

POKROČILÉ FERITICKÉ ŽÁROPEVNÉ OCELI A JEJICH POUŽITÍ V ENERGETICKÉM PRŮMYSLU

HODIS Zdeněk, ČR

Resumé

Tento článek se zabývá feritickými žárovevnými materiály a jejich praktickými aplikacemi v energetice. Teoretické a experimentální metody jsou využívány ke studiu nových materiálů a jejich vlastností.

Klíčová slova: žárovevná feritická ocel, experimentální metody, CALPHAD.

ADVANCED FERRITIC CREEP-RESISTANT STEELS AND THEIR PRACTICAL APPLICATION IN ENERGY ENGINEERING

Abstract

This article deals with ferritic creep-resistant steels and their practical application in energy engineering. Theoretical and experimental methods are used to study advanced materials and their properties.

Key words: ferritic creep-resistant steel, experimental methods, CALPHAD.

1 Úvod

Významné uplatnění mají nové typy žárovevných ocelí především v energetickém průmyslu, např. při výrobě elektrické energie. Rozmach těchto materiálů souvisí s celosvětovým posilováním pozic energetiky, které lze očekávat i v nepříliš vzdálené budoucnosti. Podle prognóz některých autorů [1], [2] poptávka po elektrické energii dále poroste a to především v rozvojových ekonomikách států jihovýchodní Asie. Studie [1] uvádí, že nejlidnatější stát světa Čína plánuje nárůst kapacity elektráren z 319 320 MW v roce 2000 na 960 000 MW v roce 2020. Dominantní postavení si i nadále zachovají uhelné elektrárny s více než 50 % pokrytím a hydroelektrárny s asi 25 % pokrytím celkové kapacity výroby elektrické energie. Do budoucna se očekává výraznější nárůst kapacity jaderných elektráren (7,5 % v roce 2020).

Situace v rozvinutých ekonomikách Evropy, USA a Japonska je odlišná od rozvojových zemí a soustřeďuje se spíše na obnovu zastaralých elektrárenských bloků. U renovovaných zařízení se počítá s výrazným omezováním emisí CO₂ a dalších zplodin, což vyvolává poptávku po konstrukčních změnách, nových materiálech a technologiích.

2 Oblasti použití feritických ocelí v energetice

Z konstrukčního hlediska jsou pro elektrárny a energetická zařízení stěžejní tepelné uzly a rozvody páry. Příkladem takového tepelně exponovaného rozvodu je část parního rozvodu k turbíně. Podle projektů, které se orientují na tuto oblast, nachází feritické žárovevné oceli uplatnění v těchto částech parních rozvodů:

- přívody a potrubí,
- výparníky,
- přehříváky.

Předpokládané materiálové zabezpečení jednotlivých částí rozvodu (výparník, potrubí, ap.) pak může vypadat následovně viz. tab. 1 [3]. Je třeba si uvědomit, že současným trendem při návrhu energetických uzlů je zvyšování teplot a tlaků vodní páry, přičemž toto tempo se od 60-tých let 20. století neustále zvyšuje. Navyšování provozních parametrů (teploty a tlaku páry) má

příznivý dopad na celkovou účinnost zařízení. Moderní energetická zařízení (USC) pracující s parametry páry 30 MPa, 566 °C mají celkovou účinnost až 45 %, oproti zařízením se subkritickými parametry páry (17 MPa, 537 °C), kde účinnost nepřesahuje 38 %.

Tab. 1: *Volba materiálu částí energetických rozvodů.*

	Teplota [°C]	Materiál
Sběrné trubky, potrubí	410-705	P91, P92, 13CrMo44, Alloy617
Výparník	410-610	P/T25, HCM12, Alloy617
Přehřívač	580-705	DMV310N, HR3C, Alloy740

3 Vývojové etapy žárovevných ocelí

Mezi základní požadavky na materiály používané pro energetické rozvody a parovody patří dobrá žárovevnost (odolnost proti creepu) a korozivzdornost v prostředí vodní páry. Žárovevné oceli lze podle chemického složení rozdělit na tyto základní typy [4]:

- nelegované oceli (do 480 °C);
- nízkolegované oceli (do 590 °C);
- vysokolegované chromové (600 - 650 °C);
- austenitické nevytvrditelné oceli (do 700 °C);
- austenitické vytvrditelné oceli (do 750 °C).

Oblast použitelnosti jednotlivých typů žárovevných ocelí je limitována především rozsahem pracovních teplot. Základní skupinu žárovevných materiálů tvoří oceli s feritickou maticí, přičemž používané žárovevné feritické oceli zahrnují celou škálu materiálů počínaje nelegovanými a konče vysokolegovanými oceli. Běžně se tyto materiály využívají pro konstrukci energetických rozvodů s teplotou nepřesahující 590 °C pro nízkolegované oceli a 650 °C pro vysokolegované oceli.

Tab. 2: *Vývojové etapy žárovevných feritických ocelí.*

Etapa	Období	Modifikace chemického složení	Materiály	Max. prov. tepl. [°C]
I.	1960-70	Přísada Mo, Nb, V do 12Cr a 9CrMo ocelí	EM12, HCM9M F9, HT91	565
II.	1970-85	Optimalizace C, Nb a V	P91, HCM12	593
III.	1985-95	Částečné nahrazení Mo wolframem	P92, HCM12A, E911	620
IV.	po r. 2000	Zvyšování obsahu W s přísadou Co	NF12, SAVE12	650

Nejvýznamnější skupinou žárovevných feritických ocelí jsou vysokolegované 9 až 12 % Cr oceli. V této skupině ocelí probíhá intenzivní výzkum od 70-tých let 20. století. Cílem je modifikace a optimalizace chemického složení s dopadem na zvyšování žárovevných vlastností (především max. provozních teplot) viz tab 2 [5].

