

VLIV HETEROGENITY MIKROSTRUKTURY NA VLASTNOSTI A CREEPOVOU ODOLNOST TLUSTOSTĚNNÉ PAROVODNÍ TRUBKY Z OCELI P92

INFLUENCE OF MICROSTRUCTURE HETEROGENEITY ON PROPERTIES AND CREEP RESISTANCE OF THICK-WALLED STEAM PIPE MADE OF P92 STEEL

Zdeněk Kuboň a Ladislav Kander

MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM, s.r.o., Pohraniční 693/31, Vítkovice, 703 00 Ostrava

Abstrakt

V minulém roce zde byl uveden příspěvek, který se zabýval mikrostrukturou a vlastnostmi trubky o tloušťce stěny 90 mm z oceli P92, u kterého byly zjištěny četné řediny, zejména v blízkosti vnitřního povrchu trubky. Řediny vznikly zřejmě v důsledku nedostatečného protváření během válcování trubky. Analýzy lokálních materiálových vlastností u obou povrchů trubek provedené tehdy jsou zde doplněny o výsledky creepových zkoušek malých vzorků (SPC testy), které doplnily creepové zkoušky do lomu prováděné na konvenčních zkušebních tyčích. Výsledky SPC testů jsou porovnány s materiálovými požadavky na ocel P92 a je proveden pokus o vyhodnocení možného vlivu nehomogenity mikrostruktury a vlastností na dlouhodobou životnost trubky v podmínkách tečení.

Abstract

Last year, a paper was presented here, which dealt with the microstructure and properties of pipe with a wall thickness of 90 mm made of P92 steel, in which numerous dilutions were found, especially close to the inner surface of the pipe. The dilutions were probably caused by insufficient deformation during the rolling of the pipe. Analyzes of local material properties at both pipe surfaces performed at that time are supplemented here by the results of small punch creep tests (SPC tests), which complemented the stress fracture tests performed on conventional test specimens. The results of SPC tests are compared with the material requirements for P92 steel and an attempt is made to evaluate the possible influence of inhomogeneity of the microstructure and material properties on the long-time creep exposure of the pipe.

Úvod

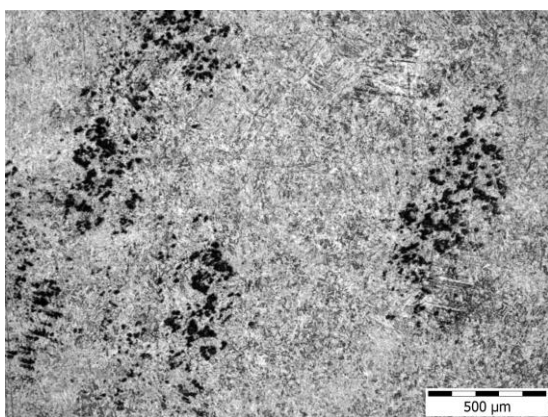
Tento příspěvek navazuje na článek z minulé konference, na kterém byly prezentovány výsledky analýz vlastností tlustostěnné parovodní trubky z oceli P92 (X10CrWMoVNb 9-2) [1]. Je to jeden z materiálů, který je detailně studován v rámci programu THÉTA v projektu TK01020160 „Komplexní postupy materiálového inženýrství k zajištění bezpečného provozu inovovaných bloků klasických elektráren“, kterého se účastní mimo MMV také ČEZ, a. s., ÚAM Brno, s.r.o., a UJP Praha, a.s. Jedním z hlavních cílů tohoto projektu je materiálový výzkum zaměřený na získání databáze komplexních vlastností nově nasazovaných či retrofitovaných materiálů se zvláštním zaměřením na creepové, únavové a křehkolomové vlastnosti ohybů kotlových trubek a parovodů, včetně jejich svarových spojů, ale i dalších kritických komponent energetických kotlů. Ocel P92 (X10CrWMoVNb 9-2) je jedna z komerčně nejúspěšnějších martenzitických žarupevných ocelí a zde uváděná konkrétní trubka je použita na výstupním parovodu 660 MW kotle v NZ ELE v Ledvicích v nominální tloušťce 80 mm. Vzhledem k současným převládajícím ocelářským technologiím a přednostní výrobou plynule litých bram vzrůstá nebezpečí nedokonalého protváření a negativní ovlivnění homogenity a výsledných materiálových vlastností právě u takto tlustostěnných trubek.

