

Vliv přechodových svarových spojů na životnost tlakových systémů energetických zařízení

Při stavbě tlakových systémů energetických zařízení se často musí přistoupit ke svařování výrazně rozdílných materiálů, tedy k tzv. přechodovým svarovým spojům. Díky rozdílnosti chemického složení svařovaných materiálů (např. nízkolegovaná a středně legovaná ocel) dochází k tvorbě difúzí ovlivněných oblastí v tepelně ovlivněné oblasti (T00), což může mít významný vliv na životnost takovýchto svarových spojů. Příspěvek se zabývá vlivem přechodových svarových spojů ocelí T/P23 a T/P92 na předpokládanou životnost v podmínkách creepového zatížení.

hm. %	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	N	Nb	W
norma T/P23	0,04 0,10	max. 0,50	0,10 0,60	1,90 2,60	0,05 0,30	0,20 0,30	max. 0,030	0,02 0,08	1,45 1,75
T23	0,08	0,30	0,45	2,18	0,06	0,23	0,009	0,05	1,65
norma T/P92	0,08 0,13	max. 0,50	0,30 0,60	8,50 9,50	0,30 0,60	0,15 0,25	0,030 0,070	0,04 0,09	1,50 2,00
T92	0,13	0,22	0,61	8,50	0,32	0,20	0,057	0,06	1,58

Tab. 1 – Chemické složení studovaných ocelí T/P23 a T/P92

Úvod

Problematikou vlivu svařování na dlouhodobou životnost tlakových zařízení v energetice, teplárenství a chemickém průmyslu se firma UJP PRAHA a.s. ve spolupráci s Ústavem chemie Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity Brno a Ústavem fyziky materiálu Akademie věd ČR, v.v.i. zabývá již řadu let. V současnosti je hlavní pozornost věnována vlivu svařování modifikovaných žárovevých ocelí T/P23 a T/P92. Výsledky studia homogenních svarových spojů těchto dvou ocelí byly již publikovány (např. [1], [2]) a tento příspěvek na ně navazuje s informacemi o současných výsledcích chování vzájemného heterogenního svarového spoje ocelí T/P23 a T/P92 (jejich chemické složení je uvedeno v tab. 1).

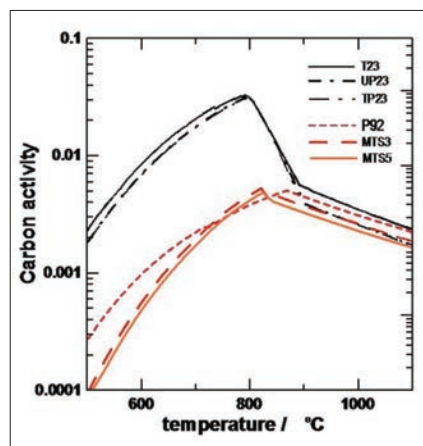
Volba přídavného materiálu

Při navrhování technologie výroby přechodového svarového spoje ocelí T/P23 a T/P92 bylo nutné kromě svařovací metody a následného tepelného zpracování (TZ) vybrat přídavný materiál. Ten musel splňovat podmínku snadné dostupnosti na trhu a vhodnosti pro obě svařované ocele. Z důvodů dostupnosti nakonec byly zvoleny dva přídavné materiály: jeden chemickým složením odpovídající oceli T/P23, druhý oceli T/P92. Ve společnosti MODŘANY Power, a.s. pak byly vyrobeny dva typy experimentálních přechodových svarových spojů:

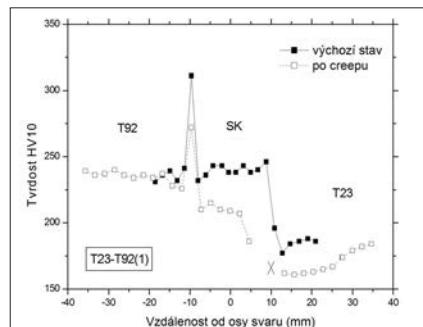
- T23-T92(1): PM 141 – BWG Union I P23 + 111 – BWG Thermanit P23, přehřev (200 – 250) °C, PWHT 740 °C/ výdrž 120 min/ chladnutí v peci,
- T23-T92(3): PM 141 – BWG Thermanit MTS 616 + 111 – BWG Thermanit MTS 616, přehřev (200 – 250) °C, PWHT 760 °C/ výdrž 120 min/ chladnutí v peci.

