

ŽÁRUPEVNÉ VLASTNOSTI MARTENZITICKÉ OCELE CB2 V ZÁKLADNÍM STAVU A PO SVAŘENÍ

HIGH TEMPERATURE PROPERTIES OF STEEL CB2 IN BASIC CONDITION AND AFTER WELDING

Šárka Neumannová^{a)}, Tomáš Vlasák^{a)}, Jan Hakl^{a)}, Jan Čech^{b)} a Libuše Havelková^{b)}

^{a)} SVÚM a.s., Tovární 2053, 250 88 Čelákovice

^{b)} ŽĎAS a.s., Strojírenská 6, 591 71 Žďár nad Sázavou

Abstrakt

Príspevek popisuje creepové vlastnosti ocele CB2. Tyto vlastnosti se v dostupné literatuře téměř nevyskytují. Ve SVÚM, a.s. byl testován materiál vyrobený firmou ŽĎAS, a.s. V rámci spolupráce byly zkušeny krátkodobé mechanické vlastnosti a dlouhodobé creepové vlastnosti základního materiálu. Článek se zaměřuje především na žárupevné vlastnosti ocele CB2 a na jejich ovlivnění homogenním svarovým spojem.

Abstract

This paper describes creep properties of CB2 steel. These properties are almost absent in the available literature. In SVUM, a.s. was tested the material produced by ŽĎAS, a.s. Short-term mechanical properties and long-term creep properties of the base material were tested during the cooperation. The paper focuses mainly on the creep properties of CB2 steel and on their influence on the homogeneous weld.

Úvod

Růst účinnosti uhelných elektráren je hnací silou vývoje nových žárupevných materiálů. Martenzitické ocele oproti nízkolegovaným žárupevným materiálům umožňují zvýšit teplotu páry o zhruba 50 °C. Kromě zvýšené žárupevnosti mají tyto materiály také vyšší korozivzdornost. Jsou používány pro odlévání vík ventilů, ucpávkových těles, komor a skříní parních turbin. Jsou používány i pro výrobu dalších dílů v chemickém průmyslu. Výroba částí z martenzitických ocelí, zejména z americké P91, japonské P92 a evropské CB2, byla plně zvládnuta v a.s. ŽĎAS. Ukázka odlitku z martenzitické ocele je na obr. 1.

Martenzitická ocel CB2 byla vyvinuta v rámci evropského programu COST 536 [1]. Je určena především pro výrobu dílů, které jsou dlouhodobě vystaveny teplotám do 620 °C. Předmětem našeho zkoušení byla litá verze tohoto materiálu (označovaná znakem GX13CrMoCoVNbBN1011). Na základě creepových zkoušek základního materiálu a svarového spoje byla stanovena míra snížení žárupevných vlastností po svaření materiálu.

Materiál použitý ke studiu

Ve ŽĎAS a.s. bylo odlito několik taveb, jejichž chemické složení bylo v souladu s údaji, které jsou vedeny v tabulce 1. Materiál těchto taveb byl použit po tepelném zpracování (tabulka 2) jak pro zkoušky žárupevnosti, tak i pro studium krátkodobých vlastností. Ty jsou vedle chemického složení předmětem atestu a byly uveřejněny během minulé konference [2].

Pro porovnání žárupevnosti základního materiálu a materiálu po svařování byla odlita tavba 471988 (viz tabulka 1). Pro materiál se svarovým spojem byl přidán jeden stupeň tepelného zpracování (tabulka 2). Kromě výsledků creepových zkoušek, které probíhaly v SVÚM, byly do hodnoceného souboru zařazeny i výsledky zkoušek žárupevnosti ocele CB2 nalezené v literatuře [3].

Pro zkoušení materiálu se svarovým spojem byly vyrobeny vzorky tak, aby tepelně ovlivněná zóna byla v polovině měrné délky vzorku (viz obr. 2).

Creepová životnost základního materiálu

Výsledky zkoušek základního materiálu byly zpracovány pomocí Larson – Millerova parametru P_{LM} podle regresního modelu

$$\log \sigma = A_1 + A_2 P_{LM} + A_3 P_{LM}^2, \quad (1)$$

kde $P_{LM} = T(\log t_r + A_4)$, σ je napětí [MPa], T je teplota [K], t_r je doba do lomu [h], a $A_1 - A_4$ jsou materiálové konstanty, uvedené v tabulce 3. Hodnota konstanty A_4 byly zvolena 35.

Závislost napětí na Larson – Millerově parametru pro základní materiál je zobrazena na obr. 3.

Jiné zobrazení podává obr. 4, kde je vynesena závislost napětí na době do lomu pro teploty 600 až 650 °C. Odtud je zřejmé, z jak dlouhých zkoušek jsou zpracovány žárupevné vlastnosti základního materiálu ocele CB2.

