

„SZIBÉRIAI FÖDERÁCIÓS EGYETEM”
FÖDERÁCIÓS ÁLLAMI AUTONÓM
FELSŐOKTATÁSI SZAKMAI OKTATÁSI INTÉZMÉNY
ALAPKÉPZÉSI INTÉZET

ELFOGADOM

Egyetem rektora

(*aláírás*) E. A. Vaganov

2012. _____

Címeres körbélyegző

BESZÁMOLÓ

„A TSM Ceramic ultravékony hőszigetelő anyag
hővezető képesség megállapításának módszertani kidolgozása és végrehajtása” témában

2012. május 21-én kelt, № 40309 számú Szerződés

A tudományért és nemzetközi kapcsolatokért

felelős prorektor helyettes

aláírás

R. A. Nazirov

Végrehajtók:

A téma vezetője,

a fizikai tanszék laboratóriumának vezetője

aláírás

G. P. Zsilin

Krasznojarszk város, 2012.

TARTALOM

1. Bevezető.....	4
2. A hőleadási α és hővezetési λ együtthatók mérésének módszertana a „TSM Ceramic” vékony borításnál.....	5
3. A „TSM Ceramic” borítás hőleadási és hővezetési együtthatóinak mérési módszertana..	10
3.1. A hőleadási együttható kiszámítása.....	10
3.2. A hővezetési együttható kiszámítása.....	12
4. A mérési eredmények elemzése.....	14
5. Következtetések.....	14
6. Felhasznált irodalom.....	15

1. Bevezetés

A vékony hőszigetelő borítások különleges hőtechnikai tulajdonságokkal rendelkeznek.

A legszembetűnőbb különbség az alacsony hővezetési λ együttható értéke.

Az anyagok hővezetése vákuumos kapcsolattal bonyolult fizikai természettel rendelkezik, mivel a vákuumos kapcsolatok hővezetését kizárólag hősugárzással lehet megállapítani, a mátrix hővezető képessége pedig konvektív szerkezettel rendelkezik. A gyakorlati feladatoknál beszélhetünk hatékony hővezetésről, amennyiben alkalmazzuk hozzá az általános hővezetési értelmet. Ám a hatékony hővezetés nem egyértelmű egy konkrét anyag részére, és függ az anyagtól, amelyre felvitték valamint a környezettől.

A „Szantehnika” tudományos kutató intézet a hőszigetelő értékek mérnöki számításaira, megfelelően a SzNiP 23-02-2003 szabványhoz az ultravékony hőszigetelő bevonatok hővezetési együtthatóját a 2004-2005 évekre $\lambda=0,001 \text{ W/mK}$ értékben állapította meg (1).

Ezek az értékek független műszaki következtetések eredményeként kerültek megállapításra egy és ugyanazon objektumnál (5 szintes, 4 részes lakóház, amely kiegészítőleg hőszigetelve van ultravékony hőszigetelővel). A „Sztroitelnaja Fizika” tudományos kutató intézet és „Moszsilproekt” vállalat által végzett kísérletek megmutatták a hővezetési mutató közép értékét – $0,0035 \text{ W/mK}$, amely közeli értéket mutat a laboratóriumi kísérletek eredményeivel. Meg kell jegyezni, hogy mindkét kísérlet expressz módszerrel történt egy nap leforgása alatt, a GOSZT 26254 szabvány előírásaival ellentétben, amely 14 nap hosszúságú méréseket ír elő, ami valószínűsíthető tendenciát mutat a fixált hővezetés csökkenéséhez.

