

Laboratorní a výpočetní metody

STANOVENÍ TEPLOTNÍ VODIVOSTI PLAZMOVĚ NANESENÝCH POVLAKŮ Al_2O_3 NA OCELOVÉ PODLOŽCE

ALEXANDRA RUDAJEVOVÁ

Ústav fyziky plazmatu ČSAV, Pod vodárenskou věží 4, 182 11 Praha 8,

Došlo 29. 12. 1987

V práci je popsána metodika stanovení teplotní vodivosti dvourstevnatých materiálů zábleskovou metodou. Metodika je použita ke stanovení teplotní vodivosti plazmově naneseného Al_2O_3 na ocelové podložce při pokojové teplotě. Tloušťky sledovaných povlaků byly 0,22—1,38 mm, tloušťka podložky okolo 3 mm. Povlaky malých tlouštěk vykazují vyšší hodnotu teplotní vodivosti než povlaky silnější. Od hodnoty tloušťky povlaku asi 0,4 mm zůstává teplotní vodivost přibližně stejná.

ÚVOD

V poslední době přichází stále více do popředí ochrana materiálů plazmově nanesenými povlaky. Jedním z použití je tepelná ochrana materiálu. V tomto případě se používá žárovzdorných oxidových materiálů, jejichž tepelná vodivost je již v kompaktní formě nízká. Patří mezi ně Al_2O_3 , ZrO_2 a ZrSiO_4 s různými příměsemi i bez nich. Cílem této práce byla konstrukce aparatury, která by dovolila měřit teplotní vodivost těchto povlaků. Byla zvolena záblesková nestacionární aparatura, protože u této metody je již vypracováno měření pro dvě a tři vrstvy. Při volbě této aparatury není třeba vyrábět samonosné vzorky, které musí být tlustší, než užívané ochranné povlaky. Při měření teploty má tato metoda velkou výhodu v možnosti připevnění termočlánku na kovovou podložku. Připevnění termočlánku na porézní keramický materiál je velkým problémem. Prvním krokem bylo otestování aparatury na homogenních materiálech a potom proměření teplotní vodivosti povlaků Al_2O_3 různých tlouštěk při pokojové teplotě.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Ke stanovení teplotní vodivosti bylo použito zábleskové metody, která je metodou nestacionární. Měření teplotní vodivosti je zde založeno na měření teploty a času. Metoda byla poprvé opublikována v roce 1961 Parkerem a spol. [1] a jako známá „flash“ metoda brzy našla široké uplatnění. Princip metody je založen na ozáření diskovitého vzorku krátkým pulsem záření z jedné (čelní) strany vzorku, přičemž na zadní straně je sledována časová závislost teploty. Jako zdroj záření užili autoři původně Xe-pulsní výbojky, dnes se užívá převážně laseru; objevily se i práce s využitím elektronového svazku. Doba pulsu záření se pohybuje okolo 1 ms. Teplotní vodivost a pro homogenní materiály se vypočte podle vztahu:

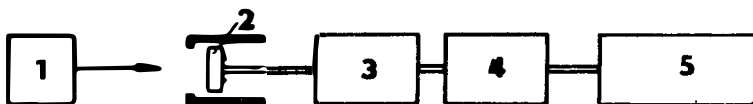
$$a = 0,1388 \cdot l^2 \cdot t_{1/2}^{-1}, \quad (1)$$

kde l je tloušťka vzorku a $t_{1/2}$ je čas, za který je dosažena polovina maximálního vzrůstu teploty na zadní straně vzorku. Metoda byla velmi podrobně rozpraco-

