

Hodnocení vlastností žárupevných ocelí – od 24 hodinových zkoušek po SPCT zkoušky

Evaluation of the properties of heat resisting steels – from 24 hour tests to SPCT tests

Dr. Ing. Zdeněk Kuboň¹; doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.²

¹ MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Pohraniční 31/639, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Česká republika

² Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15/2172, 703 00 Ostrava-Poruba, Česká republika

V článku je nastíněn postup vývoje žárupevných ocelí, a to od uhlíkových, přes nízkolegované, chromové, modifikované až po oceli austenitické, a stručně shrnut také vývoj metod jejich zkoušení, od krátkodobých zkoušek, jejichž výstupem byla hodnota rychlosti tečení v rozmezí 24 – 72 hodin, až po zkoušky, které svou délkou mnohdy předčí i reálné provozní doby komponent energetických zařízení. Při stanovení aktuální zbytkové životnosti se pak s výhodou používá metod pracujících s miniaturizovanými zkušebními tělesy, jako je metoda creepových zkoušek malých vzorků (Small Punch Creep Tests – SPCT). Na příkladu výkovku z oceli P92 je uvedeno porovnání výsledků mezi klasickými creepovými zkouškami a zkouškami SPCT a jsou uvedeny hodnoty přepočítacích koeficientů, které umožňují vzájemnou porovnatelnost obou těchto metod.

Klíčová slova: Creep, uhlíkové; nízkolegované; chromové modifikované a austenitické žárupevné oceli; vývoj zkušebních metod; SPCT testy; ocel P92; korelace mezi creepovými a SPCT zkouškami

The article outlines the progress of development of creep-resistant steels from carbon steels through low-alloy, chromium modified to austenitic steels, and it also briefly summarizes the development of testing methods of creep resistance characteristics. Creep tests emerged at the beginning of the 20th century when it was found that the traditional approach to determining material properties could be used for high temperature applications. Creep testing started by the short-term tests, where the output value was the creep rate measured in the time interval from 24 to 72 hours and developed into the really long-lasting creep tests with times that often surpassed the actual operating time of the power plant components. In the last decades also new testing methods of the creep properties emerged and one of them, known as the small punch creep tests (SPCT) could be, due to its reduced demand for the amount of material to be tested, used with advantage for determining the actual residual life of the coal-fired power plant components. It works with a disc-shaped samples having 3 - 10 mm in diameter and 0.3 - 1 mm in thickness, making it almost a non-destructive method. Besides of determining the proof stress and tensile strength, fatigue strength, brittle-ductile transition temperature and fracture toughness, this method can also be used for determination of the creep characteristics. The evaluation of SPCT is based on the correlation with the results of the conventional creep and/or stress rupture tests. Due to complexity of the strain state, this correlation is based on the ratio between the load in SPCT and stress in creep test for the same times to rupture. The example of such a correlation between the conventional creep tests and SPCT of the forging made of the steel P92 was found and the values of the conversion coefficients between the both methods are stated here, which allows comparability of these two methods.

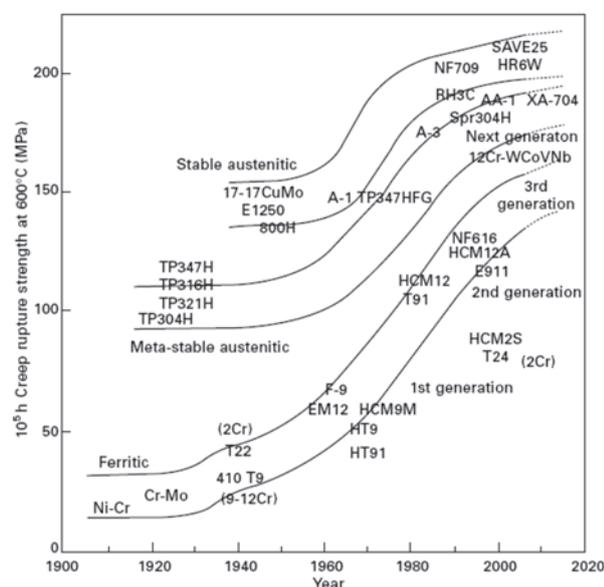
Key words: Creep, carbon steels; low-alloy steels; chromium modified steels; austenitic creep resistant steels; development of test methods; SPCT tests; steel P92; correlation between creep and SPCT tests

