



Przypadek I przedstawia zjawisko powstawania powierzchniowej warstwy kompozytowej. Opisano trzy podstawowe przypadki powstawania powierzchniowej warstwy kompozytowej. Każdy z poszczególnych przypadków przedstawia najważniejsze założenia, dzięki którym przeprowadzono badania, a mianowicie rodzaj formy, temperaturę zalewania, rodzaj i grubość wkładki kompozytującej oraz rodzaj materiału bazowego. Badania modelowe przeprowadzono na odlewach kul o średnicach 100, 80 i 60 mm. Jako wkładkę kompozytującą zastosowano żelazochrom o ziarnistości poniżej 0,3 mm i grubości 5, 3 i 2 mm, natomiast jako materiał na odlewniczo stalowa niskowęglowa L450, którego skład chemiczny podano w tabeli 1. Dokonano pomiarów grubości powstałej powierzchniowej warstwy kompozytowej. Wyniki pomiarów przedstawiają tabele 10 i 11. Określono procentowy zakres dyfuzji i transportu masy, co podano w tabelach 4, 6 i 8, oraz wykonano pomiary twardości powstałej warstwy kompozytowej (tabele 3, 5 i 7).

Przeprowadzono również analizę statystyczną wpływu rodzaju kuli (wielkości) i grubości wkładki z żelazochromu na grubość powstałego kompozytu powierzchniowego. Analiza danych zawiera testy: jednorodności wariancji, analizy wariancji oraz test t-ki dla trzech wielkości kul i trzech grubości wkładek kompozytujących. Narzędzia statystyki eksperymentalnej zostały wykorzystane w celu weryfikacji hipotez:

H_0 : brak wpływu danego czynnika na grubość powstałego kompozytu powierzchniowego,

H_1 : istnieje wpływ danego czynnika na grubość powstałego kompozytu powierzchniowego.

Analiza statystyczna potwierdziła znaczący wpływ rodzaju kuli - modułu krzepnięcia na grubość powstałego kompozytu powierzchniowego. W wyniku przeprowadzonego doświadczenia nie wykryto istotnego wpływu grubości użytej wkładki na grubość kompozytu. Aktualnie prowadzone są badania nad zjawiskiem dyfuzji i transportu masy z uwzględnieniem możliwości przewidywania grubości warstwy kompozytowej. Umożliwi to w przyszłości otrzymywanie warstwy kompozytowej o założonej z góry grubości.

Słowa kluczowe: odlewnictwo, kompozyt powierzchniowy, powierzchniowa warstwa stopowa, kompozyt odlewany

INFLUENCE OF THE DIFFUSION AND MASS TRANSPORT ON THE THICKNESS OF COMPOSITE

In this work the results of research works connected with the phenomenon of surface composite layer formation are presented. Three basic cases of forming surface composite layer have been described. Each of particular cases presents the most important assumptions: the kind of mould, pouring temperature, the kind and thickness of composite pad and the kind of basic material. Thanks to them studies have been done. They have been done for ball casting of 100, 80 and 60 mm diameter. Ferrochromium with the granularity below 0.3 mm and the thickness 5, 3 and 2 mm have been used as the composite pad. Low-carbon cast steel L450 have been used as the material for the matrix. Its chemical analysis is presented in Table 1. The composite layer thickness measurement was conducted. The results of measurements are presented in Tables 10 and 11. The range of diffusion and mass transport in percentage has been set and presented in Tables 4, 6, 8. The measurements of the hardness of composite layer have been done as well. The results are shown in Table 3, 5, 7.

The statistical analysis concerning ball size and pad thickness impact of the composite layer thickness has done. The analysis consisted of three tests: homogeneity of variance, analysis of variance and gap test. They have been done for three sizes of ball casting and three kinds of composite pad thickness. The tools of experimental statistics have verified the following hypothesis:

H_0 : there is no influence of given factor on the thickness of composite,

H_1 : there is influence of given factor on the thickness of composite.

Important influence of the kind of ball - solidification module on the thickness of surface composite has been confirmed by statistical analysis. Influence of the thickness of pad on the thickness of surface composite has not been confirmed. At the present moment studies on the effect of diffusion and mass transport are conducted. The possibility of forecasting the thickness of the composite layer is taken into consideration. It would enable getting the composite layer with predicted thickness.