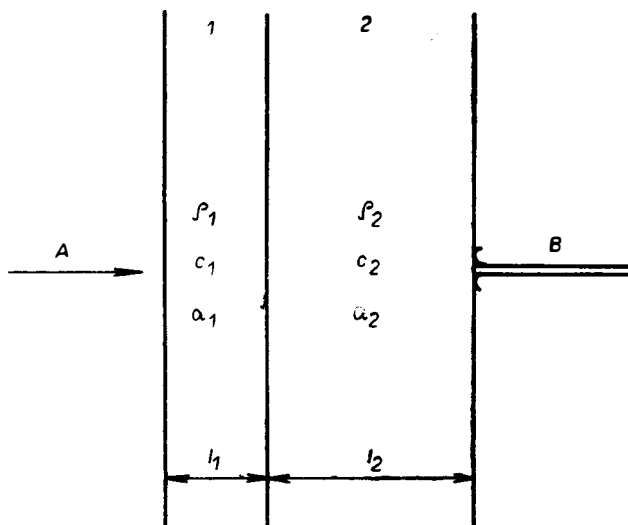
vána i pro vysoké teploty (3 000 K) [2]. Popularita metody s sebou přinesla množství prací, zabývajících se podrobným rozbořem možných chyb měření, který je možné nalézt např. v pracích [3, 4, 5, 6]. Jedním ze základních požadavků metody je, aby doba pulsu t_p byla zanedbatelně malá proti difúznímu času, který je definován poměrem l^2/a . Pro zde použité ocelové vzorky tloušťky 3 mm vychází pro hodnotu difúzního času 0,6 s (což, jak bude patřno dále, je hodnota o hodně větší než doba pulsu ozáření).

V uspořádání, ve kterém byly naměřeny výsledky této práce, bylo jako zdroje záření užito Xe-pulsní výbojky s délkou pulsu 1,2 ms. Výbojka byla bez optického systému a vzorek byl vzdálen od výbojky asi 1 cm. Ozáření za těchto podmínek vedlo k ohřevu o asi 2 K. Na zadní, neozářené straně vzorku byl přivařen termočlánek chromel—alumel \varnothing 0,15 mm. Napětí z termočláneku bylo vedeno přes zesilovač a AD převodník do počítače SAPI 1. (Blokové schéma aparatury je na obr. 1.)

Jak je patřno ze vztahu (1), je ke stanovení teplotní vodivosti homogenních materiálů potřebná znalost pouze tloušťky vzorku a tzv. poločasu. Stanovení teplotní vodivosti jedné vrstvy dvouvrstevnatého materiálu je podstatně složitější záležitostí. Poprvé byl tento problém řešen matematicky Larsonem a Koyamou [7]. Na obr. 2 je znázorněn model vrstevnatého vzorku.



Obr. 1. Blokové schéma aparatury; 1 — Xe pulsní výbojka, 2 — vzorek, 3 — zesilovač, 4 — AD převodník a 5 — počítač SAPI 1.



Obr. 2. Model vrstevnatého vzorku pro vrstvu 1 a 2; A je puls energie ze Xe pulsní výbojky, B je termočlánek, q_1 a q_2 , c_1 a c_2 , l_1 a l_2 jsou měrné hmotnosti, měrné tepelné kapacity a tloušťky vrstev. a_2 je známá teplotní vodivost podložky a a_1 je hledaná teplotní vodivost.

Z teorie vyplývá, že pro výpočet teplotní vodivosti je nutná znalost měrných hmotností ρ_1, ρ_2 , měrných tepelných kapacit c_1, c_2 , tloušťek l_1, l_2 a teplotní vodivosti podložky a_2 . Pro poměrnou teplotu $V(t)$ v čase t platí pro zadní stranu vzorku vztah

$$V(i) = 1 - 2\gamma_2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{[1 - \exp(\beta_k^2/\gamma_2)] \cdot \exp(-\beta_k^2 t/U_2)}{\beta_k^2 \cos(\beta_k X) \cos(\beta_k) - \Omega(X) \sin(\beta_k X) \sin(\beta_k)}, \quad (2)$$

kde β_k je kladný kořen rovnice (3)

$$H \sin(\beta X) \cos(\beta) + X \cos(\beta X) \sin(\beta) = 0. \quad (3)$$

V dalších vztazích jsou popsány parametry užitě v rovnici (2).

$$X = (l_1/l_2) (a_2/a_1)^{1/2}, \quad (4)$$

$$\gamma_2 = l_2^2/a_2 t_p, \quad (5)$$

$$U_2 = \gamma_2 t_p, \quad (6)$$

$$H = \frac{\rho_1 c_1 l_1}{\rho_2 c_2 l_2}, \quad (7)$$

$$\Omega(X) = (X + H/X) (H - 1)^{-1}. \quad (8)$$

Po ozáření vzorku a zaznamenání teplotní odezvy na zadní straně vzorku probíhá výpočet na počítači SAPI 1. Během výpočtu se mění a_1 takovým způsobem, aby se dosáhlo nejlepší shody $V(t)$ s naměřenými hodnotami.

