

## BADANIA ZALEŻNOŚCI GRUBOŚCI POWIERZCHNIOWEJ WARSTWY KOMPOZYTOWEJ OD WIELKOŚCI ODLEWU I RODZAJU WKŁADKI KOMPOZYTUJĄCEJ

C. BARON<sup>1</sup>, J. GAWROŃSKI<sup>2</sup>

Zakład Odlewnictwa, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych,  
Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska  
ul. Towarowa 7, 44 – 100 Gliwice, Polska

### STRESZCZENIE

Praca przedstawia badania powierzchniowej warstwy kompozytowej na odlewie stalowym. Dotyczą one wskazania czynników, które w istotnym stopniu wpływały zarówno na grubość i jakość powstałego kompozytu. Zbadano grubości warstwy kompozytowej na trzech rodzajach kul o średnicach odpowiednio 100, 80, 60 [mm] i trzech grubościach wkładek z żelazochromu (2, 3, 5 [mm]). Stosując narzędzia statystyki eksperymentalnej przeprowadzono analizę danych zebranych w doświadczeniu.

*Key words: casting, composite, cast alloy layer.*

### 1. PRZEBIEG DOŚWIADCZENIA

Badania modelowe polegały na wytworzeniu powierzchniowej warstwy stopowej na trzech kulach o różnych średnicach (100, 80, 60 [mm]). Powierzchniowa warstwa stopowa powstała z przetopienia wkładki kompozytującej umieszczonej na wewnętrznej stronie formy piaskowej. Jako materiału na wkładkę użyto żelazochrom o ziarnistości poniżej 0,3 [mm] i składzie chemicznym podanym w tabeli 1, natomiast grubości wkładek wynosiły 2, 3, 5 [mm].

---

<sup>1</sup> mgr inż., [czeslaw.baron@polsl.pl](mailto:czeslaw.baron@polsl.pl)

<sup>2</sup> prof. zw. dr inż., [jozef.gawronski@polsl.pl](mailto:jozef.gawronski@polsl.pl)

Tabela 1 Skład chemiczny żelazochromu

Table 1 Chemical constitution of ferrochromium

Produkt	Cr	C	Si*	P*	S*	Ti
FeCr HC	65-70	8-9	1,5	0,03	0,05	0,05

\* Zawartość max.

Jako materiał bazowy zastosowano staliwo niskowęglowe GP240GR o temperaturach charakterystycznych  $T_L-1525^{\circ}\text{C}$ ,  $T_S-1490^{\circ}\text{C}$  i składzie chemicznym podanym w tabeli 2.

Tabela 2 Skład chemiczny staliwa

Table 2 Chemical constitution of cast steel

Produkt	C	Mn	Si	P*	S*
Staliwo niskowęglowe	0,3-0,4	0,4-0,9	0,2-0,5	0,04	0,04

\* Zawartość max.

W wyniku doświadczenia powstała powierzchniowa warstwa kompozytowa charakteryzująca się zwiększoną twardością, średnio trzykrotnie większą od materiału bazowego oraz równomiernym rozłożeniem pierwiastków stopowych w kompozycie. Analiza chemiczna stężenia oraz rozłożenia chromu w powierzchniowej warstwie kompozytowej potwierdziła, że dwukierunkowa dyfuzja dąży do wyrównania potencjałów – składu chemicznego.

Wyniki pomiarów grubości powstałej powierzchniowej warstwy kompozytowej przedstawiają tabele 3 i 4

Tabela 3 Grubość warstwy kompozytowej dla kul o średnicy 100, 80, 60 [mm]

Table 3 The thickness of the composite layer for the balls with the diameter 100, 80, 60 [mm]