Key words: casting, composite, cast, alloy layer

BADANIA MODELOWE POWSTAWANIA POWIERZCHNIOWEJ WARSTWY KOMPOZYTOWEJ

Aby opisać zjawisko dyfuzji i transportu masy w stopowych kompozytach powierzchniowych, należy rozważyć trzy przypadki przedstawione na rysunkach 1, 2 i 4. Każdy z poniżej opisanych przypadków dotyczy

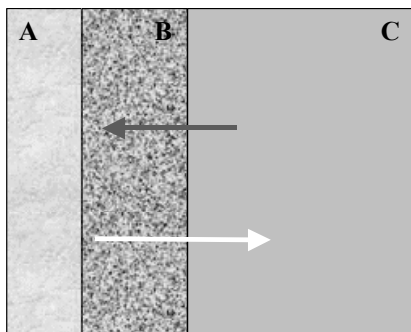
określonego modułu krzepnięcia, rodzaju i grubości wkładki kompozytującej.

Z powodu niskiej temperatury zalewania (1550°C) dyfuzja i transport masy były ograniczone.

- Temperatura zalewania do 1550°C
- Wkładka z FeCr - na rysunku 1
- Materiał bazowy: staliwo niskowęglowe
- Zalewanie do formy piaskowej
- Zakres dyfuzji i transportu masy
- Część wkładki, która nie została przetopiona przez E
- → Dyfundujące jony żelaza

¹ mgr inż., ² prof. zw. dr inż.

Przypadek III



Rys. 4. Zakres dyfuzji i transportu masy

Fig. 4. The range of diffusion and the mass transport

- Temperatura zalewania powyżej 1600°C
- Wkładka z FeCr - na rysunku 1
- Materiał bazowy: staliwo nierdzewne
- Zalewanie do formy piaskowej
- → Dyfundujące jony żelaza
- ⇄ Dyfundujące jony chromu

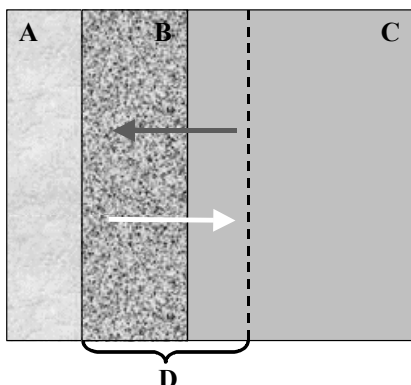
oznaczonym na rysunku przez D. Szybkie chłodzenie odlewu spowodowało, że wkładka kompozytująca nie została przetopiona w całości, co wpłynęło na powstanie warstwy kompozytowej o małej grubości. Niecałkowite przetopienie wkładki wpłynęło także na kształt

Przy dobraniu optymalnej temperatury zalewania (1600°C) wkładka kompozytująca została całkowicie

i wymiary odlewu. Ponieważ wkładka kompozytująca była umieszczona na wewnętrznej stronie formy, po zalaniu i wybiciu z formy odlew był mniejszy (w miejscu umieszczenia wkładki) o grubość nieprzetopionej wkładki, co na rysunku oznaczono przez E.

kompozytu. Dwukierunkowa dyfuzja i transport masy spowodowały, że powstały kompozyt charakteryzuje się

Przypadek II

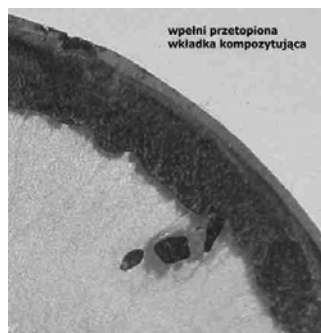


Rys. 2. Zakres dyfuzji i transportu masy

Fig. 2. The range of diffusion and the mass transport

przetopiona. Dyfuzja i transport masy spowodowały powstanie kompozytowej warstwy stopowej na odlewie w zakresie oznaczonym na rysunku 2 przez D. Całkowite przetopienie wkładki - przedstawione na rysunku 3 -

jednorodnością składu chemicznego, zwiększoną twardością i odpornością na ścieranie, co zostało potwierdzone badaniami eksperymentalnymi.



Rys. 3. Widok przetopionej wkładki kompozytującej

Fig. 3. Widok przetopionej wkładki kompozytującej

wpłynęło korzystnie zarówno na kształt gotowego odlewu, jak również na jakość i grubość powstałej warstwy

W przypadku gdy temperatura zalewania wynosiła 1650°C, nastąpiło nie tylko przetopienie, ale wręcz wy-

mieszanie składników wkładki kompozytującej i staliwa. W takim przypadku nie zaobserwowano powstania powierzchniowej warstwy kompozytowej.