Vliv svařování na žárupevnost ocele CB2

Závislost napětí na Larson – Millerově parametru je zachycena na obr. 5 (základní materiál) a na obr. 6 (svarové spoje). Je zřejmé, že jednotlivé životnosti jsou v těsné blízkosti s čarou středních hodnot. Nejdelší zkouška v základním stavu dosáhla 20 722 hodin. Nejdelší zkouška svařovaného souboru dosáhla 16 176 hodin. Tyto výsledky byly vyhodnoceny obdobným způsobem jako základní stav materiálu CB2. Na obr. 7 je zachycen pokles životnosti vlivem svařování. Je zřejmé, že při nižších teplotách a kratších dobách do lomu obě křivky splývají. To znamená, že vliv svařování se neprojevuje. Až při vyšších parametrech, které nastávají zhruba od hodnoty $LMP = 34\,500$, dochází k poklesu životnosti svařovaných spojů. Odhad poklesu tohoto parametru je možno znázornit, jak je zřejmé z obr. 8.

Diskuse

Porovnáním našich výsledků, s výsledky dosaženými u jiných martenzitických ocelí [4], dojdeme k závěru, že v případě ocele CB2 je pokles žárupevnosti vlivem svařování mírnější. Je ovšem třeba vzít v úvahu, že v práci [4] jsou uvedeny výsledky více taveb ocelí pro doby do lomu téměř řádu 105 hodin. Naše se opírají o zkoušky jedné tavy, kde doby do lomu byly řádově v 104 hodinách. Je tedy pravděpodobné, že při delších zkouškách by pokles žárupevných vlastností byl výraznější.

Závěr

V příspěvku jsou uvedeny výsledky zkoušek žárupevnosti základního materiálu ocele CB2, která byla vyrobena v ŽĎAS, a.s., a které byly doplněny o výsledky zkoušek dostupné v literatuře. Porovnáme-li žárupevnost martenzitických ocelí P91, P92 a CB2, dojdeme k závěru, že evropská ocel CB2 se jeví jako nejvhodnější pro výrobu částí, provozovaných dlouhodobě do teploty 620 °C. Dále byl vyhodnocen i vliv svařování na ocel CB2. Pokles žárupevných vlastností byl velmi mírný a projevoval se až při vysokých parametrech zkoušení.

Tabulka 1: Chemické složení lité ocele CB2 [hm. %]

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co	Mo	V	Nb	Al	B	N	Ti	H
min.	0,120	0,2	0,8			0,1	9,0	0,9	1,40	0,18	0,05	0,010	0,008	0,015		
max.	0,140	0,3	1,0	0,010	0,005	0,2	10,0	1,1	1,60	0,22	0,07	0,020	0,015	0,030	0,005	
472988	0,13	0,26	0,87	0,008	0,005	0,17	9,35	0,95	1,48	0,19	0,057	0,01	0,009	0,0179	0,002	2,9ppm

Tabulka 2: Tepelné zpracování ocele CB2

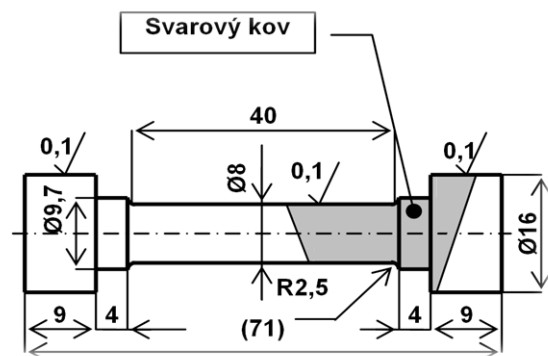
Před svařením			Po svaření
Předběžné TZ	Kalení	Popouštění	Žihání
1070 °C/13 h/pec	1100 °C/14 h/int. vzduch	740 °C/12 h/vzduch	740 °C/10 h/vzduch

Tabulka 3: Zjištěné hodnoty materiálových konstant

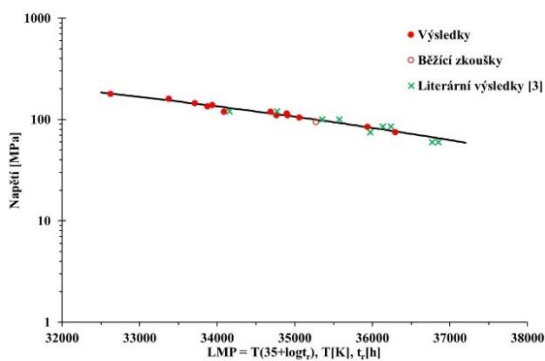
	A1	A2	A3	A4
ZM	0,151521	0,000213	-4,56721E-09	35
SS	-4,99449	0,000517	-9,0418E-09	35



