



FLASH STEEL
POWER

VÝZKUM MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ SVAROVÝCH SPOJŮ MODIFIKOVANÝCH ŽÁROPEVNÝCH OCELÍ T24 A P92

Ing. Petr Mohyla, Ph.D.



Úvod

- Od konce osmdesátých let 20. století probíhá v celosvětovém měřítku intenzivní vývoj směřující ke zvýšení účinnosti tepelných elektráren a omezení škodlivých emisí
- Zlepšení termodynamické účinnosti – zvýšení vstupních parametrů páry – vyšší nároky na použité konstrukční materiály (zvýšení žárupevnosti, pevnosti, houževnatosti, strukturní stability a odolnosti proti oxidaci)
- Svařování žárupevných materiálů klade vysoké nároky na zvládnutí technologie: teplotní režim svařování, přídavný materiál, technika kladení jednotlivých vrstev a tepelné zpracování po svařování.



Úvod

- Nejprve začaly vznikat modifikované žárovevné oceli s martenzitickou maticí na bázi 9 až 12%Cr, určené především pro tělesa komor a parovody. Hlavními představiteli jsou v současné době oceli P91, P92, E911 a VM12.
- V oblasti nízkolegovaných ocelí byly následně vyvinuty modifikované žárovevné oceli s bainitickou maticí na bázi 2,25%Cr, určené především pro membránové stěny kotlů. Typickými představiteli jsou oceli T23 (7CrWVMoNb9-6) a T24 (7CrMoVTiB7-7).
- Záměrem tvůrců ocelí T23 a T24 bylo vyvinout materiál pro výrobu membránových stěn USC bloků, který bude mít vysokou creepovou odolnost a zároveň jej bude možno svařovat bez předehřevu a bez tepelného zpracování po svařování.



Úvod

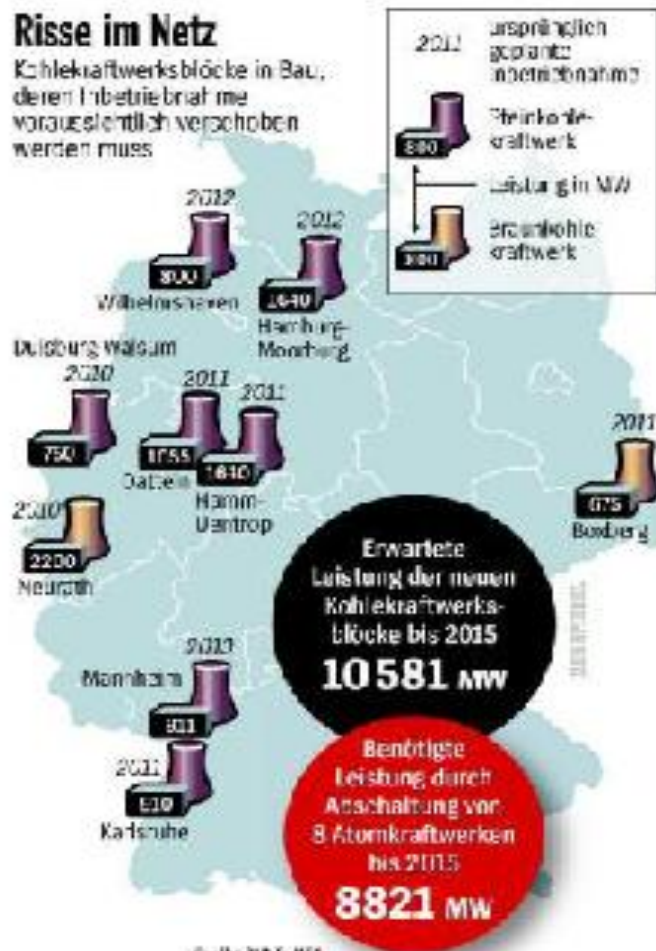
- V Evropě se v současné době budují nadkritické (USC) bloky tepelných elektráren s využitím ocelí P92 a T24.
- Doposud se membránové stěny z oceli T24 svařují bez popouštění, avšak již v procesu výroby, nebo následně ve zkušebním provozu, dochází k masivnímu praskání svarových spojů.
- Rovněž ocel P92 provázejí značné problémy související s její nízkou korozní odolností při provozních podmínkách.



