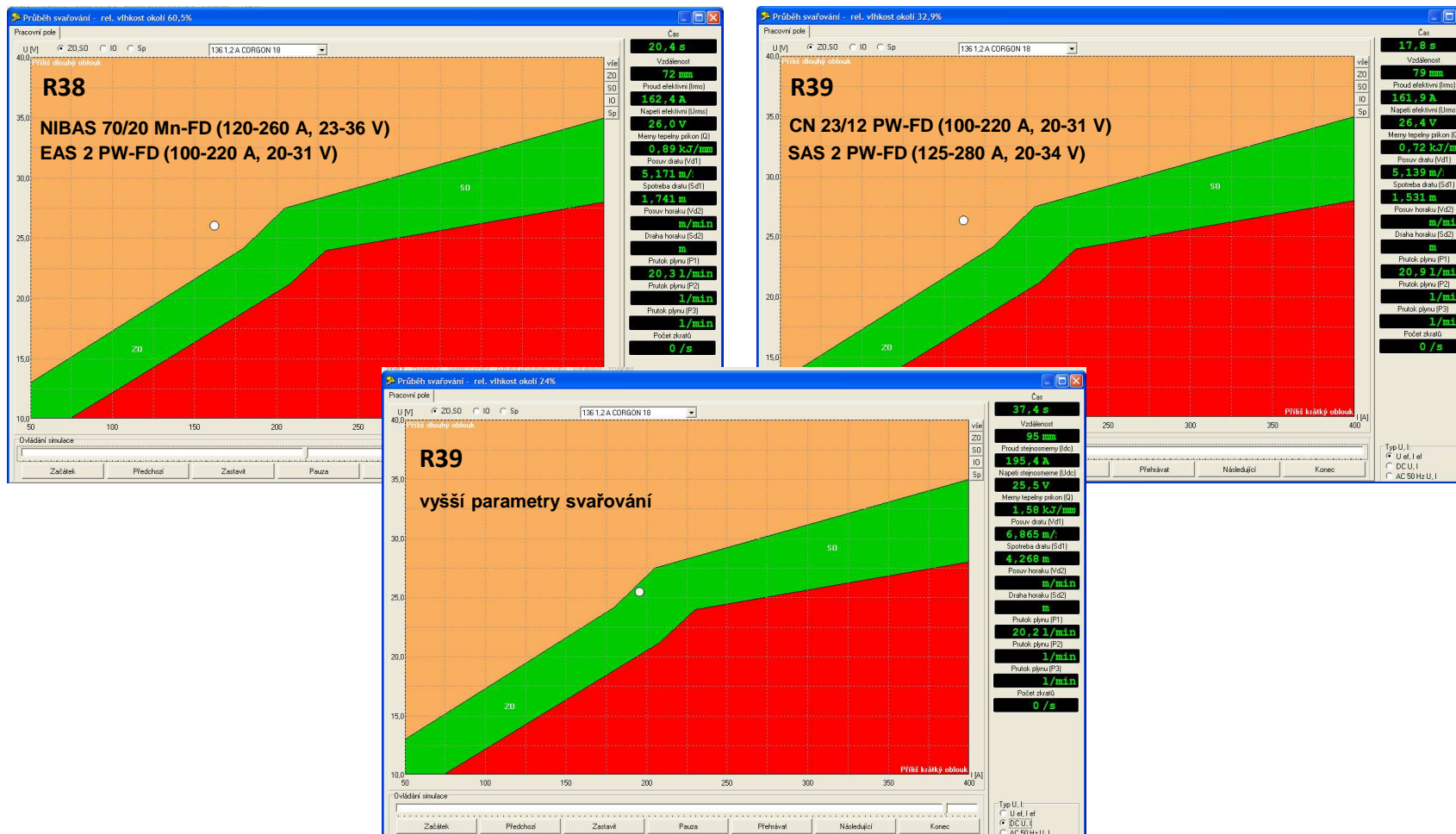
- Zhotovení zkušebních návarů, WELDMonitoring - snímání veličin procesu svařování R38, R39





# STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

## ➔ Záznamy z průběhu svařování návaru R38, R39 pomocí systému WELDMonitor – metoda 136

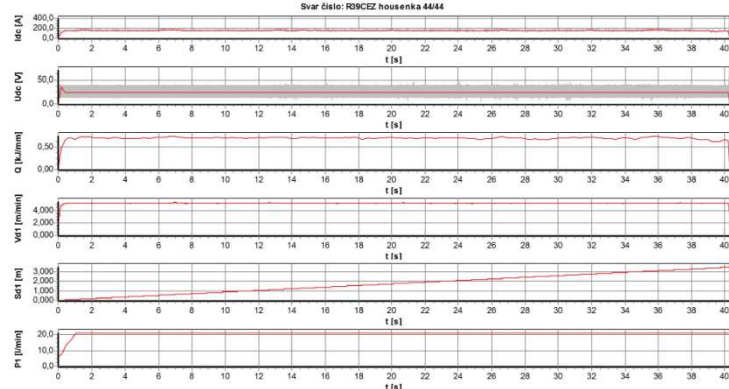




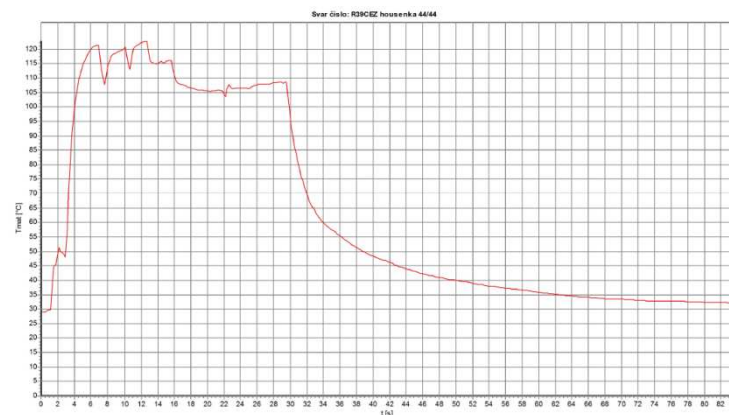
# STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

## ➔ Záznamy z průběhu svařování návaru R39 pomocí systému WELDMonitor – metoda 136

**Grafy průběhu měřených veličin**  
Vytvořeno pomocí systému WELDMonitor



**Graf měření teploty základního materiálu**  
Vytvořeno pomocí systému WELDMonitor



**Výpis parametrů svařování**  
Vytvořeno pomocí systému WELDMonitor

Číslo svaru: R39CEZ Skupina svarů: Kontrola parametrů  
Postup svařování: R39 Datum svařování: 26.7.2012  
Housenka: 44/44 Okolní teplota: 0 Rel. vlhkost: 33

Čas [s]	Délka [mm]	Napětí [V]	Proud [A]	Posuv drátu [m/min]	Spotř. drátu [m]	Průtoky plynu v hubici [l/min]	form.plyn [l/min]	vleč.ochr. [l/min]	Vzdál.k. špičky [mm]	Měrný tep. příkon [kJ/mm]	Limit PP [V]	Odchylka [V]
0,0	0	0,0	0	1,9	0,01	6,3				0,00		
1,0	4	24,6	153	5,2	0,09	20,1				0,68		
2,0	9	24,7	162	5,1	0,18	21,0				0,72		
3,0	13	24,6	157	5,2	0,26	20,9				0,69		
4,0	18	24,6	156	5,2	0,35	20,9				0,69		
5,0	22	24,7	158	5,1	0,43	20,9				0,70		
6,0	27	24,7	161	5,2	0,52	20,9				0,72		
7,0	31	24,7	165	5,2	0,61	20,9				0,73		
8,0	36	24,6	158	5,2	0,69	20,9				0,70		
9,0	40	24,7	161	5,2	0,78	20,9				0,71		
10,0	45	24,7	160	5,1	0,86	20,9				0,71		
11,0	49	24,6	157	5,2	0,95	20,9				0,70		
12,0	54	24,7	161	5,2	1,04	21,0				0,72		
13,0	58	24,7	163	5,2	1,12	20,9				0,72		
14,0	63	24,6	156	5,2	1,21	20,9				0,69		
15,0	67	24,7	160	5,2	1,29	20,9				0,71		
16,0	71	24,7	159	5,2	1,38	20,9				0,71		
17,0	76	24,7	160	5,2	1,47	20,9				0,71		
18,0	80	24,7	159	5,2	1,55	20,9				0,70		
19,0	85	24,6	156	5,1	1,64	21,0				0,69		
20,0	89	24,7	164	5,2	1,72	20,9				0,73		
21,0	94	24,7	160	5,2	1,81	20,9				0,71		
22,0	98	24,7	158	5,2	1,89	20,9				0,70		
23,0	103	24,7	160	5,2	1,98	20,9				0,71		
24,0	107	24,6	158	5,2	2,07	20,9				0,70		
25,0	112	24,6	154	5,2	2,15	20,9				0,68		
26,0	116	24,6	156	5,2	2,24	20,9				0,69		
27,0	121	24,7	159	5,2	2,32	20,9				0,71		
28,0	125	24,6	155	5,1	2,41	20,9				0,69		
29,0	130	24,6	150	5,2	2,50	20,9				0,66		
30,0	134	24,6	158	5,2	2,58	20,9				0,70		
31,0	138	24,7	161	5,1	2,67	20,9				0,72		
32,0	143	24,7	164	5,1	2,75	20,9				0,73		
33,0	147	24,6	155	5,2	2,84	20,9				0,69		
34,0	152	24,6	157	5,2	2,92	20,9				0,70		
35,0	156	24,7	161	5,2	3,01	20,9				0,72		
36,0	161	24,7	166	5,2	3,10	21,0				0,74		
37,0	165	24,6	157	5,1	3,18	20,9				0,70		
38,0	170	24,7	159	5,2	3,27	21,0				0,71		
39,0	174	24,6	150	5,2	3,36	20,9				0,66		
40,0	179	24,6	150	5,2	3,44	20,9				0,66		





## Ověřovací zkoušky heterogenních návarů v JE

### ► Varianty heterogenních návarů

Označení vzorku	Výchozí stav návaru před zkoušením
RXX.1	stav po svaření
RXX.2	stav po TZ 640 ± 10°C/6h.
RXX.3	stav po žíhání 450°C/500h.