Vývoj žárupevných ocelí úzce souvisí s rozvojem energetického a chemického průmyslu a požadavky na vlastnosti a jejich testování jsou u nich určovány především pracovními podmínkami (teplotou, tlakem, korozním prostředím) a ekonomickou životností zařízení. Vývoj tepelně energetických zařízení sleduje od samého počátku cestu zvyšování tepelné účinnosti,

s čímž je spojeno plynulé zvyšování provozních teplot a tlaků a zvyšování výkonu nově budovaných jednotek. Tento vývoj by však nebyl možný bez paralelního vývoje zkušebních metod, jejichž zvláštností je to, že musí garantovat neměnné experimentální podmínky po celou dobu zkoušení, která může i přesáhnout 100 000 hodin, tj. téměř 9 let.

1. Nástin vývoje žárupevných ocelí

Až do počátku 20. století byly pracovní parametry i výkony parních kotlů natolik nízké, že nebylo potřeba vyvíjet materiály se specifickými a v materiálových listech také uváděnými vlastnostmi za zvýšených teplot. Až zhruba ve 20. letech minulého století spolu s výstavbou parních kotlů o vyšším výkonu (např. ve Vítkovicích kotle typu Löffler s pracovní teplotou 500 °C a tlakem 13 MPa) se ukázalo, že stávající, převážně uhlíkové oceli nejsou pro tyto účely dostačující, a to jak z pevnostního hlediska, tak i pro nízkou korozní odolnost. To odstartovalo vývoj nových typů nízkolegovaných ocelí následovaný vývojem ocelí na bázi 9–12 % chromu a ocelí austenitických, speciálních slitin na bázi niklu, kobaltu a dalších prvků s vysokou teplotou tání (obr. 1) [1].



Obr. 1 Schéma vývoje značek a typů žárupevných ocelí [1]

Fig. 1 Development of types and grades of creep-resistant steels [1]

1.1 Uhlíkové a nízkolegované oceli

Vývoj nových typů žárupevných ocelí vycházel z původně používaných značek ocelí uhlíkových, které však, zejména v případech, kdy byly zpracovávány za studena, při provozu za zvýšených teplot křehly. Ke zvýšení jejich houževnatosti bylo použito uklidnění oceli hliníkem, který vyvázal z tuhého roztoku volný dusík, a zabránil tak stárnutí oceli, třebaže za cenu určitého snížení žárupevnosti [2]. Kromě zkřehnutí vlivem dusíku mohlo, zejména ve svarových spojích, u nich docházet také ke grafítizaci cementitu a s tím spojené ztrátě pevnosti i plasticity. Uhlíkové žárupevné oceli se ovšem používají stále, třebaže s aplikačním omezením maximální pracovní teploty ve výši cca 450 °C. V tomto segmentu byly v 80. letech vyvinuty oceli mikrolegované niobem, resp. vanadem nebo jejich kombinací, které přinesly další zvýšení meze pevnosti při tečení, která se tak ve stavu po řízeném tváření dostala až na úroveň oceli s obsahem 0,3 % Mo.

Právě ocel s obsahem 0,3 % Mo byla jednou z prvních úspěšných nízkolegovaných žárupevných ocelí, která posunula maximální pracovní teplotu až na hranici 530 °C. Jejím aplikačním omezením však byla nejen nižší pevnost, ale také snížená odolnost proti grafítizaci u horní hranice pracovních teplot. Tento nedostatek byl odstraněn využitím kombinace legujících prvků Cr-Mo a Cr-Mo-V, pro případy použití na rotory turbín pak ještě s přísadou niklu. Do této skupiny patří představitelky nejméně úspěšných a nejrozšířenějších nízkolegovaných žárupevných ocelí, jako jsou značky 13CrMo4-4 (v ČR 15 121), 14MoV6-3 (15 128) a 10CrMo9-10 (15 313), které jsou používány až do teploty stěny 570 °C. Další impuls pro vývoj nových značek nízkolegovaných ocelí přišel s výstavbou moderních USC bloků, které pracují s teplotou páry okolo 600 °C a pro jejichž membránové stěny již tradiční značky ocelí nevyhovují. Specifickým požadavkem pak byla absence přehřevu i tepelného zpracování po svařování, což si vyžádalo snížení obsahu uhlíku u těchto nových značek na 0,04–0,10 %. Jejich konstituce vychází z ocelí s obsahem 2,25 % Cr a 1 % Mo, ale obsah molybdenu byl částečně nahrazen wolframem a oceli byly dolegovány vanadem, niobem, případně i titanem a borem [4]. Tyto komerčně vyráběné oceli pod značkami T 23 (HCM2S) a T 24 dosahují creepové pevnosti srovnatelné s ocelí X20CrMoV12-1 a představují do budoucna perspektivní nízkolegované žárupevné oceli, a to i přesto, že se jejich komerční nasazení do membránových stěn USC kotlů ukazuje dosud jako problematické.