FLASH STEEL
POWER

Risse im Netz

Kohlekraftwerksblöcke in Bau,
deren Inbetriebnahme
voraussichtlich verschoben
werden muss





FLASH STEEL
POWER

Případová studie

Elektrárna WALSUM, Úroveň + 45, + 50 m –
praskliny na rovném potrubí, ocel T24





FLASH STEEL
POWER

Případová studie

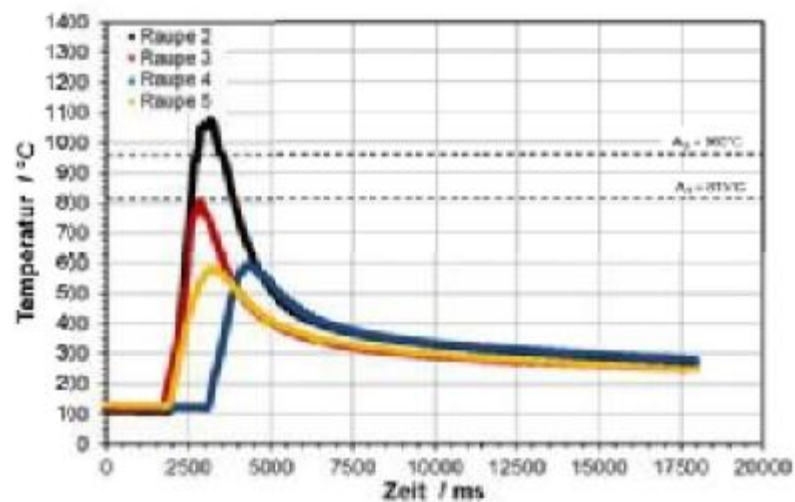
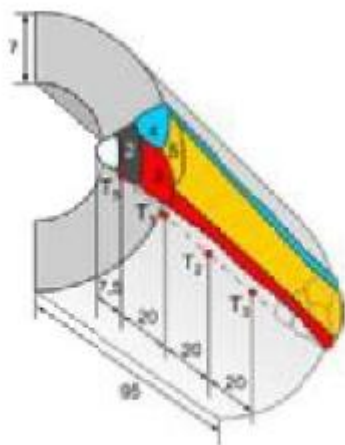
Elektrárna WALSUM Praskliny na úrovni + 73 m, ocel T24