A Volgográdi állami Egyetem „Építészeti” tanszékén természetes közegben végeztek kísérleteket a folyékony polimer hőszigetelő anyagok hővédő tulajdonságairól. Erre az anyagra a kísérlet útján a következő hővezetési együtthatót kaptuk: $\lambda=0,0012 \text{ W/mK}$. Ám ezeket a kísérleteket egy adott egyszintes épületen végezték el, amelynek falai nagyméretű keramzitbeton fal panelekből készültek és nem rendelkeznek univerzális tulajdonságokkal. Az ebben az esetben alkalmazott ИТП МГ-4 „Potok” típusú hőáramlat sűrűséget mérő műszert nem használhatják laboratóriumi kísérletek alatt, mivel a műszer értéke arányos a laboratóriumi mintával és rajta keresztül átmenve nagy áramlási veszteséget okoz (2).

A tanulmányban (3) értékelésre kerül azon csövek felületéről a hőleadási együttható, amelyeket „TSM Ceramic” borítással vannak ellátva, amely két féle értékkel kerül meghatározásra $1,94-1,50 \text{ W/m}^2\text{fok}$. Ám a létező meghatározási módszerek nem adnak egyértelmű mennyiségi jellemzőket, amelyeket nyugodtan alkalmazhatnak a mérnöki számításoknál.

A „Predpriyatije Ventil” Zrt. Vállalat munkatársai metodológiai ajánlásokat ajánlanak a gyártási tapasztalat felállítására és a hővezetési együttható kiszámítása az ultravékony hőszigetelőknél. Részére a hővezetési együttható értéke: $\lambda=0,00081 \text{ kKla/óra} \times \text{c}^\circ\text{C}=0,00094 \text{ W/m}^2\text{C}$.

Ennél a metodikánál egy sor rendelkezés nem ad lehetőséget felhasználni őt a mi esetünkben, például nem érthető azon együtthatók értékének választása, amelyek a levegőtől a falhoz hőátadást és a faltól a levegőbe hőátadást mutatják.

2. A hőleadási α és hővezetési λ együtthatók mérésének módszertana a „TSM Ceramic” vékony borításnál

2.1. A kísérleti berendezés leírása.

A kísérleti berendezés három blokkból áll (1. sz. Ábra).

Az 1. Blokk a területen történő egyenletes sűrűségű hőáramlat kialakítására szolgál $S=10 \times 10 \text{ cm}^2$. A hőáram állítható teljesítményű elektromos melegítő segítségével keletkezik.

1. sz. Ábra

A 2. Blokk – hőkamra. A hőáramlat bemenete a hőkamrába egy 4 mm vastag fém lemezen keresztül történik.

A bemeneti áramlat hőmérsékletének nyilvántartása az 1. sz. Hőelem segítségével történik, amely érintkezik a fém lemezzel (2. sz. Ábra).

2. Sz. Ábra

A hőkamra felépítése

1 – bemeneti hőáramlás, 2 – a kamra légtére, 3 – fém alátét, 4 – „TSM Ceramic” hőszigetelő borítás, 5 – a hőmérsékletesés mértéke.

1. Hőelem a hőáramlat bemeneténél.

2. Hőelem az állandó hőmérséklet elején.

3. Hőelem az állandó hőmérséklet végén.

4. Hőelem a lemez felületén.

5. Hőelem a borítás felületén.

6. Hőelem, amely a levegő hőmérsékletét méri.

A 2. és 3. hőelemek ellenőrzik a kamrában a hőmérséklet gradiensmentességét.

A lemezt a bevonattal a kamra kijáratánál helyezik el, bevonattal a laboratóriumba.

A 4. hőelem érintkezik a bevonat alátétével a kamrában.

Az 5. hőelem érintkezik a bevonat felületével a kamra külső oldaláról.

A 3. Blokk – a hőmérséklet külső gradiensének mérője.

Az 5. hőelem miliméter skálájú síneken mozoghat, amelyen megállapítható a távolság az elem felületétől a laboratórium levegőjének hőmérsékletéig.

A kísérletekre elő vannak készítve a minták, ahol a $d=0,4 \text{ mm}$ vastagságú rozsdamentes acél lemezek „TSM Ceramic” bevonattal vannak befedve. A minták vastagsági és nagysági jellemzői az 1. sz. Táblázatban láthatóak. A mintáknál a közép vastagság eltérése 4-18 % intervallumban található.

