

Oceli pro nadkritické bloky tepelných elektráren a jejich svařitelnost

Od konce osmdesátých let 20. století probíhá v celosvětovém měřítku intenzivní vývoj v oblasti energetických zařízení, jehož hlavním cílem je nárůst účinnosti tepelných elektráren. Toho lze dosáhnout použitím tzv. nadkritických až ultra-super-kritických (USC) parametrů páry. O superkritické parametry páry se jedná při použití páry o tlaku 260 barů a teplotě kolem 600 °C, tlak nad 300 bar a teplota nad 600 °C jsou označovány jako ultra-super-kritické parametry [1]. Uvádí se, že při výstupních parametrech páry 600 °C/300 bar dosahovaných v tzv. ultra-super-kritických blocích, se naroste oproti stávajícím blokům pracujícím s teplotou výstupní páry 540 °C účinnost o 6 až 8 % a sníží se emise oxidu uhličitého až o 20% [2]. S vývojem tepelných elektráren musí korespondovat vývoj žárupevných ocelí. Je požadována vyšší mez pevnosti při tečení, vynikající odolnost proti oxidaci a v neposlední řadě odolnost proti korozi za zvýšených teplot.

Moderní žárovevné oceli

Mezi moderní žárovevné oceli pro nadkritické parametry, patří modifikované nízkolegované bainitické oceli, modifikované martenzitické žárupevné oceli, nové austenitické oceli a niklové slitiny. Legováním bainitických a martenzitických ocelí niobem, titanem, dusíkem a bórem tyto oceli dosahují vysokých hodnot meze pevnosti při tečení. Některé materiály jsou dolegovány i wolframem, i když jeho vliv na dosažení vysokých hodnot R_{mT} za 10^5 nebo 2×10^5 hodin je podle [3] diskutabilní.

Výběr nejpoužívanějších základních materiálů pro konstrukci nových elektrárenských bloků s nadkritickými parametry je uveden v tabulce č. 1. Doporučené materiály pro výrobu dílů nadkritických kotlů a jejich teplotní limity uvádí tabulka č. 2. Z uvedeného vyplývá, že bainitické nízkolegované oceli se uvažují pro výrobu membránových stěn nadkritických kotlů pouze do pracovní teploty 550 °C. Pro součásti, pracující do pracovní teploty 600 °C se používají nové modifikované chromové martenzitické oceli a pro pracovní teploty 650 °C niklové slitiny Alloy 617 nebo Alloy 740 [3].

Pro výrobu komor, parovodů a potrubí se do teploty 625 °C předpokládá použití martenzitických ocelí. Pro teploty nad 625 °C se již doporučují niklové slitiny. Ohříváky a přehříváky se budou pravděpodobně vyrábět z martenzitické oceli VM12 - SHC, která se dá použít do teploty 610 °C. Pro teploty do 700 °C se předpokládá výroba z austenitických ocelí a pro vyšší teploty je již nutno použít niklové slitiny [3].

Výzkum nových žárovevných materiálů byl v posledních desetiletích zaměřen především na modifikované chromové oceli. Ty vycházejí konstitučně z 9 až 12% chromových ocelí vyvinutých během a po 2. světové válce hlavně pro chemický průmysl (oceli 17 116, 17 117 a hlavně 17 134 v ČSN, X20CrMoV12-1 v DIN) [5]. Základní představitelka chromových modifikovaných ocelí nové generace je ocel P 91 (X10CrMoVNbN 9-1) [6], která dosahuje oproti oceli 17 134 až dvojnásobné meze pevnosti při tečení. Té je dosaženo zejména vlivem intenzivního precipitačního zpevnění jemnými částicemi nitridu vanadu (VN). Tento nitrid se vyznačuje nízkou rychlostí hrubnutí a vysokou dlouhodobou rozměrovou stabilitou v podmínkách creepového namáhání. [7]. Ocel P91 byla také jako první z těchto nových materiálů začleněna do materiálových norem, jak v ČR [8], tak i v Evropské unii

