

MECHANICKÉ VLASTNOSTI MARTENZITICKÉ OCELE CB2

MECHANICAL PROPERTIES OF MARTENZITIC STEEL CB2

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

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

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

Abstrakt

Martenzitická ocel CB2 (GX13CrMoCoVNbNB-1011) je výsledkem dlouhodobého výzkumu, který proběhl v rámci mezinárodní evropské spolupráce programu COST 536. Vlastnosti materiálu CB2 jsou v dostupné literatuře popsány jen velmi málo. Studium mechanických vlastností, včetně dlouhodobějšího creepového chování, ocele CB2 bylo provedeno ve spolupráci SVÚM, a.s. a ŽĐAS, a.s. V předloženém příspěvku jsou shrnuty výsledky tohoto experimentálního výzkumu.

Martensitic steel CB2 (GX13CrMoCoVNbNB-1011) is the result of research conducted in international European cooperation COST. Little information on the CB2 material properties is in the literature. The study of mechanical properties, including long-term creep behaviour of steel CB2 was carried out in cooperation with SVÚM, a.s. and ŽĐAS, a.s. The presented paper summarizes the results of this experimental research.

Úvod

Martenzitické 9-12%Cr ocele jsou používány pro výrobu části parních turbín, které jsou vystaveny nejvyšším teplotám. Jsou to materiály s vysokou žárupevností, vynikající korozní odolností, vysokou tepelnou vodivostí, nízkou teplotní roztažností a relativně mírnou cenou. Tyto vlastnosti předurčují použití v oblasti maximálních teplot a tlaků páry.

Počátky aplikace 9%Cr martenzitických ocelí při konstrukci moderních energetických zařízení souvisí s devadesátými léty minulého století. Nejprve to byla ocel P91 (9%Cr-1%Mo), vyvinutá v Americe. Další užívané ocele jsou japonské P92 (9%Cr-2%W), která se do vývoje dostala skoro o 10 let později. Tyto dva materiály jsou nejčastěji citovány [1].

Ocel CB2 se vyvinula v Evropě v rámci programu COST 522 a COST 536. Je to materiál 9%Cr s kontrolovaným obsahem B a N. Tato ocel byla navržena pro výrobu litých nebo tvářených částí turbín, jejichž dlouhodobá teplota použití je až 620°C. V rámci příspěvku bude pozornost zaměřena na žárupevnost této oceli v lité verzi. Tento materiál je označován značkou GX13CrMoCoVNbNB-1011.

Chemické složení oceli CB2

Vývoj ocelí v programu COST je popsán v práci [2]. Na základě dlouhodobých creepových zkoušek různých variant byla vybrána ocel CB2 jako nejlepší a dále studována. V dostupné literatuře se však další creepové výsledky již neobjevují. Výjimku tvoří práce plzeňského pracoviště, kde byl metalograficky zkoumán litý materiál CB2 před a po dlouhodobé expozici při creepových zkouškách při teplotě 650 °C [3], [4].

Chemické složení ocele CB2 podle [5] je uvedeno v Tab. 1. Tato ocel je legována kromě 9,5%Cr a 0,13%C také 1%Co, 1,5%Mo, 0,2%V, 0,06%Nb a dále menšími přísadami B a N. Chemické složení se projeví na struktuře materiálu. Mikrostruktura je tvořena temperovaným martenzitem, kde jsou primární nitridy B a Nb, sekundární částice M₂₃C₆, VN a Lavesovy fáze. Během vysokoteplotní expozice se vytvářejí jistě MX nitridy a je možno pozorovat též Z fázi [3], [4].

Lze tedy konstatovat, že vývoj ocele CB2 byl orientován těmito kroky:

- a) Za účelem zvýšení žárupevnosti byl redukován obsah Ni
- b) Stabilitu struktury a creepová pevnost byla zvýšena obsahem B a N
- c) Nižší obsah Ni byl nahrazen zvýšeným Co
- d) Obsah Mo byl zvýšen a W odstraněn za účelem zvýšení stability
- e) Dříve zkoumaný vliv C, V a Nb byl optimalizován

Ocel CB2 je nyní již komerčně používána pro výrobu litých částí moderních parních turbín, které jsou vystaveny teplotám do 620 °C [6].

Krátkodobé mechanické vlastnosti

Výsledky tahových zkoušek při pokojové teplotě pro různé technologické varianty jsou uvedeny na Obr. 5, kde je zřejmé, že až na výjimky vyhovují hodnotám požadovaných dle [5]. Na Obr. 6 jsou uvedeny hodnoty tahových zkoušek při teplotě 550 °C.

Žárupevnost lité ocele CB2

Jak již bylo konstatováno, informace o výsledcích creepových zkoušek ocele CB2 nejsou v dostupné literatuře k dispozici. Proto bylo v ŽĎAS, a.s. odlito větší množství vzorků pro zkoušky žárupevnosti. Zkoušky pak byly vykonány ve SVÚM a.s., část výsledků bylo již publikováno na předchozí konferenci [7]. Dnes uvádíme nové výsledky creepových zkoušek. Do tohoto souboru byly zahrnuty také výsledky creepových zkoušek při teplotě 650 °C na zahraničním odlitku ventilu (místa A a B), které byly provedeny v Plzni [3], [4]. Celková doba nyní hodnocených zkoušek je 72 000 h.