Pro kontrolu výběru přídavných materiálů byla provedena metodou CALPHAD numerická

predikce jejich rovnovážného termodynamického chování a byla porovnána aktivita uhlíku těchto přídavných materiálů (SK) se základními materiály (ZM) ocelí T/P23 a T/P92 v závislosti na teplotě (obr. 1). Z tohoto porovnání vyplynulo, že ani jeden SK neodpovídá ideální variantě, tj. s aktivitou uhlíku uprostřed mezi oběma ZM, nicméně



Obr. 1 – Aktivita uhlíku ocelí T/P23 a T/P92 a příslušných přídavných materiálů pro svařování: dráty Union I P23 (UP23) a Thermanit MTS 616 (MTS3), elektrody Thermanit P23 (TP23) a Thermanit MTS 616 (MTS5).

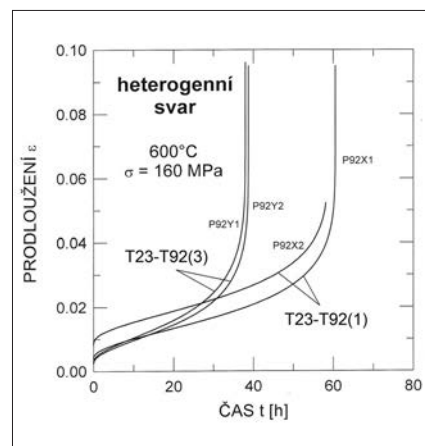


Obr. 3 – Průběh tvrdosti HV10 přes přechodový svar T23-T92(1) - vlevo a T23-T92(3) - vpravo, po výchozím tepelném zpracování po svaření a po creepovém namáhání při 600 °C, 160 MPa. Křížek označuje místo creepového lomu.

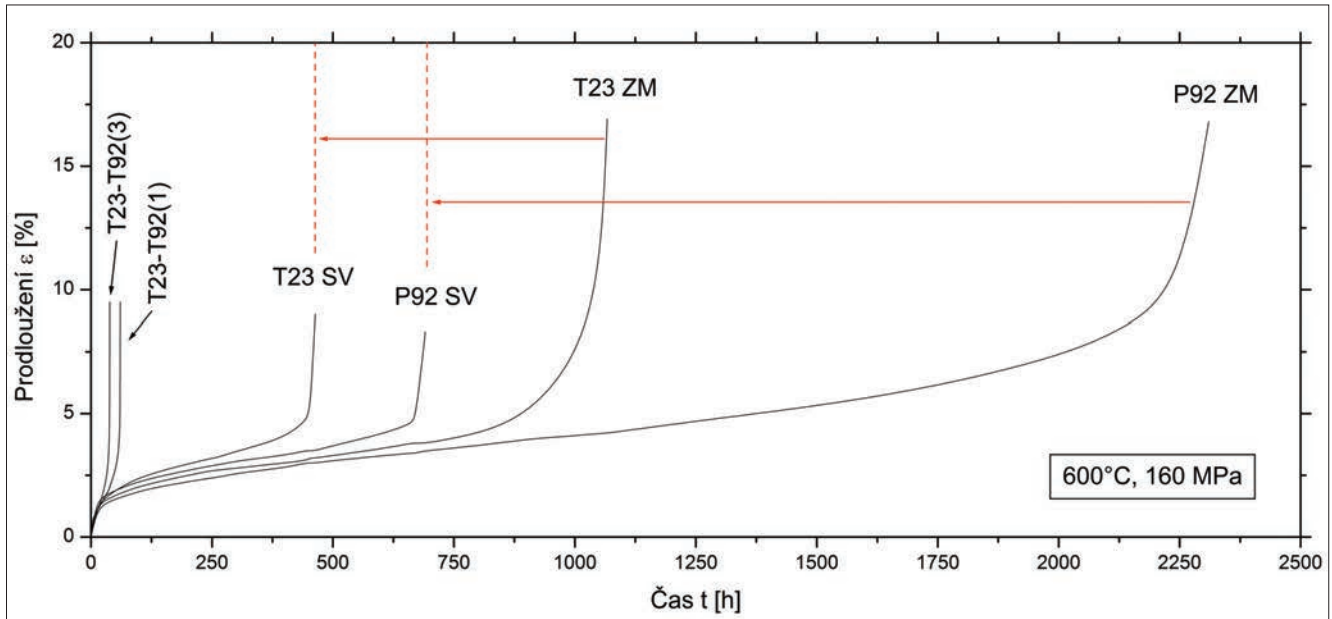
na rozdíl od Thermanit MTS 616 je SK odpovídající oceli T/P23 alespoň mezi oběma ZM. Varianta T23-T92(1) se tak jevila jako ta vhodnější.

