

ZVYŠOVÁNÍ ODOLNOSTI PROTI NÁHLÝM ZMĚNÁM TEPLoty U NÍZKOCEMENTOVÝCH ŽÁROBETONŮ

Ing. Nad'a Pávková
Průmyslová keramika, spol. s r.o., Rájec-Jestřebí

1. Úvod

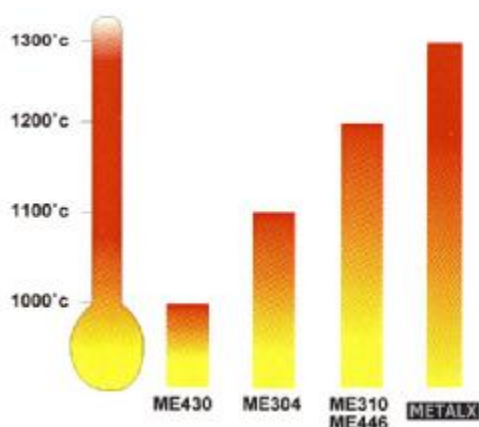
Žárovzdorné vyzdívky bývají často vystavené rychlému střídání teplot. Při velkých teplotních rozdílech dochází ve struktuře materiálu k velkému mechanickému napětí a následnému porušení vyzdívky. Vzhledem k tomu, že napětí závisí na velikosti celistvé plochy a tloušťce vyzdívky, je tento problém důležitější u žárobetonových vyzdívek než u vyzdívek skládaných z pálených cihel (menší rozměry umožňují hustou síť dilatačních spár, materiál je již vypálený na teplotu použití).

Velmi důležitým opatřením proti porušení žárobetonové vyzdívky v těchto podmínkách je dobře navržená skladba vyzdívky s vhodně umístěnými dilatačními spárami nebo omezením velikostí prefabrikovaných monolitických bloků .[1]

Dalším předpokladem je použití žárobetonu odolného vůči náhlým teplotním změnám. Jeho kvalita závisí na odolnosti materiálu vůči vzniku trhlin (crack initiation) a odolnosti proti šíření trhlin (crack propagation).

ODOLNOST proti vzniku trhlin mají materiály:

- **s vysokou pevností v tahu.** Kromě použití žárobetonů s vysokou pevností v tahu je možné zvýšit pevnost v tahu přidáním kovových jehliček do žárobetonové směsi. Působí jako ocelová armatura žárobetonu. Nevýhodou je jejich postupná oxidace,



která závisí na době a na teplotě použití. Běžné ocelové výztuže jsou vhodné do prostředí s max. teplotou 1150°C, výztuže z lepších ocelí až do teploty 1300°C.(Obr.1)

Obr.1 Druhy kovových vláken pro žárobetonové směsi

- **s vysokou tepelnou vodivostí.** Tato vlastnost kompenzuje vysoký teplotní gradient v materiálu. Dochází k rychlému vyrovnávání teploty v různých částech vyzdívky, a to dříve, než dojde k jejímu porušení (materiály na bázi SiC) .

- žárobetony, jejichž majoritní složku (kamenivo) tvoří **suroviny s nízkým koeficientem teplotní roztažnosti** (křemenné sklo, kordierit). Nízká teplotní roztažnost zajistí v průběhu teplot minimální délkové změny materiálu. U křemenného skla však nad teplotou 1150°C dochází ke krystalizaci cristobalitu a následně ztrátě původních vlastností (**zejména** nízkého koeficientu teplotní roztažnosti)[3]. Nevýhodou těchto materiálů je tedy nižší teplota použití.(Tab.1)

Tab.1 Druhy neztekucených žárobetonových směsí se surovinami s nízkým koeficientem teplotní roztažnosti

název		NOVOBET Q-B	NOVOBET Q-H	MEBET 1300-COR	NOVOBET 1350-COR (0-3)
surovina		křemenné sklo	křemenné sklo	kordierit	kordierit
Klasifikační teplota (°C)		1300	1350	1300	1350
Pevnost v tlaku (Mpa)	110°C	20	35	90	60
	800°C	30	55	90	90
		35(1000°C)	45(1100°C)	80(1300°C)	110(1350°C)
Trv. délkové změny (%)	800°C	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3
		-0,2(1000°C)	-0,3(1100°C)	-0,8(1300°C)	-0,6(1350°C)
Zdánlivá pórovitost (%)	800°C	12	13,5	21	14
		14(1000°C)	14(1100°C)	22(1300°C)	16(1350°C)

