

Hodnocení vlivu sigma fáze na pokles křehkolomových vlastností ocelí a jejich svarových spojů pro energetické komponenty pracující za superkritických podmínek

Evaluation of the Effect of Sigma Phase on Fracture Behaviour of Steels and Weld Joints of Components in Power Industry Working at Supercritical Conditions

Ing. Ladislav Kander, Ph.D.¹; Ing. Šárka Stejskalová¹; Ing. Petr Čížek, Ph.D.¹; Ing. Šárka Hermanová²; Ing. Lukáš Pomikálek²

¹ MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Pohraniční 31/639, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Česká republika

² VÍTKOVICE POWER ENGINEERING, a.s., Ruská 1142/30, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Česká republika

V souvislosti se zvyšováním účinnosti nově budovaných tepelných elektráren, která je vyvolána jak tlakem na redukci cen elektrické energie, tak současně požadavky na snižování množství škodlivých emisí CO₂, bylo věnováno značné úsilí při vývoji nových značek ocelí se zvýšenou úrovní užitných vlastností. Intenzivní vývoj těchto značek je v hlavní míře motivován zejména nízkou cenou materiálů na bázi železa ve srovnání s jinými materiály pro vysoké teploty, zejména slitinami Ni. Příspěvek se zabývá změnami struktury, vlastností a náchylností k tvorbě sigma fáze tří vybraných ocelí pro superkritické aplikace (USC) po základních technologických operacích používaných při výrobě přehříváků kotlů a následné teplotní expozici při pracovních teplotách. Práce byly zaměřeny na oceli jakosti SUPER 304H, HR3C a Tp347HFG a jejich svarové spoje a ohyby, provedené ohýbáním za studena s několika poloměry. Studium struktury a hodnocení mechanických vlastností bylo provedeno ve stavu po deformaci i ve stavu po rozpouštěcím žhání jak na rovné části ohybů, tak v ohybu samotném, dále ve stavu po svaření bez následného tepelného zpracování a ve stavu po svaření a následném rozpouštěcím žhání. Pro hodnocení změn mechanických vlastností byla použita miniaturizovaná zkušební tělesa a penetrační testy (SPT). Z výsledků je patrný velmi pozitivní vliv rozpouštěcího žhání na strukturu, vlastnosti a zejména na tvorbu sigma fáze u ohybů. Naopak u svarů byl zaznamenán negativní vliv rozpouštěcího žhání související s významným růstem zrna, a tím snížení korozní odolnosti i snížení creepu oproti stavu bez tepelného zpracování. Z výsledků je rovněž patrné, že po roční tepelné expozici pouze při pracovních teplotách (bez aplikovaného zatížení) byl zaznamenán výskyt sigma fáze v tažených částech ohybů. Ve svarech ani na rovných trubkách nebyla sigma fáze pozorována. Křehkolomové charakteristiky studovaných ocelí při laboratorní teplotě byly výskytem i malého množství sigma fáze významně sníženy.

Klíčová slova: sigma fáze; oceli pro superkritické parametry; penetrační test; lomové chování; svarové spoje

The paper deals with the change of the structure and mechanical properties of the austenitic steels after the exposure at ultra super critical parameters (USC). The effect of the bent radius of tubes on the mechanical properties and the structure was studied. The effect of solution annealing was studied, too. The grades TP347 HFG, Super 304H and HR3C were chosen in the study, as well as their welded joints. Several bent radii correspond to various amounts of plastic deformation were investigated in order to understand the relation between cold plastic deformation and generation of the sigma phase. The mechanical properties were studied using small punch test (SPT) and miniaturized tensile tests taken both from the straight part and extrados of bends under investigation. From the results it can be concluded that the mechanical properties and the structure have been significantly influenced due to one year exposure at the working temperature. Various amounts of σ -phase were found in the pulled part of the bent side of the tubes even after only thermal exposure without any loading. On the contrary, no sigma phase was identified both in the welds and in the straight parts of tubes. Very positive effect of solution annealing was found in the case of the extrados, however, the same heat treatment caused an increase of the grain size in the welds. Even small amount of sigma phase causes drop in fracture properties of all investigated steels.

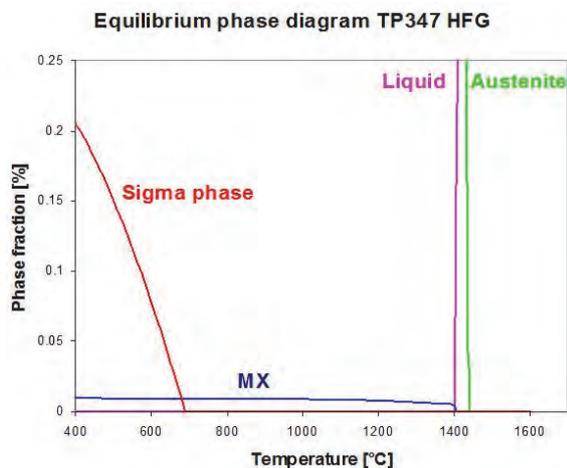
Key words: sigma phase; USC steels; small punch test; fracture behaviour; welded joints

V souvislosti se zvyšováním účinnosti nově budovaných tepelných elektráren, která je vyvolána jak tlakem na redukci cen elektrické energie, tak současně požadavky

na snižování množství škodlivých emisí CO₂, bylo věnováno značné úsilí při vývoji nových značek ocelí se zvýšenou úrovní užitných vlastností. Intenzivní vývoj těchto

značek je v hlavní míře motivován zejména nízkou cenou materiálů na bázi železa ve srovnání s jinými materiály pro vysoké teploty, zejména slitinami Ni.