Varianta návaru	Elektroda	Návar I	Metoda svařování	Poloha svařování	pWPS
		Návar II			
R38	NIBAS 70/20 Mn-FD	Ø 1,2 - 2 průchody	136	PA	008/2012
	EAS 2 PW-FD	Ø 1,2 - 2 průchody			
R39	CN 23/12 PW-FD	Ø 1,2 - 2 průchody	136	PA	009/2012
	SAS 2 PW-FD	Ø 1,2 - 2 průchody			

Počet průchodů byl stanoven podle původní výkresové dokumentace, která stanovuje požadavky na tloušťku přechodového návaru 2-4 mm a celkovou tloušťku návaru po opracování min.7 mm. Návary byly provedeny podle zpracovaných postupů svařování pWPS.



## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

➔ Zkušební návary a z nich vyrobené vzorky s číselným označením

Označení vzorku	Výchozí stav návaru před zkoušením	ZM	Návar I	Návar II
R38.1	stav po svaření	22K	NIBAS 70/20 Mn-FD	EAS 2 PW-FD
R38.2	stav po TZ 640 ± 10°C/6h.	22K	NIBAS 70/20 Mn-FD	EAS 2 PW-FD
R38.3	stav po žíhání 450°C/500h.	22K	NIBAS 70/20 Mn-FD	EAS 2 PW-FD
R39.1	stav po svaření	22K	CN 23/12 PW-FD	SAS 2 PW-FD
R39.2	stav po TZ 640 ± 10°C/6h.	22K	CN 23/12 PW-FD	SAS 2 PW-FD
R39.3	stav po žíhání 450°C/500h.	22K	CN 23/12 PW-FD	SAS 2 PW-FD

➔ Parametry svařování zkušebních návarů

Varianta návaru	Elektroda	Průměr	Proud	Napětí	Rychlost sv.	Q	Ti
		[ mm ]	[ A ]	[ V ]	[ mm.s <sup>-1</sup> ]	[ KJ.mm <sup>-1</sup> ]	[ °C ]
R38	NIBAS 70/20 Mn-FD	1,2	158	25	4,8	0,68	100
R38	EAS 2 PW-FD	1,2	150	24	4,4	0,67	100
R39	CN 23/12 PW-FD	1,2	155	24	5,1	0,61	100
R39	SAS 2 PW-FD	1,2	153	24	4,1	0,75	100

➔ Chemické složení základního materiálu 22K

22K	C	Si	Mn	Cu	Cr	Ni	S	P
	[hm. %]							
	0,21	0,34	0,60	0,20	0,25	0,23	0,025	0,020

➔ Chemické složení svarového kovu trubičky NIBAS 70/20 Mn-FD

NIBAS 70/20 Mn-FD	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Nb	Fe
	[hm. %]								
Ø 1,2 mm	0,03	0,3	5,5	-	-	19,7	základ	2,4	≤ 2,0



## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

### ➔ Chemické složení svarového kovu trubičky EAS 2 PW-FD

EAS 2 PW-FD	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Nb	Fe
	[hm. %]								
Ø 1,2 mm	0,03	0,7	1,5	-	-	19,8	10,5	-	základ

### ➔ Chemické složení svarového kovu trubičky CN 23/12 PW-FD

CN 23/12 PW-FD	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Nb	Fe
	[hm. %]								
Ø 1,2 mm	0,03	0,7	1,4	-	-	23,0	12,5	-	základ

### ➔ Chemické složení svarového kovu trubičky SAS 2 PW-FD

SAS 2 PW-FD	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Nb	Fe
	[hm. %]								
Ø 1,2 mm	0,03	0,7	1,4	-	-	19,0	10,4	+	základ

### ➔ PT a UT kontrola návaru R38, R39

Návar I byl před zkouškou PT a UT opracován do roviny. Zkušební vzorky byly navařeny dle pWPS. PT zkoušku prováděl kvalifikovaný pracovník. Zkouška UT byla provedena po navaření přechodového návaru I a po navaření celého návaru II a to přímou sondou a dvěma úhlovými sondami.

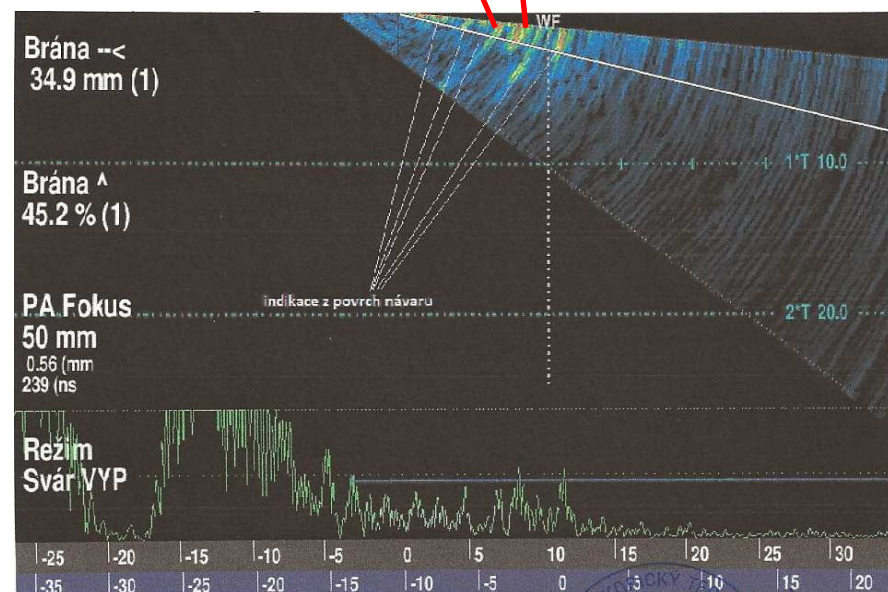
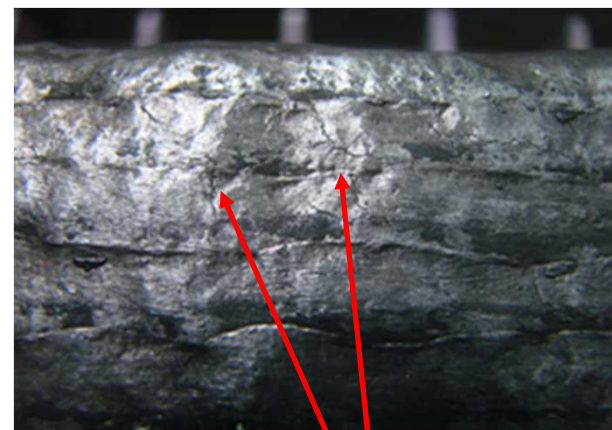


## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

### ➔ UT kontrola návaru R38



Kontrolovaný návar R38 vykazuje velké množství povrchových indikací, ze kterých lze usuzovat na přítomnost vad typu trhlin. Metoda UT kontroly dle ČSN 17640 met 1, vyhodnocení dle ČSN 11666 st. 2.





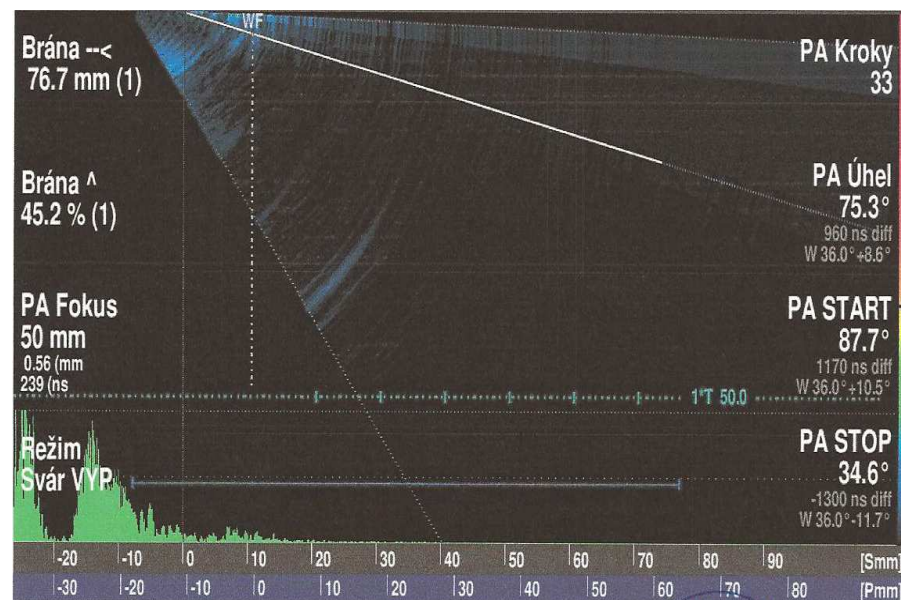


## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

### ► UT kontrola návaru R39



Kontrolovaný návar R39 nevykazuje žádné povrchové indikace – je vyhovující. Metoda UT kontroly dle ČSN 17640 met 1, vyhodnocení dle ČSN 11666 st. 2.





## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

- ▶ PT kontrola návaru R38 - při hodnocení struktury finálního návaru 4. vrstvy zjištěno četné množství trhlin







## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

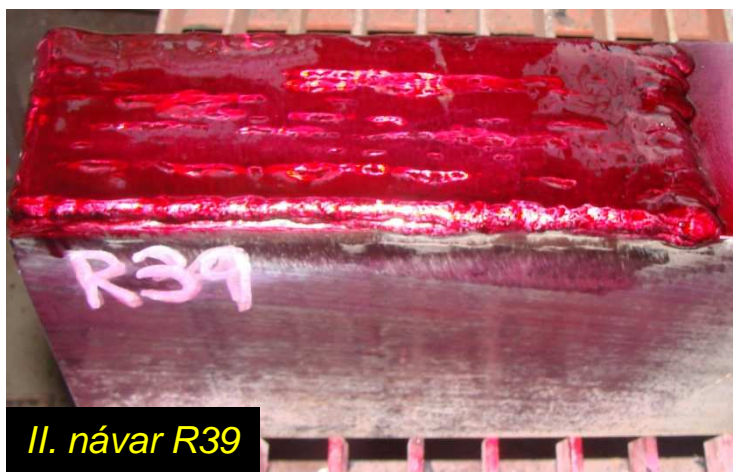
- ▶ PT kontrola návaru R39 - při hodnocení struktury finálního návaru 4. vrstvy nebyly zjištěny žádné vady



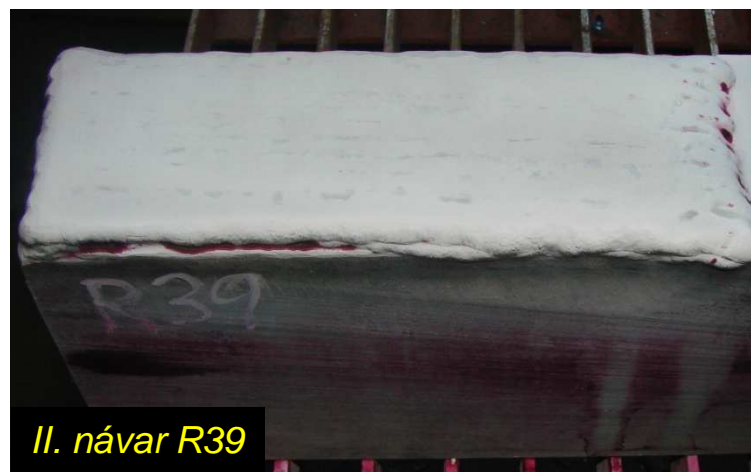
I. návar R39



I. návar R39



II. návar R39



II. návar R39



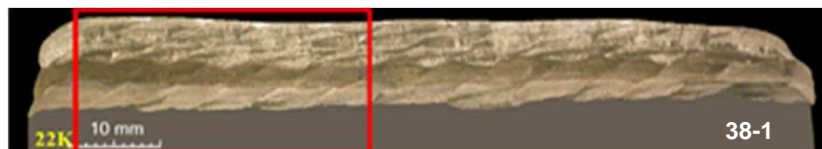
## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

### Ověřovací zkoušky heterogenních návarů v JE

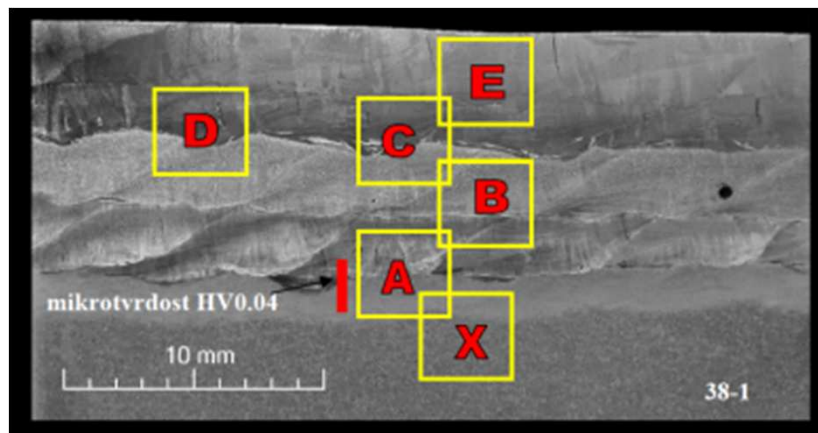
#### ► Makrostruktura návarů

Zkoušky makrostruktury návarů prováděla zkušební laboratoř TEDIKO s.r.o. Chomutov. Zkušební norma metalografického hodnocení ČSN EN 1321.

#### Návar R38



*Makrostruktura celého návaru R38.1 (zv. 2x) - BÖHLER NIBAS 70/20 Mn-FD + BÖHLER EAS 2 PW-FD (stav po svaření)*



*Makrostruktura výřezu návaru R38.1 - výběr oblasti pro mikro (zv. 4x), ve II. návaru 3. a 4. vrstvy byly pozorovány četné trhliny*





## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

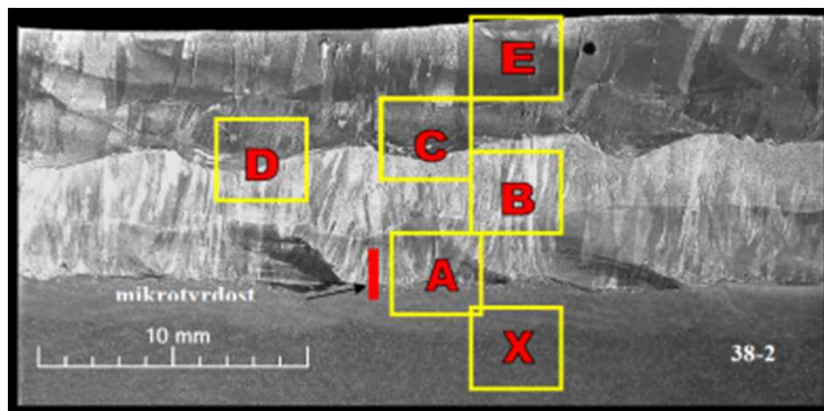
### Ověřovací zkoušky heterogenních návarů v JE

#### ► Makrostruktura návarů

##### Návar R38



*Makrostruktura celého návaru R38.2 (zv. 2x) - BÖHLER NIBAS 70/20 Mn-FD + BÖHLER EAS 2 PW-FD (stav po TZ 640±10°C/6 hod)*



*Makrostruktura výřezu návaru R38.2 - výběr oblasti pro mikro (zv. 4x), ve II. návaru 3. a 4. vrstvy byly pozorovány četné trhliny*



## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

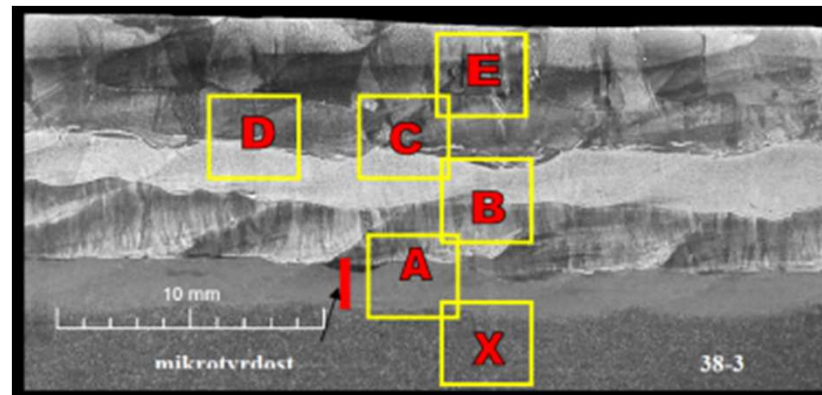
### Ověřovací zkoušky heterogenních návarů v JE

#### ► Makrostruktura návarů

##### Návar R38



Makrostruktura celého návaru R38.3 (zv. 2x) - BÖHLER NIBAS 70/20 Mn-FD + BÖHLER EAS 2 PW-FD (stav po SŽ 450°C/500 hod)



Makrostruktura výřezu návaru R38.3 - výběr oblasti pro mikro (zv. 4x), ve II. návaru 3. a 4. vrstvy byly pozorovány četné trhliny

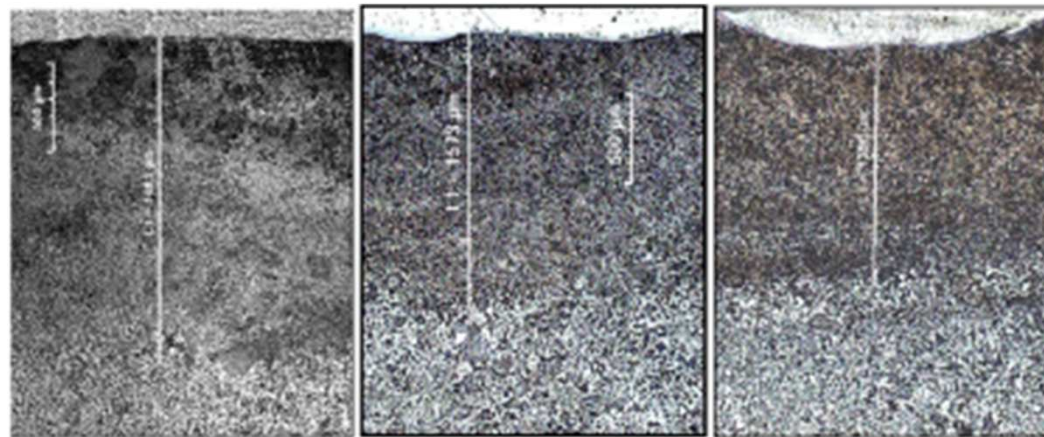


### Ověřovací zkoušky heterogenních návarů v JE

#### ► Makrostruktura návarů

##### Návar R38

V rámci metalografického hodnocení byla změřena šířka TOO v rozmezí od 1,3 do 1,8 mm. Tato šířka dokladuje použití spíše nižších parametrů svařování metodou MAG 136 – obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu.



a) Návar R38.1 TOO = 1,8 mm    b) Návar R38.2 TOO = 1,5 mm    c) Návar R38.3 TOO = 1,3 mm

*Stanovení šířky TOO návaru R38.1(2,3)*



## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

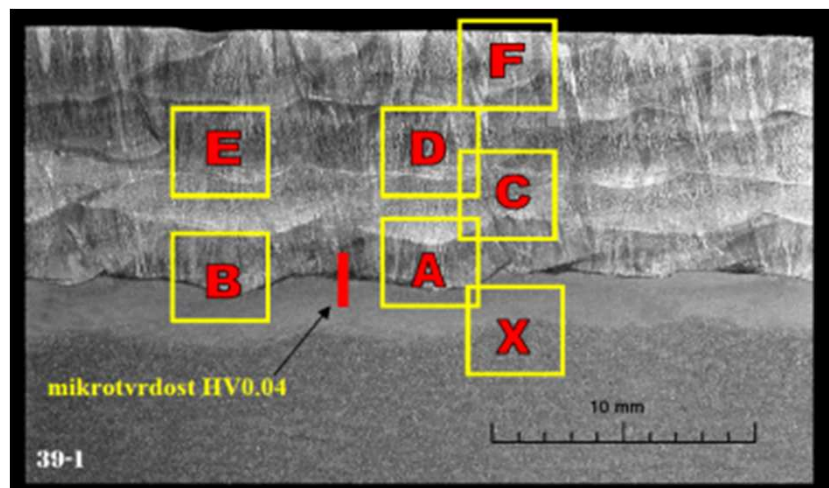
### Ověřovací zkoušky heterogenních návarů v JE