Typ materiálu	Označení oceli
Uhlíkové oceli	P 235 GH
	P 265 GH
Bainitické oceli	16 Mo 3 (15020)
	13 CrMo 4 - 5 (15121)
	14 MoV6 - 3 (15128)
	10 CrMo 9 - 10 (15313, T/P22)
	15 NiCuMoNb 5 (WB36)
	7 CrWVMoNb 9 - 6 (T/P 23)
	7 CrMoVTiB 10 - 10 (T/P 24)
Martenzitické oceli	X 20 CrMoV 12 - 1 (17134)
	X 10 CrMoVNb 9 - 1 (T/P 91)
	X 11 CrMoWNB 9 - 1 - 1 (E 911)
	X 10 CrWVMoVNb 9 - 2 (T/P 92)
	X 12 CrCoWNB 12 - 2 - 2 (VM12 - SHC)
Austenitické oceli	TP 347H FGF
	SUPER 304 H
	HR 3C
	DMV 310 N
Niklové slitiny	SANICRO 25
	Alloy 617
	Alloy 740

Tab. 1 – Nejpoužívanější typy základních materiálů [3]

Dílo kotle	Materiál	Teplotní limit použitelnosti [°C]
Membránové stěny	13CrMo 4 - 5	540
	7 CrWVMoNb 9 - 6	550
	7 CrMoVTiB 10 - 10	550
	X10CrWMoVNb 9 - 2	590
	X12 CrCoWNB 12 - 2 - 2	600
	Alloy 617 mod.	650
Komory, parovody, potrubí, systémy	X10CrMoVNb 9 - 1	580
	X11CrMoWNB 9 - 1 - 1	600
	X10CrWMoVNb 9 - 2	625
	Alloy 617	735
	Alloy 263	735
Ohříváky, přehříváky	X12CrCoWNB 12 - 2 - 2	610
	TP 347 H FGF	615
	Super 304H	660
	HR 3 C	670
	Sanicro 25	700
	Alloy 617	770
	Alloy 740	770

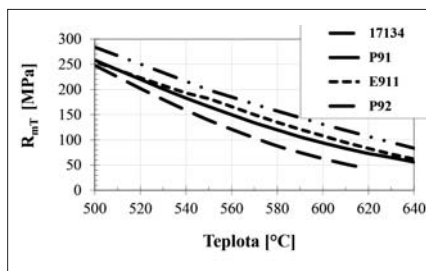
Tab. 2 – Teplotní limity použitelnosti vybraných základních materiálů [4]

(např. EN 10216-2 [9], 10028-2 [10] a USA (např. ASME 213 [11], ASME 335 [12])). Cílem vývoje těchto nových ocelí bylo dosáhnout hodnoty

meze pevnosti při tečení při teplotě 600 °C za 100 000 h ($R_{mT}/600/10^5$) na úrovni 100 MPa. Zatímco v případě oceli P91 této hodnoty ještě

Ocel	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V	Nb	N	B
17 134	0.17	0.50	0.25	10.6	0.30	0.80	0.30	0.20	-	-	-
	-0.23	-1.00	-0.60	-12.5	-0.80	-1.20	-0.60	-0.35	-	-	-
P 91	0.08	0.30	0.20	8.00	max.	0.85	-	0.18	0.06	0.03	-
	-0.12	-0.60	-0.50	-9.50	0.50	-1.05	-	-0.25	-0.10	0.07	-
E 911	0.10	0.30	0.10	8.50	0.20	0.90	0.90	0.15	0.04	0.05	0.0005
	-0.13	-0.60	0.30	-9.50	-0.40	-1.10	-1.10	-0.25	-0.10	0.08	-0.005
VM12-SHC	0.10	0.15	max. 0,50	11.0	0.10	0.20	1.30	0.20	0.03	0.03	0.003 - 0.006 Co = 1.4 - 1.8
	-0.14	-0.45		-12.0	-0.40	-0.40	-1.70	-0.30	-0.06	-0.07	
P 92	0.07	0.30	max.	8.50	max.	0.30	1.50	0.15	0.04	0.03	0.001
	-0.13	-0.60	0.50	-9.50	0.40	-0.60	-2.00	-0.25	-0.09	0.07	-0.006