1.2 Chromové modifikované oceli

Vývoj ocelí na bázi 9–12 % Cr započal v 30. letech minulého století zavedením oceli T9 (9 % Cr, 1 % Mo), která byla používána hlavně v petrochemickém průmyslu. Zvýšené korozní odolnosti i za vysokých teplot bylo u této skupiny ocelí využíváno všude tam, kde pracovní teploty dosahovaly a překračovaly 600 °C. Modifikacemi chemického složení byla dále optimalizována její žárupevnost [5]. V 80. letech pak byla na trh uvedena ocel P 91 jako představitelka nové generace modifikovaných žárupevných ocelí [6], které se vyznačovaly až dvojnásobnou mezí pevnosti při tečení oproti oceli X20CrMoV12-1. V Japonsku byla vyvinuta ocel P92 (Nf 616) obsahující wolfram, který částečně nahradil molybden, a s přísadou boru [7]. Následovala evropská ocel s molybdenem i wolframem E911 [8], oceli s obsahem 12 % Cr (VHM 12, HCM 12) [9] a další značky. Vývoj v této skupině ocelí tak pokračuje intenzivně i nadále, přestože je zřejmé, že maximální pracovní teploty těchto značek nemohou překročit asi 630 °C a také, že jejich dlouhodobá strukturní stabilita není dostatečná a v oceli vzniká jednak Lavesova fáze Fe₂Mo, jednak Z-fáze Cr(V,Nb)N [10], které způsobují pokles dlouhodobé žárupevnosti. Poslední výzkumy v tomto segmentu žárupevných ocelí se tak soustřeďují na nalezení takové kombinace legujících prvků, která vzniku Z-fáze buď zabráni, nebo

alespoň posune její vznik natolik, že nebude představovat omezení životnosti vyrobených komponent.

1.3 Austenitické žárupevné oceli

Pro použití nad teplotu 630 °C jsou vhodné austenitické žárupevné oceli. Jejich rozvoj nastal zejména po 2. světové válce, kdy bylo zjištěno, že úsporné austenitické oceli na bázi 18Cr8Ni mají nejen dobrou odolnost proti korozi, ale také dobrou žárupevnost. Této vlastnosti bylo využito při budování 1. generace USC kotlů. Jejich nevýhodou je však citlivost na tepelnou únavu z důvodu vysokého koeficientu délkové roztažnosti a malé teplotní vodivosti, což významně omezuje jejich aplikace na tlustostěnné součásti. Pro vysokoteplotní aplikace bylo vyvinuto mnoho značek zejména na bázi 18Cr8Ni, 15Cr15Ni a 20Cr25Ni [11]. Značného rozšíření se dostalo oceli 316H s obsahem 2,5 % Mo, která byla hojně využívána na výrobu přehřívákových trubek nadkritických kotlů s teplotou stěny nad 600 °C. Oproti stabilizovaným ocelím 321 a 347 s přísadou Ti, resp. Nb pro vyvážení uhlíku a zvýšení odolnosti proti mezikrystalové korozi se u creepových značek využívá nižšího poměru Ti,Nb/C, případně jsou tyto oceli pro další zvýšení žárupevnosti oceli dolegovány dusíkem [12].

Ukázalo se však, že pro špičkové aplikace v UCS kotlích ani tyto materiály neposkytují dostatečnou korozní odolnost. Další generace stále relativně úsporných austenitických žárupevných ocelí proto využívá legování mědi (značka Super 304H), garance jemnozrnné struktury (TP 347 HFG) či zvýšené koncentrace chromu (HR3C), a to i v kombinaci se speciální úpravou pracovního povrchu tzv. shotpeeningem, tedy kuličkováním broky z materiálů o dostatečně vysoké tvrdosti. Tryskání povrchu těmito kuličkami jednak zvyšuje odolnost proti únavě, jednak také výrazně zjemňuje zrna, a tím usnadňuje doplňování chromu na povrch napadený korozi pomocí difuze po hranicích zrn [13].