Postup měření homogenních materiálů je jednoduchý. Po ozáření čelní strany vzorku počítač zpracovává teplotní odezvu na zadní straně a při zadání tloušťky vypočte a . Tepelná vodivost $\lambda = a\rho c$, kde ρ je měrná hmotnost a c je měrná tepelná kapacita. Při měření vzorku složeného ze dvou vrstev jsou do počítače zadány hodnoty $\rho_1, \rho_2, c_1, c_2, l_1, l_2$ a a_2 a po ozáření přední strany vzorku počítač vypočte hodnotu a_1 .

Vzorky měly průměr 16 mm. Tloušťka homogenních vzorků byla od 2 do 5 mm podle druhu materiálu. Vrstevnaté vzorky byly složeny z ocelové podložky (ČSN 11 373), tloušťky $l_2 = 2$ až 3 mm a plazmově naneseného Al_2O_3 tloušťky $l_1 = 0,2$ až 1,38 mm. Termočlávkové dráty byly přivařeny přímo na kovovou podložku ve vzdálenosti asi 1 mm od sebe.

Povlaky Al_2O_3 byly nanášeny agregátem PAL 160, s vodní stabilizací, podávacím médiem byl vzduch za atmosférického tlaku. Prášek Al_2O_3 byl podáván rychlostí 23 kg za hodinu, přičemž vzdálenost vnášení prášku do plamene byla 25 mm. Nanášení bylo prováděno ručně, se vzdáleností ústí hořáku od vzorku 250 mm. Bylo použito bílého Al_2O_3 měrného rozměru zrna 50–63 μm , vyrobeného v Karborundu Benátky.

Výsledky

Teplotní vodivost patří k těm veličinám, jejichž měření je náročné. V literatuře nacházíme často velký rozptyl hodnot jednotlivých látek v závislosti na metodě. Proto bylo prvním krokem této práce otestování aparatury na čistých kovech, a to Cu, Ni a Fe Arema, jež by mělo být analogií západního Armco železa, kterého

se používá jako standardního materiálu pro stanovení tepelné vodivosti. Všechny výsledky byly získány při pokojové teplotě. Chemické složení testovacích kovů je v tabulce I.

Tabulka I
Chemické složení testovacích kovů v hmotnostních %

Prvek	Cu	Ni	Fe Arema
Fe	—	tisíciny—setiny	základ
Mn	—	stopy	0,24
C	—	—	0,062
Si	stopy	tisíciny	0,009
P	—	—	0,020
S	—	—	0,035
Cr	tisíciny—setiny	—	—
Ni	—	základ	—
Al	stopy	—	—
Cu	základ	stopy	0,12
Mg	—	stopy	—
Ca	setiny	setiny	—

V tabulce II jsou uvedeny výsledky získané měřením čistých kovů. V posledním sloupci tabulky jsou pro srovnání citovány literárně uváděné hodnoty. Pro železo, které je standardním materiálem, jsou uvedeny dvě hodnoty. V práci Zolotuchina a Peleckého [3] bylo složení ve váhových %: C — 0,035, Si — 0,12, Mn — 0,14, S — 0,025, P — 0,005 a Cu — 0,2. V práci [9], ze které je převzata druhá z hodnot, bylo složení: C — 0,011 9 až 0,012 7, Si — 0,004, Mn — 0,035, S — 0,020, P — 0,006 a Ni — 0,040. Vzhledem k tomu, že hodnoty teplotní vodivosti závisí na množství příměsí, je možné získané testovací výsledky považovat za dobrou shodu s literárními údaji. Po otestování aparatury čistými kovy mohlo být přistoupeno k měření vrstevnatých materiálů.