Optimalizace svařování oceli T24

Výzkum omezení vneseného tepla do svaru

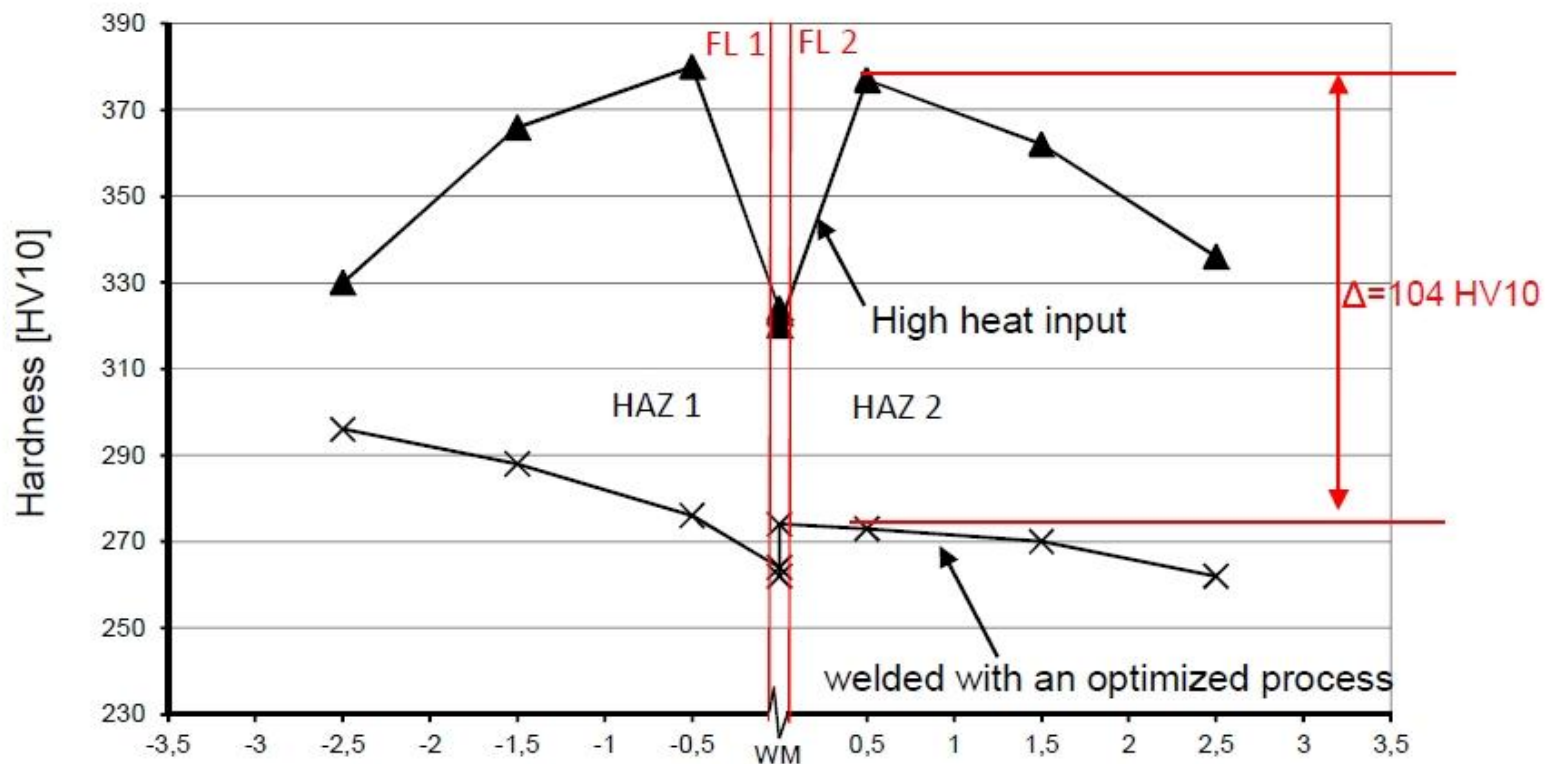




Optimalizace svařování oceli T24

Tvrdość svarového spoje

Optimalizované svarové spoje vykazují snížení tvrdosti o 50-100 HV10.



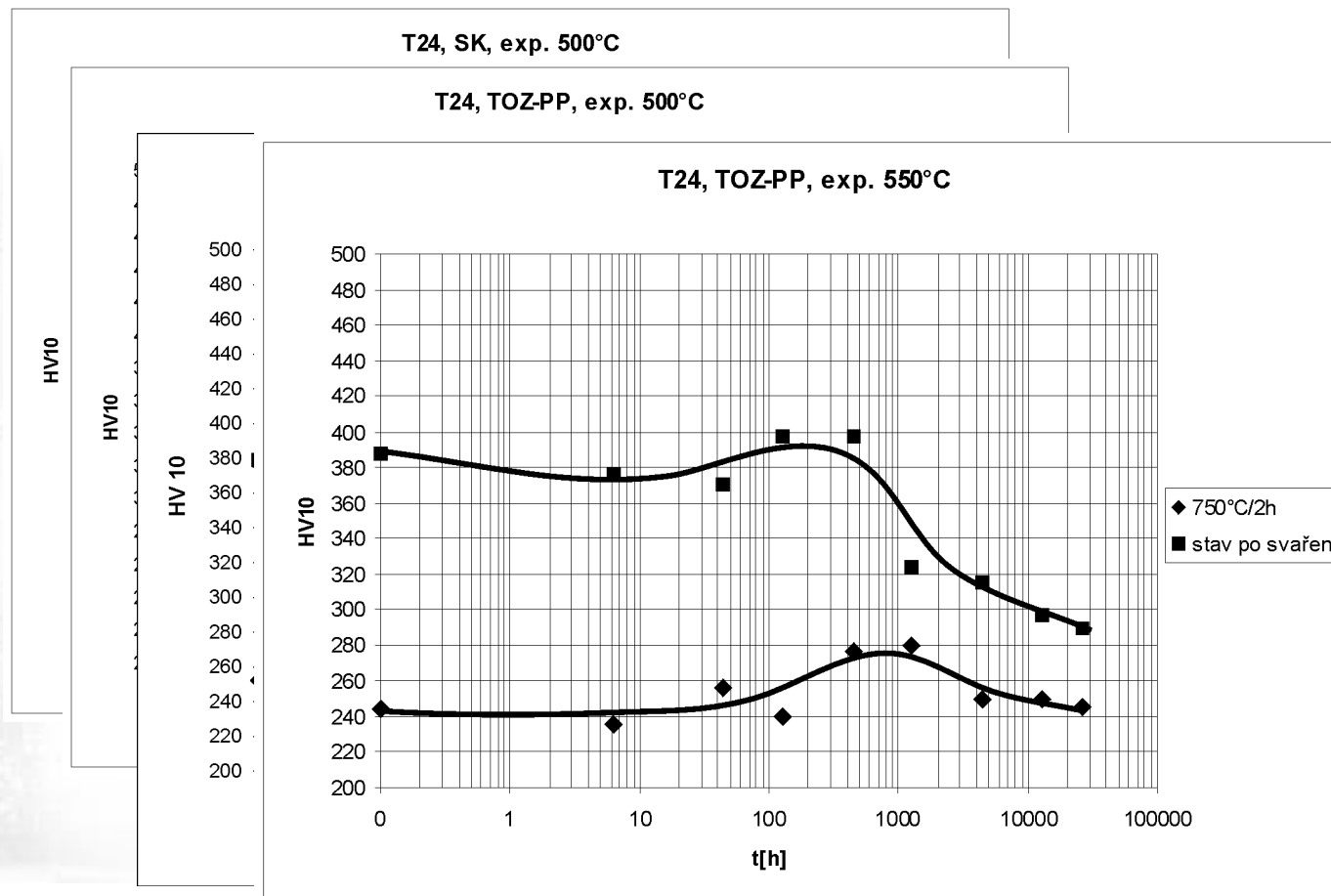


Experiment - ocel T24

- Byly zhotoveny zkušební svarové spoje z oceli T24 metodou 111.
- Jedna část svarových spojů byla popuštěna na 750 °C, druhá část byla ponechána v nepopuštěném stavu (stav po svaření).
- Na připravených vzorcích byl simulován provoz při teplotě 500°C a 550°C a následně bylo provedeno měření tvrdosti v jednotlivých oblastech svarového spoje.
- V další fázi byly na vybraných vzorcích změřeny hodnoty nárazové práce KV, resp. vrubové houževnatosti KCV.