Creepové zkoušky

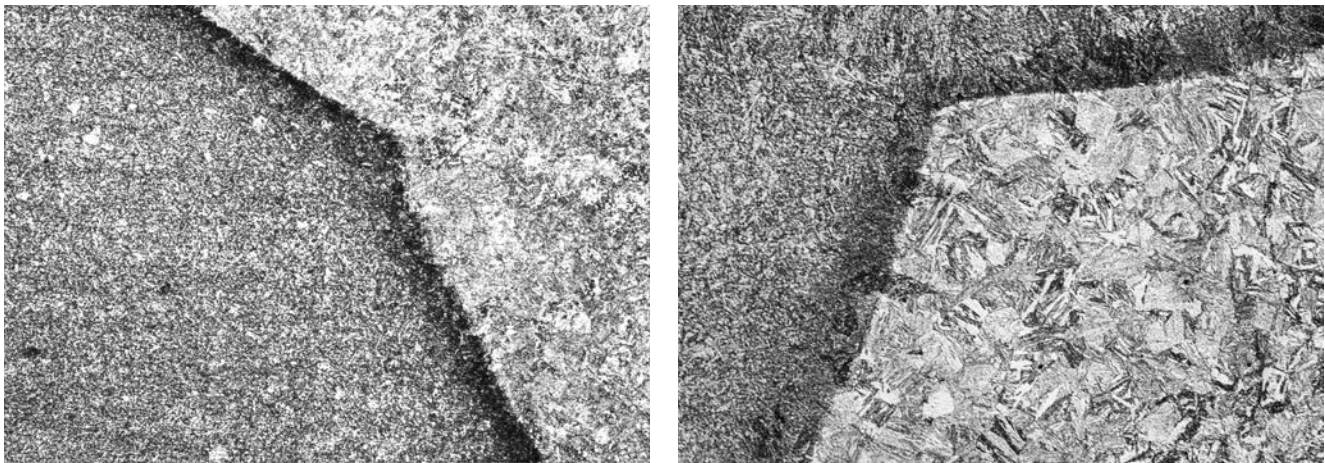
Zkušební tyče vyrobené z experimentálních svarových spojů T23-T92(1) a T23-T92(3) byly vystaveny jednoosému konstantnímu zatížení v podmínkách tečení při několika úrovních teploty i napětí. Dosud byly do lomu dovedeny pouze zkoušky při 600 °C s napětím 160 MPa. Záznam creepových křivek z této zkoušky je uveden na obr. 2. Ačkoliv se jednalo o velmi krátkou zkoušku, výsledky ukazují, že varianta T23-T92(3) vykazuje nižší creepovou odolnost oproti variantě T23-T92(1), což potvrzuje výsledek metody CALPHAD. Po creepové zkoušce bylo na dvou zkušebních tyčích (P92X1 a P92Y2) také provedeno měření průběhu tvrdosti