Experimentální materiál a provedené analýzy

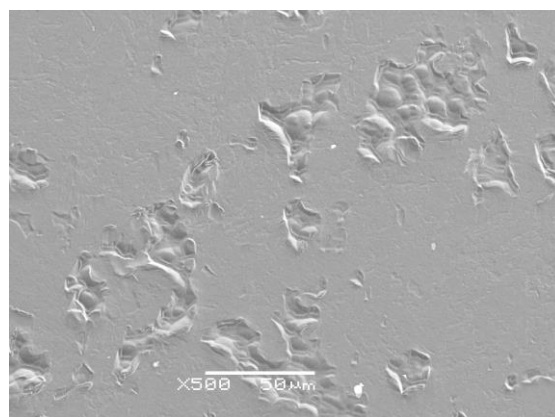
Materiálové charakteristiky byly sledovány u trubky s vnitřním průměrem 350 mm a nominální tloušťkou stěny 80 mm. Trubka byla dodána ve stavu po provozním tepelném zpracování. Komplexní analýza materiálových vlastností této trubky zahrnovala ověření mechanické pevnosti za laboratorní i zvýšené teploty, provádění zkoušek vrubové houževnatosti a sestavení křivky přechodu křehký-houževnatý stav, proměření profilu tvrdosti přes tloušťku stěny, analýzu mikrostruktury a také provádění jak konvenčních creepových zkoušek, tak i SPC testů.

Shrnutí výsledků analýzy mikrostruktura a materiálových vlastností

Metalografická analýza odhalila, že prakticky v celém průřezu stěny trubky se nacházejí shluky ředin o velikosti až malých jednotek milimetrů. Jejich výskyt byl četnější u vnitřního povrchu trubky, obr. 1 a obr. 2.



Obr. 1: Řediny u vnitřního povrchu trubky



Obr. 2: Řediny, SEM, režim TOPO

Provedené porovnávací tahové zkoušky na tělesech umístěných těsně pod vnějším a těsně pod vnitřním povrchem při laboratorní teplotě ani při teplotě 600 °C neukázaly žádný rozdíl mezi vlastnostmi oceli u obou povrchů trubky. Podobně jako mez kluzu a mez pevnosti se ani tvrdost významněji neměnila směrem od vnějšího k vnitřnímu povrchu a ani výsledky zkoušek vrubové houževnatosti neukázaly žádný rozdíl ve velikosti nárazové práce mezi vnějším a vnitřním povrchem, tab. 1.

Tab. 1: Mechanické a křehkolomové vlastnosti u vnějšího a vnitřního povrchu trubky

Teplota	+20 °C					600 °C			
	R _{p0.2}	R _m	A ₅	Z	KV	R _{p0.2}	R _m	A ₅	Z
Povrch trubky	[MPa]		[%]		[J]	[MPa]		[%]	
Vnitřní	481	651	27,4	69,6	168	280	294	22,1	89,5
Vnější	484	645	26,6	72,2	174	292	306	21,9	89,5
ČSN EN 10216-2	≥440	620-850	≥17,0	-	27	≥248	-	-	-

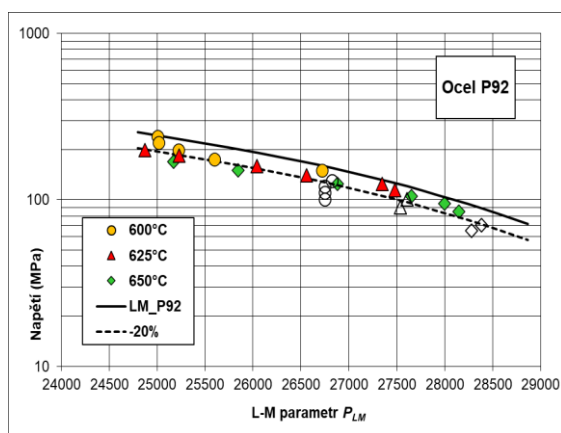
Výsledky creepových a SPC zkoušek

Svojí velikostí v řádu malých desítek mikrometrů odpovídají pozorované defekty propojeným kavitám až řetízkům kavit. Je proto důležité zjistit, zda vůbec, kdy a jak se přítomnost těchto apriorních strukturních vad projeví na creepové odolnosti trubky. Výsledky creepového programu konvenčních zkoušek dosud, v době, kdy se doby do lomu nejdelších zkoušek stále pohybují pod 10 000 hodin, ukazují na vcelku dobrou shodu experimentálních výsledků s požadavky materiálové normy, jak ukazuje jejich zpracování do podoby závislosti napětí na Larson-Millerově parametru na obr. 3. jak je z obrázku patrné, všechny výsledky ukončených zkoušek (plné symboly) se pohybují v rámci povoleného rozptylu okolo střední hodnoty.