Dlouhodobá teplotní expozice těchto materiálů s vysokým obsahem Cr je spojena s precipitací. Obecně se jedná o intermetalickou fázi Cr-Fe σ -fáze (σ -fáze), která se vytváří v austenitických ocelích při jejich dlouhodobé expozici za zvýšených teplot. Fáze precipituje v rozsahu teplot 400 – 500 °C a je stabilní až do teploty 700 °C. Přítomnost σ -fáze v oceli vede k výraznému poklesu plastických a křehkolomových vlastností, materiál se při okolní teplotě stává křehkým. Tvorbu této fáze rovněž ovlivňuje obsah uhlíku a niobu. Obr. 1 ukazuje rovnovážný diagram σ -fáze v oceli TP347 HFG [1].



Obr. 1 Rovnovážný diagram pro ocel TP347 HFG [1]

Fig. 1 Equilibrium phase diagram of the steel TP347 HFG calculated with MatCalc software [1]

Sigma fáze je chromem bohatá intermetalická fáze, která výrazně zvyšuje pravděpodobnost křehkého porušení při okolní teplotě. Chemické složení sigma fáze může být různé. Např. v práci [2, 3], kde byla indikována v exponované oceli TP 347HFG, měla tato fáze následující průměrné chemické složení: 38 % Cr, 1 % Si, 2 % Mn a 4 % Ni a převážně byla pozorována na hranicích zrn.

Přítomnost sigma fáze na hranicích zrn významně ovlivňuje jak mechanické, tak i korozní vlastnosti. Tvorba σ -fáze závisí na obsahu C, Nb a Cr v materiálu [4]. Termodynamické výpočty vlivu uhlíku na tvorbu σ -fáze provedené v práci [5] ukazují velmi rychlý pokles jejího obsahu, pokud obsah uhlíku vzroste na 0,1 hm. %.

Podle práce [4] se σ -fáze bude tvořit, pokud je obsah uhlíku pod kritickou mezí a obsah Cr ekvivalentu je vyšší než 18 hm. %. Kritický obsah uhlíku zvyšuje precipitace karbidů Nb, takže poměr Nb/C je pro tvorbu σ -fáze velmi důležitý.

Příspěvek se zabývá změnami struktury, vlastností a náchylností k tvorbě sigma fáze tří vybraných ocelí pro superkritické aplikace (USC) po základních technologických operacích používaných při výrobě přehříváků kotlů a následné teplotní expozici při

pracovních teplotách. Práce byly zaměřeny na typy oceli SUPER 304H, HR3C, TP347 HFG a jejich svarové spoje a ohyby, provedené za studena s několika poloměry. Obr. 2 znázorňuje ohyby trubek o tloušťce stěny 6,3 mm realizované pro experimentální program.

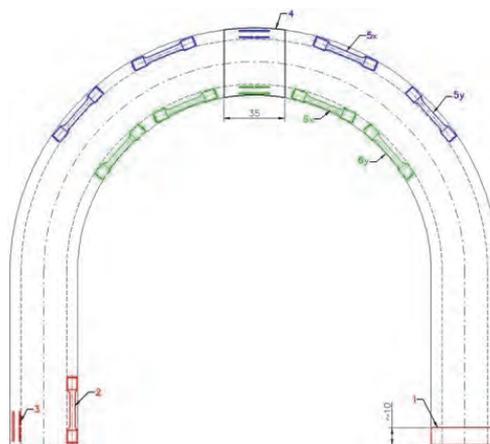
Experimentální techniky

S ohledem na relativně malou tloušťku stěny trubek byla pro hodnocení vlivu σ -fáze na mechanické vlastnosti použita miniaturizovaná zkušební tělesa a rovněž metoda penetračních testů (SPT). Předmětem zkoušení byla jak rovná část ohybů, tak oblast s největší vnesenou plastickou deformací uprostřed ohybu (obr. 3).



Obr. 2 Příklad ohybů pro experimentální program

Fig. 2 Example of bends for experimental work

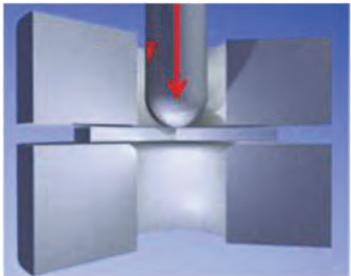


Obr. 3 Rozřezový plán a umístění miniaturizovaných těles včetně SPT [6]

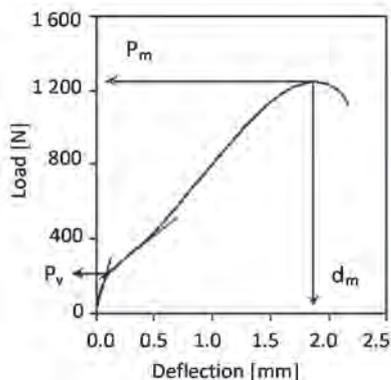
Fig. 3 Cutting plan and location of miniaturized specimens including SPT

Metoda penetračních testů patří k progresivním a dlouhodobě rozvíjeným zkušebním metodám ve společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM, s.r.o. Touto metodou je možné získat celou řadu mechanických vlastností při relativně velmi malé velikosti testovaného zkušebního tělesa. Metoda se používá především k hodnocení aktuálního stavu mechanických

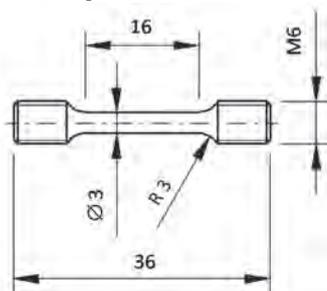
vlastností provozovaných komponent v klasické energetice a autorský kolektiv tuto metodu využil především z důvodu malé objemu experimentálního materiálu a možnosti lokalizace umístění zkušební vzorku do tažené části ohybu, kde v důsledku zakřivení nebylo možné umístit jak standardní, tak ani miniaturizovaná zkušební tělesa pro zkoušku tahem.