Tab. 3 – Chemické složení chromových modifikovaných ocelí [5]



Obr. 1 – Teplotní závislost meze pevnosti při tečení za 100 000 hodin pro vybrané typy chromových modifikovaných ocelí [5]

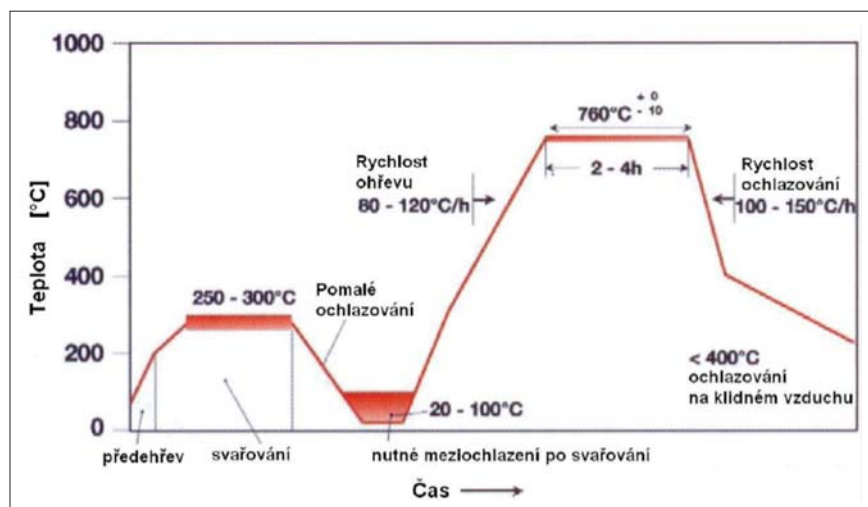
dosaženo nebylo (aktuální střední hodnota $R_{mT}/600/10^5$ uváděná v normách je 93 MPa), u později vyvinutých ocelí, evropské oceli E911, resp. japonské oceli P92 (NF 616) již byla tato limitní hodnota překročena [5]. Komerční úspěch nových materiálů na bázi 9% chromových modifikovaných ocelí dokládají celosvětové instalace jak v nových USC blocích, tak i při opravách a rekonstrukcích bloků stávajících. [13]

V tabulce 3 je uvedeno srovnání chemického složení oceli X20CrMoV12-1 (17 134), jakožto původní jakosti s ocelmi P 91, E 911 a P 92, na obrázku 1 je srovnání meze pevnosti při tečení vybraných 9 až 12 % chromových ocelí. Z obrázku je zřejmý zejména výrazný posun meze pevnosti při tečení oceli P 91 oproti původní oceli X20, který činí cca 40 %. Dalšího zvyšování této charakteristiky u ocelí E 911 a P 92 spočívá v optimalizaci obsahu dusíku, resp. v přítomnosti boru [5].

Svařitelnost moderních žárovečných ocelí

Při svařování těchto materiálů je nutné velice důsledně dodržovat a kontrolovat podmínky svařování, zejména je nutné se zaměřit na [3]:

- dodržování
 - předepsané teploty předehřevu
 - předepsané teploty interpass
 - měrného tepelného příkonu do svaru
 - předepsanou výšku svarových housenek
- svařování
 - doporučenými metodami svařování
 - předepsanými materiály s nízkým obsahem difúzního vodíku
 - svařování na předepsaný počet vrstev
- kladení svarových housenek předepsaným způsobem
- tepelné zpracování svaru



Obr. 2 – Teplotní režim v průběhu svařování a TZ ocelí P91 a P92 [4]