Kula 1 o średnicy 100 [mm]	Kula 2 o średnicy 80 [mm]	Kula 3 o średnicy 60 [mm]
Grubość warstwy kompozytowej w [mm]		
8,6	6,5	6,9
10,2	7,1	6,3
8,3	4,7	3,2
7,8	6,2	3
6,2	5,9	5,2
8,3	4,7	3,1
6,5	4	2,6
6,9	4,2	1,9
8,7	4,8	2,9
6,7	5,2	2,3
6,7	6,9	4,8
8,4	7,1	3,7
6,5	6,1	2,8
7,2	6,7	5,4
7,6	8,2	6,1

Tabela 4 Grubość warstwy kompozytowej dla wkładek o wielkości 2, 3, 5 [mm]  
 Table 4 The thickness of the composite layer for the composite pads with the thickness 2, 3, 5 [mm]

Wkładka o grubości 2[mm]	Wkładka o grubości 3[mm]	Wkładka o grubości 5[mm]
Grubość kompozytu w [mm]		
6,7	8,3	8,6
8,4	6,5	10,2
6,5	6,9	8,3
7,2	8,7	7,8
7,6	6,7	6,2
6,9	4,7	6,5
7,1	4	7,1
6,1	4,2	4,7
6,7	4,8	6,2
8,2	5,2	5,9
4,8	3,1	6,9
3,7	2,6	6,3
2,8	1,9	3,2
5,4	2,9	3
6,1	2,3	5,2

## 2. ANALIZA DANYCH

Analizę danych zebranych w doświadczeniu umieszczonych w tabelach 3 i 4 przeprowadzono stosując narzędzia statystyki eksperymentalnej. Celem analizy było stwierdzenie czy istnieje wpływ rodzaju kuli (średnicy), bądź rodzaju wkładki (grubości) na grubość powstałej warstwy kompozytowej.

W pierwszej części doświadczenia dotyczącej rodzaju kuli postawiono następujące hipotezy:

$H_0$ : brak wpływu rodzaju kuli na grubość warstwy kompozytowej  
 $H_1$ : istnieje wpływ rodzaju kuli na grubość warstwy kompozytowej

Druga część doświadczenia dotyczyła zbadania ewentualnego wpływu rodzaju wkładki na grubość warstwy kompozytowej, czyli przeprowadzono weryfikację następujących hipotez:

$H_0$ : brak wpływu rodzaju wkładki na grubość warstwy kompozytowej  
 $H_1$ : istnieje wpływ rodzaju wkładki na grubość warstwy kompozytowej

Do weryfikacji postawionych hipotez wykorzystano test analizy wariancji jako jednej z metod badania wpływu pewnych czynników, które można dowolnie regulować

w toku eksperymentu, na kształtowanie się wartości badanych cech mierzalnych. Badanie wpływu rodzaju kuli i wkładki na kształtowanie się grubości kompozytu przy założeniu normalności jego rozkładu przeprowadzono przez porównanie poszczególnych wariancji wynikającej z działania danego czynnika oraz wariancji resztowej mierzącej błąd losowy. Problem polegał więc na porównaniu trzech różnych obiektów eksperymentalnych będących trzema rodzajami kuli w pierwszej części doświadczenia oraz trzema rodzajami wkładki w drugiej części doświadczenia w oparciu o 45 jednostek eksperymentalnych opisywanych za pomocą cechy  $x$  będącej grubością kompozytu. W celu przeprowadzenia wnioskowania statystycznego wykorzystano test analizy wariancji przy klasyfikacji pojedynczej. Został on przeprowadzony według schematu ujętego w postaci tablicy analizy wariancji:

źródło zmienności	Suma kwadratów	Stopnie swobody	Średni kwadrat
Między populacjami (objektami)	$nS_{ob}^2 = \sum_{i=1}^k (\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^2 n_i$	k-1	$V_{ob} = \frac{nS_{ob}^2}{k-1}$
Wewnątrz obiektów (składnik losowy)	$nS_e^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$	n-k	$V_e = \frac{nS_e^2}{n-k}$

gdzie:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \quad \text{dla } i = 1, 2, 3, \dots, k$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \quad \text{gdzie } n = \sum_{i=1}^k n_i$$

