

Jednorodność rozmieszczenia fazy zbrojącej w odlewach z metalowych materiałów kompozytowych

K. Gawdzińska ^{a*}, M. Maliński ^b, J. Chrapoński ^b,

^a Zakład Technologii Materiałów, Instytut Nauk Podstawowych Technicznych, Akademia Morska w Szczecinie, ul. Podgórna 51/53, 70-205 Szczecin, Polska

^b Katedra Nauki o Materiałach, Politechnika Śląska, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, Polska

*Kontakt korespondencyjny: e-mail: k.gawdzinska@am.szczecin.pl

Otrzymano 20.05.2010; zaakceptowano do druku 05.06.2010

Streszczenie

W niniejszym artykule przedstawiono opis rozmieszczenia fazy zbrojącej (węgiel krzemu w postaci cząstek) w odlewach kompozytowych o osnowie siluminowej (AlSi11) za pomocą metod statystycznych. Do oceny jednorodności rozmieszczenia badanych elementów na badanym obszarze wykorzystano metodę SKIZ (*Skeleton by Influence Zone*). Analizę statystyczną przeprowadzono za pomocą testu Kruskala-Wallisa.

Badania nad określeniem parametrów jakości odlewów kompozytowych, do których można zaliczyć jednorodność rozmieszczenia fazy zbrojącej przyczynią się do wytworzenia materiałów z małą ilością defektów strukturalnych co na bezpośredni wpływ ma koszty ekonomiczne i ekologiczne.

Słowa kluczowe: Odlewy kompozytowe, Jednorodność rozmieszczenia cząstek.

1. Wprowadzenie

Odlewnictwo stało się obecnie technologią przyjazną środowisku, obowiązują tu europejskie przepisy dotyczące ochrony środowiska wymuszające na odlewniach ograniczanie emisji gazów, hałasu, ścieków.

Konieczność eliminacji negatywnego wpływu odlewnictwa na środowisko naturalne oraz konieczność wykorzystania pełnego recyklingu produktów i materiałów stosowanych do ich wytwarzania wymaga budowania świadomości wśród naukowców, technologów i pracowników odlewni. Ich działania mają bezpośredni wpływ na poprawę jakości tworzyw odlewanych co

wpływa na środowisko naturalne i indywidualne warunki ich pracy [1].

Odlewy z metalowych materiałów kompozytowych stosuje w wielu dziedzinach, począwszy od motoryzacji, aż po specjalistyczne zastosowania medyczne. Początek rozwoju krajowego rynku kompozytów nastąpił wraz z przystąpieniem Polski do EWG [1–2]. Napływ inwestycji związanych z przemysłem budownictwem, energetycznym i innymi przyczynił się do wzrostu zapotrzebowania na te materiały.

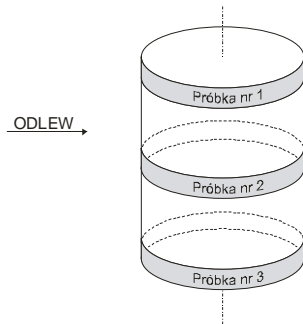
Kompozyty są materiałami konstrukcyjnymi składającymi się z co najmniej dwóch połączonych materiałów. W jednym z nich, zwanym osnową-lepiszczem, „spojona” jest faza zbrojąca np. w formie włókien, cząstek, wiskersów. Od rozmieszczenia fazy

zbrojącej np. cząstek w przestrzeni odlewu lub np. kierunku ułożenia włókien zależy w dużym stopniu, wytrzymałość mechaniczna kompozytu [3–5]. Ważne jest zatem przede wszystkim, aby rozmieszczenie fazy zbrojącej było możliwie jednorodne w przestrzeni gotowego wyrobu. Wykorzystując te zależności możemy otrzymywać materiały konstrukcyjne, odznaczające się dobrą jakością. Jeżeli natomiast przyjmiemy, że jednorodność jako właściwość struktury materiału kompozytowego charakteryzuje się tym, że struktura badana w różnych miejscach wykazuje brak różnic statystycznie istotnych, to do badania jednorodności rozmieszczenia fazy zbrojącej możemy zastosować metody statystyczne [6].

2. Badania

W pracy postanowiono zbadać jednorodność rozmieszczenia fazy zbrojącej w przestrzeni zawieszinowego odlewu kompozytowego (AlSi11/SiC), wytwarzanego metodą mechanicznego mieszania [5].

Analizowano trzy próbki pobrane z badanego materiału zgodnie z rys. 1.