A mérések eredményei a 2. sz. Táblázatban láthatóak.

A „TSM Ceramic” mintáinak jellemzői

Sorszám	Technológiai index	d1, x10 ⁻³ m	d2, x10 ⁻³ m	d3, x10 ⁻³ m	d4, x10 ⁻³ m	dcp, x10 ⁻³ m	ε %
1	1.1.1	1,00	0,90	0,94	0,89	0,63	12,7
2	1.1.2	0,75	0,7	0,68	0,74	0,72	8,1
3	1.1.3	0,96	1,01	1,12	1,16	1,06	14
4	1.2.3	1,4	1,26	1,42	1,2	1,32	11,5
5	1.2.1	1,35	1,3	1,45	1,45	1,38	8,8
6	1.2.2	1,48	1,58	1,59	1,55	1,55	5,1
7	1.2.4	1,5	1,56	1,58	1,58	1,56	3,9
8	1.2.5	1,45	1,6	1,6	1,53	1,55	7,4
9	1.2.6	1,7	1,73	1,38	1,45	1,56	18

A berendezés hőmérsékleti mezőjének elosztása

Sorszám	Technológiai index	t1, °C	t2, °C	t3, °C	t4, °C	t5, °C	t6, °C	d, x10 ⁻³ m
1	1.1.1	107,8	71,8	71,2	50	35,5	25,5	0,63
2	1.1.2	96,2	64,5	64,5	41,2	31,2	21,5	0,72
		99	67	67	43,5	31,52	23,5	
3	1.1.3	77	52,2	51,2	37,8	29,8	23	1,03
		90,5	59,8	59,2	42,5	32,5	24	
		103,8	68	66,2	46,2	33,8	23,5	
		116,8	75,8	73,5	50,2	35,5	23,5	
		120	78,8	76,5	53	37,5	25,5	
4	1.2.3	77,8	52,5	52,5	37,2	29,8	23,5	1,32
		89,8	59,8	59,5	41,2	32	24	
		105,5	69,2	69	46,5	34,2	24,5	
		119,8	79	78,2	52,8	38,2	26,5	
5	1.2.1	108,2	73,5	73	50,5	36,8	29	1,38
6	1.2.2	106,8	72	71,2	49,5	35	26	1,55
7	1.2.4	79,8	55,3	54	41,6	31,8	26,3	1,56
		89,8	60,2	58,8	43	30,5	23,5	
		89,1	59,8	58,6	43,1	31,8	24,6	
		115,5	69,5	65,5	49	34	25,5	
8	1.2.5	105,2	70,2	69,7	48,2	33,5	24,5	1,55
8	1.2.6	107	71,5	70,8	49,5	35,2	24,5	1,56
Alátét		85,5	54,5	49	26	26	11	0,4

3. A „TSM Ceramic” borítás hőleadási és hővezetési együtthatóinak mérési módszertana.

3.1. A hőleadási együttható kiszámítása.

A kiszámítás a hőáramlat sűrűség hővesztésének megállapításán alapul a hőkamrából történő távozáskor.

A hővesztés a következőből áll: a levegő konvektív hőcserélőjének hővesztése q_{kon} és hőszugárzás q_{sug} .

$$q = q_{kon} + q_{sug} \quad (3.1)$$

Lent a hőáramlat sűrűség hővesztésének kiszámítási példája látható az 1.1.3 minta részére, amikor a hőhordozó hőmérséklete 77°C .

A berendezés hőmérsékleti mezőjének eloszlása a 2. sz. Táblázatban van feltüntetve. A hőmérsékleti mező változása a 3. sz. Táblázatban van feltüntetve.

A hőáramlat sűrűség hővesztésére, amelyeket a levegő hővezetése okoz leírjuk

$$q_{szob} = e_k \lambda_k \text{ grad } t, \quad (3.2)$$

ahol λ_k – a levegő konduktív hővezető képessége, e_k – együttható, amely figyelembe veszi a hővezetés konvekciónális összetevőjét, $\text{grad } t$ – a mező hő gradiense a berendezés kimenetelénél.