Tabulka II
Teplotní vodivost, tloušťka vzorků a poločas testovacích kovů

Kov	l [mm]	$t_{1/2}$ [ms]	a [cm ² · s ⁻¹]	a [cm ² · s ⁻¹] lit. data	literatura
Cu	4,97	28,6	1,18	1,17	[8]
Ni	2,0	26,8	0,207	0,226	[8]
Fe	2,71	55,1	0,185	0,180	[3]
				0,202	[9]

V popisu experimentální části bylo uvedeno, že pro výpočet teplotní vodivosti ozářené vrstvy, v našem případě vrstvy Al₂O₃, je nutné zadat do počítače kromě tloušťky obou vrstev měrné hmotnosti, měrné tepelné kapacity a teplotní vodivost podložky.

Tyto hodnoty jsou spolu s příslušnými citacemi zdrojů uvedeny v tabulce III.

Tabulka III

Parametry nutné pro výpočet teplotní vodivosti povlaku Al_2O_3

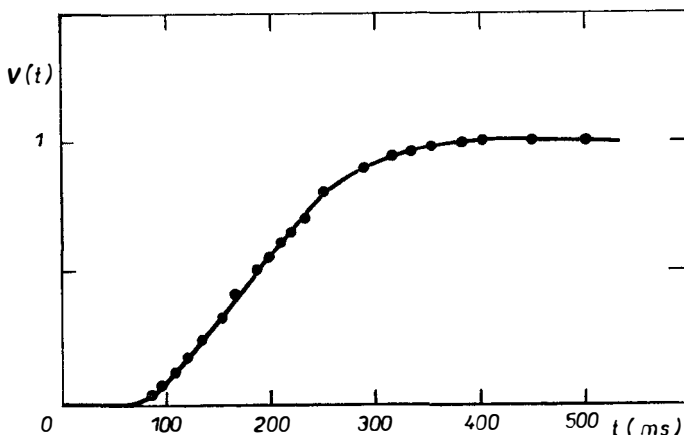
	ρ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]	c [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]	a_2 [$\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]	literatura
Al_2O_3	3 265	825		[10] [11]
ocel	7 800	450	0,153	[8] [8] měřeno zde

Po zadání uvedených hodnot do počítače byl každý vzorek ozářen 5–10krát a výsledná hodnota uvedená v tabulce IV je jejich průměrem. V tabulce IV je uvedena pouze přibližně tloušťka podložky, protože se měnila u jednoho vzorku pro každé měření při zabroušení a vyleštění plochy pro přivaření termočlánku. Každá hodnota teplotní vodivosti uvedená v tabulce se vztahuje k jiné poloze

Tabulka IV

Hodnoty teplotních vodivostí Al_2O_3 , l je tloušťka, a_1 teplotní vodivost a λ_1 tepelná vodivost

Vzorek	l_1 [mm]	l_2 [mm]	a_1 [$\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]					průměr	λ_1 [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
			1	2	3	4	5		
1	0,22	3	0,021 6	0,020 5	0,020 3	0,022 5	0,022 3	0,021 4	5,8
2	0,26	3	0,019 4	0,019 9	0,017 6	0,018 2	0,017 1	0,018 4	5,0
3	0,37	3	0,015 2	0,014 4	0,014 8	0,014 4	0,014 7	0,014 7	4,0
4	0,43	3	0,013 9	0,014 5	0,014 9	0,014 9	0,014 3	0,014 5	3,9
5	0,49	3	0,013 6	0,013 8	0,014 7	0,014 4	0,013 7	0,014 0	3,8
6	0,60	3	0,014 6	0,014 1	0,014 6	0,014 6	0,014 8	0,014 5	3,9
7	0,78	3	0,014 2	0,015 9	0,015 3	0,015 1	0,014 8	0,015 1	4,1
8	1,77	2	0,014 0	0,014 6	0,014 1	0,014 5	0,014 2	0,014 3	3,8
9	1,38	2	0,012 8	0,013 3	0,013 5	0,012 9	0,013 3	0,013 2	3,6