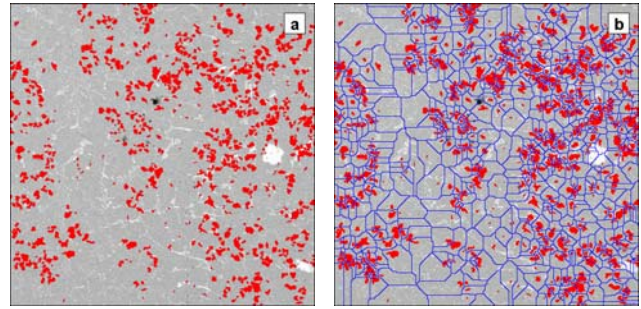


Rys. 1. Obszary pobrania miejsca do analizy jednorodności rozmieszczenia fazy zbrojącej w przestrzeni odlewu

Wartość powiększenia przy jakim dokonywano pomiarów dobrano doświadczalnie i przedstawiono w tabelach oraz pod rysunkami. Do pomiarów zmienności rozmieszczenia cząstek między próbkami zastosowano metodę pomiaru zwana SKIZ [7–9]. Procedura SKIZ jest to operacja morfologii matematycznej oparta na dylatacji. Zastosowanie ciągłej i izotropowej dylatacji, której początek stanowi linia wyznaczająca brzeg każdego obiektu, pozwala na jednoznaczne przyporządkowanie części obszaru otaczającego obiekt [7, 10–11]. Linia powstała w miejscu, gdzie dwa lub trzy dylatujące obszary zaczynają się stykać, dzieli całą powierzchnię na pola odzwierciedlające wzajemne położenie obiektów (rys. 2). Powierzchnie te określają straty wpływu obiektów (cząstek). Jeżeli będą one (równe – jednakowe) w świetle testu nieistotnie różne ze względu na kształt i wielkość, to rozmieszczenie tych obiektów (w rozpatrywanym przypadku: cząstek) można uznać za równomierne [12–13].

Równomierność rozmieszczenia cząstek na danym obszarze opisuje współczynnik zmienności, zwany też wskaźnikiem niejednorodności rozmieszczenia (WNR) [9]. Jest on z definicji [14]: klasyczną miarą zróżnicowania rozkładu cech. Jest to miara względna zależna od wielkości średniej arytmetycznej [9, 12–14] i opisujemy ją wzorem:

$$WNR = \frac{\text{odchylenie standardowe z próby}}{\text{średnia arytmetyczna z próby}} [\%]$$



Rys. 2. Obraz cząstek fazy zbrojącej (a) oraz ten sam obraz z granicami stref wpływu (b). Procedura SKIZ

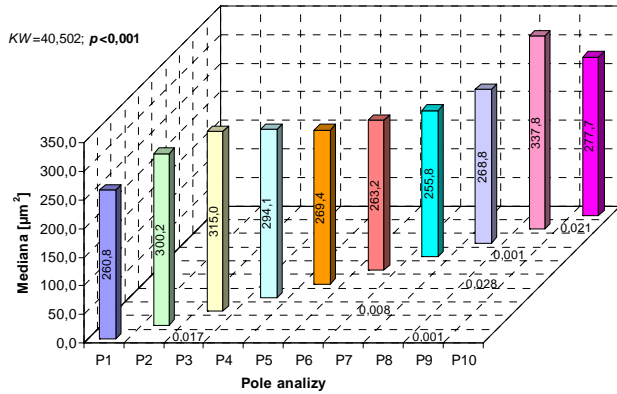
W celu zbadania jednorodności rozmieszczenia cząstek w odlewie przeprowadzono analizę statystyczną z wynikami dla każdej próbki oddzielnie (analiza między 10 polami analizy, czyli jednorodność rozmieszczenia lokalna) oraz w obrębie próbek 1, 2 i 3 (czyli jednorodność globalna – w przestrzeni odlewu na podstawie trzech reprezentatywnych próbek).

Ponieważ w większości przypadków na każdym polu analizy występuje odstępstwo od rozkładu normalnego ($p < 0,05$), co sprawdzono za pomocą testu Kołmogorowa (wyniki testu w tab. 1, 6–7, 13–14, 18–19, 24), zastosowano do porównania badanych obszarów test Kruskala-Wallisa [12–14]. Pozostałe parametry stereologiczne przedstawiono w zestawieniach tabelarycznych. Wyniki testu umieszczono na rysunkach 1–8. W przypadkach, gdy wynik testu Kruskala-Wallisa wskazuje na istotność różnic ($p < 0,05$ w lewym górnym rogu rysunku), zastosowano wzajemne porównania parami „każda z każdą”. Te przypadki, w których wystąpiły różnice istotne statystycznie wskazano poprzez podanie wartości poziomu istotności statystycznej (w podłożu rysunku).