ODOLNOST proti šíření trhlin mají materiály

Všeobecně je žádoucí pomalé rozšiřování trhlin. Jednou z možností je **úprava zrnitosti** žárobetonové směsi. Hrubé frakce brání šíření trhlin. Omezené množství matrixu má podobný účinek, stejně jako snížení obsahu cementu v žárobetonové směsi [2]. V současné době jsou v nabídce naší firmy **neztekucené** žárobetony (Tab.2), se sníženým obsahem cementu. Tyto žárobetony však mají i nevýhody klasických žárobetonů – pokles pevností při středních teplotách a nízkou korozní odolnost.

Cílem této práce je zvýšit odolnost vůči teplotním změnám u **ztekucených** žárobetonů s nízkým obsahem cementu (LCC žárobetonů) a to především pro teploty použití nad 1200°C. Rozšířili bychom tak nabídku pro aplikace vyžadující vysoké pevnosti (vyzdívky pecních vozů) a odolnost vůči korozi a erozi (spalovací agregáty- cementářské pece, kotle na spalování biomasy). Jedním z možných řešení je vytvoření **heterogenní struktury** [2]. Do žárobetonové směsi se přidá malé množství suroviny s rozdílnou teplotní roztažností než jakou má jeho základní surovina. Mělo by dojít k vytvoření mikrotrhlinkové struktury, která zamezí dalšímu šíření trhlin a následné destrukci vyzdívky.

Tab.2 Druhy neztekucených žárobetonových směsí se sníženým obsahem cementu

název		ŽÁROBET 1450-HT	ŽÁROBET 1550-HT	ŽÁROBET 1700-HT
surovina		šamot	vysoce hlinitý šamot	tabulární oxid hlinitý
Klasifikační teplota (°C)		1450	1550	1700
Pevnost v tlaku (Mpa)	110°C	50	30	50
	800°C	45	25	45
		55(1450°C)	50(1500°C)	65(1500°C)
Trvalé délkové změny (%)	800°C	-0,2	-0,1	-0,2
		-0,6(1450°C)	1,0(1500°C)	0,5(1500°C)
Zdánlivá pórovitost(%)	800°C	25	26	24
		21(1450°C)	21(1500°C)	24(1500°C)

2. Metody pro testování odolnosti žárobetonů vůči náhlým teplotním změnám.

Základem je ohřev zkušebního tělesa na určitou teplotu a jeho následné rychlé zchlazení.

Destruktivní metody: dříve běžně používaná metoda dle německé normy DIN 51068-1[4] (zkušební tělesa: válečky o průměru 50mm, cykly ohřevu na teplotu 950°C a ochlazování vodou) byla nahrazena evropskou normou ČSN P CEN/TS 993-11 [5]. Podle této normy se zkouší na trámčích o velikosti 114×64×64 mm, které se zahřejí na 950°C, ochlazují se silným proudem vzduchu a ochlazené se zatěžují v ohybu v tříbodovém uspořádání (0,3 MPa). Cyklus se opakuje do porušení vzorku (max.30 cyklů). Používání této normy v praxi se zatím příliš nerozšířilo.

Nedestruktivní metoda je založená na stanovení dynamického modulu pružnosti materiálu (norma ASTM C1259-01 [6]) a jeho změně před a po ochlazení zkušebního tělesa. Dynamický modul pružnosti se vypočítá ze vztahu

$$E_{\text{dyn}} = 0,9465 \cdot 10^3 \frac{m \cdot l^3}{b \cdot t^3} f^2 \cdot T$$

E_{dyn} ... dynamický modul pružnosti tělesa (GPa)

l ... délka tělesa (mm)

b ... šířka tělesa (mm)

t ... výška tělesa (mm)

f ... rezonanční frekvence tělesa (kHz)