2. Zkoušení creepových vlastností ocelí

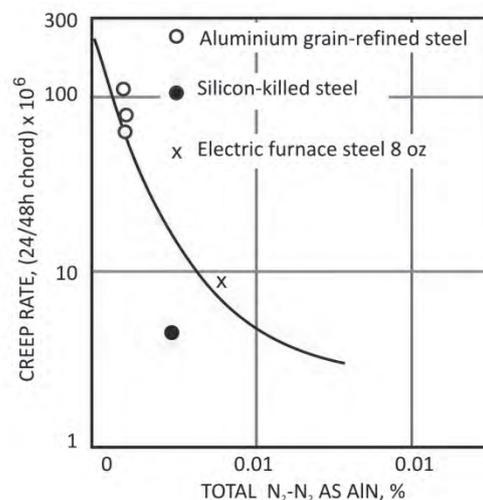
Na počátku zkoušení creepových charakteristik žárupevných ocelí stál Andrade, který zkoušel creep u drátů vyrobených z různých ocelí. Třebaže tyto původní zkoušky trvaly pouze několik minut, Andrade z nich odvodil vztah pro teplotně závislou deformaci čistých kovů [14]:

$$l = l_0 (1 + B \cdot t^{\frac{1}{3}}) e^{KT} \quad (1)$$

kde l_0 je původní délka, l délka vzorku za dobu t , T je absolutní teplota a B a K jsou konstanty, přičemž konstanta B platí pro primární stádium, kdy rychlost creepu klesá, konstanta K platí pro stádium terciární, kdy rychlost creepu naopak roste. Andrade také ukázal na skutečnost, že hodnota konstanty K může být nulová, a tedy za určitých podmínek rychlost creepu stále klesá.

Tento předpoklad vedl k přesvědčení, že pro každý materiál a teplotu lze nalézt limitní napětí, pod kterým tečení nakonec ustane a materiál se nepoškodí. To vedlo k vývoji metod zkoušení creepové pevnosti založené na krátkodobých zkouškách, jejichž cílem bylo nalézt tuto minimální hodnotu. Jednou z těchto metod byla metoda Hätfieldova, jejímž cílem bylo nalézt takové napětí, které nevyvolalo vyšší než 0,5% deformaci za první den zkoušení a v časovém intervalu mezi 24 a 72 hodinami nepřesáhla rychlost deformace 10^{-6} hod⁻¹. Za bezpečné napětí byly považovány $\frac{2}{3}$ této hodnoty napětí [15]. Využití našly tyto krátkodobé zkoušky zejména při analýze faktorů, které ovlivňují creepové vlastnosti kovů a slitin (obr. 2) [2].

Mimo tyto krátkodobé zkoušky se již na konci 20. let minulého století prováděly také zkoušky relativně dlouhodobé, dosahující řádově tisíců hodin, u kterých však bylo obtížné za stávajícího stavu techniky udržet teplotu dlouhodobě v přijatelném rozmezí. Skutečný rozmach ve zkoušení creepu nastal po roce 1940 s nástupem elektroniky, využitím platinového odporového čidla při regulaci teploty i niklových superslitin pro prvky zatěžujícího řetězce pracujícího za vysokých teplot. Delší doby zkoušek a jejich spolehlivější výsledky tak umožnily prodloužit výpočtovou životnost energetických zařízení až na 100 000 hodin již brzy po roce 1940, nejprve v Německu a poté i ve všech průmyslově vyspělých zemích.



Obr. 2 Vliv dusíku na creepovou pevnost uhlíkových ocelí [2]

Fig. 2 Influence of nitrogen on creep strength of carbon steels [2]

Zpočátku byly creepové stroje představovány z trhacích strojů pro mechanické zkoušky a byly jednotkové, tj. jedna pec pro jednu zkoušku. Z důvodu úspory místa i energie a obzvláště pro dlouhodobé creepové zkoušky byly sestaveny stroje hromadné, a to buď pákového typu, nebo pružinové, které pojaly najednou až 216 zkušebních těles. To umožnilo zvýšit rozsah zkoušení a napomohlo rychlému rozvoji creepových ocelí po 2. světové válce. [16] S rozšiřujícími se poznatky o creepovém chování ocelí i rostoucí přesností jejich

zkoušení a ověřování bylo možné postupně prodlužovat projektové doby komponent energetických zařízení až na současných 250 000 hodin, přičemž v řadě laboratoří jsou dosahované hodnoty meze pevnosti při tečení a meze tečení podloženy skutečnými, tedy neextrapolovanými creepovými daty.