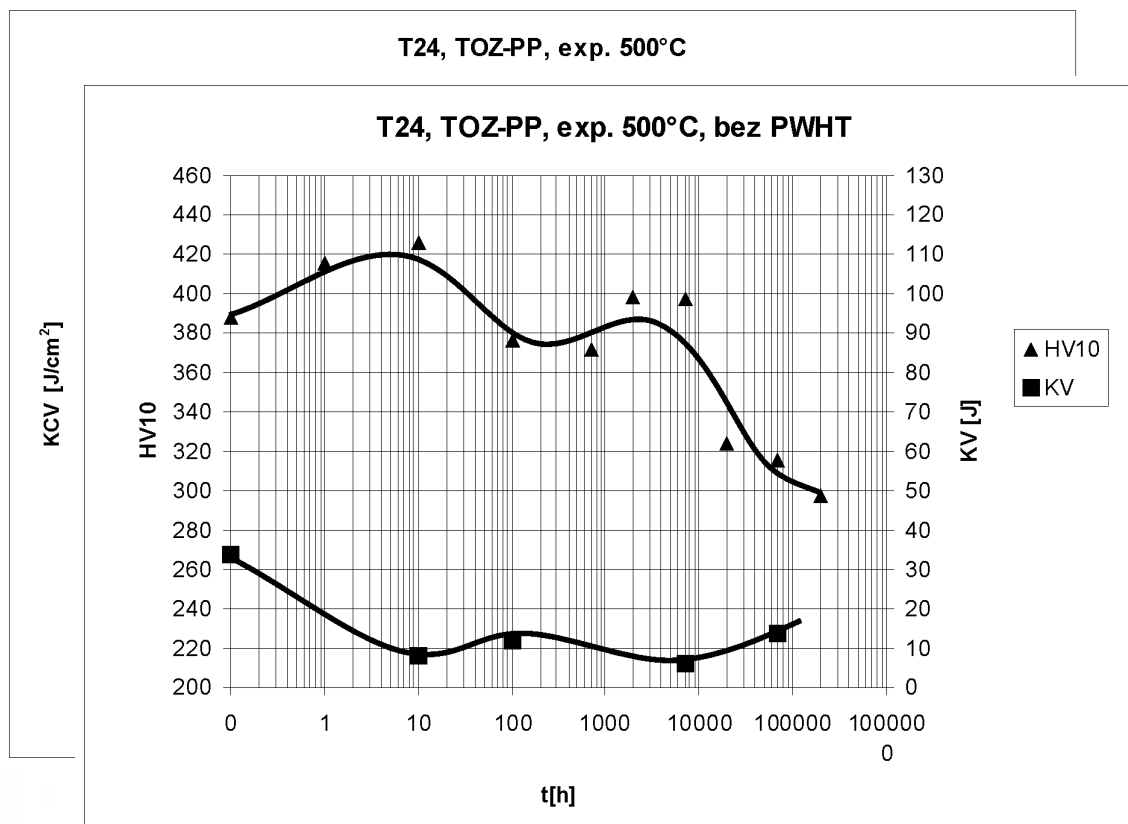


Měření tvrdosti





Měření houževnatosti





Diskuse výsledků

- Z křivek tvrdosti je patrné, že u svarů, které nebyly po svaření popuštěny dochází ke značnému vytvrzení.
- Při 550°C je maximum tvrdosti pozorováno v čase 450 hodin, při delších časech (nad 1000 h) již tvrdost klesá.
- Maximum tvrdosti bylo naměřeno ve svarovém kovu, a to 460 HV. V pásmu přehřátí TOZ bylo naměřeno nejvíce 420 HV.
- Hodnoty tvrdosti nepopuštěných svarových spojů jsou vyšší, než dovoluje norma ČSN EN ISO 15614-1 (350 HV).



Diskuse výsledků

- Z křivek houževnatosti vyplývá markantní rozdíl mezi svarovým spojem popuštěným a nepopuštěným.
- V popuštěném stavu se vrubová houževnatost pásma přehřátí TOZ pohybuje kolem 180 J/cm^2 (zkušební teplota $20 \text{ }^\circ\text{C}$).
- V nepopuštěném stavu jsou hodnoty KCV kolem 20 J/cm^2 .
- Oblast maxima tvrdosti, tj. oblast sekundárního vytvrzení zhruba odpovídá oblasti minima houževnatosti.
- S pozorovaným sekundárním vytvrzováním nepopuštěných svarových spojů oceli T24 tedy souvisí pokles vrubové houževnatosti.