T ... korekční faktor, závisí na tloušťce tělesa

3. Zkoušky

V našem případě jsme zvolili kombinaci těchto metod. Ze žárobetonových směsí byly zhotoveny trámečky (150mmx25mmx25mm) a vypáleny na požadovanou teplotu s výdrží 5

hodin. Poté byl stanoven dynamický modul pružnosti. Vzorky byly temperovány na 950°C a ochlazeny vodou. Po vysušení byl opět stanoven dynamický modul pružnosti. Žárově odolné směsi vůči náhlým změnám teploty by měly mít malý pokles modulu pružnosti. Vzhledem k dosud neověřenému postupu nedestruktivní zkoušky jsme zvolili srovnání s destruktivní metodou (počet cyklů až do porušení vzorků, max.100).

Referenčním materiálem byl nízkocementový žárobeton na bázi objemově stabilního páleného kaolinového ostřiva(L). S ním jsme srovnávali LCC žárobeton upravený přidáním kovových drátků (L2,L4,L2X) a heterogenizujícími přísadami (LA,LO) (Tab.3) . Současně jsme testovali i další žárobetonové směsi, které naše firma již pro tuto oblast použití nabízí:ŽÁROBET 1450-HT, ŽÁROBET 1550-HT, ŽÁROBET 1700-HT, NOVOBET Q-H, NOVOBET 1350-COR (0-3), MEBET 1300-COR (Tab.5).

Tab.3 Složení ztekucených LCC žárobetonových směsí

surovina	L	L2	L4	L2X	LA	LO
	hm%	hm%	hm%	hm%	hm%	hm%
Pálený kaolin	65	65	65	65	65	65
Jemně mletý šamot	14	14	14	14	12	12
Reaktivní oxid hlinitý	8	8	8	8	7	7
Hlinitanový cement 71% Al ₂ O ₃	7	7	7	7	7	7
Komplexní přísada	5	5	5	5	5	5
Drátky FS446		2	4			
Drátky FSX				2		
heterogenizující anorganická přísada A					3	
heterogenizující organická přísada O						3

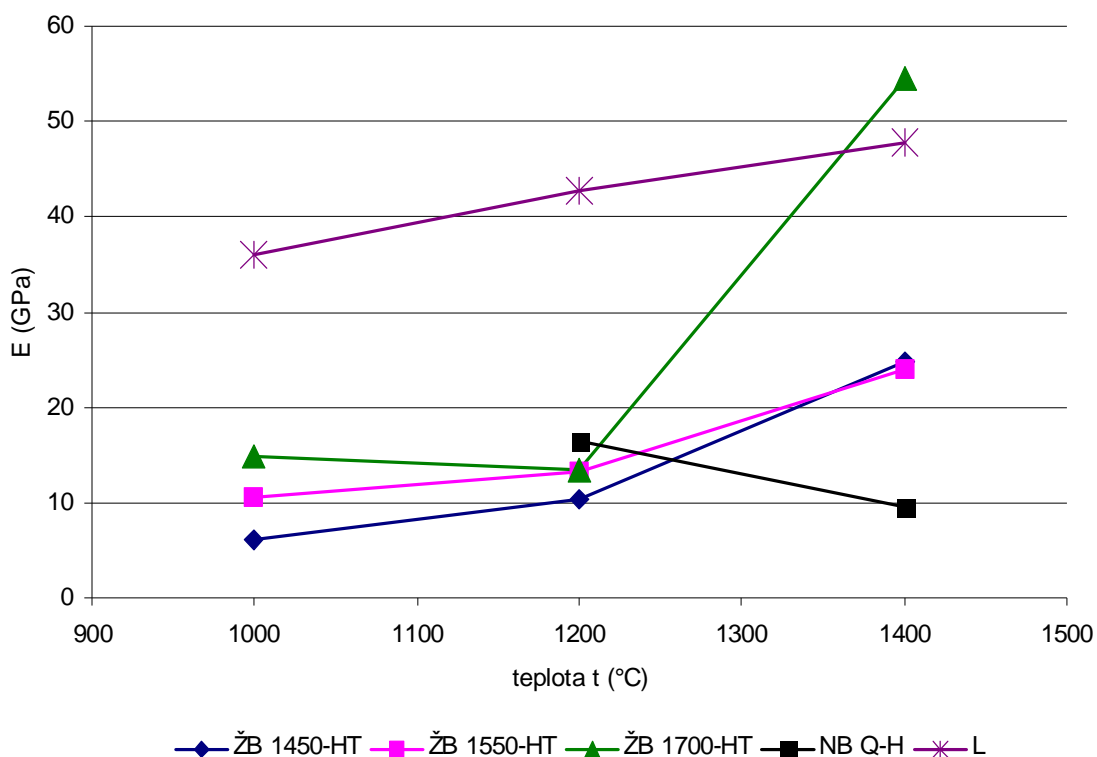
Poměr dynamických modulů pružnosti zkušebního tělesa před a po náhlé změně teploty je jen jedním z možných hodnotících kritérií nedestruktivní metody. Dalším kritériem je poměr pevnosti v tahu a dynamického modulu pružnosti. Čím je vyšší, tím je žárobeton pro dané podmínky vhodnější. Vzhledem k nedostatečné vybavenosti naší laboratoře jsme tuto zkoušku neprováděli.