3. Hodnocení creepových vlastností pomocí SPCT testů

Skutečná creepová pevnost jednotlivých výrobků však podléhá značnému rozptylu, který je dále zvětšován rozdílnými pracovními parametry, existencí přídavného zatížení a dalšími jevy. Při hodnocení zbytkové životnosti energetických zařízení je tak běžnou praxí odebrat vzorek materiálu, který je podroben zkoušce tečením, nejčastěji pracovním napětím a při několika teplotách vyšších než teplota pracovní. V mnoha případech je však obtížné odebrat takové množství materiálu, které by umožnilo vyrobít sérii klasických creepových zkušebních těles. V těchto případech se s výhodou využívá miniaturizovaných zkušebních těles a metod, na nich založených. Jednou z těchto metod je metoda malých vzorků (Small Punch Tests – SPT), která byla původně vyvinuta pro hodnocení přechodové teploty materiálů v jaderné energetice v EPRI [17]. Její výhodou je to, že pracuje se vzorky tvaru disku s minimálními rozměry \varnothing 3–10 mm a tloušťka 0,3–1 mm), což z ní vůči testovanému výrobku činí téměř metodu nedestruktivní. Mimo stanovení aktuální pevnosti, meze únavy, charakteristik plasticity, přechodové teploty křehký-houževnatý stav i lomové houževnatosti, je pomocí této metody možné určovat i creepové charakteristiky.

Metoda creepových testů malých vzorků (Small Punch Creep Tests – SPCT) a jejich vyhodnocení je založena na jejich korelaci s výsledky creepových zkoušek, podobně jako v případě penetračních testů [18, 19]. Vzhledem ke složitosti napěťových stavů se však pro korelaci využívá rovnosti dob do lomu u klasické creepové zkoušky a zkoušek SPCT. Při rovnosti dob do lomu se navzájem koreluje zatížení zkoušky SPCT a napětí zkoušky creepové a pomocí této korelace je pak možné hodnotit creepovou odolnost materiálů i pomocí SPCT zkoušek. Podobně může být korelována rychlost sekundárního tečení při creepové zkoušce s měřenou deformací a rychlost stacionárního tečení při zkoušce SPCT.

Vyjádrění korelačního vztahu mezi zatížením F zkoušky SPCT (FSP) a napětím σ při creepové zkoušce lze vyjádřit vztahem:

$$\frac{F}{\sigma} = 3,33 \cdot k_{SP} \cdot R^{-0,2} \cdot r^{1,2} h \quad (2)$$

kde R je poloměr spodní matrice, do níž je vzorek vtlačován, r je poloměr indentoru nebo kuličky, $h0$ je tloušťka vzorku a k_{SP} je konstanta charakterizující plasticitu materiálu.

Ve zjednodušené podobě a pro identickou tloušťku vzorku tento vztah nabývá tvaru:

$$\frac{F}{\sigma} = \Psi \quad (3)$$

Hodnota konstanty v této rovnici se pohybuje obvykle v rozmezí asi 1,2 až 2,5 pro většinu ocelí.

4. Creepová odolnost oceli P92 hodnocená pomocí SPCT testů

Ocel P92 je představitelka komerčně úspěšné značky nové generace 9% Cr modifikovaných ocelí. Oproti oceli P91 je legována navíc wolframem a borem a v současnosti se používá zejména na parovody a komory parních kotlů vysokých výkonů a USC kotlů.

Pro stanovení korelačního vztahu mezi creepovými zkouškami a zkouškami SPCT byl použit materiál z kruhového výkovku, jehož chemické složení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 1 a 2. Samotný creepový experimentální program probíhal jednak na creepových zkouškách do lomu s kruhovým průřezem při teplotách 550, 600 a 650 °C, jednak paralelně na SPCT zkouškách – vzorcích diskového tvaru o \varnothing 8 mm a tloušťce 0,5 mm při teplotách 625 a 650 °C. Graficky jsou výsledky creepových zkoušek do lomu ukázány na obr. 3 ve tvaru závislosti doby do lomu na napětí a teplotě a včetně srovnání se středními hodnotami meze pevnosti při tečení, jak je pro ocel P92 definována v materiálové normě [20]. Obr. 4 ukazuje křivku tečení získanou při SPCT zkoušce.