Svařování ocelí T/P 91, T/P 92 a VM 12 – SHC

Teplotní režim doporučený pro svařování ocelí P91 a P92 je zobrazen na obr. č. 2 [4]. Nízký obsah uhlíku u obou ocelí umožnil snížit teplotu předehřevu pod teplotu M_s . Při svařování proto zůstává v mikrostruktuře malé množství austenitu, který je plastický, rozpouští větší množství difúzního vodíku a tím usnadňuje svařování. Vznikající martenzit musí být popuštěn ještě v průběhu svařování následující svarové housenky. Požadavek na svařování housenkami o výšce max. cca 2,5 mm je proto při tomto způsobu svařování mimořádně důležitý. Svarový spoj je nutné z maximální teploty interpass 300 °C pomalu ochladit těsně pod teplotu M_f (cca 100 °C) a popustit. Nedoporučuje se materiály větších tloušťek ochlázovat na teplotu okolí, ale pouze na teplotu těsně pod M_f . Ochlazení je nutné, aby austenit vznikající při svařování s teplotou předehřevu pod teplotou M_s transformoval na martenzit ještě před popuštěním svarového spoje. V opačném případě by transformoval na martenzit až v průběhu žhání, čímž by došlo ke snížení plastických vlastností svarového spoje. Oceli jsou náchylné na nízkoteplotní žhánčí praskavost. Proto musí být ohřevy a ochlazení prováděny velmi pomalu podle doporučení na obr. č. 2. Doba výdrže na popouštěcí teplotě je závislá na tloušťce svařovaného materiálu a na použitém přídavném materiálu [3]. Doporučený teplotní cyklus při svařování ocelí VM12 – SHC je zobrazen na obr. č. 3 [4]. Pro svařování této oceli platí rovněž zásady uvedené

u ocelí P91 a P92. S ohledem na její chemické složení byla pouze snížena maximální teplota interpass na 280 °C a popouštěcí teplota byla zvýšena na 770 °C. Ocel VM12 – SHC se dále vyznačuje zvýšenou korozní odolností při pracovních teplotách ve srovnání ocelí P92. Proto bude pravděpodobně více používána pro konstrukci kotlů s nadkritickými parametry páry [3].

Závěr

Tento příspěvek obsahuje stručný přehled moderních žárovečných ocelí pro stavbu ultra-superkritických elektrárenských bloků se zaměřením na modifikované 9 až 12 % chromové oceli nové generace. Tyto oceli jsou v současné době používány při výstavbě nových a rekonstrukci stávajících bloků. Z hlediska svařitelnosti moderních modifikovaných žárovečných ocelí je potřeba vycházet z podrobné znalosti jejich transformačních charakteristik, tzn. teplot A_{c1} , A_{c3} , M_s , M_f a přizpůsobit tomu teplotní režim svařování včetně popouštění po svařování. Neméně důležitá je volba přídavného materiálu, dále způsob kladení housenek a měrný tepelný příkon svařování.

doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D,
Ing. Lukáš Havelka,
Fakulta strojná,
VŠB-Technická univerzita Ostrava
Ing. Kristýna Sternadelová,
Flash Steel Power, a.s. Ostrava

Literatura:

- CHEN Q., SCHEFFKNECHT G. Boiler design and materials aspects for advanced steam power plants. In: Proceedings of COST Programme part II: Materials for Advanced Power Engineering 2002, Vol. 21, ISBN: 3-89336-312-2
- MAYER, K. H., BENDICK, W., HUSEMAN, R.-U., KERN, T. U., SCARLIN, R. B.: „New Materials for Improving the Efficiency of Fossil-Fired power Stations”, VBG PowerTech 1/98, s. 22
- KOUKAL, J., SCHWARZ, D., SONDEL, M. Základní informace o svařování vybraných materiálů pro energetiku. In: Sborník přednášek konference PROMATTEN 2009, Vidly, 26-27.11.2009. Ostrava: Flash Steel, a.s., 2009, s. 11-25
- Thyssen Schweisstechnik – Přídavné materiály pro stavbu elektráren, firemní propagační materiál, 2006
- KUBOŇ, Z: Crommolybdenvanadové oceli pro USC bloky. In: Sborník přednášek konference PROMATTEN 2009, Vidly, 26-27.11.2009. Ostrava: Flash Steel, a.s., 2009, s. 3-9
- ALEXANDER, D. J., MAZIASZ, P. J., BRINKMAN, C. R.. In: Proc. of the 1st Int. Symposium on Microstructure and Mechanical Properties of Aging Materials, Eds. P. Liaws, et al., The Minerals, Metals and Material Society, Warrendale 1993, s. 343
- PICKERING, F. B. In: Proc. Microstructural Stability of Creep Resistant Alloys for High Temperature Applications, Eds. A. Strang, et al., IOM, London, 1997, s. 1
- ČSN 41 7119 Ocel 17 119, účinnost od 1. 12. 1992
- EN 10 216 Seamless steel tubes for pressure purposes - Technical delivery conditions - Part 2: Nonalloy and alloy steel tubes with specified elevated temperature properties, 2002
- EN 10028-2: Specification for flat products made of steels for pressure purposes. Non-alloy and alloy steels with specified elevated temperature properties, 2003
- ASTM-A213: Seamless Ferritic & Austenitic Alloy Steel Boiler Superheater and Heat Exchanger Tubes
- A335/A335M: Standard Specification for Seamless Ferritic Alloy-Steel Pipe for High-Temperature Service
- VISWANATHAN, R., HENRY, J. F., TANZOSH, J., STANKO, G., SHINGLEDECKER, J. Creep and Fracture in High Temperature Components – Design and High Life Assessment Issues, In: ECCS Creep Conference, Eds. I. A. Shibli, S. R. Holdsworth, G. Merckling, London, September 2005, London, UK, s. 59