Jako teplota vhodná pro testování upravených žárobetonových směsí byla vybrána teplota 1200°C. Při této teplotě ještě nedochází ke slnutí vazby a mohou se plně projevit účinky heterogenizujících přísad. Z důvodu tvorby heterogenní struktury bylo testováno více přísad, z kterých byly vybrány dvě nejvhodnější (A,O). Pro srovnání jsou v tabulkách uvedeny i výsledky destruktivní zkoušky u zkušebních těles vypálených na teplotu blízkou se klasifikační teplotě testovaných žárobetonů (1400°C).

4. Vyhodnocení

Každá žárobetonová směs má jiný dynamický modul pružnosti, který závisí na kvalitě žárobetonu. Ztekucené LCC žárobetony mají dynamický modul pružnosti větší než obyčejné žárobetony (graf A).

Graf A Dynamické moduly pružnosti různých druhů žárobetonů E (GPa) v závislosti na teplotě



Zkoušené přísady pro heterogenizaci struktury žárobetonu zvýšily odolnost testovaného žárobetonu vůči teplotním změnám. Stejně tak byl ověřen i pozitivní vliv přídavku kovových drátků, které zvyšují pevnost v tahu (Tab.6). Pro porovnání jsou uvedeny také výsledky odolnosti proti teplotním změnám u v současnosti nabízených žárobetonů (Tab.5) Zde jsou potvrzeny předpoklady, že materiály s menší změnou dynamického modulu pružnosti před a po náhlém ochlazení (E/E_s) mají delší dobu životnosti (NOVOBET Q-H, NOVOBET 1350-COR (0-3), MEBET 1300-COR). Výsledky na teplotě 1400°C potvrdily negativní vliv slinování vazby. (ŽÁROBET1450-HT)

Tab.5 Výsledné parametry současných neztekucených žárobetonových směsí odolných vůči náhlým teplotním změnám(1200°C/5h)

		ŽÁROBET 1450-HT	ŽÁROBET 1550-HT	ŽÁROBET 1700-HT	MEBET 1300-COR	NOVOBET 1350-COR (0-3)	NOVOBET Q-H
surovina		šamot	vysoce hlinitý šamot	tabulární oxid hlinitý	kordierit	kordierit	křemenné sklo
Klasifikační teplota (°C)		1450	1550	1700	1300	1350	1350
OH	kg.m ⁻³	2050	2135	2830	1850	2030	1890
Pt	MPa	27	42	76	33	89	36
TDZ	%	-0,73	-0,29	+0,09	-0,08	-0,29	-0,36
ZP	%	26,7	25,5	25	21	14	13,5
E *)	GPa	10,4	13,02	13,4	14,57	23,85	16,4
E _š **)	GPa	4,72	7,36	7,0	9,5	16,7	13,4
E/E _š		2,2	1,77	1,91	1,53	1,43	1,22
E _{100š} ***)	GPa	-	-	-	4,65	8,03	4,69
E/E _{100š}		-	-	-	3,2	3,03	2,85
Počet cyklů ^{x)}	trámečky	23	17	25	100	100	100
	válečky	50	netest	netest	50	50	50
	válečky ^{xx)}	21	netest	netest	netest	netest	netest