Obě série výsledků byly navzájem korelovány pomocí vztahu (3) Výsledky této empirické korelace spolu s křivkami, které jsou matematicko-statistickým vyjádřením této závislosti a s křivkami získanými podobným zpracováním klasických creepových zkoušek téhož materiálu z téže tavby při teplotě 650 °C, znázorňuje obr. 5.

Tab. 1 Chemické složení výkovku z oceli P92, (hm. %)

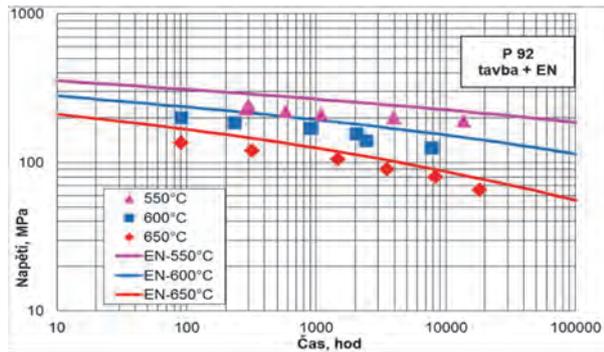
Tab. 1 Chemical composition of the forging made of the steel P92, (mass %)

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo
0,109	0,44	0,30	0,016	0,0026	8,86	0,404
W	V	Nb	Ti	Al	B	N
1,69	0,191	0,049	<0,004	0,0110	0,0033	0,0481

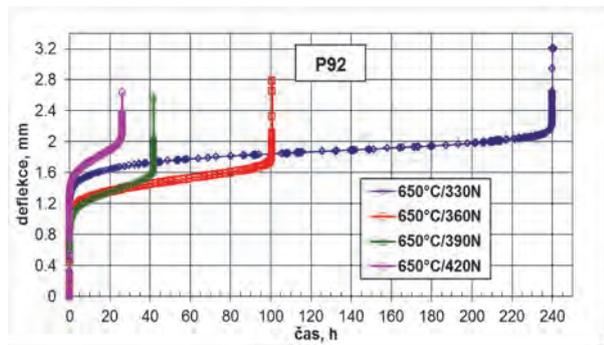
Tab. 2 Mechanické vlastnosti výkovku z oceli P92

Tab. 2 Mechanical properties of the forging made of the steel P92

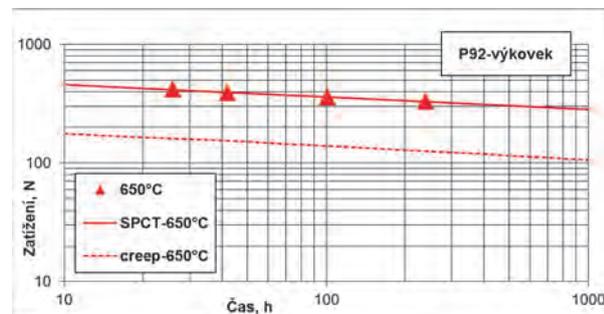
Teplota	R _{p0.2}	R _m	A ₅	Z	KV
°C	MPa		%		J
+20	477	667	24,5	62,8	109
350	410	531	18,8	62,8	-



Obr. 3 Teplotně-časová závislost doby do lomu výkovku z oceli P92
Fig. 3 Temperature and time dependence of the time to rupture of the forging made of the steel P92



Obr. 4 Křivky časového rozvoje tečení materiálu výkovku z oceli P92 získaná při teplotě 625 °C pomocí SPCT zkoušek
Fig. 4 SPCT curves of the forging made of the steel P92 at the temperature of 625 °C



Obr. 5 Výsledky creepových a SPCT zkoušek výkovku z oceli P92 a jejich srovnání s výsledky zkoušek creepu téže oceli
Fig. 5 SPCT results of the forging made of the steel P92 and their comparison with the creep tests of the same steel

Při výpočtu hodnoty součinitele k_{SP} z rovnice (2) a konstanty Ψ z rovnice (3) byly srovnávány velikosti napětí a zatížení pro identické doby do lomu v rozmezí časů 10 až 1 000 hodin. V tomto časovém rozmezí pro daný experiment platí, že $k_{SP} = 1,78$ a $\Psi = 2,58$. Aktuální koeficient k_{SP} je vyšší než byla jeho hodnota pozorována u oceli na bázi 9 % Cr, kde se jeho hodnota pohybovala okolo 1,2 [21]. Naopak velmi dobrá shoda je u koeficientu Ψ , který byl naměřen ve výši 2,85 [22].