Obr. 3. Časová závislost relativní teploty na zadní straně vzorku (vzorek 6).

termočlátku na zadní straně vzorku. Z tabulky je patrný jistý rozptyl hodnot ν závislosti na poloze termočlátku. Aby byla vyloučena možnost nedokonalého a nereprodukovatelného spoje termočlánek — vzorek, bylo provedeno pět měření (tj. $5 \times$ změna polohy termočlátku) jenom s ocelovou podložkou silnou 2,98 mm. Nalezené hodnoty teplotní vodivosti byly 0,153, 0,153, 0,152, 0,154 a 0,152 $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Každá hodnota je průměrem 10 ozáření. Z tohoto výsledku lze usuzovat na to, že rozptyl hodnot teplotních vodivostí Al_2O_3 není důsledek špatného a nereprodukovatelného spojení mezi vzorkem a termočlátkem. Na obr. 3 je uvedena časová závislost teploty na zadní straně vzorku.

DISKUSE

Vzhledem k heterogenitě povlaku bylo provedeno u každého vzorku 5 měření v různých místech vzorku okolo jeho středu. Rozdíly teplotní vodivosti mezi jednotlivými polohami termočlátku činily nejvíce 8 % a jsou zřejmě důsledkem heterogenity povlaku, drsnosti povrchu i rozhraní. Z výsledků je patrné, že tyto rozdíly nejsou důsledkem špatného a nereprodukovatelného spoje termočlánek — vzorek. Z tabulky IV vyplývá, že nejvyšší hodnoty teplotní vodivosti jsou pro nejslabší povlaky. Od hodnoty asi 0,4 mm tloušťky povlaku se teplotní vodivost již téměř nemění.

Teplotní i tepelná vodivost úzce souvisejí se strukturou materiálu. U plazmově nanesených povlaků se nejvíce uplatňuje přítomnost pórů, které jsou zpravidla zaplněny vzduchem (tepelná vodivost vzduchu je při tlaku 0,1 MPa a teplotě 20 °C 0,025 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$). Snížení teplotní i tepelné vodivosti oproti kompaktnímu materiálu ($\lambda = 30 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) je tedy způsobeno převážně zvýšenou pórovitostí plazmově nanesených povlaků. V pórovitosti bude nutno také hledat důvod poklesu teplotní vodivosti s tloušťkou vrstvy. V práci [12] je uvedena závislost pórovitosti na tloušťce vzorku. Pro plazmově nanesený Al_2O_3 zde pórovitost s rostoucí tloušťkou roste. Plazmově nanesené povlaky Al_2O_3 jsou většinou tvořeny metastabilní γ -fází, podle způsobu přípravy může být zastoupena i α -fáze. Vztahem tepelné vodivosti a struktury se zabýval již v roce 1957 Ault [13], který zjistil, že γ -fáze má nižší tepelnou vodivost než α -fáze. Z novějších prací lze citovat práci Fiedlera [14], jehož podrobnější rozbor potvrzuje závěry práce Aulta. O tom, jaké bude zastoupení jednotlivých fází, rozhoduje tepelná historie částice od jejího vstupu do plazmatu až do doby dopadu na podložku a kinetika transformace γ - α fáze. Z tohoto hlediska je také nutno přistupovat ke vzájemnému srovnávání literárních a zde nalezeneých dat. V práci [15] byla pro vzorek silný 0,86 mm nalezena hodnota tepelné vodivosti 2,9 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Podrobnosti přípravy nejsou uvedeny. V práci Fiedlera byla pro vzorky (tloušťky 0,63 mm), které jsou složeny převážně z α -fáze Al_2O_3 nalezena při 50 °C hodnota tepelné vodivosti 6,35–9,9 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, u vzorků, kde převažovala γ -fáze a δ -fáze Al_2O_3 byly nalezeny hodnoty tepelné vodivosti 3,2–4,0 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Tyto nástřiky byly prováděny agregátem Metco 3MB-GH s výkonem 29 kW. Zde nalezené hodnoty pro nejsilnější vzorky jsou v dobré shodě s výsledky citované práce. K přesnější interpretaci by byla nutná znalost pórovitosti a analýza mikrostruktury.