Obr. 4 Princip penetračního testu
Fig. 4 Principle of small punch test



Obr. 5 Záznam penetračního testu
Fig. 5 Record of small punch test



Obr. 6 Miniaturizované zkušební těleso pro zkoušku tahem
Fig. 6 Miniaturized tensile test specimen

SPT metoda využívá pro zkoušení vzorek tvaru disku o průměru 8 mm a tloušťce 0,5 mm. Zkouška spočívá v monotónním zatěžování tohoto vzorku hemisférickým razníkem o průměru 2 mm do porušení [7] (obr. 4).

Výsledkem penetračního testu, je záznam síla – reflexe. Z tohoto záznamu (obr. 5) je pak možné odečíst charakteristické hodnoty, které korelují s mechanickými hodnotami stanovenými standardními zkouškami.

Pro stanovení mechanických vlastností byla rovněž využita miniaturizovaná zkušební tělesa (obr. 6).

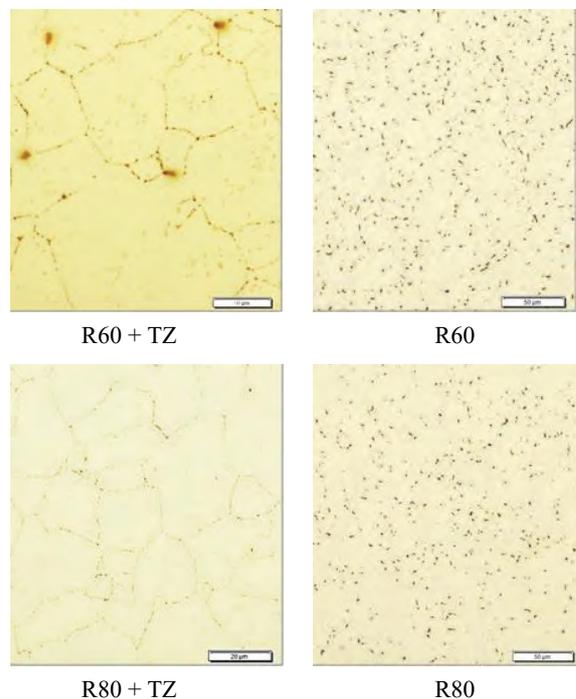
Metalografické hodnocení bylo provedeno klasickou světelnou mikroskopií. Pro zviditelnění σ -fáze byly vzorky leptány v 10% kyselině šťavelové.

Dosažené výsledky a jejich diskuse

Základní materiály

Všechny tři typy základních materiálů byly zkoušeny v následujících stavech:

- bez deformace (rovné části ohybů),
- po plastické deformaci za studena (ohyby s R60, R80 a R100 mm),
- po plastické deformaci za studena a aplikaci rozpouštěcího žíhání,
- po plastické deformaci za studena a dlouhodobé teplotní expozici v intervalu teplot 635 – 694 °C,
- po plastické deformaci za studena a dlouhodobé teplotní expozici v intervalu teplot 726 – 775 °C.



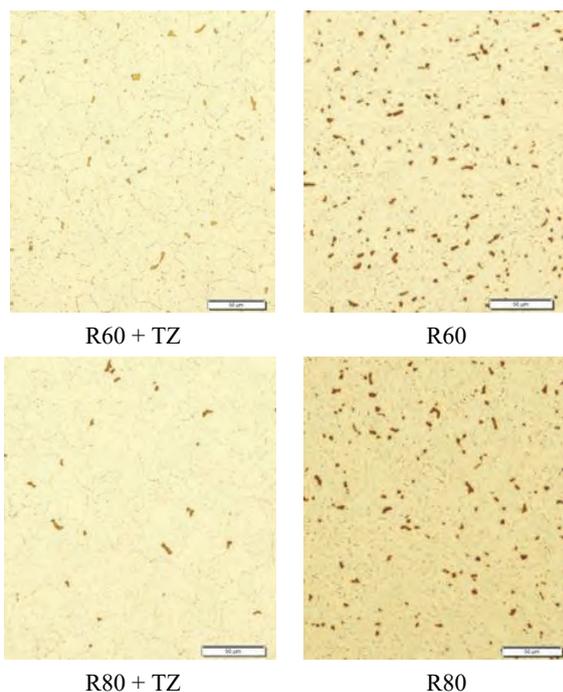
Obr. 7 SUPER 304H – Vliv rozpouštěcího žíhání na precipitaci σ -fáze při teplotě expozice v rozmezí 635 – 694 °C.

Fig. 7 SUPER 304H – Effect of solution annealing on precipitation of σ -phase at the exposure temperature between 635 – 694 °C

Teplotně exponovány byly pouze výřezy středových částí ohybů, které byly umístěny v reálně provozovaném kotli K3 v Elektrárně Dětmarovice, ČEZ, a.s ve dvou místech, kterým odpovídají dva rozsahy teplotní expozice. Doba expozice byla 1 rok. Po expozici byly vzorky metalograficky prozkoumány na přítomnost σ -fáze.

Na obr. 7 a 8 je vidět vliv rozpouštěcího žíhání pro různé poloměry ohybu na precipitaci σ -fáze po dlouhodobé expozici při dvou úrovních teplotních rozmezí pro materiál SUPER 304 H.

Obr. 9 ilustruje vliv dlouhodobé expozice na změnu mechanických vlastností materiálu SUPER 304H s ohybem R60 bez aplikace rozpouštěcího žíhání po plastické deformaci.



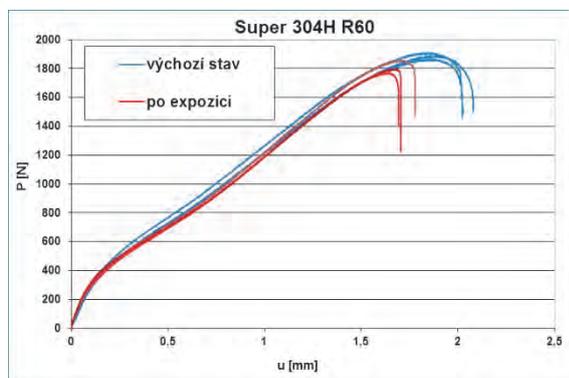
Obr. 8 SUPER 304H – Vliv rozpouštěcího žíhání na precipitaci σ -fáze při teplotě expozice v rozmezí 726 – 775 °C

Fig. 8 SUPER 304H – Effect of solution annealing on precipitation of σ -phase at the exposure temperature between 726 – 775 °C

Z obr. 7 a 8 je velmi dobře patrné, že aplikace rozpouštěcího žíhání u takto extrémního ohybu pozitivně ovlivnila vylučování σ -fáze.

