СТРУЙНО-АБРАЗИВНА ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТ НА ГАЗОТЕРМИЧНИ ПОКРИТИЯ С МИКРОЧАСТИЦИ

Доц. д-р инж. М. Кандева, Маг. инж. И. Пейчев

Технически университет – София, България

JET-ABRASIVE WEARRESISTANCE OF GAS-THERMAL POWDER COATINGS WITH MICROPARTICLES

Assoc. Prof. Dr. Kandeva M., Peychev I.
Technical University – Sofia, Bulgaria

Abstract: *Device and procedure for coatings' testing of wear and wearresistnace under the action of air blast containing abrasive particles have been developed. The obtained results refer to the wearresistance of 10 types of coatings obtained using the technology of the HVOF (high velocity oxygen fuel) thermal spray process.*

.

Keywords: TRIBOLOGY, WEAR, WEARRESISTANCE, COATINGS, EROSION

1. Въведение

Настоящата тема се разработва в контекста на докторска дисертация и е посветена на износоустойчивостта на газотермични прахови композитни покрития, нанесени чрез свръхзвукова струя (HVOF – процес).

Изследванията по темата се провеждат в условия на абразивно износване като най-интензивният режим на износване в експлоатационната практика на машините.

Прието е покритията да се изследват и изпитват методично по показателя «износоустойчивост» при два алтернативни режима на износване: единият е износване при неподвижен абразив, а другият – износване със свободен абразив, като свободният абразив може да се среща в различни състояния.

Предмет на настоящото изследване е вторият случай на износване при свободен абразив, пренасян от въздушни струи. В литературата процесът на този вид износване е известен като „ерозия" или «ерозийно износване» [1,2,3].

В работата се изследва износоустойчивостта на износоустойчиви покрития при контактното им взаимодействие с въздушно-абразивна струя. Покритията се получени чрез нанасяне на многокомпонентни суперсплави в прахово състояние върху подложка с помощта на свръхзвукова газова пламъчна струя (HVOF-процес) [4,5].

2. Изложение

2.1. Теоретични въпроси

Изхожда се от общия закон за контактното взаимодействие в трибологията [ ]:

(1) $$\frac{dR}{R} = \eta \frac{dA}{A}$$

където dA/A е относителното смущение, dR/R - относителната реакция и η - комуникативният потенциал на контактното взаимодействие между акцията (смущението) и реакцията.

В разглеждания случай на износване комуникативният потенциал е постоянен и $\eta = 1$; относителното смущение се представя чрез масовия дебит на абразивния материал, т.е.

(2) $$\frac{dA}{A} = \frac{dm_a}{m_a}$$

където $m_a = m_a(t)$ е законът за изменение на ударната маса на абразива, атакуваща покритието чрез въздушва струя, и

(3) $$\frac{dR}{R} = \frac{dm}{m}$$

представлява относителното масово износване на покритието. Тук $m = m(t)$ е законът за масовото износване на покритието.

Отчитайки формули (2) и (3), общият закон във формата (1) се редуцира до:

(4) $$\frac{dm}{m} = \frac{dm_a}{m_a}$$

Интегрира се (4)

(5) $$\ell nm = \ell nm_a + \ell nk$$

или

(6) $$\ell n\frac{m}{k} = \ell nm_a$$

След антилогаритмуване се намира връзката между двата закона $m = m(t)$ и $m_a = m_a(t)$, т.е.

(7) $$m(t) = k.m_a(t)$$

След отчитане на получените формули и заместване във формула (1) се получава законът за скоростта на струйно-абразивното износване във вида:

(8) $$\frac{dm}{dt} = \dot{m} = k\dot{m}_a$$

От (8) се определя интензивността на износването:

(9) $$i_m(P) = \frac{\dot{m}}{\dot{m}_a} = k$$

Износоустойчивостта I_m, както е известно, се измерва с реципрочната стойност на интензивността на износване, т.е.

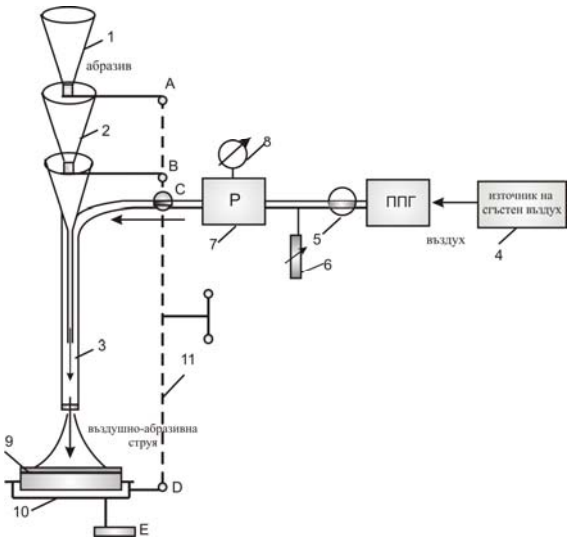
(10) $$I_m = \frac{1}{i_m} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}}$$

Индексът m отразява масовата износоустойчивост на покритието.