Az e_k együttható a Rayleigh szám funkciója – $Re = Gr \cdot Pr$

$$e_k = \lambda_{\text{levegő}}(t) / \lambda_k \text{ levegő}(t) = f(Ra),$$

ahol $\lambda_k \text{ levegő}$ – az 5. sz. Táblázatból vett konduktív hővezetés.

$Gr = g \Delta t_{5-6} \delta^3 / \nu^2 B T_B$ – Grashof szám,

$Pr(t)$ – Prandtl szám, g – a szabadesés gyorsulása, Δt_{5-6} – a kamra falának és a laboratórium levegőjének hőmérséklet különbsége, $\nu_B(t)$ – a levegő kinematikus viszkozitásának együtthatója, T_B – a levegő abszolút középhőmérséklete, δ – a levegő hőmérséklet esésének távolsága.

Behelyettesítve a számokat (2., 5. Táblázatok) Rayleigh számra a következőt kapjuk

$$Ra = g \Delta t_{5-6} \delta^3 / \nu^2 B (t_{5-6}) T_B \times Pr(t_{5-6}) \quad (3.3)$$

$$Ra = 9,81 \times 6,8 (1,25)^3 \times 10^{-6} \times 0,7 / 15,5^2 \times 10^{-12} \times 299,4 = 1,26 \times 10^3$$

A munkában (5) megállapítást nyer, hogy a konvekció elejének ($e_k > 1$) helye van, amennyiben $R \geq 2000-2500$, tehát a mi esetünkben ezt nem lehet vizsgálni.

A berendezés hőmérsékleti mezőjének változása

Sorszám	Technológiai index	t1, °C	t1-2, °C	t2-3, °C	t3-4, °C	t4-5, °C	t5-6, °C	t3 6, °C	grad t x 10 ² , grad/m
1	1.1.1	107,8	36	0,6	21,2	14,5	10	45,7	7,2
2	1.1.2	96,2	31,7	0	23,3	10	9,7	43	8,7
3	1.1.3	77	24,8	1	13,4	8	6,8	28,2	4,64
		90,5	30,7	0,6	16,7	10	8,5	35,2	6
		116,8	41	2,3	23,3	14,7	12	50	8,8
4	1.2.3	77,8	25,3	0	15,3	7,4	6,3	29	4,2
		105	36,3	0,2	22,5	12,3	9,7	44,5	7
5	1.2.1	108,2	34,7	0,5	23,5	13,7	7,8	44	6,8
6	1.2.2	106,8	34,8	0,8	21,7	14,5	9	45,2	6,4
7	1.2.4	79,8	24,5	1,3	12,4	9,8	5,5	27,7	4,5
		89,1	29,3	1,2	15,4	11,3	7,2	34	5
8	1.2.5	105,2	35	0,5	21,5	14,7	9	45,2	6,4
9	1.2.6	107	35,5	0,7	21,2	14,3	10,7	46,2	7,2
Alátét		85,5	31	5,5	23	0	15	38	-

Helyettesítve a számokat a (3.2) képletbe a következőt kapjuk

$$q_{\lambda_{szob}} = \epsilon_k \lambda_k (t_5 - t_6) \text{ grad } t = 1 \times 0,026 \times 4,64 \times 10^2 = 12,06 \text{ W/m}^2$$

A hőveszteség sűrűségét, amelyek a sugárzás miatt keletkeznek a következőképpen számítják ki

$$q_{\text{term}} = \epsilon \sigma / \pi (T_{4/5} - T_{4/6}),$$

ahol $\epsilon = 0,25$ – a bevonat hősugárzásának együtthatója (6):

$\pi = 3,14$ – a π szög sugárzás szórásának számvetése (7)

$\sigma = 5,67 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$ – Stefan-Boltzmann állandó.