$k$  – ilość obiektów eksperymentalnych

$n$  – ilość jednostek eksperymentalnych

$n_i$  – ilość jednostek eksperymentalnych dla  $i$  – tego obiektu eksperymentalnego

W teście wykorzystana została statystyka

$$F = \frac{V_{ob}}{V_e}$$

która przy założeniu prawdziwości hipotezy  $H_0$  ma rozkład F Snedecora o  $k-1$  i  $n-k$  stopniach swobody. Obszar krytyczny jest postaci:

$$P\{F \geq F_\alpha\} = \alpha$$

Do sprawdzenia koniecznego dla testu analizy wariancji założenia o jednakowych wariancjach we wszystkich badanych grupach wykorzystano w pracy test jednorodności wielu wariancji Barletta. Jest on oparty na pewnej statystyce, która ma rozkład asymptotyczny  $\chi^2$ . Zbieżność do rozkładu  $\chi^2$  jest bardzo szybka więc można stosować rozkład  $\chi^2$  nawet dla małych prób. Służy on weryfikacji hipotez postaci:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$$

$H_1$ : nie wszystkie wariancje są równe

Z wyników  $k$  prób o liczebnościach  $n_i$  obliczane są następujące wielkości:

$$\hat{s}_i^2 = \frac{1}{n_i - 1} \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$$

$$\tilde{s}^2 = \frac{1}{n - k} \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \hat{s}_i^2$$

$$c = 1 + \frac{1}{3(k-1)} \left( \sum_{i=1}^k \frac{1}{n_i - 1} - \frac{1}{n - k} \right)$$

$$\chi^2 = \frac{2,303}{c} \left[ (n - k) \log \tilde{s}^2 - \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \log \hat{s}_i^2 \right]$$

Statystyka  $\chi^2$  ma przy założeniu prawdziwości hipotezy  $H_0$  rozkład asymptotyczny  $\chi^2$  z  $k - 1$  stopniami swobody. Wartość krytyczną  $\chi^2_\alpha$  odczytywana jest z tablicy  $\chi^2$  dla ustalonego z góry poziomu istotności  $\alpha$  i dla odpowiedniej liczby  $k - 1$  stopni swobody w taki sposób by zachodziło

$$P\{\chi^2 \geq \chi^2_\alpha\} = \alpha$$

## 2.1 Analiza wpływu rodzaju kuli na grubość kompozytu

- Test analizy jednorodności wariancji

$$\hat{s}_1^2 = \frac{1}{14} \sum_{j=1}^{15} (x_{1j} - 7,64)^2 = 1,23$$

$$\hat{s}_2^2 = \frac{1}{14} \sum_{j=1}^{15} (x_{2j} - 5,89)^2 = 1,53$$

$$\hat{s}_3^2 = \frac{1}{14} \sum_{j=1}^{15} (x_{3j} - 4,01)^2 = 2,61$$

$$\tilde{s}^2 = \frac{1}{42} (17,26 + 21,38 + 36,6) = 1,79$$

$$c = 1 + \frac{1}{6} \left( \frac{3}{14} - \frac{1}{42} \right) = 1,03$$

$$\chi^2 = \frac{2,303}{1,103} [42 \cdot 0,25 - 9,69] = 2,11$$

$$\chi_\alpha^2 = 5,99 \text{ dla 2 stopni swobody oraz poziomu istotności 0,05}$$

Ze względu na nierówność

$$2,11 < 5,99$$

$$\chi^2 < \chi_\alpha^2$$

nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy  $H_0$  czyli nie stwierdzono różnej wariancji grubości kompozytu przy różnej średnicy kuli. Zatem zostało spełnione założenie konieczne dla przeprowadzenia testu analizy wariancji o jednorodności wariancji.