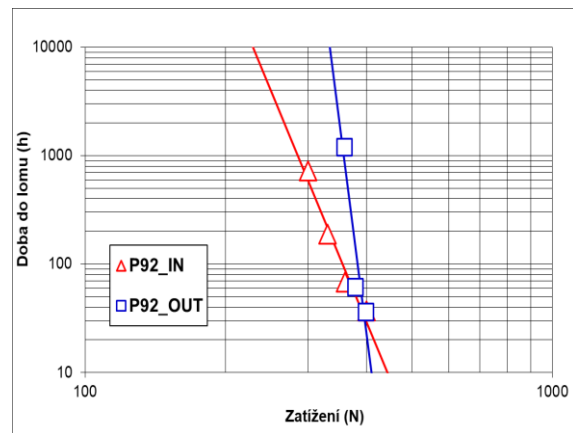
Metoda creepových zkoušek malých vzorků je založena na korelaci s výsledky konvenčních creepových zkoušek, podobně jako v případě penetračních testů při stanovení pevnostních cha-

rakteristik [2], [3]. Vzhledem ke složitosti napěťových stavů se však pro korelaci využívá rovnosti dob do lomu u konvenční creepové zkoušky a zkoušek SPC, kdy se navzájem koreluje zatížení u zkoušky SPC a napětí u creepové zkoušky. Podobně může být korelována rychlost sekundárního tečení při creepové zkoušce s měřenou deformací a rychlost stacionárního tečení při zkoušce SPC.

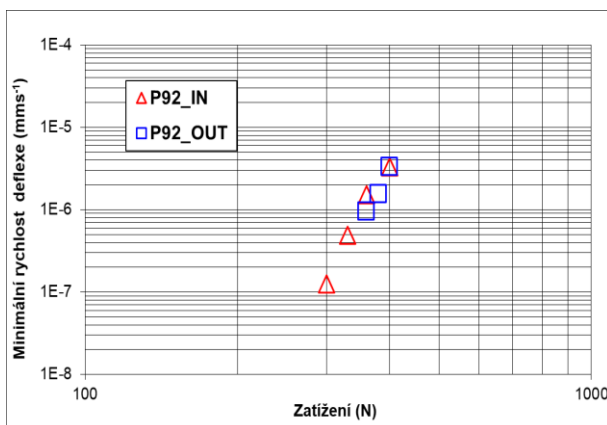
Zkušební vzorky pro program SPC zkoušek byly připraveny od vnějšího a od vnitřního povrchu a byly zkoušeny při teplotě 650 °C. Jejich výsledky jsou shrnuty v tab. 2 a v grafickém vyjádření ve tvaru bilogarithmické závislosti doby do lomu na aplikovaném zatížení na obr. 4, na obr. 5 je ukázána závislost rychlosti ustáleného tečení na zatížení a na obr. 6 je uvedena závislost mezi zatížením a Larson-Millerovým parametrem. Zatímco u závislosti minimální rychlosti deflexe na zatížení nejsou pozorovány žádné rozdíly mezi vzorky odebranými z obou povrchů, v případě vztahu mezi dobou do lomu a zatížením se nejdelší zkouška ztelně odklání od stávající směrnice a naznačuje, že s prodlužující se dobou do lomu může dojít k rozdílu mezi creepovou pevností obou povrchů.