U nižší expoziční teploty po aplikaci rozpouštěcího žíhání byly pozorovány pouze ojedinělé částice vyloučené primárně na hranicích zrn. Vyšší četnost těchto částic u ohybu R60 souvisí s vyšší vnesenou energií plastickou deformací za studena pro tento poloměr ohybu oproti R80. Z obr. 7 a 8 je rovněž patrné, jakým způsobem ovlivňuje tvar a rozložení částic σ -fáze expoziční teplota. Je jasně patrné, že při vyšších teplotách expozice jsou částice výrazně hrubší.

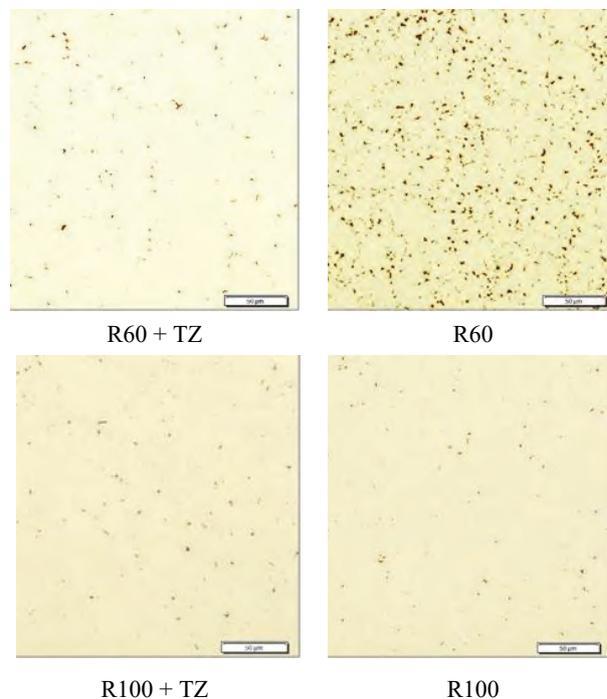
Změna mechanických vlastností se projevila, jak je patrné z obr. 9, jednak snížením maximální síly penetračního testu a jednak snížením lomové energie – tedy poklesem houževnatosti.



Obr. 9 Vliv dlouhodobé expozice na změnu mechanických vlastností – SUPER 304H, R60

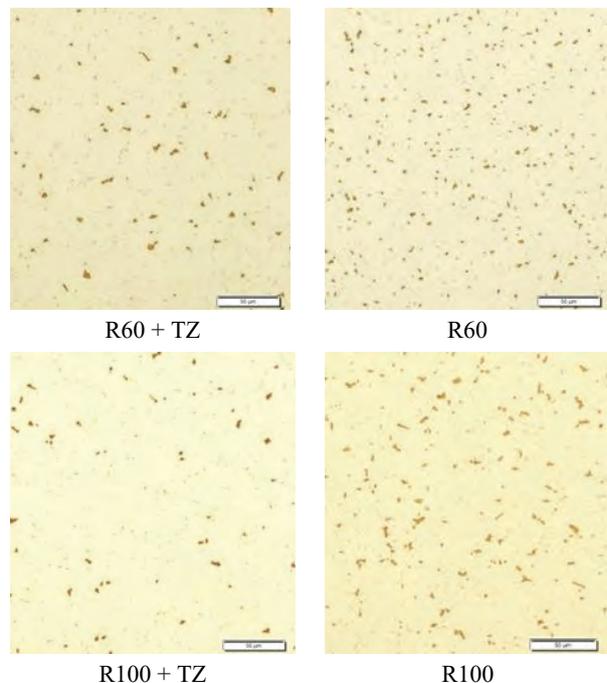
Fig. 9 Effect of long term exposure on the change of mechanical properties change – SUPER 304H, R60

Obr. 10 a 11 ukazují vliv rozpouštěcího žíhání na precipitaci σ -fáze při obou teplotách expozice pro materiál TP347 HFG. Z tohoto materiálu byly připraveny ohyby s poloměry R60 a R100 mm. Z obr. 10 a 11 je rovněž patrný pozitivní vliv rozpouštěcího žíhání na vylučování σ -fáze.



Obr. 10 TP347HFG – Vliv rozpouštěcího žíhání na precipitaci σ -fáze při teplotě expozice v rozmezí 635 – 694 °C

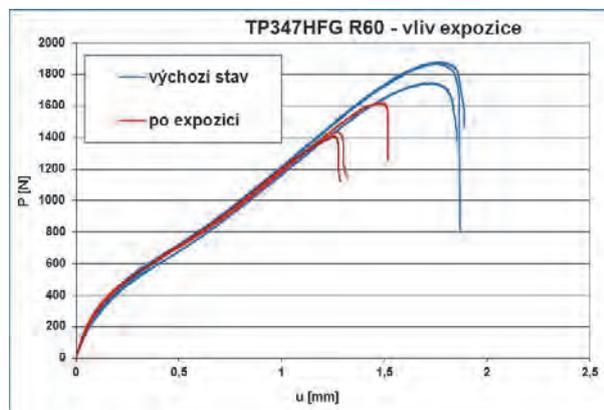
Fig. 10 TP347HFG – Effect of solution annealing on precipitation of σ -phase at the exposure temperature between 635 – 694 °C



Obr. 11 TP347HFG - Vliv rozpouštěcího žíhání na precipitaci σ -fáze při teplotě expozice v rozmezí 726 – 775 °C

Fig. 11 TP347HFG – Effect of solution annealing on precipitation of σ -phase at the exposure temperature between 726 – 775 °C

U nižší expoziční teploty opět byly po aplikaci rozpouštěcího žíhání pozorovány pouze ojedinělé částice vyloučené primárně na hranicích zrn. V případě ohybu s poloměrem R100 mm byly částice σ -fáze pozorovány pouze ojediněle. Podobně jako v případě materiálu SUPER 304 H vyšší expoziční teplota byla příčinou hrubnutí vyloučených precipitátů.