ZÁVĚR

Byla vypracována metodika měření teplotní vodivosti homogenních a dvouvrstevných materiálů. Zkonstruovaná aparatura byla otestována na čistých kovech. Byla změřena teplotní vodivost povlaků Al_2O_3 při pokojové teplotě.

Literatura

- [1] Parker W. J., Jenkins R. J., Butler C. P., Abbott G. L.: *Journal of Applied Physics* 32, 9, 1679, (1961).
- [2] Taylor R.: *Science Instruments* 13, 1193, (1980).
- [3] Zolotuchin A. A., Peleckij V. E.: *Теплофизика высоких температур* 19, 6, 1266, (1981).
- [4] Heckman R. C.: *Thermal Conductivity*, New York, London, Plenum 14, 491, (1977).
- [5] Heckman R. C.: *Journal of Applied Physics* 44, 4, 1455, (1973).
- [6] Cape J. A., Lehman G. V.: *Journal of Applied Physics* 34, 7, 1909, (1963).
- [7] Larson K. B., Koyama K.: *Journal of Applied Physics* 39, 8, 4408, (1968).
- [8] Brož J., Roskovec J., Valouch M.: *Fyzikální a matematické tabulky*, SNTL (1980).
- [9] Shanks H. R., Klein A. H., Danielson G. C.: *Journal of Applied Physics* 38, 7, 2885, (1967).
- [10] Soukromé sdělení, Ing. Neufuss.
- [11] Touloukain Y. S.: *Thermophysical Properties of Matter, Specific Heat of Nonmetallic Solids* 5, (IFI/Plenum 1970) s. 25.
- [12] Gladkovskij V. A.: *FCHOM* 1, 62, (1968).
- [13] Ault N. N.: *Journal of American Ceramic Society* 40, 3, 69, (1957).
- [14] Friedler H. C.: *Materials Research Society Symposia Proceedings* 30, 173, (1984).
- [15] Mackay T. L., Muller A. N.: *Ceramics Bulletin* 46, 9, (1967).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДИМОСТИ
ПЛАЗМЕННО НАНЕСЕННЫХ ПОКРЫТИЙ Al_2O_3
НА СТАЛЬНОЙ ПОДКЛАДКЕ

Александра Рудаева

Институт физики плазмы ЧСАН, 182 11 Прага 8

Автором описывается аппаратура для измерения температуропроводности двухслойного материала, в данном случае плазменно нанесенного Al_2O_3 на стальной подкладке. Была собрана нестационарная экспериментальная установка для импульсных измерений, состоящая из источника Хе импульсной лампы, которой образец облучается. На задней стороне т. е. стальной подкладке наварен термоэлемент, из которого выходит сигнал через усилитель и АД преобразователь в вычислительную машину SAPI 1. Преимущество такого упорядочения заключается в возможности одновременного измерения обоих слоев и в возможности укрепления термоэлемента на металлической подкладке. После контроля аппаратуры на чистых металлах Cu, Ni и Fe Арема измеряли образцы, состоящие из слоев Al_2O_3 разной толщины и стальной подкладки. Из результатов следует, что тонкие покрытия до толщины 0,4 мм имеют более высокую величину температуропроводности, чем толстослойные образцы. Наибольшая толщина покрытий была 1,38 мм. Аппаратура полностью автоматизирована.

Рис. 1. Блок-схема аппаратуры.

Рис. 2. Модель слоистого образца.

Рис. 3. Временная зависимость относительной температуры на задней стороне аппаратуры.