- Test analizy wariancji

W przypadku weryfikacji hipotez dotyczących badania wpływu rodzaju kuli na grubość kompozytu otrzymano następującą tablicę analizy wariancji:

źródło zmienności	Suma kwadratów	Stopnie swobody	Średni kwadrat
Między populacjami (objektami)	98,68	2	49,34
Wewnątrz obiektów (składnik losowy)	75,23	42	1,79

Wartość statystyki F wyniosła:

$$F = 27,54$$

Odczytana z tablic dla 2 i 42 stopni swobody oraz poziomu istotności 0,05 wartość krytyczna wyniosła:

$$F_\alpha = 3,22$$

Ze względu na nierówność

$$27,54 > 3,22$$

$$F > F_{\alpha}$$

hipotezę  $H_0$  należy odrzucić czyli stwierdzono istotny wpływ rodzaju kuli na grubość kompozytu.

Dodatkowo przeprowadzono w tym przypadku test luki Tukeya aby potwierdzić dodatkową hipotezę, iż zastosowanie wszystkich trzech kul spowodowało powstanie istotnych różnic w grubościach kompozytu. Pierwszy etap procesu podziału badanych obiektów na istotnie różniące się grupy to uporządkowanie średnich obiektowych:

$$\bar{x}_1 < \bar{x}_2 < \dots < \bar{x}_k$$

W celu określenia czy istniejące różnice między grupami są istotne stosowany test oparty jest na funkcji testowej

$$t = \frac{\bar{x}_{i+1} - \bar{x}_i}{\sqrt{\frac{2V_e}{c}}}$$

Wartość graniczna  $t_{\alpha}$  odczytywana jest z tablic Studenta dla  $n - k$  stopni swobody. Jeżeli różnica  $\bar{x}_{i+1} - \bar{x}_i$  jest większa od półprzedziału ufności

$$L = t_{\alpha} \sqrt{\frac{2V_e}{c}}$$

to luka ta uważana jest za istotną. Metoda ta umożliwia wyodrębnienie szeregu grup wśród badanych obiektów. W przypadku analizy grubości warstwy kompozytu ze względu na rodzaj użytej kuli otrzymano półprzedział ufności postaci:

$$L = 2,02 \sqrt{\frac{2 \cdot 1,79}{15}} = 0,987$$

gdzie wielkość 2,02 została odczytana z tablic dla 42 stopni swobody i przyjętego poziomu istotności 0,05. Ze względu na nierówność:

$$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 1,75 > 0,987$$

$$\bar{x}_2 - \bar{x}_3 = 1,88 > 0,987$$

wykazano istotne różnice pomiędzy grubościami warstw kompozytu odpowiadającymi wszystkim trzem rodzajom kul.

## 2.2 Analiza wpływu rodzaju wkładki na grubość kompozytu

- Test analizy jednorodności wariancji

$$\hat{s}_1^2 = \frac{1}{14} \sum_{j=1}^{15} (x_{1j} - 6,28)^2 = 2,43$$

$$\hat{s}_2^2 = \frac{1}{14} \sum_{j=1}^{15} (x_{2j} - 4,85)^2 = 4,68$$

$$\hat{s}_3^2 = \frac{1}{14} \sum_{j=1}^{15} (x_{3j} - 4,41)^2 = 3,72$$

$$\tilde{s}^2 = \frac{1}{42} (34,02 + 65,5 + 52,07) = 3,61$$

$$c = 1 + \frac{1}{6} \left( \frac{3}{14} - \frac{1}{42} \right) = 1,03$$

$$\chi^2 = \frac{2,303}{1,103} [42 \cdot 0,56 - 22,77] = 1,44$$

$$\chi_\alpha^2 = 5,99 \text{ dla } 2 \text{ stopni swobody oraz poziomu istotności } 0,05$$

Ze względu na nierówność

$$1,44 < 5,99$$

$$\chi^2 < \chi_\alpha^2$$

nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy  $H_0$  czyli nie stwierdzono różnej wariancji grubości kompozytu przy różnej grubości wkładki. Zatem zostało spełnione założenie konieczne dla przeprowadzenia testu analizy wariancji o jednorodności wariancji.