Na Obr. 7 jsou zobrazeny všechny výsledky creepových testů, provedené na lité oceli CB2 v SVÚM a.s. a v Plzni. Je zřejmé, že se všechny výsledky pohybují ve vyhraničených mezích ±10%.

Pro vyhodnocení všech zkoušek žárupevnosti byl použit Seifertův model [8] s Larson-Millerovým parametrem PLM ve tvaru

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

kde $P_{LM} = T \cdot (\log(t_r) + A_4)$, σ je napětí [MPa], T je teplota [K], t_r je doba do lomu [h], $A_1 - A_4$ jsou materiálové konstanty, pro ocel CB2 byly vyhodnoceny následující hodnoty.

Parametr	Hodnota	Parametr	Hodnota
A1	3,2166	A3	-1,9019E-09
A2	3,2655E-5	A4	35

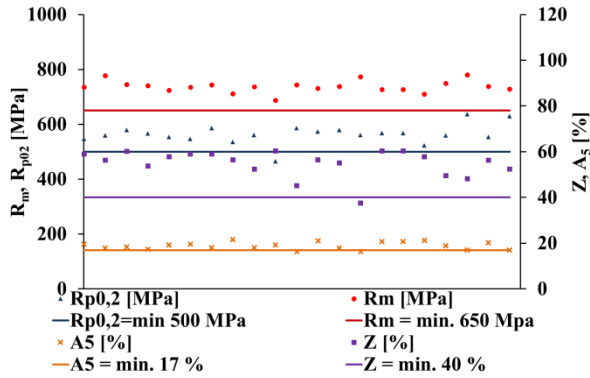
Závěr

V předloženém příspěvku jsou shrnuty výsledky vlastních krátkodobých mechanických zkoušek a creepových vlastností materiálu CB2 vyrobeného v ČR.

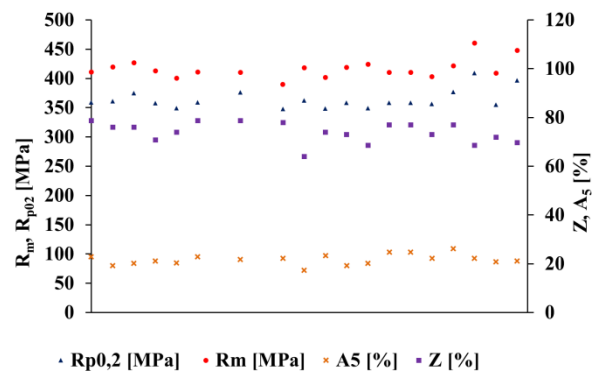
Výsledky creepových zkoušek byly zpracovány Seifertovým modelem. Grafická interpretace závislosti doba do lomu-napětí, teplota. Tato závislost je pro teploty 550 až 650 °C uvedena na Obr. 8. Creepové vlastnosti ocele CB2 převyšují při dlouhodobých zkouškách ocele P91 a P92, což je uvedeno v [7].

Tab. 1. Chemické složení lité oceli CB2 [hm.%]

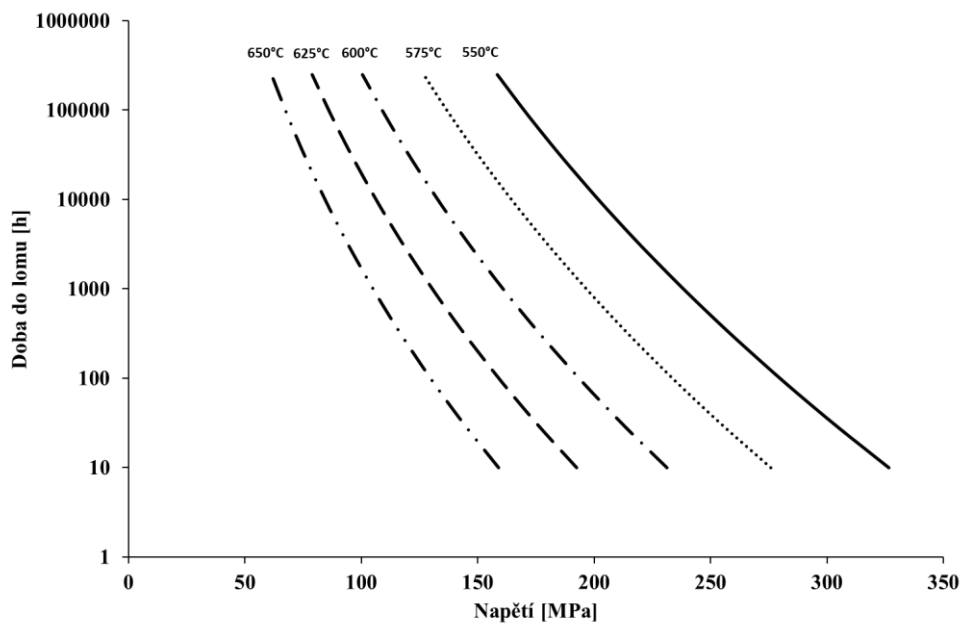
Prvek	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co	Mo	W	V	Nb	Al	B	N	Ti
min.	0,120	0,2	0,8			0,1	9,0	0,9	1,40		0,18	0,05	0,010	0,008	0,015	
max.	0,140	0,3	1,0	0,010	0,005	0,2	10,0	1,1	1,60		0,22	0,07	0,020	0,015	0,030	0,005