Obr. 12 Vliv dlouhodobé expozice na změnu mechanických vlastností – TP347HFG, R60

Fig. 12 Effect of long term exposure on the change of mechanical properties change – TP347HFG, R60

Tyto strukturální změny opět doprovázely i změny v mechanických vlastnostech. Obr. 12 ilustruje změnu v mechanických vlastnostech a lomové energie penetračních testů, které mají podobný průběh jako u materiálu SUPER 304H, tedy pokles maximální síly penetračního testu a rovněž pokles lomové energie a tedy i houževnatosti.

Poslední z materiálů, které byly vybrány pro tento experimentální program, je ocel HR3C, tedy materiál s významně vyšším obsahem Cr. Hodnocení bylo provedeno obdobně jako v případě předchozích dvou ocelí USC. V tomto případě byly z oceli HR3C vyrobeny ohyby s poloměrem R60 a R100 mm.

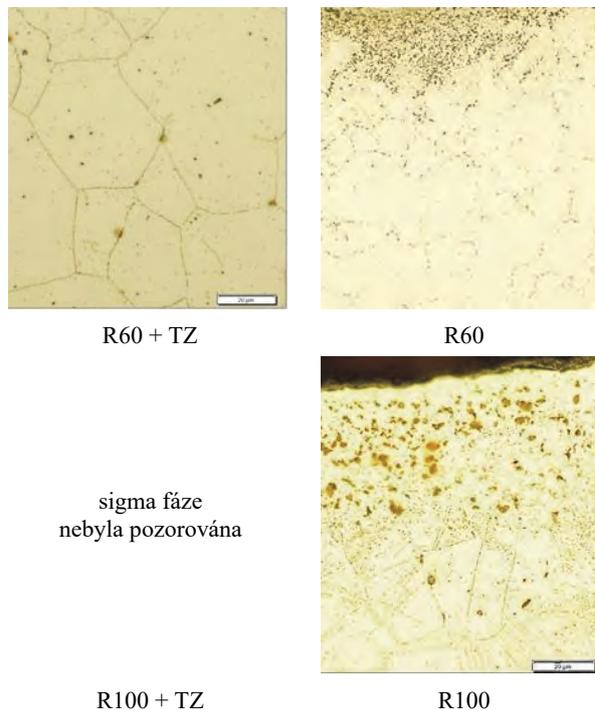
Na obr. 13 a 14 je opět patrný vliv dlouhodobé expozice a taktéž i vliv vnesené plastické deformace za studena na precipitaci σ -fáze. Obr. 15 ukazuje opět srovnání změny mechanických vlastností a lomové energie penetračního testu [8].

U oceli HR3C se u ohybu R100 mm, který byl podroben rozpouštěcímu žíhání a následně dlouhodobé expozici v intervalu teplot 635 až 694 °C, σ -fáze nevyskytla. Byla indikována v obou typech ohybů bez tepelného zpracování. Při vyšším rozsahu expozičních teplot pak už byla nalezena ve všech hodnocených vzorcích.

Z obr. 15 je velmi dobře patrný dramatický pokles jak maximálních hodnot zatížení, tak zejména lomové energie penetračního testu, což svědčí o významném ztuhnutí uvedené oceli oproti dvěma předchozím typům [9].

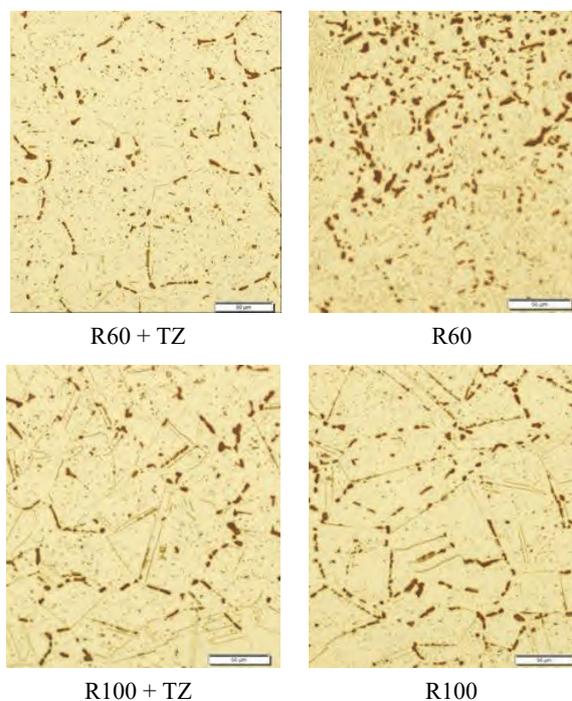
U všech studovaných ocelí při nižší teplotě dlouhodobé expozice docházelo k precipitaci σ -fáze přednostně na vnějším – taženém povrchu ohybu. Při expozici za vyšších teplot byla precipitace rovnoměrná přes celou tloušťku stěny ohýbané trubky. [10, 11]

Dosažené výsledky byly porovnány s rovnými částmi trubek ze stejných materiálů. Zde k precipitaci σ -fáze nedošlo při žádné kombinaci podmínek [12].