#### ► Makrostruktura návarů

##### Návar R39



*Makrostruktura celého návaru R39.1 (zv. 2x) - BÖHLER CN 23/12 PW-FD + BÖHLER SAS 2 PW-FD (stav po svaření)*



*Makrostruktura výřezu návaru R39.1 - výběr oblasti pro mikro (zv. 4x), v návaru nebyly pozorovány žádné vady - trhliny*





## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

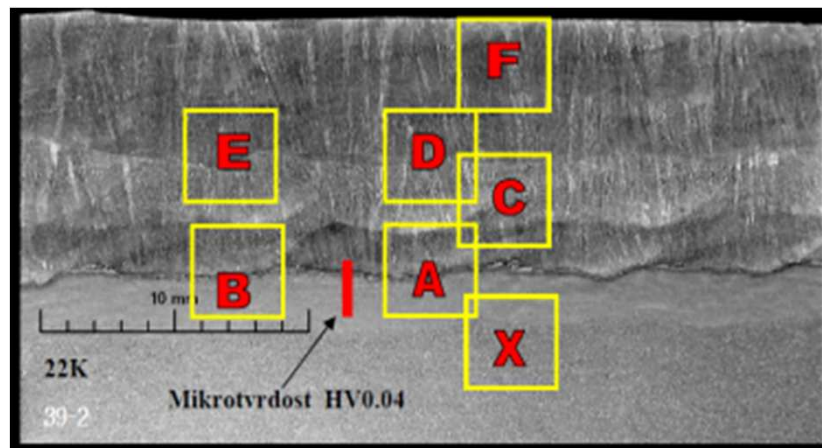
### Ověřovací zkoušky heterogenních návarů v JE

#### ► Makrostruktura návarů

##### Návar R39



*Makrostruktura celého návaru R39.2 (zv. 2x) - BÖHLER CN 23/12 PW-FD + BÖHLER SAS 2 PW-FD (stav po TZ 640±10°C/6 ho d)*



*Makrostruktura výřezu návaru R39.2 - výběr oblasti pro mikro (zv. 4x), v návaru nebyly pozorovány žádné vady - trhliny*

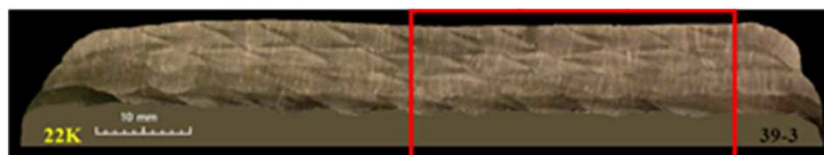


## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

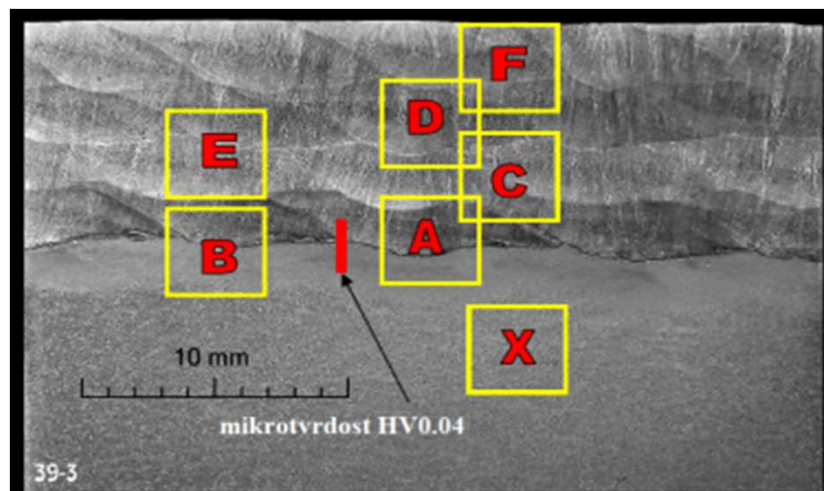
### Ověřovací zkoušky heterogenních návarů v JE

#### ► Makrostruktura návarů

##### Návar R39



*Makrostruktura celého návaru R39.3 (zv. 2x) - BÖHLER CN 23/12 PW-FD + BÖHLER SAS 2 PW-FD (stav po SŽ 450°C/500 hod)*



*Makrostruktura výřezu návaru R39.3 - výběr oblasti pro mikro (zv. 4x),  
v návaru nebyly pozorovány žádné vady - trhliny*

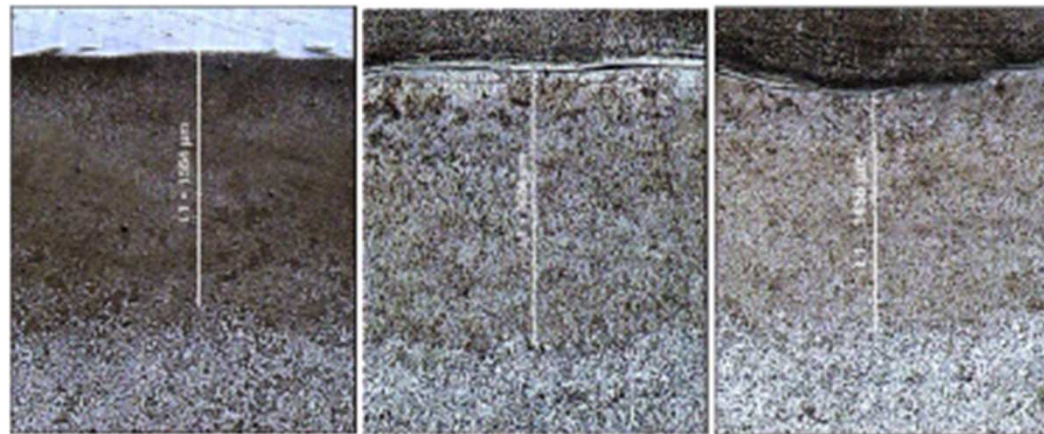


### Ověřovací zkoušky heterogenních návarů v JE

#### ► Makrostruktura návarů

##### Návar R39

V rámci metalografického hodnocení byla změřena šířka TOO v rozmezí od 1,4 do 1,6 mm. Tato šířka dokladuje použití spíše nižších parametrů svařování metodou MAG 136 – obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu.



a) Návar R39.1 TOO = 1,5 mm    b) Návar R39.2 TOO = 1,6 mm    c) Návar R39.3 TOO = 1,4 mm

*Stanovení šířky TOO návaru R39.1(2,3)*



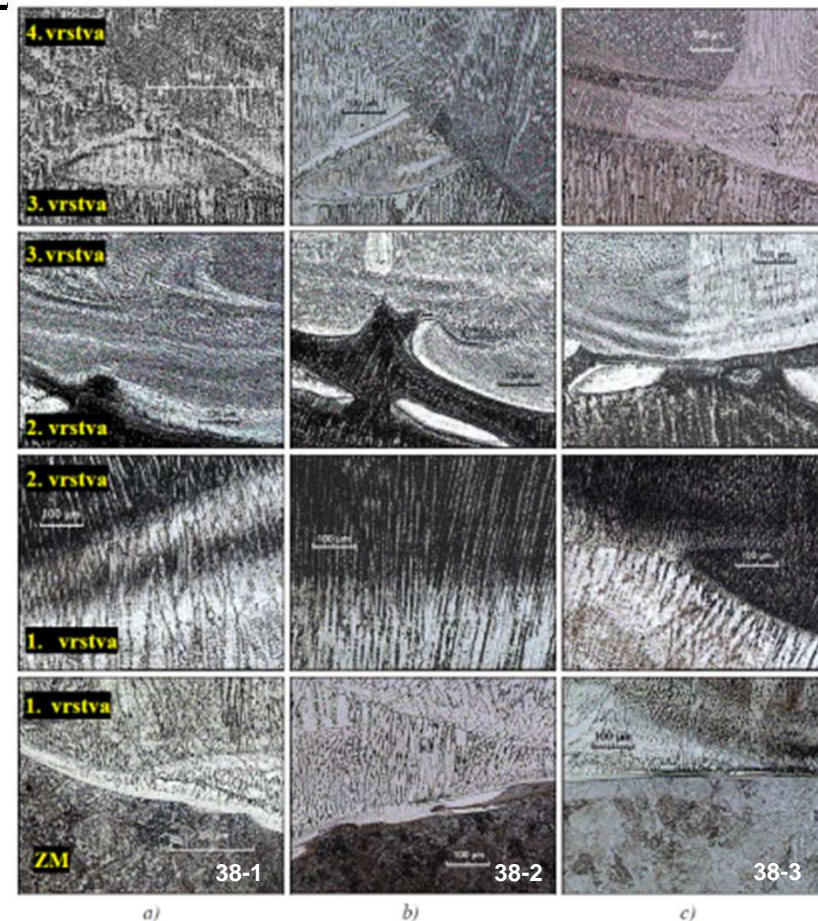
### Ověřovací zkoušky heterogenních návarů v JE

#### ► Mikrostruktura návarů – R38

Studia mikrostruktury byly provedeny u návarů R38.1(2,3) a R39.1(2,3). Hodnocení prováděla zkušební laboratoř TEDIKO s.r.o. Chomutov. Zkušební norma metalografického hodnocení ČSN EN 1321.