Obr. 2 – Creepové křivky přechodových svarů T23-T92(1) (P92X1 a P92X2) a T23-T92(3) (P92Y1 a P92Y2) v podmínkách: teplota 600 °C, konstantní zatížení 160 MPa

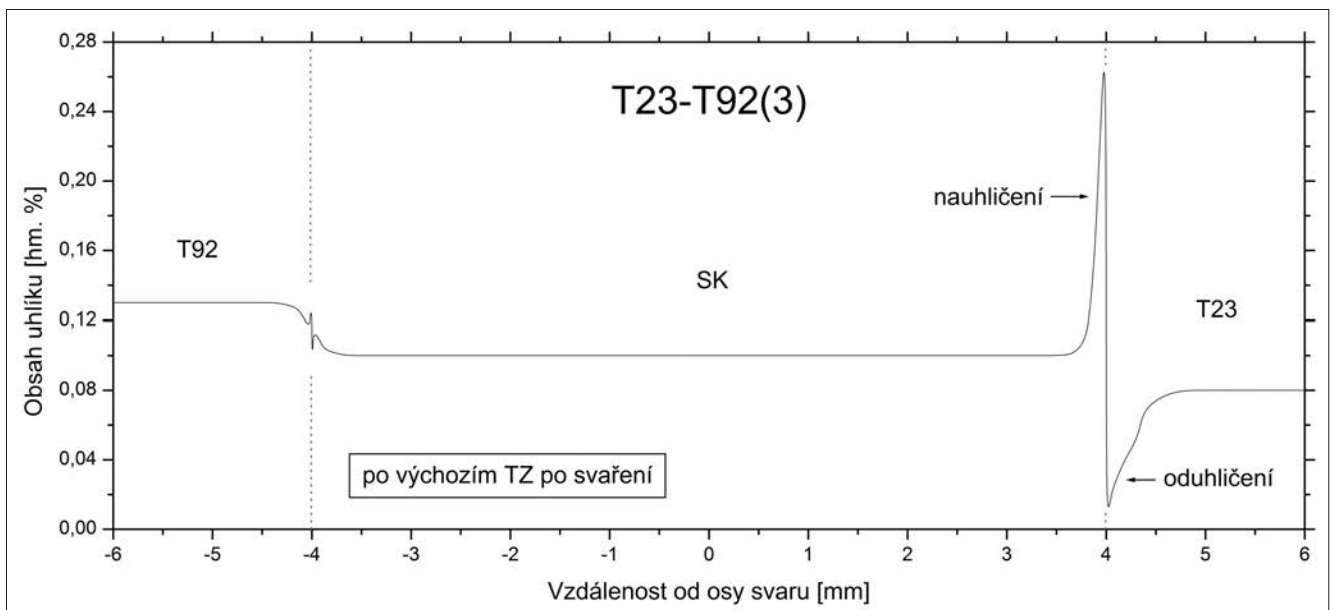


Obr. 4 – Creepové křivky základních materiálu oceli T/P23 (T23 ZM) a oceli T/P92 (P92 ZM) v porovnání s jejich homogenními (T23 SV a P92 SV) a vzájemnými heterogenními svary T23-T92(1) a T23-T92(3). Podmínky creepového zatížení: teplota 600 °C, konstantní zatížení 160 MPa. Červenými šipkami je zdůrazněn vliv svařování na creepovou odolnost.