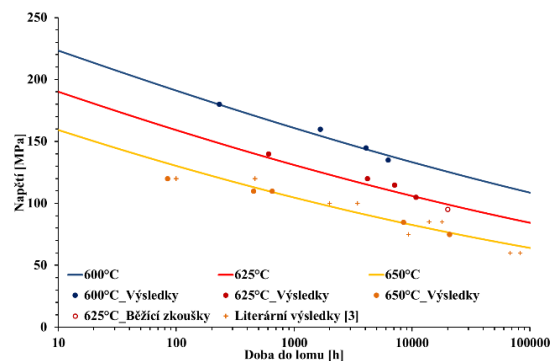
Obr. 5: Odlitek z martenzitické oceli



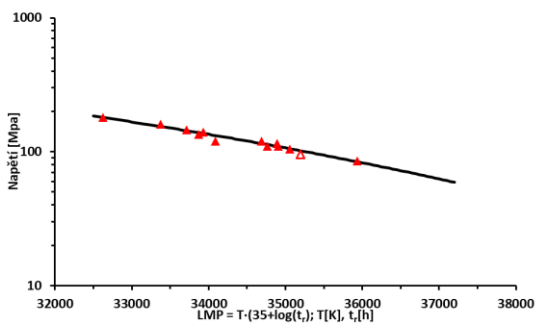
Obr. 6: Rozměry vzorku se svařem



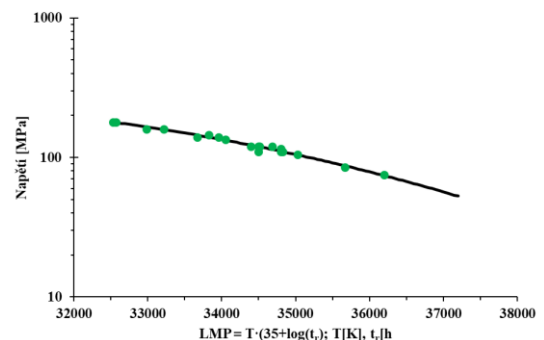
Obr. 3: Závislost napětí na Larson – Millerově parametru



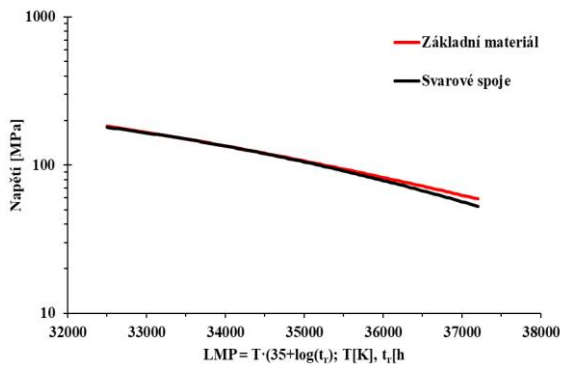
Obr. 4: Závislost napětí na době do lomu a teplotě



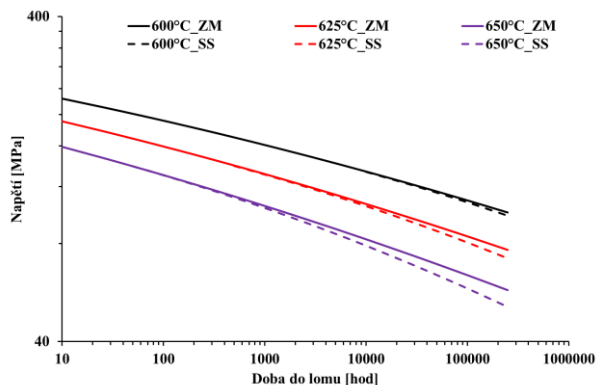
Obr. 5: Žárupevnost tavby 472988



Obr. 6: Žárupevnost svařových spojů tavby 472988



Obr. 7: Pokles žárupevnosti svarových spojů



Obr. 8: Snižování žárupevnosti ocele CB2 vlivem teploty a doby použití

Literatura

- [1] Staubli, M., Hanus, R., Weber, T., Mayer, K-H., Kern, T-U. (2006): *The European efforts in development of new high temperature casting materials – COST 536*. Materials for Advanced Power Engineering. Jülich, Vol. 53, Part II, pp. 855-870.
- [2] Neumanová, Š., Čech, J., Vlasák, T., Hakl, J., Havelková, L. (2017): *Mechanické vlastnosti martenzitické ocele CB2*. Sborník konference Zvyšování životnosti komponent energetických zařízení v elektrárnách, Srní.
- [3] Kasl, J., Jandová, D. (2014): *Metalography of CB2 Steel Used for Cast Turbine Components*. Materials Science Forum, Vol. 782, p. 179.
- [4] Kimura, K., Tabuchi, M., Takahashi, Y., Yoshida, K., Yagi, K. (2011): *Long – term creep strength reduction factor for weld joints of ASME grades 91, 92 and 122 types steels*. International Journal Microstructure and Material Properties. Vol. 6., No. 1, p. 72.