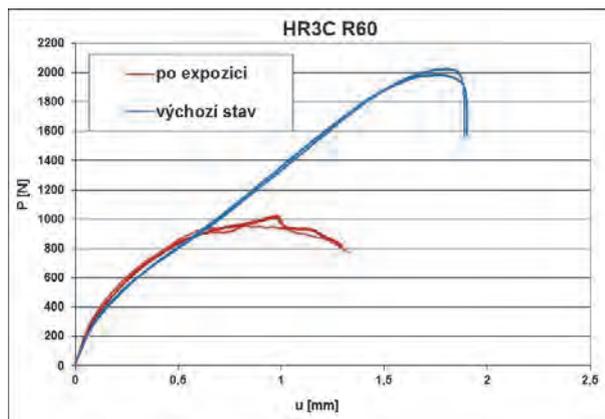
Obr. 13 HR3C – Vliv rozpouštěcího žíhání na precipitaci σ -fáze při teplotě expozice v rozmezí 635 – 694 °C

Fig. 13 HR3C – Effect of solution annealing on precipitation of the σ -phase at the exposure temperature between 635 – 694 °C



Obr. 14 HR3C – Vliv rozpouštěcího žíhání na precipitaci σ -fáze při teplotě expozice v rozmezí 726 – 775 °C

Fig. 14 HR3C – Effect of solution annealing on precipitation of the σ -phase at the exposure temperature between 726 – 775 °C



Obr. 15 Vliv dlouhodobé expozice na změnu mechanických vlastností – HR3C, R60

Fig. 15 Effect of long term exposure on the change of mechanical properties change – HR3C, R60

Svarové spoje

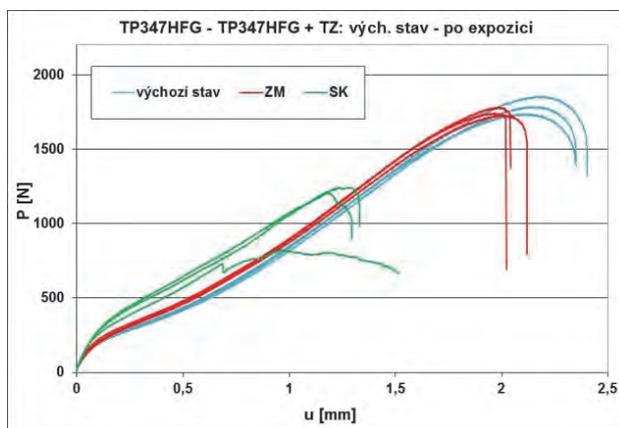
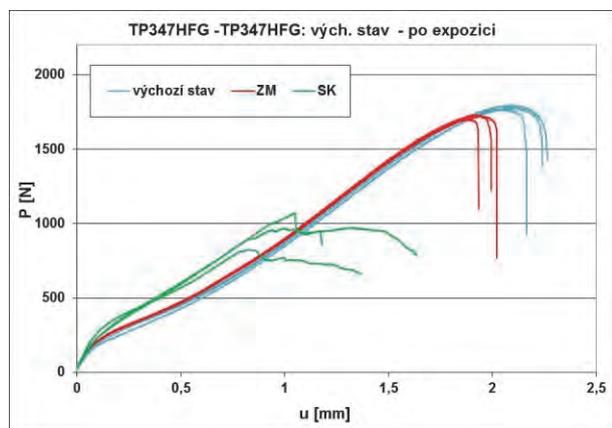
V rámci řešení výzkumného projektu byly hodnoceny různé svarové spoje, homogenní i heterogenní, a to nejen z pohledu mechanických vlastností provedených svarových spojů, ale také vlastností křehkolomových, korozních a creepových vlastností. Rozsáhlost celého experimentálního programu ilustruje tab. 1, v níž je uveden přehled kombinací základních materiálů a tepelného zpracování, které byly použity pro hodnocené svarové spoje [12].

Protože rozsah provedených experimentálních prací přesahuje možnosti tohoto příspěvku, jsou zde prezentovány jen příklady vlivu tepelného zpracování a expozice při nižším rozsahu teplot u vybraných kombinací svarových spojů. Na obr. 16 je provedeno srovnání pro homogenní svarový spoj TP347HFG, na obr. 17 a 18 jsou uvedena srovnání stejných vlivů na heterogenní svarový spoj TP347HFG-HR3C, resp. TP347HFG – SUPER 304H.

Tab. 1 Kombinace hodnocených svarových spojů

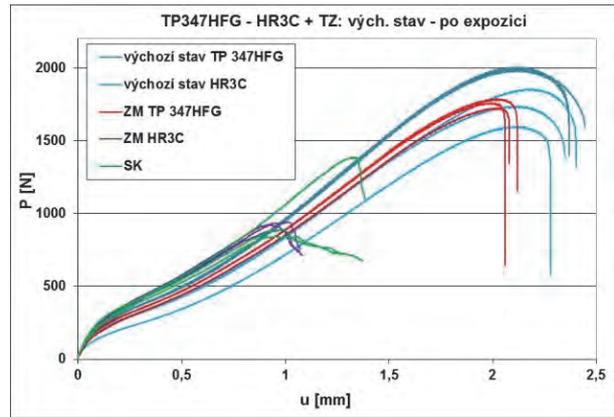
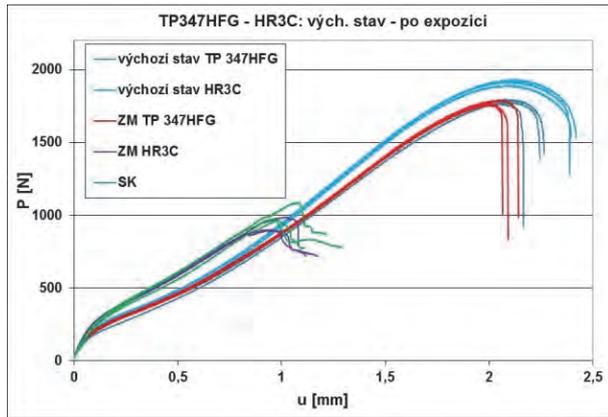
Tab. 1 Combination of evaluated welds