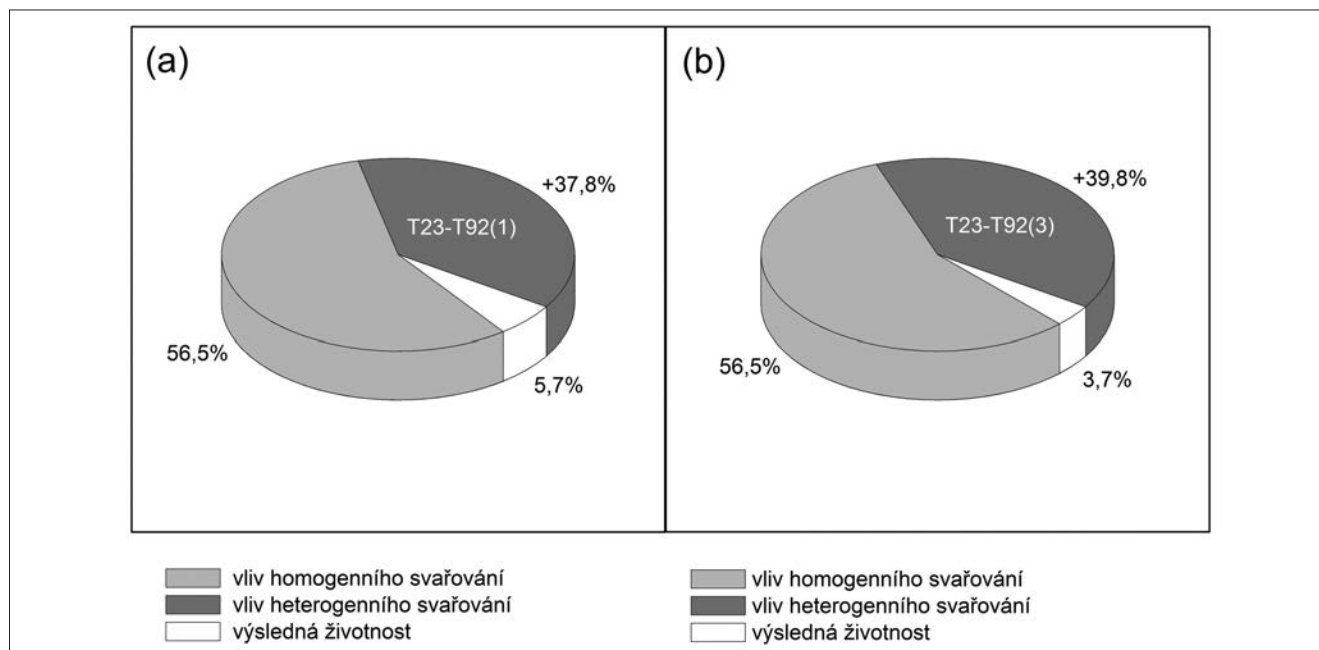


T23-T92(1) VS - TOO T92 LZ c **200 μm** **T23-T92(3) VS - TOO T23 LZ c** **200 μm**

Obr. 5 – Mikrostruktura TOO po svaření s difúzí ovlivněnými zónami v blízkosti linie ztavení (LZ) heterogenních svarových spojů T23-T92(1) vlevo a T23-T92(3) vpravo.



Obr. 6 – CALPHAD simulace difúzí ovlivněných zón heterogenního svarového spoje T23-T92(3), viz porovnání s obr. 5 vpravo.



Obr. 7 – Percentuální vyjádření vlivu svařování na životnost oceli T/P23 z creepových křivek pro podmínky 600 °C a 160 MPa. (a) - heterogenní svarový spoj T23-T92(1), (b) - heterogenní svarový spoj T23-T92(3)

přes svarový spoj. Porovnání s tvrdostmi před creepovou zkouškou (po TZ po svaření) je uvedeno na obr. 3. Z něj je patrný nejen pokles hodnot tvrdosti především u oceli T/P23 a SK u varianty T23-T92(1), ale také lom vždy v teplotně ovlivněné oblasti (TOO) oceli T/P23, nezávisle na volbě SK (stejně tomu bylo i při klasických tahových zkouškách výchozích stavů [3]).