Helyettesítve a számokat a következőt kapjuk

$$q_{\text{term}} = 0,25 \times 5,67 / 3,14 (84,07 - 76,76) = 0,45 \times 7,31 = 3,29 \text{ W/m}^2$$

A hőveszteség folyam általános sűrűsége

$$q = q_{szob} + q_{\text{term}} = 12,06 + 3,29 = 15,35 \text{ W/m}^2$$

A levegő hőellenállása a hőkamrán kívül

$$R_{\text{leveg}} = \Delta t_{5-6} / q = 6,8 / 15,35 = 0,443 \text{ m}^2 \text{ grad/W}$$

A felület levegőbe történő hőátadási együtthatójára beírjuk

$$\alpha = 1 / R_{\text{leveg}} = 1 / 0,443 = 2,26 \text{ W/ m}^2 \text{ grad}$$

3.2.A hővezető képesség együtthatójának kiszámítása.

A szigetelő fal hő ellenállásának képlete $R_{\text{et}} = \Delta t_{4-3} / q$

Elhanyagolva a fém alátét ellenállását a következőt kapjuk

$$R_{\text{et}} = \Delta t_{4-5} / q_{szoba} = 8 / 12,06 = 0,633 \text{ m}^2 \text{ grad/W}$$

$$\lambda = d_{\text{sr}} / R_{\text{et}} = 1,06 \times 10^{-3} / 0,663 = 1,67 \text{ W/ m}^2 \text{ grad}$$

Az alátét hő ellenállását el lehet hanyagolni, mivel részére a $\Delta t_{5-6} = 0$ (3.sz. Táblázat).

Hőtechnikai mennyiségek kiszámított értékei

Sorszám	Technológiai index	t_l , °C	q_{szob} , W/m ²	q_{izd} , W/m ²	Σq , W/m ²	$R_{levegő}$, m ² fok/W	R_{st} , m ² fok/W	α , W/m ² fok	λ , x10 ⁻³ W/m fok
1	1.1.1	107,8	18,72	5,04	23,76	0,421	0,775	2,38	0,81
2	1.1.2	96,2	22,62	4,68	27,3	0,357	0,442	2,80	1,63
3	1.1.3	77	12,6	3,29	15,35	0,443	0,633	2,26	1,6
		90,5	15,6	4,18	19,78	0,43	0,641	2,33	1,65
		116,8	22,88	6,22	29,1	0,412	0,642	2,43	1,65
4	1.2.3	77,8	10,92	3,06	13,98	0,451	0,678	2,22	1,95
		105	18,2	4,87	23,07	0,420	0,676	2,38	1,95
5	1.2.1	108,2	17,68	4,02	21,7	0,359	0,775	2,78	1,78
6	1.2.2	106,8	16,64	4,583	21,17	0,425	0,871	2,35	1,78
7	1.2.4	79,8	11,7	2,58	14,28	0,385	0,838	2,58	1,86
		89,1	13,0	3,54	16,54	0,435	0,869	2,30	1,80
8	1.2.5	105,2	16,64	4,46	21,1	0,427	0,883	2,34	1,76
9	1.2.6	107	17,16	5,35	22,51	0,475	0,833	2,10	1,87

4.A mérési eredmények elemzése

A berendezés hőmezőjének változásával kapcsolatos adatok lehetőséget adnak néhány általános törvényszerűséget megállapítani.

7.A hőmérséklet növekedésével a berendezés bemeneténél, egy mintánál, nő a hűtadási együttható (4. sz. Táblázat, 1.1.3 és 1.2.3 Minták).

Rendellenesség észlelhető az 1.2.4 Mintánál, ami azzal van összefüggésben, hogy alacsony a levegő hőellenállásának értéke a kimenetnél $R_{\text{leveg}}=0,385 \text{ m}^2 \text{ grad/W}$, ami viszont össze van kötve az anomálishan alacsony hőmérséklet ingadozással a kimenetnél $t_{s-6}=5,5$ és $\text{grad } t=4,5 \times 10^2 \text{ grad/m}$.