Steel for super-critical units of thermal power plants and their weldability

This article contains a brief overview of modern heat-resistant steel for the construction of ultra-super-critical power units focused on modified 9 to 12% new generation chrome steel. This steel is currently used in the construction of new and the reconstruction of existing units. In terms of the weldability of modern modified heat-resistant steel detailed knowledge is required of its transformation characteristics, i.e. temperatures Ac1, Ac3, Ms, Mf and adjustment of the temperature regime of welding including tempering after welding. No less important is the choice of additional material, method of layering welds and the specific thermal input of welding.

Сталь для сверхкритических блоков тепловых электростанций и её свариваемость

Эта статья включает в себя краткий обзор современных жароустойчивых сталей для строительства ультра-супер-критических блоков электростанций с ориентацией на модифицированные 9% - 12% хромированные стали нового поколения. Эти стали сегодня используются для строительства новых и реконструкции действующих блоков. С точки зрения свариваемости современных модифицированных жароустойчивых сталей необходимо исходить из точных знаний их трансформационных характеристик, так называемых температур Ac1, Ac3, Ms, Mf и приспособить этому температурный режим сварки, включая распускаемость после сварки. Не менее важен выбор добавляемого при сварке материала и контроль за температурным режимом сварки.



Polytex Composite s.r.o.
Lamináty pro průmysl a stavebnictví

Tradiční český výrobce skelných laminátů od roku 1953!

Reference: Vybavení absorberů elektráren Sines (Portugalsko), Abono, Soto de Ribera, La Robla a Cangas del Narcea (Španělsko) ■ Potrubí pro odsíření elektráren Tušimice a Ledvice (Česko), Karlsruhe a Lünen (Německo) a odsíření Teplárny v areálu Slovnaft (Slovensko) ■ Potrubí zimního ostříku pro elektrárny Počerady a Temelín (Česko) a Mochovce (Slovensko) ■ Připravujeme se na: Odsíření elektrárny Průněřov (Česko)

Zabýváme se:

- Navrhováním, výrobou, dodávkami a montáží laminátových výrobků zejména vinutých trubních systémů, velkoobjemových nádrží a chemických aparátů. Výrobky jsou vhodné pro korozně náročné aplikace v chemickém, petrochemickém, papírenském nebo strojírenském průmyslu a energetice. Největší část výroby směřuje do energetiky a odsířovací technologie a pro chladicí věže.
- Při dodávkách velkých celků zajišťujeme supervizi a ve spolupráci se stálými partnerskými firmami i projekci a montáž rozsáhlejších dodávek

Kontakt: Polytex Composite, s.r.o., Závodní 540, 735 06 Karviná, Tel.: +420 569 312 098,
e-mail: info@polytex.cz, www.polytex.cz