Należy podkreślić, że badania modelowe były przeprowadzone na odlewach kul ze staliwa niskowęglowego L450 o temperaturach charakterystycznych $T_L - 1525^{\circ}\text{C}$, $T_S - 1490^{\circ}\text{C}$ i składzie chemicznym podanym w tabeli 1.

TABELA 1. Skład chemiczny staliwa
TABLE 1. 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

Średnice i moduły krzepnięcia kul wynoszą odpowiednio:

kula 1 śr. 10 cm; moduł krzepnięcia 1,67 cm

kula 2 śr. 8 cm; moduł krzepnięcia 1,33 cm

kula 3 śr. 6 cm; moduł krzepnięcia 1 cm

Zastosowano wkładki 2, 3, 5 mm z żelazochromu wysokowęglowego (Cr800) o ziarnistości poniżej 0,3 mm. Skład chemiczny FeCr podano w tabeli 2.

TABELA 2. Skład chemiczny żelazochromu
TABLE 2. 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

Aby określić wielkość transportu masy, wykonano pomiary grubości, twardości oraz procentowego rozłożenia pierwiastków w powierzchniowej warstwie stopowej.

TABELA 3. Twardość kompozytu powstałego z wkładki z FeCr o grubości 2 mm
TABLE 3. The hardness of the composite formed from the pad FeCr of the thickness 2 mm

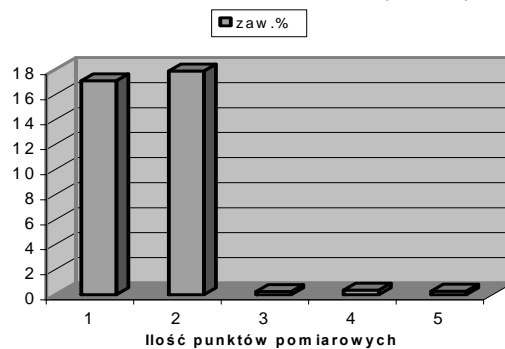
FeCr (2 mm), HV			
Lp.	Kula 1	Kula 2	Kula 3
1	465	477	457
2	708	426	429
3	668	462	581
4	383	481	729
5	457	523	477
6	444	470	404
7	476	181	355
8	155	180	155
9	136	179	153
10	140	166	133

TABELA 4. Zawartość Cr dla wkładki z FeCr o grubości 2 mm

TABLE 4. The contents of Cr for the pad FeCr of the thickness 2 mm

Zawartość Cr dla FeCr (2 mm)					
Punkt	1	2	3	4	5
Zawartość %	17,09	17,88	0,27	0,37	0,28
	Powierzchniowa warstwa kompozytowa			Odlew bazowy (staliwo)	

Zawartość % Cr dla FeCr (2 mm)



Rys. 5. Procentowa zawartość Cr dla kompozytu powstałego z wkładki z FeCr o grubości 2 mm

Fig. 5. The contents in percentage terms of Cr for the composite formed from the pad FeCr of the thickness 2 mm

TABELA 5. Twardość kompozytu powstałego z wkładki z FeCr o grubości 3 mm

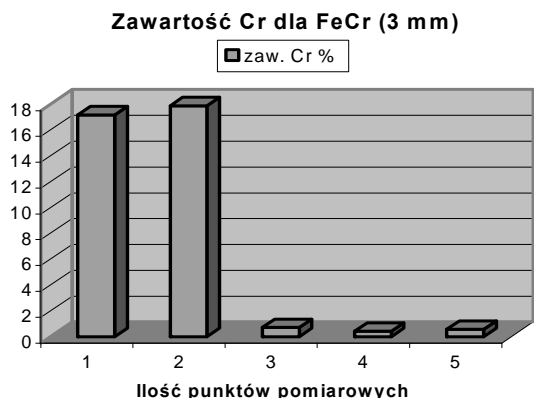
TABLE 5. The hardness of the composite formed from the pad FeCr of the thickness 3 mm

FeCr (3 mm), HV			
Lp.	Kula 1	Kula 2	Kula 3
1	384	503	386
2	437	581	316
3	349	592	371
4	400	483	338
5	347	492	362
6	446	186	382
7	525	186	130
8	159	160	132
9	141	125	114
10	139	115	129