Разработената експериментална методика и изследванията се основават на формула (10).

2.2. Методика и устройство за изследване на износването и износоустойчивостта в условия на струйно-абразивна ерозия

Функционалната схема на устройството за изследване на струйно-абразивна ерозия е представена на фиг. 1. Предназначението на устройството е да се формират два самостоятелни стационарни потока – въздушен и абразивен, които в последствие на изхода образуват работеща двуфазна струя, облъчваща повърхнината на изследваното покритие.



Фиг. 1: *Функционална схема на лабораторна уредба за изследване и изпитване в условия на струйно-абразивно износване*

Стационарният свободно падащ абразивен поток се формира с помощта на три камери: захранваща камера (1), която се запълва с работния абразивен материал; стабилизираща камера (2), запълнена със същия вид абразив и работна камера (3), която е предназначена за ускоряване абразивните частици и смесването на двата потока.

Въздушният поток се подготвя последователно от източник на сгъстен въздух (4), пневмо-подготвяща група (ППГ) за пречистване на въздуха от механични частици, влага и маслени пари, превключвател (5) и регулатор на налягане (6) за захранване и стабилизиране на фиксираното въздушно налягане P във въздушната камера (7), измервано по скалата на манометъра (8).

Формирането на работната двуфазна струя като краен продукт от смесването се осъществява на изхода на работната камера (3).

Изпитваният образец (10) се позиционира в държача (11), свързан с реверсивен механизъм (12), с който се регулират разстоянието ℓ между дюзата и повърхнината, и ъгълът α между оста на струята и нормалата към повърхнината на образеца.

Последователността на работа с устройството е следната: подходящо подготвеният образец (9) се поставя в държача (10) като се фиксира с реверсивния механизъм (11) на определено разстояние ℓ и ъгъл на взаимодействие α. Смесителната камера се захранва с чист въздух чрез отваряне на превключвателя (5) като се задава стационарно работно налягане P с регулатора (6). Работното количество абразивен материал се поставя в захранващата камера (1) при запълнена стабилизираща камера (2) със същия вид абразив при затворен механизъм (11). С отваряне на механизма (11) започва процеса на струйно-абразивно облъчване на покритието на образеца и продължава до момента на изчерпване на абразива в камера (1). В този момент се превключва механизъм (11), с което едновременно се прекратява изтичането на въздушния поток от камера (7) и на абразивния поток от работната камера (1) и стабилизиращата камера (2).

2.3. Експериментални изследвания и резултати

С описаните устройство и методика се изследва струйно-абразивното износване на 10 серии високоизносоустойчиви покрития, нанесени по технологията, известна като HVOF-процес (газотермична свръхзвукова струя) от различни прахови композиции със среден размер на частиците 35 μm

В таблица 1 са представени обозначенията, наименованията, химическият състав, твърдостта и дебелината на покритията.

Параметрите на експериманталното изследване са представени в таблица 2.

В таблица 3 са представени експериментални резултати за масовото износване, скоростта на износването, интензивността на ерозията и износоустойчивостта за 10 серии образци с покрития.

На фиг. 2 е представена диаграма на струйно-абразивната износоустойчивост на изследваните образци с покрития.

Фиг.2: *Износоустойчивост на ерозия на 10 серии покрития*

Таблица 1

№	Наименование	Химически състав	Твърдост	Дебелина
1	Cr_2O_3 Подложка Ст3	$Al_2O_3 < 0{,}03\%; SiO_2 < 0{,}07\%$ $Fe_2O_3 < 0{,}02\%; CaO < 0{,}03\%$ $MeO < 0{,}01\%; TiO_2 < 0{,}02\%$ Cr_2O_3 -баланс	62-64 HRC	200 μm
2	$80M60$ Подложка Ст3	$Cr - 14{,}2\%; Si - 4{,}37\%$ $C - 0{,}6\%; B - 2{,}9\%; Fe - 4{,}54\%$ $Cu - 2{,}36\%; Mo - 2{,}51\%; Co - 0{,}01\%$ Ni -баланс	60-62 HRC	695 μm
3	$80M60$ Подложка Al	$Cr - 14{,}2\%; Si - 4{,}37\%$ $C - 0{,}6\%; B - 2{,}9\%; Fe - 4{,}54\%$ $Cu - 2{,}36\%; Mo - 2{,}51\%; Co - 0{,}01\%$ Ni -баланс	54-56 HRC	450 μm
4	$80M60$ Подложка Ст3 Затопяване до Т= $650^o C$	$Cr - 14{,}2\%; Si - 4{,}37\%$ $C - 0{,}6\%; B - 2{,}9\%; Fe - 4{,}54\%$ $Cu - 2{,}36\%; Mo - 2{,}51\%; Co - 0{,}01\%$ Ni -баланс	66-68 HRC	510 μm
5	$6P50WC$ $602P$ $WC/Co88/12$ $1:1:1$ Студен процес	$Si - 0{,}28\%; W - 36{,}9\%$ $Ni - 42{,}9\%; Co - 3{,}9\%; Fe - 3{,}4\%$ $Cr - 11{,}8\%; B, C - 0{,}82\%$	65-66 HRC	520 μm
6	$6P50WC$ $602P$ $WC/Co88/12$ $1:1:1$ Затопяване до Т= $650^o C$	$Si - 0{,}28\%; W - 36{,}9\%$ $Ni - 42{,}9\%; Co - 3{,}9\%; Fe - 3{,}4\%$ $Cr - 11{,}8\%; B, C - 0{,}82\%$	62-64 HRC	490 μm
7	$Al_2O_3 - TiO_2$ (97/3) Подложка Ст3	$TiO_2 - 2{,}25\%; SiO_2 < 0{,}014\%$ $Fe_2O_3 < 0{,}01\%; CaO < 0{,}01\%$ $MgO < 0{,}014\%2{,}36\%$ Ai_2O_3 -баланс	38-40 HRC	250 μm
8	$Al_2O_3 - TiO_2$ (60/40) Подложка Ст3	$TiO_2 - 38{,}25\%; SiO_2 < 0{,}014\%$ $Fe_2O_3 < 0{,}01\%; CaO < 0{,}01\%$ $MgO < 0{,}014\%2{,}36\%$ Ai_2O_3 -баланс	50-52 HRC $L = 120\ mm;\ \alpha = 60^o$	380 μm