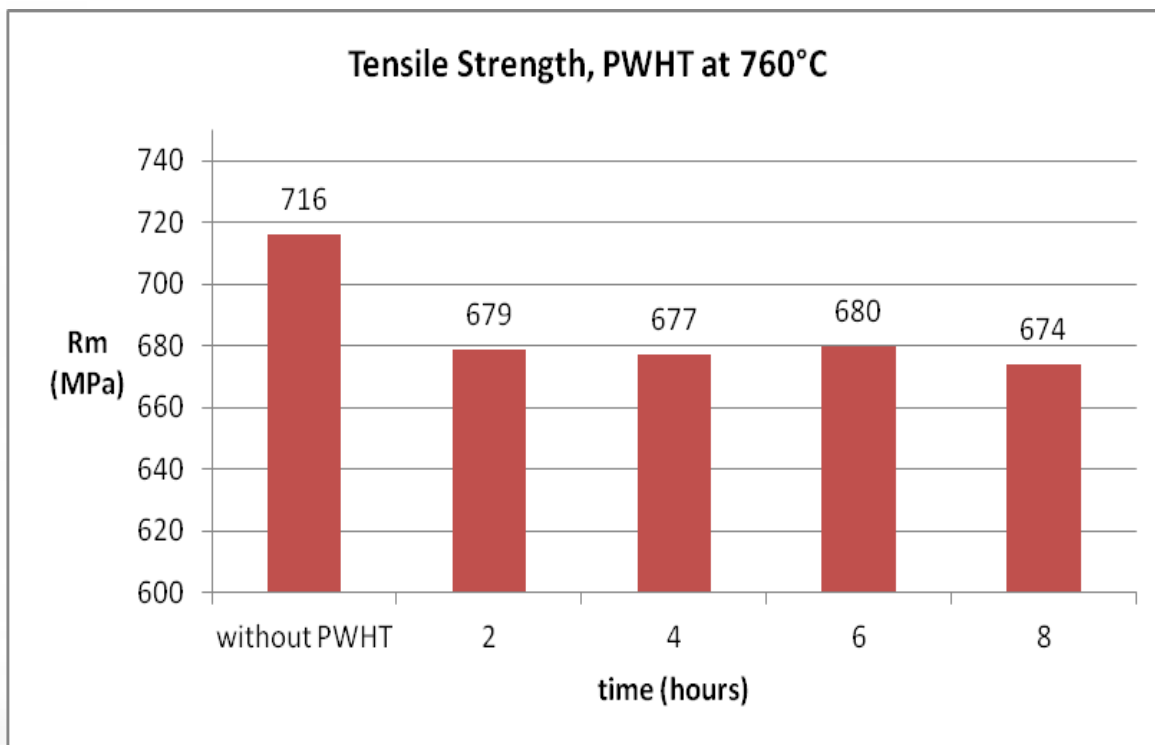
Experiment – ocel P92

- Byly zhotoveny svarové spoje z oceli X10CrWMoVNb9-2, tloušťka 40 mm
- Metoda svařování - 121
- Provedeno 5 variant tepelného zpracování po svaření :
 - bez TZ
 - 760°C/1hod.
 - 760°C/4hod.
 - 760°C/6hod.
 - 760°C/8hod
- Vyhodnocení zkušebních svarů bylo provedeno:
 - zkoušky nedestruktivní (kapilární a ultrazvukové zkoušky)
 - zkoušky mechanické (Příčná zkouška tahem, zkouška rázem v ohybu a zkouška tvrdosti)
 - metalografická analýza (Zkouška makrostruktury)