TABELA 6. Zawartość Cr dla wkładki z FeCr o grubości 3 mm

TABLE 6. The contents of Cr for the pad FeCr of the thickness 3 mm

Zawartość Cr dla FeCr (3 mm)					
Punkt	1	2	3	4	5
Zawartość %	17,19	17,89	0,71	0,42	0,57
	Powierzchniowa warstwa kompozytowa			Odlew bazowy (staliwo)	



Rys. 6. Procentowa zawartość Cr dla kompozytu powstałego z wkładki z FeCr o grubości 3 mm

Fig. 6. The contents in percentage terms of Cr for the composite formed from the pad FeCr of the thickness 3 mm

TABELA 7. Twardość kompozytu powstałego z wkładki z FeCr o grubości 5 mm

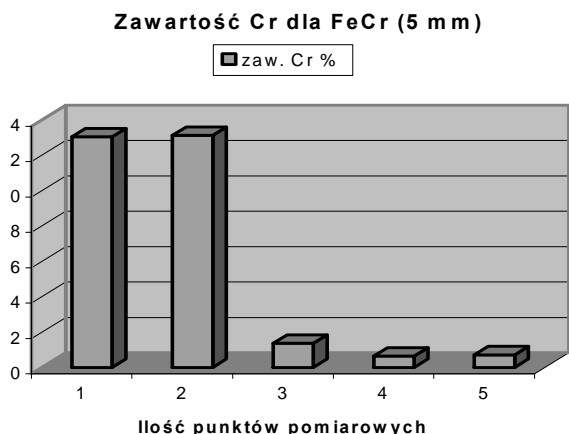
TABLE 7. The hardness of the composite formed from the pad FeCr of the thickness 5 mm

FeCr (5 mm), HV			
Lp.	Kula 1	Kula 2	Kula 3
1	772	448	758
2	662	455	614
3	570	546	563
4	541	529	494
5	224	448	177
6	206	520	135
7	168	260	127
8	148	224	115
9	152	150	140
10	145	105	

TABELA 8. Zawartość Cr dla wkładki z FeCr o grubości 5 mm

TABLE 8. The contents of Cr for the pad FeCr of the thickness 5 mm

Zawartość Cr dla FeCr (5 mm)					
Punkt	1	2	3	4	5
Zawartość %	13,05	13,13	1,36	0,65	0,72
	Powierzchniowa warstwa kompozytowa		Odlew bazowy (staliwo)		



Rys. 7. Procentowa zawartość Cr dla kompozytu powstałego z wkładki z FeCr o grubości 5 mm

Fig. 7. The contents in percentage terms of Cr for the composite formed from the pad FeCr of the thickness 5 mm

Wytworzona powierzchniowa warstwa kompozytowa charakteryzuje się zwiększoną twardością, średnio trzykrotnie większą od materiału bazowego, co potwierdzają wyniki badań przedstawione w tabelach 3, 5 i 7, oraz równomiernym rozłożeniem pierwiastków stopowych w kompozycie. Analiza chemiczna, której wyniki przedstawiono w tabelach 4, 6 i 8 oraz na rysunkach 5, 6 i 7, potwierdziła, że dwukierunkowa dyfuzja dąży do wyrównania potencjałów - składu chemicznego w zakresie powierzchniowej warstwy kompozytowej.

TABELA 9. Tablica analizy wariancji

TABLE 9. The board of analysis of variance

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:

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

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

W ramach badań przeprowadzono także analizę statystyczną wpływu rodzaju kuli (wielkości) i grubości wkładki z żelazochromu na grubość powstałego kompozytu powierzchniowego. Analiza danych zawiera testy: jednorodności wariancji, analizy wariancji oraz test łuki dla trzech wielkości kul i trzech grubości wkładek kompozytujących. Test analizy wariancji został przeprowadzony według schematu ujętego w postaci tablicy analizy wariancji przedstawionej w tabeli 9.