*)Dynamický modul pružnosti před náhlou teplotní změnou

**) Dynamický modul pružnosti po náhlé teplotní změně

***) Dynamický modul pružnosti po 100 cyklech náhlých teplotních změn

x) dle normy DIN 51068-1

xx) zkušební vzorky vypálené na teplotu 1400°C/5h

Tab.6 Výsledné parametry ztekucených LCC žárobetonových směsí (1200°C/5h)

		L	L2	L4	L2X	LA	LO
Surovina		Pálené kaolinové ostřívo					
OH	kg.m ⁻³	2300	2395	2370	2370	2270	2185
Pt	MPa	92	135	175	160	72	65
TDZ	%	-0,47	-0,35	-0,47	-1,1	-0,37	-0,38
ZP	%	11,5	7,8	15,7	12,0	13,2	15,8
E *)	GPa	43,9	43,3	30,9	40,9	36,5	35,9
E _š **)	GPa	18,0	23,8	22,5	23,8	22,4	20,6
E/E _š		2,44	1,82	1,37	1,76	1,63	1,74
E _{70š} ***)	GPa	-	-	-	-	8,02	6,26
E/E _{70š}		-	-	-	-	4,47	5,57
Počet cyklů ^{x)}	trámečky	8	43	56	52	70 ⁺	70 ⁺
	válečky	50	netest	netest	netest	50	50
	válečky ^{xx)}	18	netest	netest	netest	33	43

***) Dynamický modul pružnosti po 70 cyklech náhlých teplotních změn

⁺) prozatímní výsledky

5. Aplikace

V současné době jsou z upravených žárobetonových směsí vyrobeny žárobetonové monolitické vyzdívky a tvarovky a následně zkoušeny :

- a) v topeništích kotlů na spalování dřeva, slámy a dřevní štěpky u kotlů s výkonem 800KW-2,5MW převážně v místech kde dochází ke kolísání teplot nebo častým odstávkám zařízení
- b) v kotlech na dřevoplyn (žárobetonové tvarovky)
- c) v žíhacích a ohřívacích metalurgických pecích (podkladky)
- d) v tunelové peci na výpal šamotu (rohy pecních vozů). V současné době jde o nejdéle provozované zařízení s upravenými žárobetony a překonává tak životnost původních pálených andaluzitových kamenů
- e) cementářský pecích
 - stropy a vstupy do chladiče, lemy chladičích roštů
 - vyzdívky „HOT-DISC“
 - tvarovka vhozu pneumatik

6. Závěr

Laboratorní zkoušky potvrdily vhodnost heterogenizace žárobetonových směsí přísadami s rozdílnou teplotní roztažností. Jejich přidávkem dojde k prodloužení životnosti vyzdívek z těchto materiálů. Na komplexní vyhodnocení stávajících provozních aplikací si budeme muset ještě počkat, neboť jde o časově náročné zkoušky. Nadále pokračujeme v této oblasti ve vývoji, ale již nyní můžeme nabídnout novou řadu ztekucených LCC žárobetonů pro rozsáhlejší provozní ověření.

Literatura:

- [1] Henek M. : Uplatnění žárobetonů vycházející z výsledků méně využívaných zkušebních metod, seminář Čejkovice 2007
- [2] Tomšů Fr.: Principy zvyšování odolnosti proti náhlým změnám teploty žáruvzdorných materiálů a možná aplikace na žáromonolity. Studie pro spol. s r.o. Průmyslová keramika Rájec-Jestřebí (2008)
- [3] Staroň J, Tomšů Fr.: Žiaruvzdorné materiály-výroba, vlastnosti, použitie (2000)
- [4] DIN 51 068-1 Bestimmung des Widerstandes gegen schroffen Temperaturwechsel
- [5] ČSN EN 993-11 Zkušební metody pro žáruvzdorné výrobky tvarové hutné - část 11: Stanovení odolnosti proti náhlým změnám teploty
- [6] ASTM C 1259-01 Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio for Advanced Ceramics by Impulse Excitation of Vibration