DETERMINATION OF THERMAL DIFFUSIVITY OF PLASMA-SPRAYED
ALUMINA COATINGS ON STEEL

Alexandra Rudajevová

Institute of Plasma Physics, Czechoslovak Academy of Sciences, 182 11 Prague 8

An apparatus has been designed for measuring the thermal diffusivity of two-layer materials, in the present case plasma-sprayed alumina coatings on a steel base. The unstationary flash unit comprises a xenon flash lamp used to irradiate the specimen. A thermocouple welded to the rear

side of the steel base provides the signal which is amplified, and passed through an AD converter to the SAPI 1 computer for processing. The arrangement has the advantage of allowing both layers to be measured at the same time and the thermocouple to be attached to the metal base. After verifying the function of the apparatus on pure metals, i. e. Cu, Ni and Fe Arema, measurements were made on specimens with alumina coatings of various thicknesses on a steel base. The results indicate that thin coatings up to 0.4 mm in thickness have a higher thermal diffusivity than the thicker ones. Coatings up to 1.38 mm in thickness were measured. Operation of the apparatus is fully automatic.

Fig. 1. Block diagram of the apparatus.

Fig. 2. Model of a laminar specimen.

Fig. 3. Time dependence of relative temperature on the rear side of the specimen.

NOVÝ DRUH IZOLACE Z KERAMICKÝCH VLÁKEN, NANÁŠENÉ STRÍKÁNÍM, snižuje časovou ztrátu při odstavení pece o 75 %. Pod názvem Sprayfrax vyvinula firma Carborundum Resistant Materials GmbH, pošt. příhr. 160 260, 4 000 Düsseldorf 13, NSR, izolační materiál na bázi hlinitokřemičitých vláken s povlakem z pojiva, které je nanášeno na vlákna zčásti již při jejich výrobě. Tím se usnadní příprava na montážním místě a dosáhne se dlouhé životnosti izolační vrstvy. Zásadní předností je rychlost nanášení izolace. Tým dvou až tří pracovníků pokryje za 1 hodinu asi 100 m² stěny nebo 75 m² klenby pece vrstvou izolace o tloušťce 25 mm. Je možno izolaci stříkat přímo na ocelovou konstrukci, na žáruvzdorné zdivo nebo na dříve nanesenou izolační vrstvu z vláken. Stříkáním vytváří zplstněná monolitická vrstva, která má podobné vlastnosti jako vrstva z rohoží, má však nižší hmotnost a je odolnější vůči erozi horkými plyny. Izolace má nízké smrštění, pro druh Sprayfrax 1100 se udává 0,7 % za 168 hodin při 1100 °C. Materiál odolává většině chemikálií s výjimkou kyseliny fluorovodíkové, fosforečné a koncentrovaným roztokům alkálií. Stříkaná izolace je vyvinuta pro dlouhodobé použití do 1100 °C (označení Sprayfrax 1100) a do 1400 °C (Sprayfrax 1400). Tepelná vodivost Sprayfrax 1100 činí při 204 °C 0,058 W · m⁻¹ · °C⁻¹, při 760 °C 0,231 W · m⁻¹ · °C⁻¹ a při 1030 °C 0,375 W · m⁻¹ · °C⁻¹. Osvědčil se pro izolace pecí v petrochemickém, metalurgickém a keramickém průmyslu. Nanášení je možné při normální i vysoké teplotě (při provozní opravě pece) a ekonomickým přínosem je vedle snížení tepelných ztrát výrazné zkrácení prostoje pece při opravě.

Bartuška

MONOLITICKÁ IZOLACE KLENBY SKLÁŘSKÝCH PECÍ „LUBISOL“ byla úspěšně aplikována na více než 20 pecích v Evropě a USA. Vytváří se litím přímo na dinasový, bázičkový nebo korundo-baddeleyitový materiál klenby buď před temperováním pece, nebo po něm. Srovnání, jak se snižují tepelné ztráty v případě dinasové klenby o tloušťce 45 cm, s teplotou 1 580 °C na pracovní straně je uvedeno v tabulce:

Způsob izolace	Teplota na chladné straně (°C)	Tepelné ztráty (W · m ⁻²)	(%)
bez izolace	238	4 710	100
izolace lehčeným dinasem 15 cm	169	2 545	54
izolace rohoží z vláken 75 cm	115	905	22,4
izolace Lubisolem 15 cm	143	1 639	40,5
izolace Lubisolem 22,5 cm	80	350	8,7

Informace podá podnik „Technika“, 125 Lenin Blvd, P.O. Box 672, 1113 Sofia, Bulharsko

Bartuška