Ve vybraných lokalitách návaru R38.1 (2, 3) byly zjištěny následující typy struktur:

- mikrostruktura návaru (vrstva 1, 2) licí austenitická bez  $\delta$ -feritu
- mikrostruktura návaru (vrstva 3, 4) trubičkou licí austenitická bez  $\delta$ -feritu
- mikrostruktura OPZM u hranice ztavení je bainitická s jehlicemi feritu
- mikrostruktura ZM je feriticko-perlitická se sferoidizovaným perlitem, velikost zrna nerovnoměrná



Mikrostruktura zv. 100x



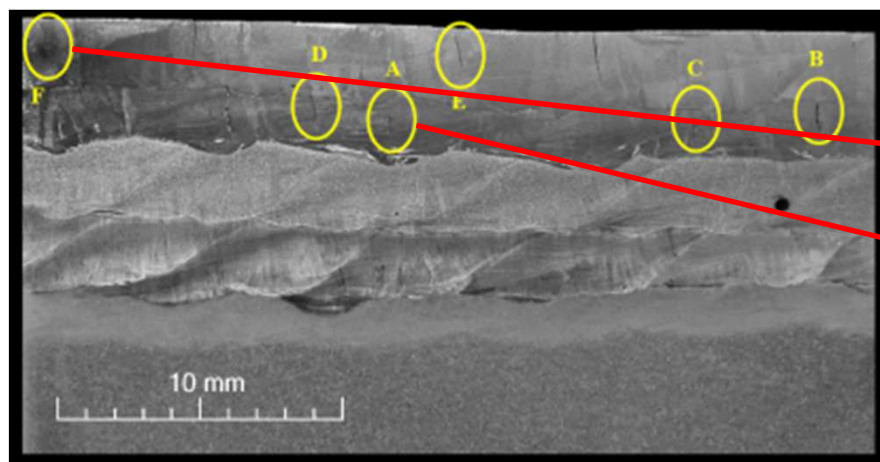


## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

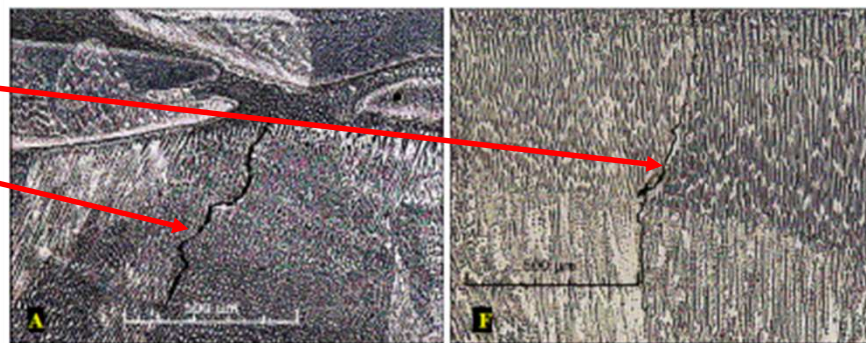
### Ověřovací zkoušky heterogenních návarů v JE

#### ➔ Mikrostruktura návarů – R38

Při hodnocení struktury návaru R38.1(2, 3) bylo ve 3. a 4. vrstvě návaru zjištěno množství trhlin. Kromě ojedinělého póru nebyly jiné vady zjištěny. Tyto trhliny nikdy neprotínají obě návarové vrstvy, jsou vždy omezeny na jednu vrstvu a maximální končí na rozhraní mezi vrstvou č. 3 a 4. Délka trhlin ve vrstvě č. 3 od 0.2 do 1.2 mm, ve vrstvě č. 4 pak od 0.2 do 1,7 mm. Co se týče tvaru, jsou některé trhliny rovné, jiné výrazně klikaté s mezidendritickým průběhem.



*Makrolept výřezu návaru R38.1 s vyznačenými trhlínami*



*Detaily trhlin vzorku R38.1 zv. 50x*

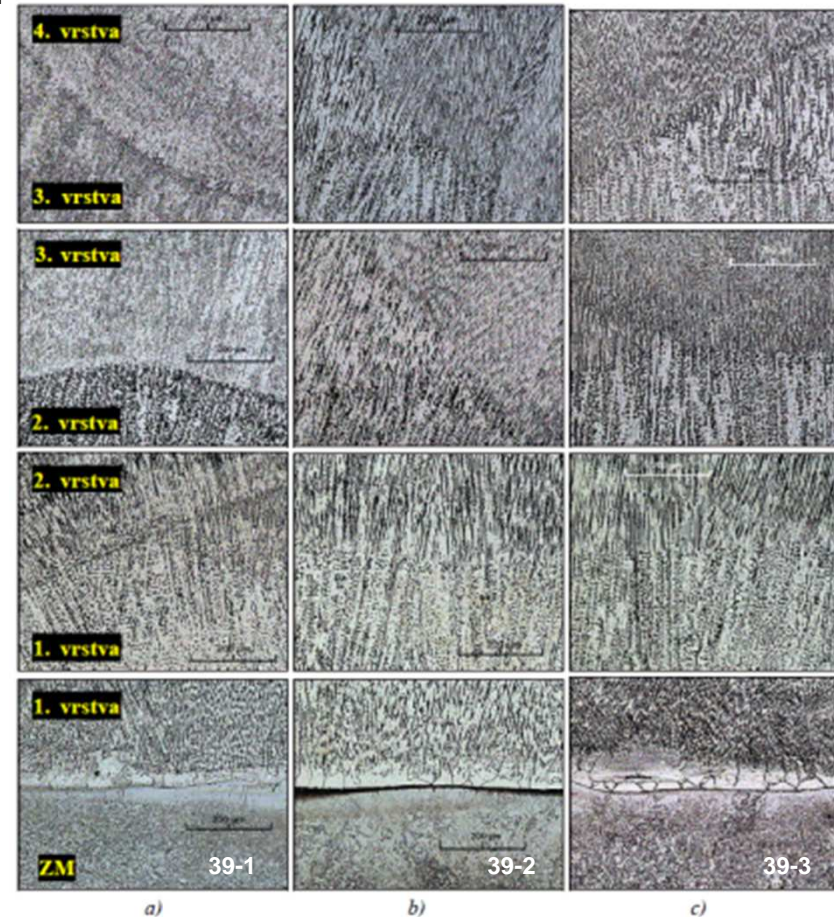


### Ověřovací zkoušky heterogenních návarů v JE

#### ► Mikrostruktura návarů – R39

Ve vybraných lokalitách návaru R39.1 (2, 3) byly zjištěny následující typy struktur:

- mikrostruktura návaru (vrstva 1 a 2) je lici austenitická s  $\delta$ -feritem
- mikrostruktura návaru (vrstva 3 a 4) je lici austenitická s  $\delta$ -feritem
- mikrostruktura OPZM u hranice ztavení je bainitická s jehlicemi feritu
- mikrostruktura ZM je feriticko-perlitická se sferoidizovaným perlitem, velikost zrna nerovnoměrná, v zrnech větší velikosti lze pozorovat výrazné jehlice feritu



Mikrostruktura zv. 100x



## Ověřovací zkoušky heterogenních návarů v JE

### ► Měření tvrdosti přechodových pásem

Měření tvrdosti HV10 návaru R38.1(2, 3) a R39.1(2, 3) bylo provedeno podle požadavků normy ČSN EN 15614-7. Zkušební teplota 20°C a měřená pásma: ZM - TOO - přechodový návar I – TOO - konečný návar II. Zkušební norma měření tvrdosti ČSN EN ISO 9015-1. Zkoušky měření tvrdosti návarů prováděla zkušební laboratoř TEDIKO s.r.o. Chomutov

#### *R39.1 BÖHLER CN 23/12 PW-FD + SAS 2 PW-FD - stav po svaření*

Vrstva návaru	Tvrdost HV10 návaru 39.1 (počet vpichů)				
	1	2	3	4	5
4 – [195]	201	191	186	199	199
3 – [196]	198	198	193	193	201
2 – [199]	193	196	203	206	199
1 – [204]	207	207	203	203	203
OPZM – [217]	191	216	209	251	221
22K – [167]	164	164	170	170	168

#### *R39.2 BÖHLER CN 23/12 PW-FD + SAS 2 PW-FD - stav po TZ 640±10°C/6 h.*

Vrstva návaru	Tvrdost HV10 návaru 39.2 (počet vpichů)				
	1	2	3	4	5
4 – [157]	154	154	159	159	157
3 – [212]	189	218	218	206	233
2 – [196]	203	197	197	194	191
1 – [197]	203	194	197	196	197
OPZM – [207]	189	218	218	202	206
22K – [156]	154	154	159	159	155



## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

### Ověřovací zkoušky heterogenních návarů v JE

#### ► Měření tvrdosti přechodových pásem

R39.3 BÖHLER CN 23/12 PW-FD + SAS 2 PW-FD - stav po TZ 450°C/500h

Vrstva návaru	Tvrdost HV10 návaru 39.3 (počet vpichů)				
	1	2	3	4	5
4 – [217]	210	210	212	227	227
3 – [209]	209	209	209	210	210
2 – [211]	210	227	227	206	187
1 – [208]	203	216	216	206	201
OPZM – [233]	213	213	240	254	247
22K – [154]	156	150	156	156	152

Po žíhání R39.2 mírně poklesly hodnoty v ZM 22K, v TOO materiálu 22K a ve 4. vrstvě návaru II. K nárůstu tvrdosti došlo ve 3. vrstvě návaru II. Po STZ R39.3 mírně poklesly hodnoty v ZM 22K a zároveň mírně stouply hodnoty tvrdosti v TOO materiálu 22K a ve vrstvách návaru I a II.

#### ► Měření mikrotvrdosti přechodových pásem

Měření mikrotvrdosti HV0,04 vzorku R38.1(2, 3) a R39.1(2, 3) dle ČSN EN ISO 9015-2. Na základě provedeného měření lze konstatovat, že nedošlo k výraznému oduhličení a nauhličení rozhraní mezi ZM a návaru.

vzorek R39.3	vzdálenost od rozhraní (mm)	vpich	mikrotvrdost HV0.04 přechodu BÖHLER CN 23/12 do 22K
BÖHLER CN 23/12 PF-FD	0.90	12	161
	0.82	11	158
	0.74	10	161
	0.66	9	134
	0.58	8	134
	0.50	7	134
	0.42	6	134
	0.34	5	134
	0.26	4	134
	0.18	3	165
	0.10	2	211
	0.02	1	245
22K	0.02	1	127
	0.10	2	140
	0.18	3	145
	0.26	4	151
	0.34	5	151
	0.42	6	151
	0.50	7	151
	0.58	8	172
	0.66	9	176
	0.74	10	176
	0.82	11	176
	0.90	12	176

R39.3 ZM 22K+návar I - stav po TZ 450°C/500h.