Experiment – ocel P92

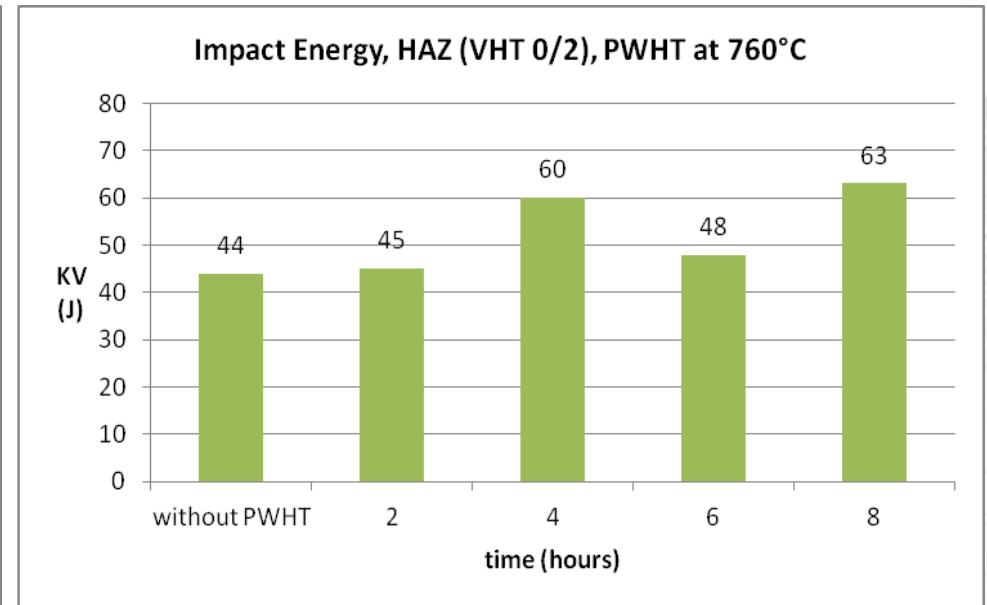
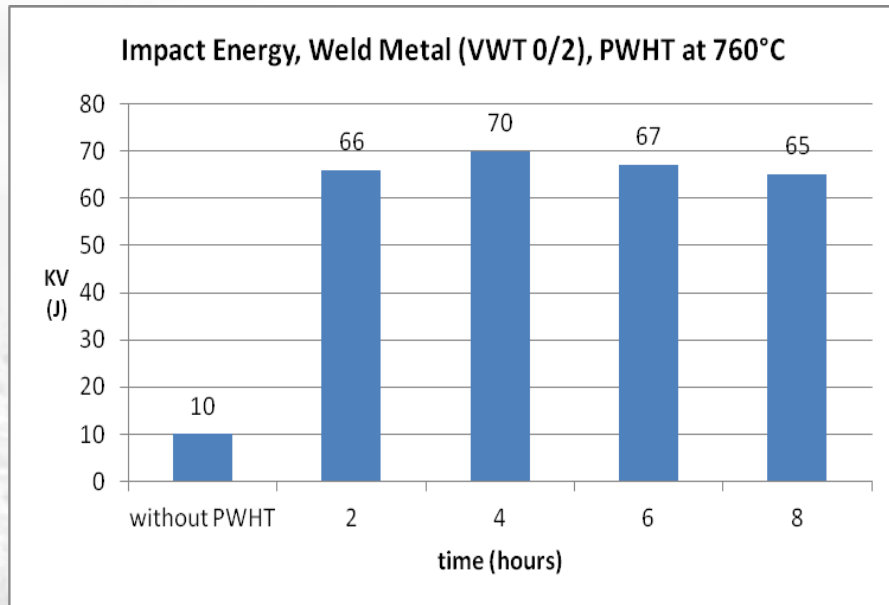
• **Příčná zkouška tahem** - Pevnost svarových spojů popuštěných režimem (760°C/2h, 4h, 6h, 8h.) je na velmi podobné úrovni, bez TZ bylo dosaženo podobné pevnosti jako u popuštěného ZM





Experiment – ocel P92

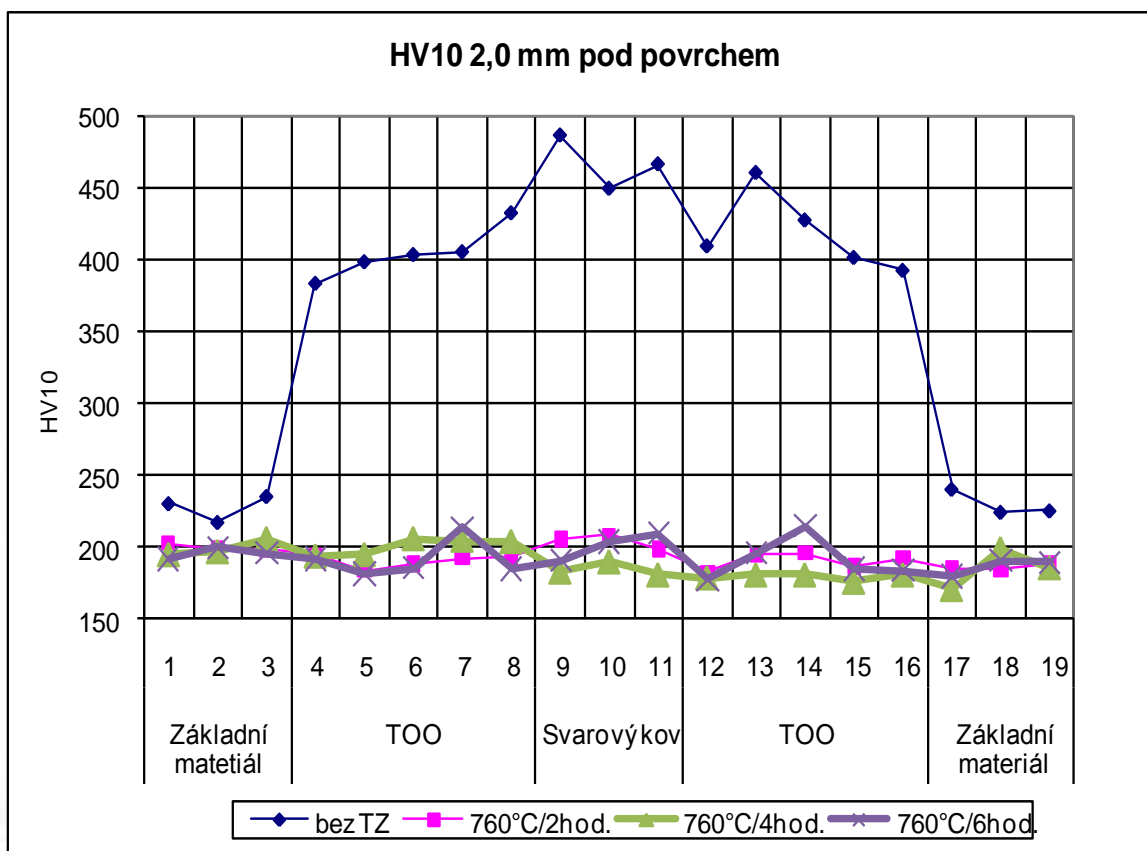
• **Zkouška rázem v ohybu** – Neoptimálnější režim TZ pro svarové spoje bude 760°C / 4hod – Hodnota vrubové houževnatosti nejvíce přibližuje hodnotě vrubové houževnatosti základního materiálu.