Výchozí stav		
ZM1	ZM2	TZ
Super 304H	HR3C	ano
TP347HFG	P92	ano
HR3C	TP347HFG	ano
TP347HFG	TP347HFG	ano
Expozice 635 – 694 °C		
ZM1	ZM2	TZ
TP347HFG	P92	ano
TP347HFG	HR3C	ne
TP347HFG	HR3C	ano
TP347HFG	TP347HFG	ne
TP347HFG	TP347HFG	ano
TP347HFG	Super 304H	ne
TP347HFG	Super 304H	ano
Expozice 726 – 775 °C		
ZM1	ZM2	TZ
P92	HR3C	ano
Super 304H	P92	ano
Super 304H	Super 304H	ano
HR3C	HR3C	ano
HR3C	Super 304H	ano
HR3C	HR3C	ne
HR3C	Super 304H	ne
Super 304H	Super 304H	ne
TP347HFG	Super 304H	ano
TP347HFG	Super 304H	ne



Obr. 16 Vliv TZ a expozice u homogenního SS TP347HFG (expozice 635 – 694 °C)

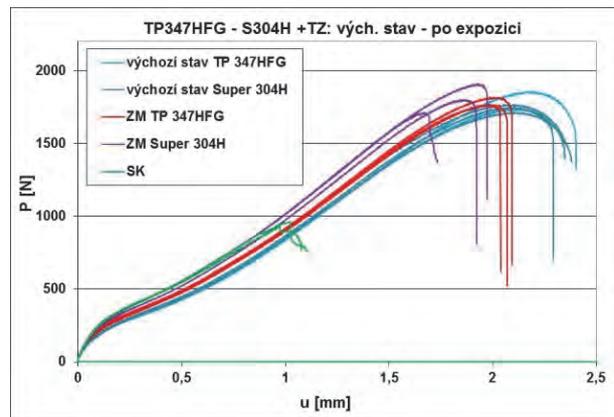
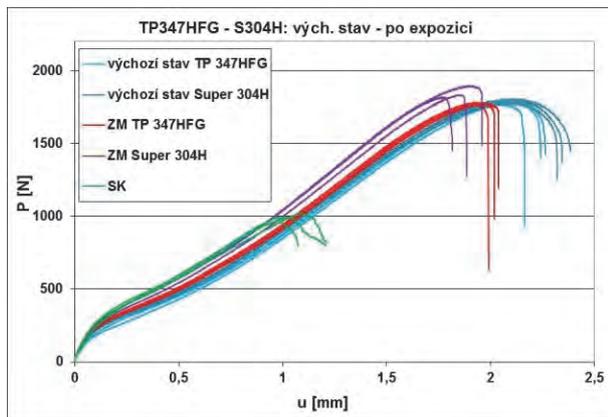
Fig. 16 Effect of HT and exposure – homogeneous welds TP347HFG (exposure 635 – 694 °C)



Obr. 17 Vliv TZ a expozice u heterogenního SS TP347HFG – HR3C (expozice 635 – 694 °C)
Fig. 17 Effect of HT and exposure – heterogeneous welds TP347HFG – HR3C (exposure 635 – 694 °C)

I když zde, jak je velmi dobře patrné z uvedených obrázků, došlo k poklesu úrovně mechanických vlastností i lomové energie, tento pokles je možné přičíst pouze vlivu dlouhodobé teplotní expozice, protože metalografický rozbor neprokázal ani v jednom ze studovaných svarových spojů precipitaci σ -fáze.

U všech hodnocených svarových spojů byl z pohledu houževnatosti vždy nejslabším článkem svarový kov, jak je rovněž patrné z obr. 16 až 18.



Obr. 18 Vliv tepelného zpracování a expozice u heterogenního SS TP347HFG – SUPER 304H (expozice 635 – 694 °C)
Fig. 18 Effect of heat treatment and exposure – heterogeneous welds TP347HFG – HR3C (exposure 635 – 694 °C)

Závěry

Príspevek se zabývá studiem vlivu některých technologických faktorů na strukturu a vlastnosti vybraných představitelů USC ocelí a jejich svarových spojů na jejich degradaci v důsledku dlouhodobé expozice při pracovních teplotách. Bylo prokázáno, že při aplikaci plastické deformace za studena v rámci technologických operací souvisejících s výrobou ohýbaných trubek přehříváků dochází ke značnému zcitlivění struktury austenitických ocelí na tvorbu σ -fáze, která následně významně degraduje zejména křehkolomové vlastnosti těchto ocelí. Dlouhodobou expozicí v trvání 1 roku v provozních podmínkách uhlénoho kotle v elektrárně Dětmarovice bylo prokázáno, že k precipitaci σ -fáze

Provedená analýza ukázala, že expozice vzorků svarových spojů při pracovní teplotě v korozním prostředí měla degradační účinky na jejich křehkolomové vlastnosti, kdy hodnota nárazové práce svarových kovů se oproti výchozímu stavu snížila přibližně na 1/3 původní hodnoty.

Analýza výsledků penetračních testů ukázala, že navíc dochází ke značné degradaci křehkolomových vlastností také u základního materiálu HR3C.

dochází již při pouhé expozici v rozsahu běžných provozních teplot bez jakéhokoliv zatížení. Expozice byla provedena při dvou rozmezích teplot. Při nižším intervalu expozičních teplot docházelo k lokalizaci precipitace σ -fáze především k vnějšímu povrchu ohybu, při aplikaci vyššího rozmezí expozičních teplot byla precipitace jasně patrná v celé tloušťce stěny ohýbané trubky. Z experimentálně získaných výsledků vyplývá, že rozvoj precipitace σ -fáze byl výrazně nižší, pokud bylo po plastické deformaci za studena aplikováno rozpouštěcí žihání.

Z výsledků je rovněž patrné, že po roční tepelné expozici pouze při pracovních teplotách (bez aplikovaného zatížení) byl zaznamenán výskyt sigma fáze v tažených částech ohybů a ve svarech, ani v rovných částech trubkových oblouků nebyla sigma fáze pozorována.