### Ověřovací zkoušky heterogenních návarů v JE

#### ► Stanovení obsahu delta feritu magnetickými metodami

Stanovení obsahu delta feritu v austenitických návarech bylo provedeno EMG metodou podle normy ČSN 42 0470 pomocí zkušebního zařízení Dr. Förster. Jedná se o měření celkového obsahu všech feromagnetických fází v základní austenitické hmotě návaru, vyjádřeno v objemových procentech. Metoda bodové detekce snímáním měřené veličiny z části objemu vzorku při bodovém dotyku povrchu kulovou plochou čidla. Zkoušky prováděla akreditovaná zkušební laboratoř MTL Chomutov.

*Stanovení delta feritu v návarech R38, R39*

Číslo vzorku	Obsah feritu (%) / vrstva					
	1	2	3	4	5	6
R31.1	5,3 – 7,4	1,6 – 2,4	0,5 – 0,7	0,3 – 0,6	0,4 – 0,7	2,5 – 3,3
R32.1	1,1 – 1,5	0,0 – 0,1	0,0 – 0,1	0,0 – 0,1	0,5 – 0,8	4,9 – 5,2
R33.1	8,0 – 9,2	9,1 – 11,5	14,5 – 15,0	8,8 – 9,8	6,3 – 7,9	5,5 – 5,9
R36.1	1,9 – 3,5 A*	0,05 – 0,1 A*	0,5 – 1,8	3,1 – 4,5	-	-
	3,5 – 5,4 B*	1,5 – 3,3 B*	-	-	-	-
R37.1	0,1 – 0,2	1,3 – 2,9	17,0 – 25,4	nad 50**	nad 50 **	-
R38.1	1,2 – 1,9	0,1 – 0,3	0,0 – 0,1	0,0 – 0,1		
R39.1	6,1 – 9,9	8,0 – 9,9	4,2 – 5,1	4,0 – 5,1		

\* A = návar EA395/9, B = návar ZIO-8, \*\* V případě návaru R37.1 vrstvy č. 4 a 5 se jedná o FM, takže zjišťované hodnoty byly značně nad 50%, což je mimo měřicí rozsah přístroje. Ve vrstvě č. 3 došlo k promísení s materiálem NIBAS 70/20, takže obsah feritu byl měřitelný.



### Ověřovací zkoušky heterogenních návarů v JE

#### ► Metalografické stanovení šířky oduhličeného pásma

Stanovení šířky oduhličeného pásma bylo provedeno metalografickým hodnocením podle normy ČSN EN 1321. Jedná se o poměrně rychlou, avšak také méně přesnou metodu. Přesto tato jednoduchá metoda našla své použití k ocenění strukturní stálosti svarových spojů či návarů ocelí používaných v energetickém strojírenství a to s velmi dobrými výsledky. Na základě výsledku z měření a provedené analýzy lze konstatovat, že nedošlo k výraznému oduhličení ZM 22K v oblasti ztavení s I. návarovou vrstvou. Oduhličení má převážně charakter sporadického nebo částečného nesouvislého oduhličení na straně základního materiálu 22K. Rovněž bylo pozorováno menší nauhličení svarového kovu v blízkosti hranice ztavení mezi ZM a I. návarem vzorku R39.2.

*Stanovení šířky oduhličení v návarech R38, R39*

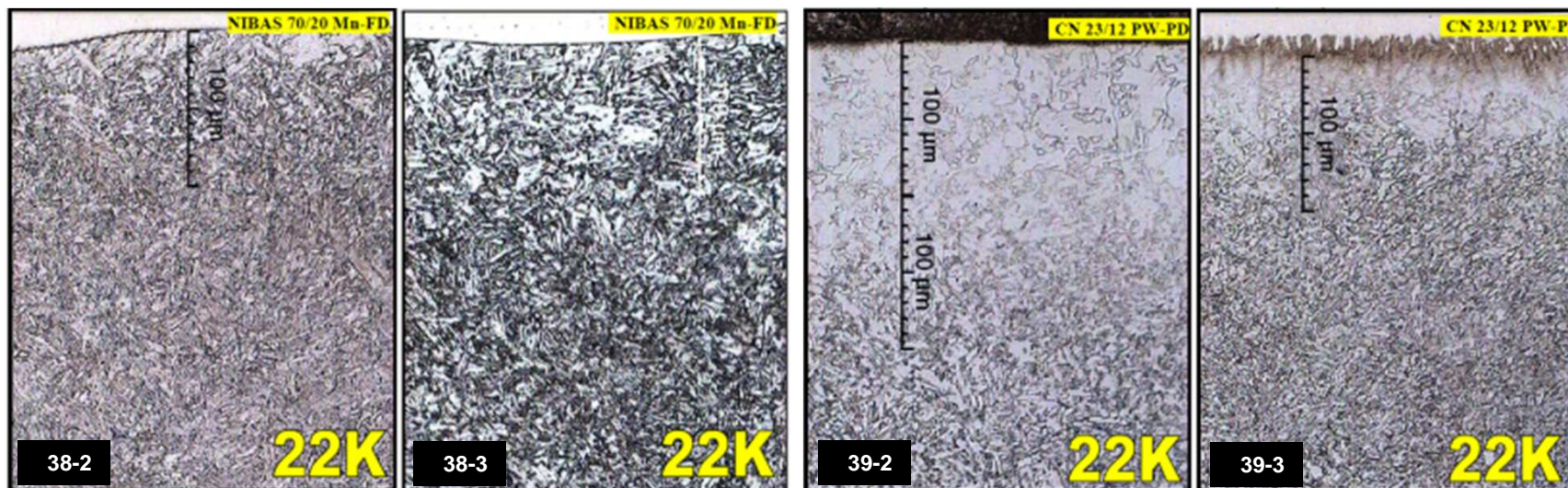
vzorek	charakter oduhličení	max. zjištěná hloubka (mm)	viz obr.
R38-2	sporadické náznaky částečného oduhličení, přechod 22K do NIBAS 70/20 Mn-FD	0,07	19
R38-3	sporadické náznaky částečného oduhličení, přechod 22K do NIBAS 70/20 Mn-FD	0,10	19
R39-2	nesouvislé částečné oduhličení, přechod 22K do BÖHLER CN 23/12 PW-PD	0,15	20
R39-3	nesouvislé částečné oduhličení, přechod 22K do BÖHLER CN 23/12 PW-PD	0,05	20



## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

### Ověřovací zkoušky heterogenních návarů v JE

- Metalografické stanovení šířky oduhličeného pásma



Oduhličené pásmo vzorku R38.2(3) zv. 200x

Oduhličené pásmo vzorku R39.2(3) zv. 200x



## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

### ➔ Měření obsahu Cr a Ni v návarech spektrálním analyzátozem

Na návarech po jednotlivých vrstvách bylo provedeno měření chemického složení metodou rentgenové fluorescence analyzátozem typu Oxford Instruments X-MET5100. V případě měření obsahu Cr a Ni je tato metoda na homogenním materiálu velmi přesná. První vrstva přechodového návaru I na ZM a první vrstva návaru II není s ohledem na stupeň promísení obou kovů homogenní.



Měření chemického složení po vrstvách



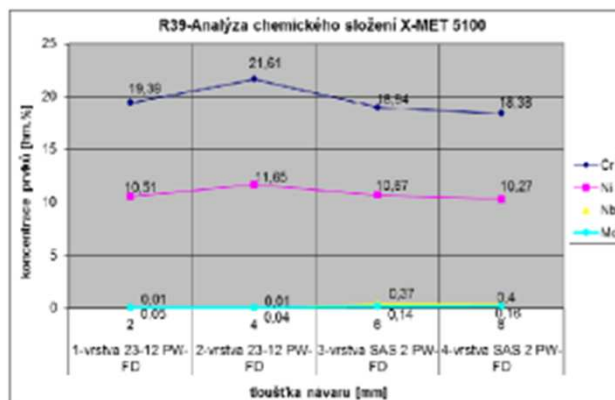
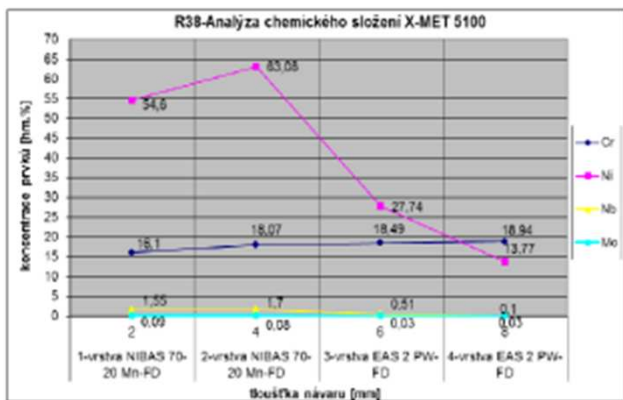
Data z analýzy návaru X-MET 5100



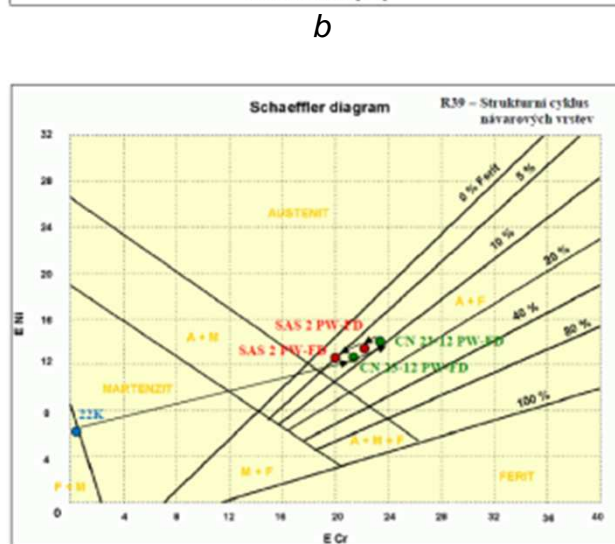
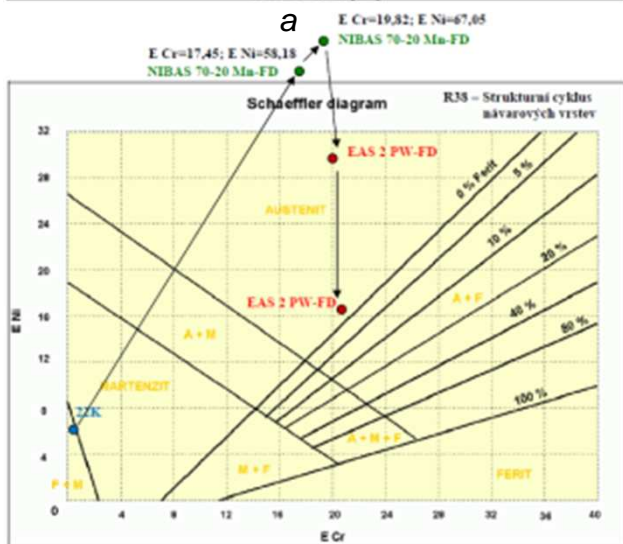


# STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

## ► Měření obsahu Cr a Ni v návarech spektrálním analyzátořem



a, b - Měření chemického složení po vrstvách na návaru R38, R39;



c, d - Schaefflerův diagram - vývoj struktury návarových vrstev zhotovených trubičkou metoda svařování 136 - R38, R39



### ► Měření obsahu Cr a Ni v návarech spektrálním analyzátozem

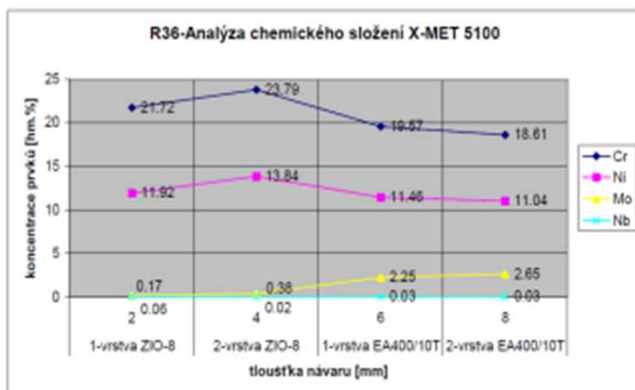
Měření na vzorku R38 prokázalo, že v 1. vrstvě návaru II trubičkou EAS 2 PW-FD došlo v porovnání s inspekčním certifikátem EAS 2 PW-FD, k malému poklesu obsahu Cr. Svarový kov se však nalegoval Ni na více než dvojnásobek v porovnání s čistým SK trubičky EAS 2 PW-FD. Vliv rychlosti svařování a použití nižších parametrů svařování metodou MAG 136 na dosažené výsledky se neprokázal. Nalegování SK trubičky EAS 2 PW-FD v 1. vrstvě návaru II je hlavní příčinou vzniku trhlin ve SK. Při vysokém obsahu Ni je SK čistě austenitický, bez  $\delta$  feritu, s vysokou náchylností na vznik trhlin za tepla. [Získané výsledky z hodnocení strukturní stálosti návaru R38 – zhotovený metodou svař. 136 jsou srovnatelné s výsledky hodnocení návaru R31\(R34, R35\) - zhotovený metodou svařování 111.](#)

Měření na vzorku R39 prokázalo, že zhotovený návar I a II ve všech vrstvách se pohybuje v oblasti austeniticko-feritické struktury s  $\delta$  feritu v rozmezí od 4 do 10 %. Tím je spolehlivě snížena náchylnost k tvorbě trhlin za tepla. [Rovněž se dá říci, že získané výsledky z hodnocení strukturní stálosti návaru R39 zhotovený metodou 136 jsou srovnatelné s výsledky hodnocení návaru R33 \(R36??\) zhotovený metodou svařování 111.](#)

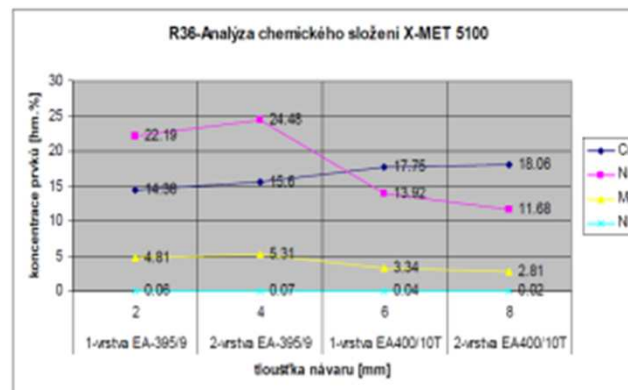


# STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE

## ► Měření obsahu Cr a Ni v návarech spektrálním analyzátořem

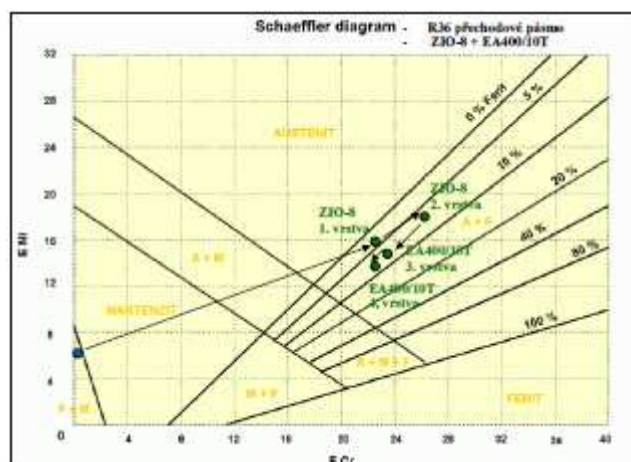


a

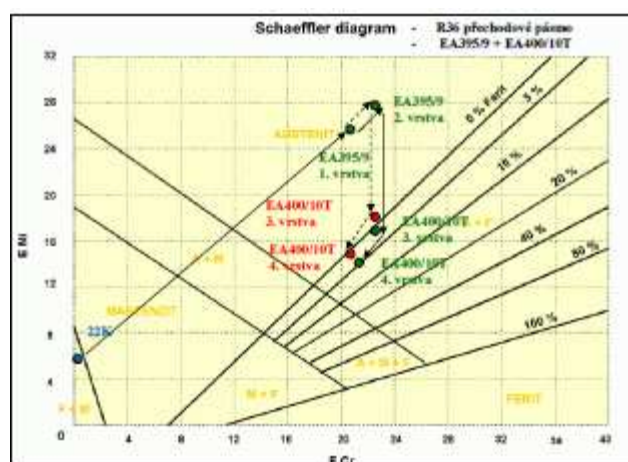


b

a, b - Měření chemického složení po vrstvách na návaru R36



c



d

c, d - Schaefflerův diagram - vývoj struktury návarových vrstev zhotovených elektrodou metoda svařování 111 - R36



### ➤ Měření obsahu Cr a Ni v návarech spektrálním analyzátozem

Měření na vzorku R36 prokázalo, že v první vrstvě návaru II elektrodou EA 400/10T vlivem většího promíšení s návarem I provedený elektrodou EA 395/9 došlo k nalegování niklem návaru II a tím získání svarového kovu s čistě austenitickou strukturou bez  $\delta$  feritu. Vliv promíšení resp. vliv svařovacího proudu a rychlosti svařování do značné míry ovlivňuje výslednou strukturu navařeného svarového kovu, což je znázorněno v Schaefflerově diagramu. Při vyšším obsahu niklu je svarový kov přechodového návaru II první vrstvy čistě austenitický, bez  $\delta$  feritu s vyšší náchylností na vznik trhlin za tepla.

### ➤ Návar R36

*Na základě získaných výsledku z měření chemického složení a provedené analýzy lze konstatovat, že v tomto případě kdy navařujeme na čistě austenitický návar elektrodou typu chrom-nikl (AWS A5.4 E316L) musí být kladen velký důraz na jednoznačné dodržení svařovacího režimu z ověřených postupů svařování, zaručující požadovanou strukturu-kvalitu přechodového návaru. Z uvedeného příkladu studie návaru R36 lze vysledovat, že strukturní rozhraní mezi návarem I (EA 395/9) a II (EA 400/10T) má velmi úzké pásmo, kdy je zaručena přítomnost  $\delta$  feritu a jeho vliv ke snížení náchylnosti k tvorbě trhlin za tepla.*





### Zhodnocení studie

#### ➤ Návar R38

*Na základě získaných výsledků a provedené analýzy lze opakovaně konstatovat, že na návar provedený slitinou s vysokým obsahem niklu (NIBAS 70/20 Mn-FD) nelze navařovat austenitický chrom-niklový návar (EAS 2 PW-FD). Z uvedeného příkladu studie návaru R38 lze vysledovat, že strukturní rozhraní mezi návarem I a návarem II je čistě austenitické bez přítomnosti  $\delta$  feritu a tím dochází ke zvýšení náchylnosti k tvorbě trhlin za tepla.*

#### ➤ Návar R39

*Návar R39 je z pohledu hodnocení strukturní stálosti za daných podmínek experimentálního zkoušení vyhovující. Tímto se potvrzuje, že v případech, kdy je to nezbytné k zajištění vysoké korozní odolnosti, se podle amerického standardu AWS A5.9-93 požaduje, aby se používaly svařovací materiály typu E309L (CN 23/12 PW-FD) pro navařování I. návaru a pro II. návar svarového kovu svařovací materiály typu E347Nb (SAS 2 PW-FD). Tato kombinace je univerzální a používá se jako antikorozní návar k provedení heterogenních svarových spojů v ruském a americkém jaderném průmyslu.*



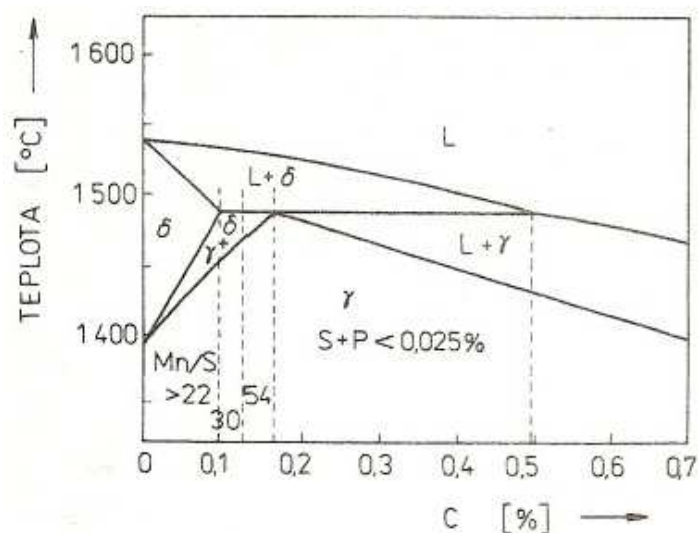
### ► Segregační procesy - Teplé trhliny (krystalizační)

Vznik teplých krystalizačních trhlin podporují segregační procesy probíhající při dendritické krystalizaci svarového kovu. Na vznik krystalizačních trhlin jsou zejména náchylné svarové kovy materiálů s kubickou plošně centrovanou mřížkou – austenit. Nejčastější příčinou vzniku krystalizačních trhlin je zvýšený obsah síry, kdy síra má vyšší rozpustnost v  $\delta$ -feritu než v austenitu, který má relativně vysokou rozpustnost síry a tím nebude tyto nečistoty vytlačet zpět do taveniny a segregace bude menší než když bude krystalizující fází austenit. Když vezmeme v úvahu případnou segregaci, potom je velká pravděpodobnost vzniku sulfidického eutektika (Fe-FeS) a následné praskání svaru.