Danych jest k populacji o rozkładzie normalnym $N(m_i, \sigma)$ ($i = 1, 2, \dots, k$) lub o rozkładzie zbliżonym do normalnego o równych wariancjach (niekoniecznie znanych). Z każdej populacji wylosowano niezależnie próby o liczebnościach n_i elementów. Wyniki prób oznaczone są przez x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, k, j = 1, 2, \dots, n_i$), przy czym $x_{ij} = m_i + \varepsilon_{ij}$, gdzie ε_{ij} jest wartością zmiennej losowej mającej rozkład $N(0, \sigma)$. Należy zweryfikować hipotezy:

H_0 : brak wpływu czynnika na badane zjawisko,

H_1 : istnieje wpływ czynnika na badane zjawisko.

W teście wykorzystana jest 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. Wartość krytyczna F_α odczytywana jest z tablicy F Snedecora dla ustalonego z góry poziomu istotności α i dla odpowiedniej liczby $k - 1$ oraz $n - k$ stopni swobody w taki sposób, by zachodziło

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

Do sprawdzenia koniecznego dla testu analizy wariancji założenia o jednakowych wariancjach we wszystkich badanych grupach wykorzystano w pracy test jednorodności wielu wariancji Barletta.

Danych jest k populacji o rozkładzie normalnym $N(m_i, \sigma_i)$ ($i = 1, 2, \dots, k$). Z każdej populacji wylosowano niezależnie próby o liczebnościach n_i elementów. Wyniki prób oznaczone są przez x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, k$ $j = 1, 2, \dots, n$).

Należy zweryfikować hipotezy:

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

H_1 : nie wszystkie wariancje są równe.

Z wyników k prób o liczebnościach n_i obliczamy 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 χ^2 ma przy założeniu prawdziwości hipotezy H_0 rozkład asymptotyczny χ^2 z $k - 1$ stopniami swobody. Wartość krytyczna χ_α^2 odczytywana jest z tablicy χ^2 dla ustalonego z góry poziomu istotności α i dla odpowiedniej liczby $k - 1$ stopni swobody w taki sposób, by zachodziło

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

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

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

Wartość graniczna t_α 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.

Wnioskowanie statystyczne przeprowadzone zostało na podstawie danych zebranych w doświadczeniu i przedstawionych w tabelach 10 i 11.

TABELA 10. Grubość kompozytu dla kul o średnicach 100, 80, 60 mm

TABLE 10. The thickness of the composite for the balls with the diameter 100, 80, 60 mm

Kula 1	Kula 2	Kula 3
Grubość kompozytu, 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 11. Grubość kompozytu dla wkładek

kompozytujących o grubościach 2, 3, 5 mm

TABLE 11. The thickness of the composite for the composite pads with the thickness 2, 3, 5 mm

Wkładka 2 mm	Wkładka 3 mm	Wkładka 5 mm
Grubość kompozytu, 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

Analiza wpływu rodzaju kuli na grubość kompozytu

Test analizy jednorodności wariancji

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

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

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

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

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

$$\chi^2 = \frac{2,303}{1,03} [42 \cdot 0,25 - 9,69] = 2,19$$

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

Ze względu na nierówność:

$$2,19 < 5,99$$

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

nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 , czyli nie stwierdzono różnej wariancji grubości przy różnym rodzaju kuli.

Test analizy wariancji

$$\sum_{j=1}^{15} (x_{1j} - 7,64)^2 = 17,26$$

$$\sum_{j=1}^{15} (x_{2j} - 5,89)^2 = 21,38$$

$$\sum_{j=1}^{15} (x_{3j} - 4,01)^2 = 36,6$$

$$(\bar{x}_1 - \bar{x})^2 15 = 48,24$$

$$(\bar{x}_2 - \bar{x})^2 15 = 0,024$$

$$(\bar{x}_3 - \bar{x})^2 15 = 50,42$$

Wyniki obliczeń dotyczących statystyki F zawiera tabela 12.

TABELA 12. Tablica analizy wariancji
TABLE 12. The board of analysis of variance

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

$$F = 27,54$$

$F_\alpha = 3,22$ dla 2 i 42 stopni swobody oraz poziomu istotności 0,05.

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.

Test luki Tukeya

$t_\epsilon = 2,02$ dla 42 stopni swobody oraz poziomu istotności 0,05

$$L = 2,02 \sqrt{\frac{2 \cdot 1,79}{15}} = 0,99$$

$$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 1,75 > 0,99$$

$$\bar{x}_2 - \bar{x}_3 = 1,87 > 0,99$$

Wykazano istotne różnice pomiędzy grubościami odpowiadającymi wszystkim trzem kulom.