		$TiO_2 - 38{,}25\%; SiO_2 < 0{,}014\%$		
9	$Al_2O_3 - TiO_2$	$Fe_2O_3 < 0{,}01\%; CaO < 0{,}01\%$	52-54 HRC	240 μm
	(60/40)	$MgO < 0{,}014\%$		
	Подложка Ст3	Ai_2O_3 -баланс	$L = 100\ mm$; $\alpha = 90^o$	
		$TiO_2 - 38{,}25\%; SiO_2 < 0{,}014\%$		
10	$Al_2O_3 - TiO_2$	$Fe_2O_3 < 0{,}01\%; CaO < 0{,}01\%$	56-58 HRC	320 μm
	(60/40)	$MgO < 0{,}014\%$		
	Подложка Ст3	Ai_2O_3 -баланс	$L = 80\ mm$; $\alpha = 90^o$	

Таблица 3

№	Износване g	Скорост на износване g/min	Интензивност	Износоустойчивост
1.	0,0762	0,0127	$0{,}76.10^{-4}$	$1{,}3.10^4$
2.	0,1484	0,0247	$1{,}48.10^{-4}$	$0{,}67.10^4$
3.	0,2002	0,0334	$2{,}00.10^{-4}$	$0{,}5.10^4$
4.	0,0132	0,0022	$0{,}1.10^{-4}$	10.10^4
5.	0,0418	0,007	$0{,}42.10^{-4}$	$2{,}4.10^4$
6.	0,0662	0,011	$0{,}66.10^{-4}$	$1{,}5.10^4$
7.	0,0335	0,0056	$0{,}33.10^{-4}$	3.10^4
8.	0,2249	0,0375	$2{,}25.10^{-4}$	$0{,}44.10^4$
9.	0,0886	0,0148	$0{,}88.10^{-4}$	$1{,}14.10^4$
10.	0,0142	0,0024	$0{,}14.10^{-4}$	$7{,}14.10^4$

3. Заключение

Основните приноси в настоящата работа се свеждат до:

- Разработени са лабораторно устройство и методика за изследване и изпитване на материали и покрития в условия на струйно-абразивно износване, съобразени с изискванията на действащите стандарти [6]. Устройството позволява формиране на двуфазни струи – въздушни, носещи абразивни частици, чрез независимо регулиране на дебитите на двете фази – въздушна и абразивна. Това гарантира управление на интензивността на взаимодействие между струята и повърхнината.

- Проведено е сравнително изследване и са получении експериментални резултати за износването, скоростта на износване, интензивността и износоустойчивостта на 10 вида прахови покрития от микрочастици, нанесени чрез свръхзвукова пламъчна струя (HVOF-процес). Резултатите са представени в табличен и графичен вид.

Изследването в настоящата работа и нейното публикуване са свързани с проблематиката и финансирането по договор ДУНК-01/3 на Техническия университет-София с МОН на тема: ***„Създаване на Университетски научно-изследователски комплекс (УНИК) за иновации и трансфер на знания в областта на микро/нано технологии и материали, енергийна ефективност и виртуално инженерство”****, за което авторите изказват дълбока благодарност.*

Литература

[1] ASMT G 76-95: “Standard test method for conducting erosion test by solid particle impingement using gas jets”

[2] Kimpel A., T. Kik, Erosionand abrasion wear resistance of GMA wire surfaced nanostructural deposits, Archived of Materials Science and Engineering, Vl. 30, 2008, pp 121-124

[3] Теофилова М., Трибомеханични аспекти на дисперсни системи, Автореферат, дис., С., 1990.

[4] Kandeva M., M. Teofilova, Erosion and aluminium alloys, Journal of the Balkan Tribological Association, Sofia, vol 5, № 3, 1999, 182-188.

[5] Кандева М., Контактният подход в инженерната трибология, ТУ-София, 2012, монография

[6] BS 1615