Minden valószínűség szerint ze egy kísérleti kilökés.

8.Körülbelül egyforma beviteli teljesítménynél a bevonat vastagságának növelésével megfigyelhető a hűtadási együttható csökkenése (lásd az 1.1.3 Minta példáját amikot $t=77^\circ\text{C}$ -nál $\alpha=2,26 \text{ W/ m}^2 \text{ grad}$ és az 1.2.3 Mintánál amikot $t=77,8^\circ\text{C}$ -nál $\alpha=2,22 \text{ W/ m}^2 \text{ grad}$).

9.A bevonat hővezetési együtthatójának számszerű érték változása különböző hőmérsékleteknél és vastagságoknál a berendezés hibaarányán és a bevonat vastagság technológiai szóródásán belül található.

10.Megfigyelhető a bevonat hővezetési együtthatójának változása az első és második felvitel alatt $\lambda=(1,63 \times 10^{-3}+1,65 \times 10^{-3}) \text{ W/ m}^2 \text{ grad}$, $\lambda=(1,8 \times 10^{-3}+1,95 \times 10^{-3}) \text{ W/ m}^2 \text{ grad}$ megfelelően.

5. Következtetések

1.A „TSM Ceramic” bevonat hőtechnikai mutatóinak mérnöki számításai során 0, 5-1,5 mm vastagságoknál a hővezetési együttható értékének a következőt vehetjük $(1,6-1,9 \times 10^{-3}) \text{ W/ m}^2 \text{ grad}$.

2.A hűtadási együttható nagysága függ a hőmérsékleti nyomástól és a közeg fizikai paramétereitől. Például, a hőmérsékleti nyomás változásakor a levegő közegben 25-től 45 °C-ig a hűtadási együttható a következő határokon belül változik $(2,0-3,0) \text{ W/ m}^2 \text{ grad}$.

5.sz. Táblázat

A száraz levegő fizikai paramétere 101,3 kN/m² mutatónál (760 Hgmm) (9)

t, °C	λ , 10 ⁻² , W/mK	ν , 10 ⁻⁶ , m ² /s	Pr
20	2,59	15,06	0,700
30	2,67	16,00	0,701
40	2,76	16,96	0,699

6.Felhasznált irodalom

1. A „Szantechnika” tudományos kutató intézet 11 sz. iránymutatási levele, 2004.05.19.
2. Műszaki jelentés a „A „Korud” ultravékony hőszigetelő hő mutatóinak kutatása” témában, a Volgográdi Állami Egyetem „Építészeti” tanszéke, Volgograd, 2011., 407/09. sz. Szerződés, kelt 2009.10.15.
3. Az „NPK RoszIzoProm” Kft. iránymutatási levele, 2008.01.22.
4. Műszaki jelentés a „Módszertani ajánlások (kísérletek és elméleti számítások elvégzése az ultravékony szigetelő hővezetési együtthatójára)” témában, „Intil Vállalat” Zrt.
5. Sz. V. Ponomarjov „A hőfizikai mérések elméleti és gyakorlati alapjai”. G. Moszkva, Fizmaltit, 2008.
6. SZNiP 41-01-2003 szabvány „A hővesztés kiszámítása elkerítő szerkezeten keresztül „Termo-Sild” bevonat felvitelével”.
7. V. V. Nascokin „Műszaki termodinamika és hőátadás”, Az-buk, 2008.
8. L. V. Rodicsev „Fűtési hálózat felhasználási biztosításának erőforrás csökkentése és azok védelmének módszere”, SZPb GPU kaidó, Szent-Pétervár, 2002.
9. „Fizikai mennyiségek”. Tájékoztató. Szerkesztette I. Sz. Grigorjeva, E. Z. Mejlihova. Energoatomizdat, Moszkva, 1991.