Experiment – ocel P92

• **Zkouška tvrdosti** - V případě vzorků bez tepelného zpracování po svaření dosahovala tvrdost až 480 HV10 (nevyhovující hodnoty)

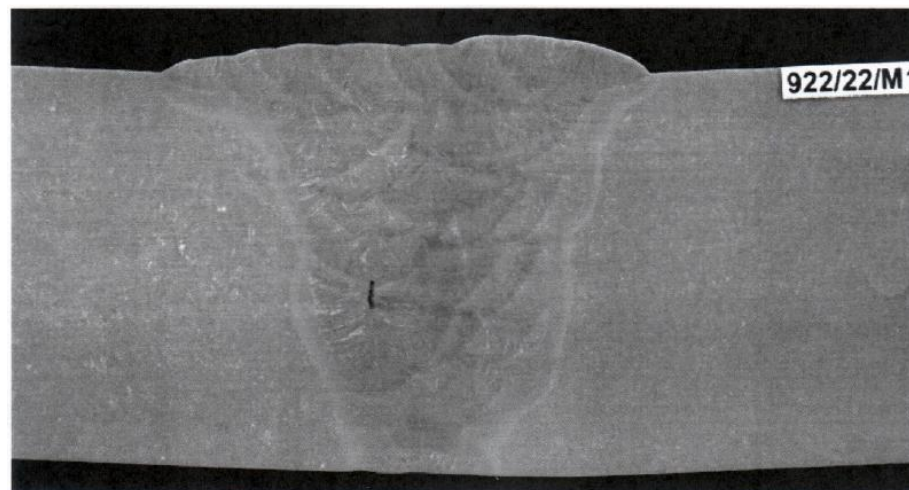
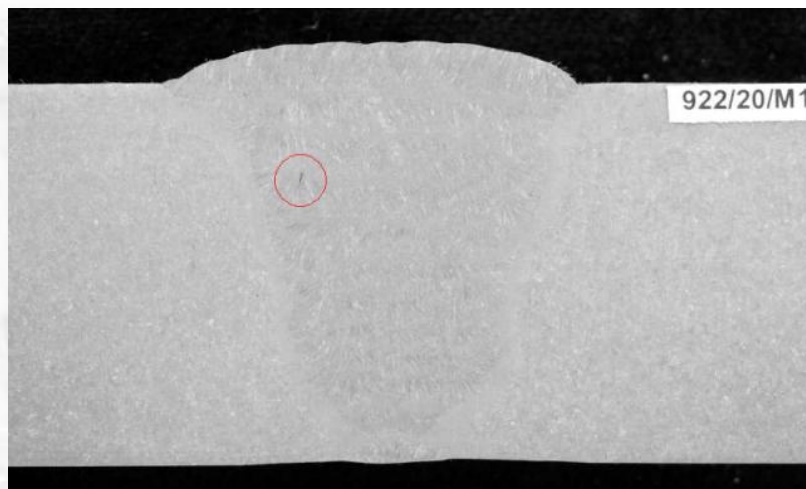




FLASH STEEL
POWER

Experiment – ocel P92

- **Zkouška makrostruktury** – Ve svarovém kovu byly identifikovány defekty (trhlina, struskový vměstek)