Závěr

Vývoj zárupevných materiálů i metod jejich zkoušení je již historicky veden požadavkem na zvýšení účinnosti

i životnosti energetických, resp. chemických zařízení. V souvislosti s prodlužováním ekonomické životnosti a spolehlivosti parních kotlů se využívá mnoha metod pro stanovení zbytkové životnosti a s výhodou se aplikují ty, které dokážou minimalizovat zásah do integrity součástí. Příklad hodnocení creepových charakteristik oceli P92 pomocí metody SPCT ukázal jednu z perspektivních metod a směrů tohoto vývoje.

Poděkování

Výsledek výzkumu, vývoje a inovací byl dosažen s využitím institucionální podpory na rozvoj výzkumné organizace poskytované „Ministerstvem průmyslu a obchodu“.

Tato práce vznikla při řešení projektu č. LO1203 "Regionální materiálově technologické výzkumné centrum - program udržitelnosti" financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Literatura

- [1] MASUYAMA, F. Steam Plant Material Developments in Japan. In *Materials for Advanced Power Engineering*, 1998, Part III, J. Lecomte-Beckers et al. (eds), Forschungszentrum Juelich, 1998, pp. 1807–1824.
- [2] ROBERTSON, J. M., NICHOLS, R. W. High-temperature Mechanical Properties of Steels Used in Gas-cooled Reactor Pressure Vessels. *Steels for reactor pressure vessels circuits. I.S.I. Spec. Report No 91*. The Iron and Steel Institute, 1961, pp. 14–39.
- [3] FOLDYNA, V., KUBOŇ, Z., SCHELLONG, T., KÜBEL, Z. How to Improve Creep Rupture Strength of Microalloyed Steels. In *Metal 2001*, Tanager, Ostrava, 2001. CD-ROM.
- [4] DESHAYES, F., BENDICK, W., HAARMANN, K., VAILLANT, J.C. *New 2–3% Cr steel grades for water wall panels and superheaters*, part I, J. Lecomte-Beckers et al. (eds), Forschungszentrum Juelich, 1998, pp. 501–510.
- [5] FUJITA, T., TAKAHASHI, N. Effect of Mo and W on Long Term Creep Rupture Strength of 12%Cr Heat-resisting Steel Containing V, Nb and B. *Transactions ISIJ*, 18 (1978) 115–124.
- [6] SIKKA, V. K., WARD, C. T., THOMAS, K. C. Modified 9Cr-1Mo Steel – an Improved Alloy for Steam Generator Applications. In *Ferritic Steels for High Temperature Applications*, Ed. A. K. Khare, ASM, 1983. p. 65.
- [7] MASUMOTO, H., SAKAKIBARA, M., TAKAHASHI, T., SAKURAI, H., FUJITA, T. Development of a 9%Cr-Mo-W Steel for Boiler Tubes. In *1st International EPRI Conference on Improved Coal-Fired Plants*, Palo Alto/USA, Electric Power Research Institute, 1986.
- [8] ORR, J., BUCHANAN, L. W., EVERSON, H. The Commercial Development and Evaluation of E911, a Strong 9%CrMoWVNbN Steel for Boiler Tubes and Headers. In *International Conference Advanced Heat Resistant Steels for Power Generation*, San Sebastian, Spain, Electric Power Research Institute Palo Alto CA, April 1998.
- [9] ISEDA, A., SAWARAGI, Y., KATO, S., MASUYAMA, F. Development of a New 0.1C–11Cr–2W–0.4Mo–1Cu Steel for Large Diameter and Thick Wall Pipe for Boilers, In *5th International Conference on Creep of Materials*, Lake Buena Vista, Florida, USA, ASM International, Materials Park, Ohio, May 1992.
- [10] HALD, J., DANIELSEN, H. K. Z-phase Strengthened Martensitic 9-12%Cr steels. In *3rd Symposium on heat resistant steels and alloys for high efficiency USC power plants*, Tsukuba, Japan: National Institute for Materials Science, 2009.
- [11] ABE, F., KERN, T. U., VISWANATHAN, R. *Creep-resistant Steels*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2008, 678 s. ISBN 978-1-84569-178-3.