Změny mechanických vlastností byly hodnoceny metodou penetračních testů, a to zejména s ohledem na nutnost přesné lokalizace odběru vzorku. Srovnání bylo provedeno pomocí miniaturizovaných zkušebních těles pro zkoušku tahem.

Křehkolomové charakteristiky studovaných ocelí při laboratorní teplotě vyjádřené změnou lomové energie penetračního testu byly výskytem i malého množství signa fáze významně sníženy.

V rámci výzkumného programu bylo rovněž provedeno hodnocení rozsáhlého souboru svarových spojů – homogenních i nehomogenních, s různými vzájemnými kombinacemi základních materiálů.

Při hodnocení svarových spojů nebyla prokázána přítomnost σ -fáze v žádném hodnoceném vzorku. Naproti tomu byl prokázán poměrně výrazný pokles hodnot mechanických vlastností a zejména vlastností křehkolomových, které se snížily přibližně na jednu třetinu hodnot výchozích neexponovaných svarových spojů.

Poděkování

Výsledek výzkumu, vývoje a inovací byl dosažen s využitím institucionální podpory na rozvoj výzkumné organizace poskytované „Ministerstvem průmyslu a obchodu“.

Tato práce vznikla při řešení projektu č. LO1203 "Regionální materiálově technologické výzkumné centrum - program udržitelnosti" financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Literatura

- [1] <http://matcalc.tuwien.ac.at/>
- [2] KANDER, L., KORČÁKOVÁ, L. The Influence of Sigma Phase Precipitation on Mechanical Properties of Tp347H Austenitic Steels after 100.000 Hours Service in Coal-fired Power Plant. In *Metal 2015 : 24th International Conference on Metallurgy and Materials* : Cnference Proceedings. Ostrava: TANGER, 2015 Brno, pp. 693–698. ISBN 978-80-87294-62-8.
- [3] KORČÁKOVÁ, L., KANDER, L., MONTGOMERY, M., JENSEN, H.T., STEJSKALOVÁ, Š. The Influence of Sigma Phase Precipitation on Mechanical Properties of Tp347HFG Austenitic Steels after 100 000 Hours Service in Coal-fired Power Plant. In *The 3rd International Conference SSTT 2014*, Austria, pp. 119.
- [4] SOURMAIL, T. *Materials Science and Technology*, 17 (2001), 1–14.
- [5] CHI, Ch., YU, H., XIE, X. *Advanced Austenitic Heat-resistant Steels for Ultra-super-critical (USC) Fossil Power Plants, Alloy Steel – Properties and Use*. Dr. Eduardo Valencia Morales (Ed.), Alloy Steel – Properties and Use, 2011, ISBN 978-953-307-484-9.
- [6] KANDER, L. et al. *Hodnocení materiálových vlastností ohnutých trubek z vybraných austenitických ocelí*. Technická zpráva T-50/2012, Ostrava: MMV, s.r.o., říjen 2012.
- [7] Small Punch Test Method for Metallic Materials. CEN WORKSHOP AGREEMENT CWA 15627, December 2007.
- [8] KANDER, L. aj. *Hodnocení struktury a mechanických vlastností ohybů z materiálů Super 304H a HR3C penetračními testy*. Technická zpráva T-63/2011, Ostrava : MMV. s.r.o., listopad 2011.
- [9] STEJSKALOVÁ, Š., KANDER, L., HERMANOVÁ, Š. The Change of the Structure and Mechanical Properties of the Austenitic Steels after Exposure at the Critical Temperature. In *Metallography 2016*, p.100, Stará Lesná, Slovak Republic.
- [10] HERMANOVÁ, Š., HORVÁTH, J., KANDER, L. The Effect of Cold Bending Process and Degradation at Boiler Conditions on the Properties of New Austenitic Creep Resistance Steel Super 304H for Boiler Superheaters Tubes. In *Metallography 2016*, p. 88, Stará Lesná, Slovak Republic.
- [11] KANDER, L. Precipitation of Sigma Phase in Austenitic Steels Used in Supercritical Conditions. In *Metal 2016*, p. 103, Brno, Czech republic.
- [12] HERMANOVÁ, Š., ČINČILA, R., KANDER, L., STEJSKALOVÁ, Š. The Effect of Technology Operation like Bending on Properties of New Austenitic Steels for Application in Boilers with Higher Steam Parameters. In *METAL 2014*, Brno, Czech Republic.
- [13] STEJSKALOVÁ, Š., KANDER, L. et al. *Studium změn mechanických vlastností a struktury svarových spojů trubek z austenitických ocelí po expozici v korozním prostředí*. Technická zpráva T-46/2014, Ostrava: MMV, s.r.o., září 2014.

Německý trh s ušlechtilou ocelí – poptávka není dostatečná

Stahl Aktuell

05.04.2016

Na německém trhu s ušlechtilou ocelí stále není vidět žádná skutečná změna trendu. „Klidně odpočívá jezero,“ říká jeden ze šéfů nákupu v zastoupení ostatních. Základní ceny zůstávají stabilní, ale legovací příplatky v březnu ještě dále poklesly. Protože se nikl v průběhu aktuálního rallye na základních trzích s kovy vzpamatoval, měly by legovací příplatky v dubnu stoupnout. Zda ale na trhu u cen vypukne pravá „jarní nálada“, se zdá z hlediska většiny dotázaných nákupčích pochybné. „Poptávka prostě není dostatečná,“ poznamenal jeden ze šéfů nákupu. Dodací lhůty se pohybují v zelené oblasti. Importy, proudící do Evropy, vyvíjejí tlak na cenovou strukturu. Většina nákupčích je toho názoru, že v příštích týdnech na trhu k žádným podstatným změnám nedojde. Výrazné impulsy ke zvyšování cen dále chybí, protože důležité odběratelské odvětví energetiky dále trpí pod nízkými cenami ropy, a tím i klesajícími investicemi. Pozitivní impulsy přicházejí jen z průmyslu, vyrábějícího spotřební zboží, což ovšem ke změně trendu nestačí.