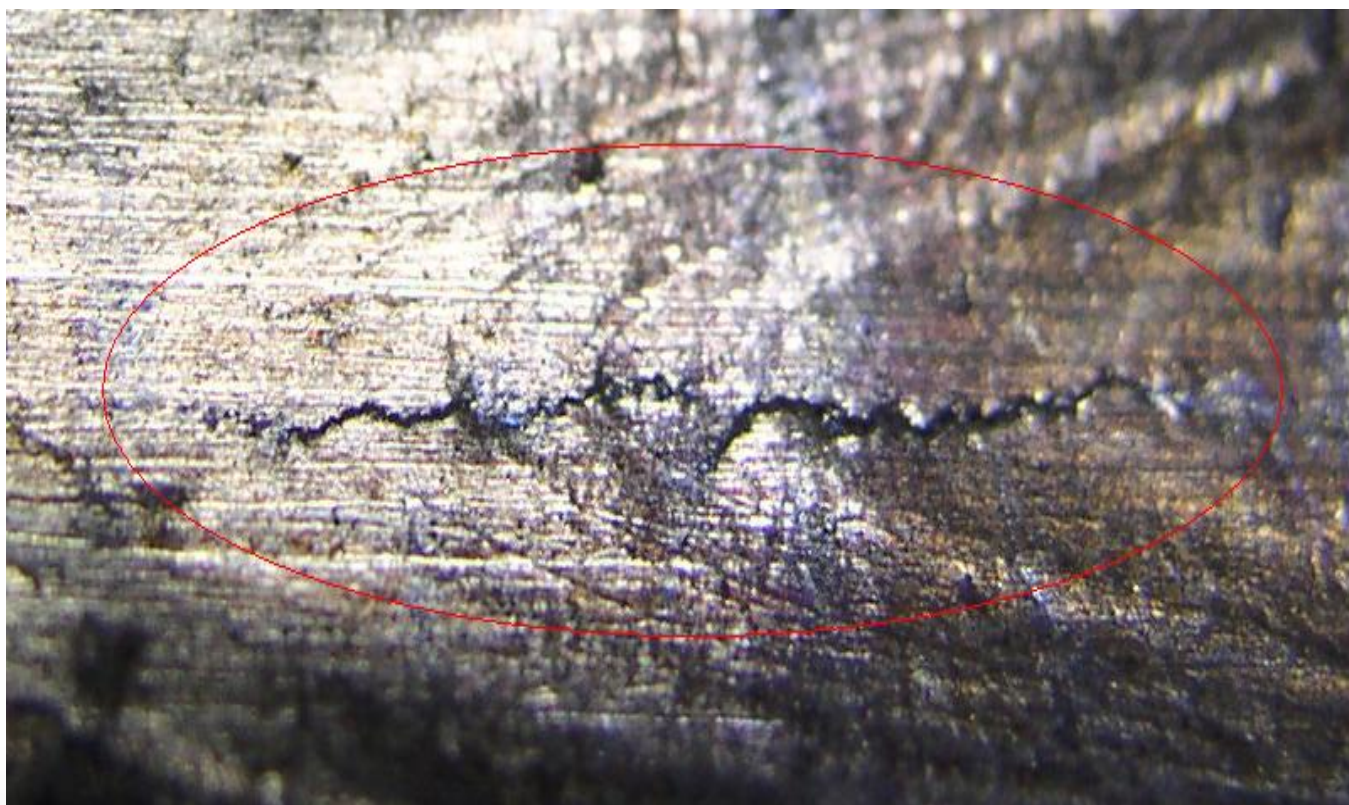




FLASH STEEL
POWER

Experiment – ocel P92

- Trhlina identifikovaná v průběhu svařování





Diskuse výsledků – ocel P92

- Tepelné zpracování po svařování má velký vliv na mechanické vlastnosti svarových spojů oceli P92, zhotovených automaticky pod tavidlem (121).
- Jako nejvhodnější tepelné zpracování se jeví režim 760°C s výdrží na teplotě 4 hodiny.
- Při prodloužení doby popouštění na 6 hodin dochází k poklesu hodnot vrubové houževnatosti a k nárůstu meze pevnosti svarového spoje.
- U nepopuštěného svarového spoje je nevyhovující vrubová houževnatost a tvrdost.
- Při svařování oceli P92 je nutné dodržet předehřev, dohřev, tepelný příkon, parametry svařování, způsob kladení housenek, sušení přídavných materiálů a tepelné zpracování po svařování.



Závěr

- U svarových spojů nízkolegovaných žárovevných ocelí zpevněných disperzí částic MX dochází během dlouhodobé teplotní expozice za zvýšených teplot k procesu sekundárního vytvrzování.
- Sekundární vytvrzení způsobuje pokles plastických vlastností - houževnatosti.
- Vynechání popouštění po svařování při výrobě membránových stěn z oceli T24 se jeví v souvislosti s dosavadními provozními zkušenostmi jako nebezpečné.
- **Při svařování modifikovaných žárovevných ocelí je nutné dodržet předehřev, dohřev, tepelný příkon, parametry svařování, způsob kladení housenek, sušení přídavných materiálů a tepelné zpracování po svařování.**

PROMATTEN

progresivní materiály a technologie v energetice

14. – 15. 11. 2013, Vidly, Vrbno pod Pradědem





FLASH STEEL
POWER

Děkuji za pozornost

Flash Steel Power a. s.

Martinovská 3168/48
723 00 Ostrava - Martinov
CZECH REPUBLIC

Tel.: +420 596 958 542

Fax: +420 596 901 315

E-mail: info@flashsteel.cz

www.flashsteel.com