Analiza wpływu rodzaju wkładki na grubość kompozytu

Test analizy jednorodności wariancji

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

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

$$\hat{s}_3^2 = \frac{1}{14} \sum_{j=1}^{15} (x_{3j} - 6,41)^2 = 3,72$$

$$3,09 < 3,22$$

$$F < F_\alpha$$

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

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

$$\chi^2 = \frac{2,303}{1,03} [42 \cdot 0,56 - 22,77] = 1,44$$

$\chi_\alpha^2 = 5,99$ dla 2 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 przy różnym rodzaju wkładki.

Test analizy wariancji

$$\sum_{j=1}^{15} (x_{1j} - 6,28)^2 = 34,02$$

$$\sum_{j=1}^{15} (x_{2j} - 4,85)^2 = 65,5$$

$$\sum_{j=1}^{15} (x_{3j} - 6,41)^2 = 52,07$$

$$(\bar{x}_1 - \bar{\bar{x}})^2 15 = 2,82$$

$$(\bar{x}_2 - \bar{\bar{x}})^2 15 = 14,8$$

$$(\bar{x}_3 - \bar{\bar{x}})^2 15 = 4,7$$

TABELA 13. Tablica analizy wariancji
TABLE 13. The board of analysis of variance

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

$$F = 3,09$$

$F_\alpha = 3,22$ dla 2 i 42 stopni swobody oraz poziomu istotności 0,05.

Ze względu na nierówność:

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

WNIOSKI

1. Prezentowane wyniki wskazują na zjawisko powstawania warstwy kompozytowej, jej zależności od warunków oraz pozwalają na obserwację transportu masy, którego wynikiem jest powstawanie warstwy kompozytowej.
2. Analizując zmiany w rozkładzie stężenia Cr można w przyszłości podjąć próbę określenia czynników, od których i w jakim stopniu zależy transport masy.
3. W doświadczeniu zbadano wpływ wielkości kuli oraz grubości wkładki z FeCr na grubość kompozytu. Okazało się, iż znaczący wpływ na grubość warstwy kompozytu ma wielkość użytej kuli (moduł krzepnięcia, pojemność cieplna). Istotne różnice w grubości kompozytu wystąpiły w przypadku wszystkich trzech badanych kul. W wyniku przeprowadzonego doświadczenia nie wykryto również znaczącego wpływu grubości użytej wkładki na grubość kompozytu.

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

LITERATURA

- [1] Baron C., Gawroński J., Stochastyczna metoda wyznaczania grubości warstw kompozytowych na odlewach, AMME, Polska-Zakopane, 2003, 51-56.
- [2] Feller W., Wstęp do rachunku prawdopodobieństwa, PWN, Warszawa 1966.
- [3] Baron C., Gawroński J., Empiryczne wyznaczenie prawdopodobieństw powstawania warstwy kompozytowej, Archiwum Odlewnictwa 2004, 4, 14.
- [4] Gawroński J., Marcinkowska J., Szajnar J., Cholewa M., Wróbel P., Stopowe warstwy kompozytowe na odlewach stalowych, Krzepnięcie Metali i Stopów 1995, 24.
- [5] Baron C., Gawroński J., Wyznaczanie grubości warstw kompozytowych na odlewach - rozważania teoretyczne, DOKSEM, Słowacja-Rajecké Teplice, 11-12 November 2003, 5-11.
- [6] Gawroński J., Baron C., Wróbel P., Majchrzak E., Opis matematyczny przepływu ciepła w kompozytowej warstwie stopowej, VIII Seminarium Ogólnopolskie Kompozyty - Teoria i praktyka, Ustroń, 21-23 kwietnia 2004.
- [7] Baron C., Kompozyty powierzchniowe jako materiały o zwiększonej wytrzymałości, III Sympozjum Doktoranckie, Lublin 3-4 czerwca 2004.
- [8] Gawroński J., Baron C., Wyznaczanie grubości warstw kompozytowych metodą dyskretyzacji, VI Międzynarodowa

Konferencja Zjawiska Powierzchniowe w Procesach Odlewniczych, Kołobrzeg, 17-19 czerwca 2004.

Recenzent
Zbigniew Górny

- [9] Jarzębski Z.M., Dyfuzja w metalach, Śląsk, Katowice 1975.
- [10] Wróbel P., Uszlachetnianie powierzchni odlewów staliwnych kompozytową warstwą stopową w procesie odlewania, Praca doktorska, Gliwice 2004.