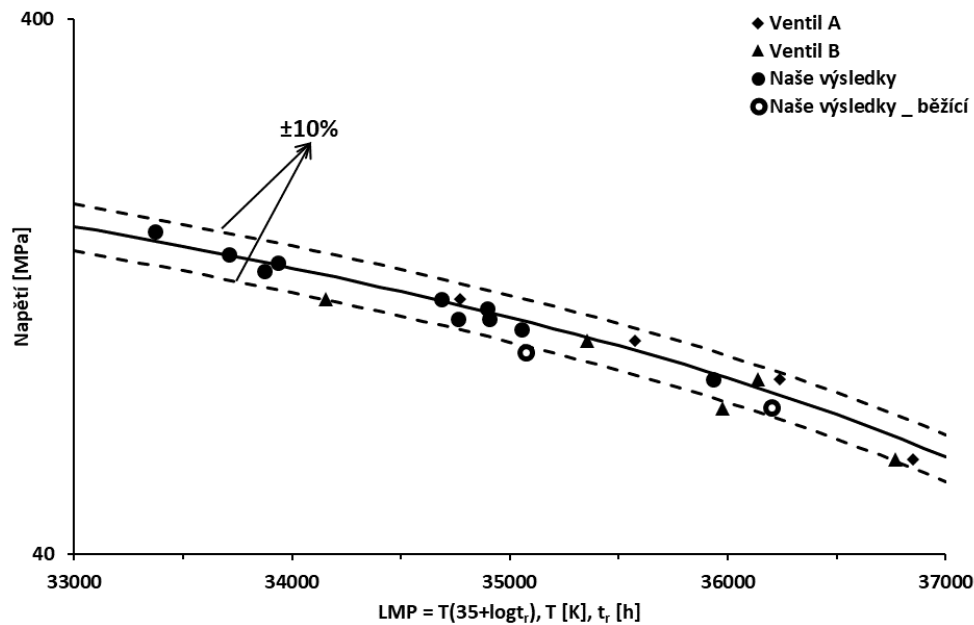
Obr. 5 Mechanické vlastnosti, 20°C



Obr. 6 Mechanické vlastnosti, 550°C



Obr. 7. Žárupevnost lité verze oceli CB2



Obr. 8. Závislost doby do lomu na napětí a teplotě lité ocele CB2

Literatura

- [1] KIMURA, K.-TABUCHI, M.-TAKAHASHI, Y.-YOSHIDA, K.-YAGI, K.: *Long-term creep strength reduction factor for weld joints of ASME grades 91,92 and 122 types steels*. Int. Jour. Microstructure and Material Properties. Vol.6., Nos.1,2011, p.72.
- [2] STAUBLI, M. – HANUS, R. – WEBER, T. – MAYER, K-H. – KERN, T-U.: *The European efforts in development of new high temperature casing materials – COST 536; Materials for Advanced Power Engineering; Jülich; 2006, vol.53, Part II, p. 855-870.*
- [3] KASL, J., JANDOVÁ, D.: *Metallography of CB2 Steel Used for Cast Turbine Components; Materials Science Forum, Vol.782,2014, p.179*
- [4] JANDOVÁ, D., KASL, J.- CHVOSTOVÁ, E.: *Metallography of CB2 Steel Used for Cast Turbine Components; Materials Science Forum, Vol.782, 2014, p.311*
- [5] *CB2-Pilot Castings. Investigations Stepped Block*. Foundry Linz, Voestalpine,2006.
- [6] ROBERTS, S.; *Martensitic steels for cast components in ultra-supercritical power plants; Materials for Ultra-Supercritical and Advanced Ultra-Supercritical Power Plants; Elsevier; 2017; p.121-141*
- [7] VLASÁK T., ČECH J., NEUMANNOVÁ Š, HAKL J. HAVELKOVÁ, L., SOCHOR, J.: *Vliv svařování na creepové vlastnosti martenzitických ocelí; konference Zvyšování životnosti komponent energetických zařízení v elektrárnách Srní, 18.-20. říjen 2016, 2016*
- [8] SEIFERT, W.-MELZER, B.: *Rechnerische Auswertung von Zeitstandversuchen am Beispiel des Stahles 13CrMo4-4.15. Vortragveranstaltung „Langezeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe“, Düsseldorf, 06.11.1992.*