4 Metody studia a simulační nástroje

Nejběžnější technologií spojování žárovevných materiálů je svařování. Technologie svařování má však v případě svarových spojů žárovevných ocelí výrazná specifika. Kromě pevnostních požadavků je zde kladen důraz i na dlouhodobou strukturní stálost a pevnost v oxidačním prostředí za vysokých provozních teplot a tlaků. Významný dopad na strukturní stálost má především difúzní přerostávání intersticiálních prvků (C, N) a s tím související pokles tvrdosti a pevnosti v oduhličených (oddusičených) oblastech svarového spoje [6].

Mezi často používané metody studia materiálů za vysokých teplot patří creepové zkoušky, nebo zkoušky potrubních systémů v oxidačních a korozních atmosférách. K popisu struktury se využívá metod světelné mikroskopie nebo rastrovací elektronové mikroskopie (SEM). K fázové analýze slouží transmisní elektronová mikroskopie (TEM) s metodou difrakce na extrakčních replikách nebo fóliích [6]. Kromě těchto metod se využívají perspektivní metody, jako např. příprava vzorků FIB (Focused Ion Beam Technology). Analytická instrumentální soustava FIB/TEM ve spojení s EELS (Electron Energy Loss Spectroscopy) nebo EDS (Wavelength Dispersive X-Ray Spectroscopy) je již poměrně komplexní zařízení schopné analýz drobných precipitátů (např. VN) [7], [8].

S rozvojem simulačních nástrojů je primárním záměrem přibližování difúzních modelů reálným svarovým spojům a jejich požadavkům na strukturní stabilitu. Mezi nástroje umožňující modelovat difúzní a fázové změny v materiálech patří metoda CALPHAD. V současnosti jde o uznávanou metodu používanou při počítačových simulacích, na jejichž základech jsou založeny i některé komerční programy, např. ALLOYDATA, MTDATA, GIBBS 5.0, ThermoData, ThermoCalc a DICTRA [9].

5 Závěr

Dosažení co nejvyšších provozních parametrů moderních elektráren s sebou nese poptávku po nových typech materiálů. Tato snaha se projevuje nejen optimalizací stávajících typů ocelí, ale i využitím moderních nástrojů k experimentálnímu a teoretickému studiu žárovevných materiálů. Většina experimentálních měření je časově, ale i finančně náročná. Vyžaduje často drahé vybavení a kvalifikovanou obsluhu. Naproti tomu jsou simulace levnější a podstatně rychlejší. Simulace umožňují hledat nové cesty materiálového zabezpečení v oblasti návrhu, predikovat výsledky dlouhodobých provozních zkoušek, což vede k zefektivnění práce ve vývoji a v konstrukci energetických zařízení.

6 Literatura

1. HU, Z., GUO, J. Development of high temperature materials for energy market in China. In *Materials for Advanced Power Engineering 2006*. Liege, Belgium, 2006, Part I/189, ISBN 3-89336-436-6.
2. BLUM, R., WANSTONE, R. W. Materials development for boilers and steam turbines operating at 700 °C. In *Materials for Advanced Power Engineering 2006*. Liege, Belgium, 2006, Part I/41, ISBN 3-89336-436-6.
3. TSCHAFFON, H. The European way to 700 °C coal fired power plant. In *Materials for Advanced Power Engineering 2006*. Liege, Belgium, 2006, Part I/61, ISBN 3-89336-436-6.
4. FREMUNT, P., PODRÁBSKÝ, T. *Konstrukční oceli*. Brno: Cerm, 1996, 267s. ISBN 80-85867-95-8.
5. VISWANATHAN, R., PURGERT, R., RAO, U. Materials technology for advanced coal power plants. In *Super-High Strength Steels*. Roma, Italy, 2005.
6. PILOUS, V., STRÁNSKÝ, K. *Strukturní stálost návarů a svarových spojů v energetickém strojírenství*. Praha: ACADEMIA, 1989. ISBN 80-200-0007-0.
7. YU, J., LIU, J., ZHANG, J. TEM investigation of FIB induced damages in preparation of metal material TEM specimens by FIB. *Materials Letters*. January 2006, vol. 60, Issues 2, s. 206-209.
8. MACKENZIE, M., CRAVEN, A. J., COLLINS, C. L. Nanoanalysis of very fine VN precipitates in steel. *Scripta Materialia*. January 2006, vol. 60, Issues 2, s. 1-5.
9. SAUNDERS, N., MIODOWNIK, A. P. *CALPHAD - Calculation of Phase Diagrams a Comprehensive Guide*. Amsterdam: Elsevier Science Publishing, 1998. ISBN 0-08-0421296.

Lektoroval: doc. Ing. Jan Vít, Ph.D.

Kontaktní adresa:

Zdeněk Hodis, Ing., Ph.D., Katedra technické a informační výchovy, Pedagogická fakulta MU
Poříčí 7, 603 00, Brno, ČR, Telefon: + 420 549 494 585, e-mail: hodis@mail.muni.cz