- Test analizy wariancji

W przypadku weryfikacji hipotez dotyczących badania wpływu rodzaju wkładki na grubość kompozytu otrzymano następującą tablicę analizy wariancji:

źródło zmienności	Suma kwadratów	Stopnie swobody	Średni kwadrat
Między populacjami (objektami)	22,32	2	11,16
Wewnątrz obiektów (składnik losowy)	151,59	42	3,609

Wartość statystyki F wyniosła:

$$F = 3,09$$

Odczytana z tablic dla 2 i 42 stopni swobody oraz poziomu istotności 0,05 wartość krytyczna wyniosła:

$$F_{\alpha} = 3,22$$

Ze względu na nierówność

$$3,09 < 3,22$$

$$F < F_{\alpha}$$

nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy  $H_0$  czyli nie stwierdzono istotnego wpływu rodzaju wkładki na grubość kompozytu.

### 3. WNIOSKI

1. Badania wykazały, że wielkość odlewu ma wpływ na grubość powstałej powierzchniowej warstwy kompozytowej na poziomie istotności 0,05.
2. Ustalono w wyniku opracowania doświadczenia, że poziom istotności 0,05 okazał się niewystarczający do zaakceptowania hipotezy o istotnym wpływie rodzaju wkładki na grubość powierzchniowej warstwy kompozytowej.
3. W dalszych badaniach statystycznych należy ustalić poziom istotności, dla którego rodzaj wkładki będzie miał wpływ na grubość powstałego powierzchniowego kompozytu stopowego i zweryfikować badaną hipotezę ponownie na bazie kolejnych doświadczeń.

*Część badań wykonano dzięki dofinansowaniu przez Komitet Badań Naukowych (projekt badawczy KBN nr 3T08 B 032 27)*

#### **LITERATURA**

- [1] J. GAWROŃSKI, J. MARCINKOWSKA, J. SZAJNAR, M. CHOLEWA, P. WRÓBEL, Stopowe warstwy kompozytowe na odlewach stalowych. Krzepnięcie metali i stopów Nr24, 1995
- [2] C. BARON, J. GAWROŃSKI, Wyznaczenie grubości warstw kompozytowych na odlewach – rozważania teoretyczne, DOKSEM, Słowacja-Rajecko Teplice, 11-12 November 2003 s.5-11
- [3] C. BARON, Kompozyty powierzchniowe jako materiały o zwiększonej wytrzymałości, III Sympozjum Doktoranckie, 3-4 czerwca 2004 Lublin
- [4] J. GAWROŃSKI, C. BARON, Wyznaczenie grubości warstw kompozytowych metodą dyskretyzacji, VI Międzynarodowa Konferencja, Zjawiska Powierzchniowe w Procesach Odlewniczych, 17-19 czerwca 2004 Kołobrzeg
- [5] P. WRÓBEL, Uszlachetnianie powierzchni odlewów stalowych kompozytową warstwą stopową w procesie odlewania, Praca Doktorska, Gliwice 2004
- [6] W. FELLER, Wstęp do rachunku prawdopodobieństwa, PWN, Warszawa 1966
- [7] W. OKTABA, Elementy statystyki matematycznej i metodyka doświadczalnictwa, PWN, Warszawa 1980

#### **THE EXAMINATION OF THE DEPENDENCE BETWEEN THE THICKNESS OF SURFACE COMPOSITE LAYER AND THE SIZE OF CAST AND THE KIND OF COMPOSITE PAD**

#### **SUMMARY**

The studies over surface composite layer are presented in this work. They have been done in search of factors, which influence the thickness and quality of composite. The thickness of composite formed on the three kinds of balls (size 100, 80, 60 [mm]) and the three kinds of pads from ferrochromium (thickness 2, 3, 5 [mm]) have been examined. The tools of experimental statistics have done the analysis of data.

Recenzował prof. Jan Szajnar