Vliv svařování na životnost

Pro určení vlivu svařování na životnost bylo provedeno porovnání výsledků creepových zkoušek obou ZM ocelí T/P23 a T/P92 a jejich homogenních i heterogenních svarových spojů při stejné teplotě (600 °C) a zatížení (160 MPa). Toto porovnání je uvedeno na obr. 4, kde je červenými šipkami znázorněn vliv homogenního svařování na creepové chování oceli T/P23 a T/P92. Touto technologickou úpravou se u obou ocelí zkrátí nejen doba do lomu, ale také dosažené prodloužení v době lomu, a zároveň se zvýší minimální rychlost creepu.

V případě heterogenního svarového spoje oceli T/P92 s ocelí T/P23 určuje výsledné creepové vlastnosti především chování oceli T/P23, v jejíž TOO vždy dochází k lomu, přičemž nevhodná volba SK může tyto creepové vlastnosti ještě zhoršit, což

je zrovna případ volby SK podobného oceli T/P92 (varianta T23-T92(3)), kdy kromě očekávaných strukturálních změn (např. výrazné hrubnutí zrn v pásmu normalizace TOO oceli T/P23) dochází také k tvorbě difúzí ovlivněných oblastí na rozhraní mezi SK a TOO oceli T/P23 (obr. 5 a 6) v takové míře, že se životnost oproti variantě T23-T92(1) zkrátí zhruba na polovinu. Percentuální vliv svařování na výslednou životnost pak ukazuje obr. 7. Pro ocel T/P23 vyplývá, že homogenní svařování sníží životnost této oceli o cca 57 %, heterogenní svařování s ocelí T/P92 pak o dalších (38 až 40) %. Ačkoliv jsou tyto údaje pouze orientační (získány z krátkodobých creepových zkoušek), mají svoji vypovídající hodnotu.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky v rámci řešení projektu č. FT-TA2/038 programu „TANDEM“ a č. 2A-1TP1/057 programu „Trvalá prosperita“.

LITERATURA:

- [1] Doua, Jindřich a kol.: Strukturální změny homogenních svarových spojů oceli T23, sb.

konference Zvyšování životnosti komponent energetických zařízení v elektrárnách, Srní, říjen 2009.

- [2] Svobodová, Marie: Microstructure Assessment of Weld Joint of P92 Steel, sb. konference SEDOK 2009, Žilina – Súľov, Slovensko, leden 2009.
- [3] Svobodová, Marie a kol.: Možnosti použití heterogenních svarových spojů 9Cr a 2,25Cr ocelí při opravách a rekonstrukcích tlakového systému kotle, sb. konference Kotle a energetická zařízení, Brno, březen 2011.

**Ing. Marie Svobodová, Ph.D.,
Ing. Daniela Tůmová,
Ing. Josef Čmakal, CSc.,**

UJP PRAHA a.s., Praha - Zbraslav

doc. RNDr. Jiří Sopoušek, CSc.,
Ústav chemie, Přírodovědecká fakulta,
Masarykova Univerzita, Brno

Ing. Květa Kuchařová,
Ústav fyziky materiálů AV ČR, v.v.i., Brno

Vliv přechodových svarových spojů na životnost tlakových systémů energetických zařízení

Building the pressure systems for energy facilities requires very often welding of in chemical composition significantly different materials, i.e. the so-called transition welded joints. However, these differences, especially between low and medium alloyed steels, lead to the formation of diffusion affected areas in the heat affected zone, which may have a negative impact on the lifetime of such welded joints. The paper deals with the influence of transition welds of T/P23 and T/P92 steels on designed lifetime under conditions of creep.

Влияние переходных сварных соединений на срок эксплуатации энергетического оборудования (в т.ч. систем высокого давления)

При строительстве систем высокого давления энергетического оборудования часто приходится проводить сварку различных материалов, т.е. проводить так называемые переходные сварные соединения. Из-за различного химического состава свариваемых материалов (например, низколегированная и среднелегированная сталь) под влиянием высокой температуры возникает диффузия в местах сварки (ТОО), что может иметь серьезное влияние на сроки эксплуатации этих сварных соединений. Статья анализирует влияние переходных сварных соединений стали Т/Р23 и Т/Р92 на предполагаемый срок эксплуатации в условиях повышенных температурных режимов.