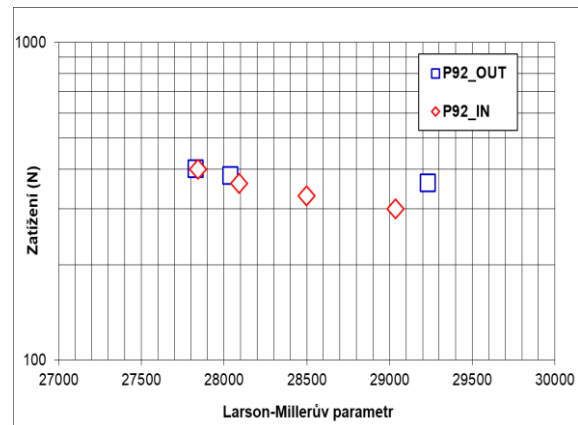
Obr. 3: Závislost napětí na L-M parametru



Obr. 4: Závislost doby do lomu na zatížení



Obr. 5: Závislost doby do lomu na zatížení



Obr. 6: Závislost zatížení na L-M parametru

Tab. 2: Výsledky SPC zkoušek trubky z oceli P92

Zkouška	Povrch	Teplota	Zatížení	Doba do lomu	Deflexe	Rychlost deflexe
		[°C]	[N]	[h]	[mm]	[mm·s ⁻¹]
ELE_IN_650_400	vnitřní	650	400	36,8	2,63	3,31·10 ⁻⁶
ELE_IN_650_380	vnitřní		360	68,3	2,84	1,52·10 ⁻⁶
ELE_IN_650_360	vnitřní		330	189	2,63	4,92·10 ⁻⁷
ELE_IN_650_300	vnitřní		300	721,8	2,88	1,25·10 ⁻⁷
ELE_OUT_650_400	vnější		400	35,6	2,60	3,33·10 ⁻⁶
ELE_OUT_650_380	vnější		380	60,27	2,77	1,56·10 ⁻⁶
ELE_OUT_650_360	vnější		360	1182	2,96	9,50·10 ⁻⁷

Diskuze výsledků

Analýza materiálových vlastností tlustostěnné trubky dosud neprokázala žádný negativní vliv shluků ředin ve struktuře, zejména pak v blízkosti vnitřního povrchu trubky. Po dlouhodobé creepové expozici mohou podobné defekty významně urychlit čerpání životnosti tím, že ve zrelaxované a odpevněné struktuře přispějí k rychlejšímu nástupu terciárního stádia creepu, ve kterém právě dochází k rozvoji creepové deformace vznikem a propojováním vnitřních defektů ve struktuře. Jak ukazují dosavadní výsledky SPC zkoušek, minimálně v oblasti krátkých časů nepředstavuje zřejmě výskyt shluků ředin v oceli významnější ohrožení její žárupevnosti. Jak ale vyplývá z obr. 4, je možné, že s rostoucí dobou do lomu bude na vnějším povrchu jiná směrnice závislosti doby do lomu na napětí a creepová odolnost na obou površích trubky tak bude divergovat v neprospěch oblastí blízko vnitřního povrchu. Skutečnost, že se tato divergence neprojevila v závislosti minimální rychlosti deflexe na zatížení může právě souviset s tím, že k prudkému rozvoji vnitřních defektů dochází až v tomto terciárním stádiu creepu.

Závěr

Provedené creepové zkoušky malých vzorků dosud jednoznačně nepotvrdily negativní vliv shluků ředin ve struktuře tlustostěnné trubky z oceli P92, avšak ukazuje se, že s rostoucími dobami do lomu se mohou vlastnosti v blízkosti obou povrchů trubky dále rozcházet a zejména ve finálních fázích creepové expozice mohou tyto apriorní defekty představovat riziko zkrácení životnosti parovodu.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za finanční podpory Technologické agentury České republiky v rámci projektu THETA TK01020160 „Komplexní postupy materiálového inženýrství k zajištění bezpečného provozu inovovaných bloků klasických elektráren“.

Literatura

- [1] Kuboň, Z., Kander, L. (2019): Homogenita struktury a vlastností tlustostěnných výrobků z oceli P92. *14. konference Zvyšování životnosti komponent energetických zařízení v elektrárnách*, Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o., Srní, str. 103-108. ISBN 978-80-261-0885-6
- [2] CEN (2007): *Small Punch Test Method for Metallic Materials*. CEN Workshop Agreement, CWA 15627, European Committee for Standardization.
- [3] Bicego, V., Lucon, E., Crudeli, R. (1995): Integrated Technologies for Life Assessment of Primary Power Plant Components. *International Symposium on Materials Ageing and Component Life Extension*, EMAS, Vol. I, pp. 295-305.