- [12] LIŠKA, M., VODÁREK, V., SOBOTKOVÁ, M., SOBOTKA, J. Precipitation Behaviour and Creep Rupture Properties of CrNi(Mo)N Austenitic Steels. In. *2nd Int. Conf. High Nitrogen Steels HNS 90*. Aachen. s. 78–83.
- [13] TOSSEY, B., KHAN, H., ANDERS, T. Steam Oxidation Resistance of Shot Peened Austenitic Stainless Steel Superheater Tubes, *NACE CORROSION 2011*. Houston, TX. (Paper 11186).
- [14] ANDARADE, A. N. On the Viscous Flow in Metals, and Allied Phenomena. *Proceedings of the Royal Society, A*, 84 (1910) 1, 1–12.
- [15] HÄTFIELD, W. H. Heat Resisting Steels. *J. Iron Steel Inst.* 115 (127), 483–522.
- [16] GLEN, J. *The Problem of the Creep of Metals*. Birmingham: Kynoch Press, 1968. 126 s.
- [17] MANAHAN, M. P., ARGON, A. S., HARLING, O. K. The Development of a Miniaturized Disc Bend Test for Determination of Post Irradiation Mechanical Properties. *Journal of Nuclear Materials*, 103&104, North-Holland Publishing Company, 1981, pp. 1545–1550.
- [18] CEN Workshop Agreement CWA 15627 „Small Punch Test Method for Metallic Materials“, December 2007.
- [19] BICEGO, V., LUCON, E., CRUDELI, R. Integrated Technologies for Life Assessment of Primary Power Plant Components. In *Int. Symp. on Materials Ageing and Component Life Extension*, Eds. Bicego, Nitta and Viswanathan, 1995, EMAS, Vol. 1, pp. 295–305.
- [20] ČSN EN 10 216-2 Bezešvé ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení – Technické dodací podmínky, část 2: Trubky z nelegovaných a legovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při zvýšených teplotách. ČNMT. září 2003.
- [21] HURST, R. C., MATOCHA, K. A Renaissance in the Use of the Small Punch Testing Technique. PVP 2015, In *Pressure Vessels & Piping Conference: New Frontiers in Pressure Vessels and Piping*, July 2015. Boston. Park Plaza, Massachusetts, USA.
- [22] DOBEŠ, F., MILIČKA, K. Small Punch Testing of P91 Steel. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 83 (2006), 625–634.

Počet zakázek klesá, dodávky posilují

Focus Rostfrei

29.03.2016

Data o příchodu nových zakázek u německých výrobců nerezových ocelí, zveřejněná naposledy na tomto místě v lednu, byla zřejmě méně zatěžující, než bylo myšleno. Lednový výsledek byl mezitím revidován, a sice na 55 000 tun. V únoru byly registrované objednávky vyčísleny na 51 200 tun. Na celkové situaci se tím ale nic nemění. V dřívějších dobách se přísun zakázek v tomto období pohyboval kolem 150 000 tun. Mezitím dodávky z německé výroby nerezů v lednu tohoto roku posílily o 4,5 % ve srovnání s lednem 2015. Zajímavé je, že austenitické druhy se vyvíjely podstatně lépe než ferritické.

Zisk Dillinger Hütte se propadá

Saarbrücker Zeitung

06.04.2016

Evropští výrobci hrubých plechů, jako je Dillinger Hütte, očekávají na základě realizace antidumpingových opatření ze strany Evropské komise ve druhé polovině letošního roku poněkud zlepšenou situaci. Zatím zaznamenává Dillinger Hütte v běžícím roce agresivní vytlačovací soutěž. Přesto podnik zahájil rok s dobrým vytížením a očekává v roce 2016 celkově odbyt na úrovni předcházejícího roku. Díky příznivé surovinové situaci a úsporným opatřením se v roce 2015 Dillinger Hütte podařilo i přes pokles obrátu dosáhnout operativního zisku, řekl mluvčí koncernu na výroční tiskové konferenci. Konsolidovaný výsledek Ebitda ale ležel se 118 miliony € pod úrovní roku 2014 (193 milionů €). Konsolidovaný obrát v roce 2015 klesl na 1,838 miliardy € ze 2 miliard o rok dříve.

Akcionáři Vallourec schválili navýšení kapitálu

Stahl Aktuell

07.04.2016

Akcionáři francouzského výrobce trub Vallourec schválili navýšení kapitálu o 1,0 miliardy €. Zvýšení kapitálu bude podpořeno oběma největšími akcionáři, francouzskou státní bankou Bpifrance a japonskou společností NipponSteel & Sumitomo Metal Corp. Po provedení schválených opatření budou oba největší akcionáři držet ve společnosti Vallourec po 15 % akcií.