Výraznost segregace bude záviset od chemického složení svaru a od parametrů svařování, zejména svařovací proud určující hloubku svaru a tedy koeficient formy svaru a dále rychlost svařování. V případě přítomnosti S je to hlavně Mn. Při dostatečném vysokém obsahu Mn ve svaru už klesá pravděpodobnost, že vzniknou sulfidy železa (Fe-FeS). Segregační procesy podporuje také šířka teplotního intervalu krystalizace. Když je interval likvidus –solidus úzký, tak je segregace méně výrazná jako při širokém intervalu tuhnutí.



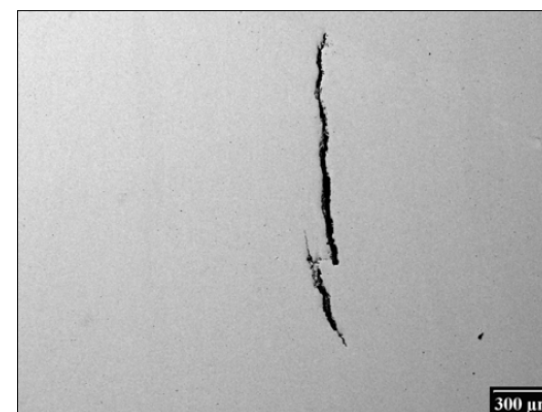
## ➤ Segregační procesy - Teplé trhliny (krystalizační)



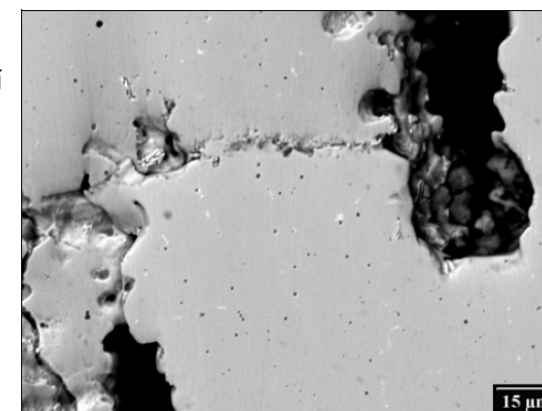
Část rovnovážného diagramu Fe-C s peritektickou reakcí



Charakteristický tvar krystalizační trhliny ve SK (200x)



Trhlina v návaru FOX SAS 2 - R31.1



Detail trhliny v návaru FOX SAS 2 - R31.1

Při svařování ocelí je proto důležité, aby krystalizace svaru proběhla nalevo od peritektického bodu (bod B 1499 °C) tj. přes oblast  $\delta$ -feritu. Přítomnost dalších slitin zejména Mn, Ni a také promísení svaru se ZM vyvolává krystalizaci svaru přes austenit s vyloučením  $\delta$ -feritu v mezidendritických prostorách. Krystalizační trhliny bývají poměrně rozvětvené a tvarově složité. Kromě nečistot tj. sulfidy, oxidy mohou být příčinou krystalizačních trhlin také plošné karbidy např.  $\text{NbC}$ ,  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ .



## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE





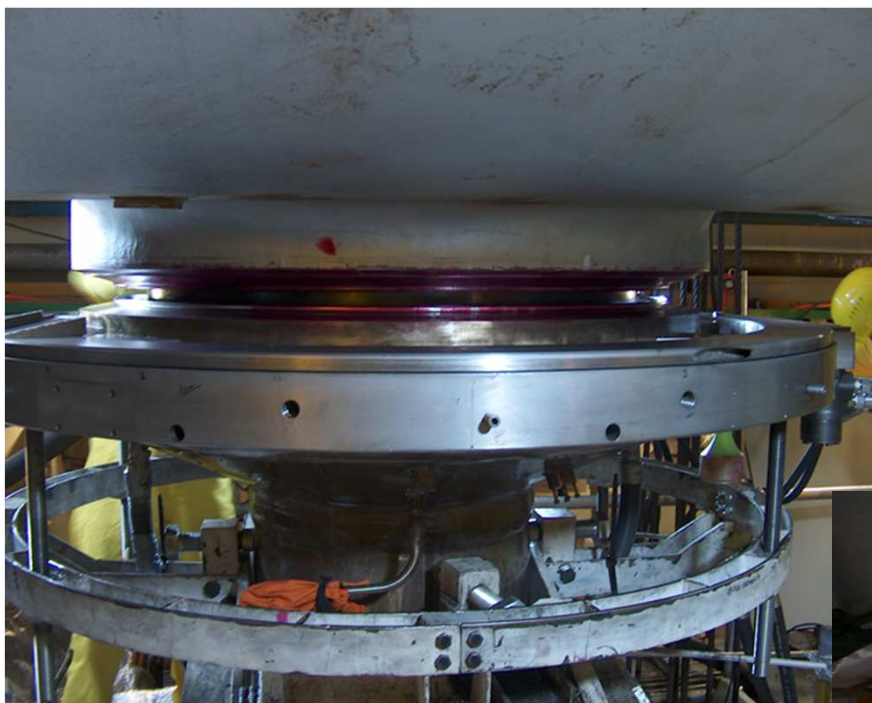


## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE





## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE





## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE







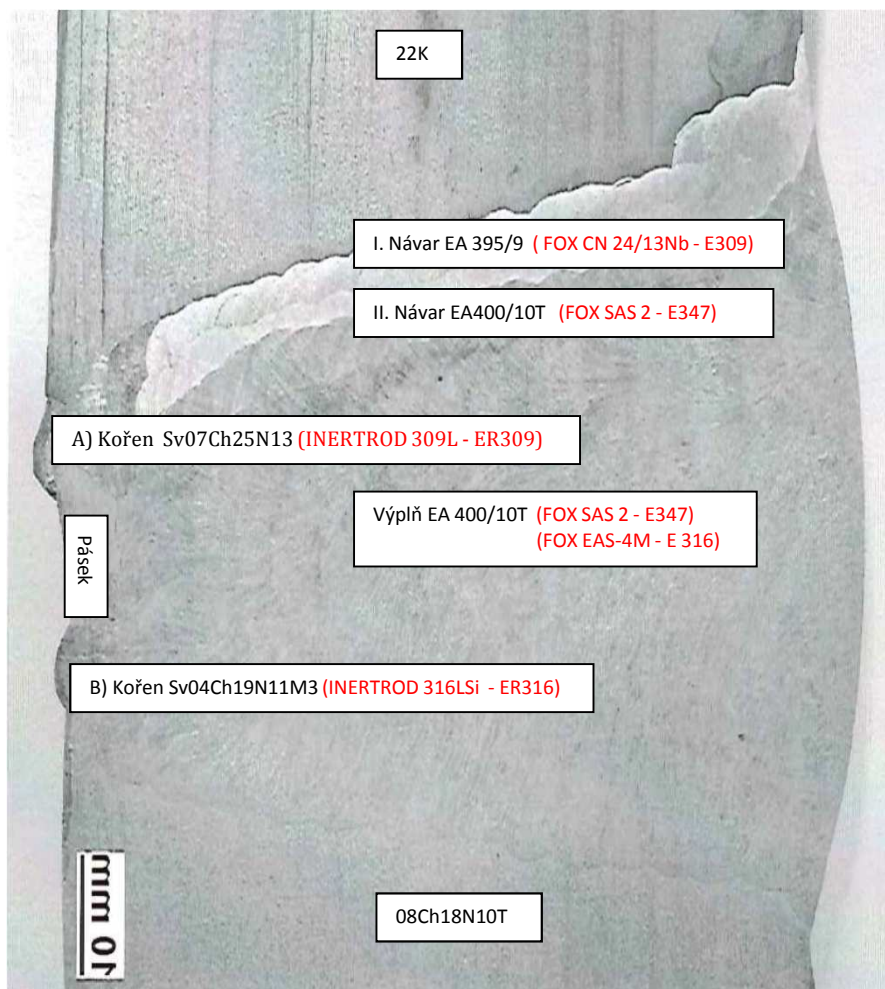
## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE







## STUDIUM PŘECHODOVÝCH OBLASTÍ HETEROGENNÍCH NÁVARŮ V JE



- переход на новые сварочные материалы типа 02X25H13 или 02X25H13M2 при заварке разделки

- для выполнения разнородных сварных соединений в узлах сопряжения оборудования и трубопроводов для предварительной наплавки ответных деталей из перлитных (углеродистых и низколегированных) сталей может быть рекомендован состав типа 02X25H13, не склонный к растрескиванию и МКК, для чего необходимо разработать отечественный электрод – аналог зарубежных электродов типа E309L (AWS A5.4) и сварочную проволоку типа Св-02X25H13

► **Do plánu KSS 2014 (DLC I.O.) zařadit položku - zhotovení KSS (HTRG) s použitím nových ověřených PM podle standardu AWS A5.9-93 (NTD ASI Sekce I) !!!**



**Děkuji za pozornost**