Tabela 1.

Ilościowy opis powierzchni płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej – próbka 1 (pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Nr pola analizy	Średnia μm^2	SD μm^2	Wsp. zm. %	Min μm^2	Kwartyl 1 μm^2	Mediana μm^2	Kwartyl 3 μm^2	Max μm^2	Wynik testu Kołmogorowa
1	331,7	269,6	81,3	12,3	131,2	260,8	464,4	2115,2	<0,01
2	362,3	264,1	72,9	3,1	161,5	300,2	502,4	1451,9	<0,01
3	384,9	300,8	78,1	3,7	157,8	315,0	515,4	2250,8	<0,01
4	384,9	325,6	84,6	3,1	151,7	294,1	521,6	2341,5	<0,01
5	347,2	278,7	80,3	12,3	152,9	269,4	468,2	2186,1	<0,01
6	340,5	277,3	81,4	3,1	135,9	263,2	469,5	1827,9	<0,01
7	328,3	267,6	81,5	6,2	139,2	255,8	444,8	1675,0	<0,01
8	368,3	313,7	85,2	7,4	138,4	268,8	506,8	1915,5	<0,01
9	416,1	339,5	81,6	16,0	165,2	337,8	595,4	2647,3	<0,01
10	347,0	274,2	79,0	3,1	141,2	277,7	473,3	1506,7	<0,01



Rys. 1. Wartości mediana pola powierzchni płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej oraz wynik testu Kruskala-Wallisa z uwzględnieniem poziomu istotności statystycznej we wzajemnych porównaniach parami (próbka 1; pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Tabela 2.

Ilościowy opis obwodu płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej – próbka 1 (pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Nr pola analizy	Średnia μm	SD μm	Wsp. zm. %	Min μm	Kwartyl_1 μm	Mediana μm	Kwartyl_3 μm	Max μm
1	69,9	31,2	44,6	9,4	44,8	66,3	91,1	182,9
2	74,1	30,8	41,6	3,9	51,0	73,0	94,2	166,5
3	76,7	32,7	42,7	4,7	51,0	73,0	98,1	193,2
4	76,2	34,9	45,8	3,9	49,5	72,2	98,1	186,9
5	71,2	30,7	43,1	11,0	49,5	67,9	89,7	197,9
6	71,5	32,3	45,2	3,1	47,1	69,9	92,7	178,2
7	69,2	30,5	44,1	7,9	47,1	65,2	88,7	184,5
8	74,1	34,2	46,1	7,1	47,9	69,9	95,0	186,1
9	78,9	35,5	45,0	11,0	51,8	76,2	103,6	202,6
10	72,1	31,6	43,9	3,9	48,1	69,1	91,9	169,6

Tabela 3.

Ilościowy opis średnicy maksymalnej płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej – próbka 1 (pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Nr pola analizy	Średnia μm	SD μm	Wsp. zm. %	Min μm	Kwartyl_1 μm	Mediana μm	Kwartyl_3 μm	Max μm
1	27,7	11,9	43,1	4,7	18,8	26,3	36,1	72,2
2	29,3	11,8	40,1	2,4	20,4	29,1	37,7	63,6
3	30,2	12,4	40,9	2,4	21,2	28,3	38,5	76,9
4	30,2	13,3	43,9	2,4	20,4	29,1	39,3	73,0
5	28,1	11,7	41,4	4,7	19,6	26,7	35,3	74,6
6	28,5	12,3	43,2	2,4	18,8	28,3	36,9	70,7
7	27,3	11,6	42,3	3,9	18,8	25,9	34,5	74,6
8	29,5	12,9	43,9	3,9	19,6	28,3	36,9	72,2
9	31,1	13,4	42,9	5,5	21,2	30,6	40,0	83,2
10	28,6	11,9	41,7	3,9	19,6	27,5	36,9	69,9

Tabela 4.

Ilościowy opis średnicy minimalnej płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej – próbka 1 (pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Nr pola analizy	Średnia μm	SD μm	Wsp. zm. %	Min μm	Kwartyl_1 μm	Mediana μm	Kwartyl_3 μm	Max μm
1	16,3	7,3	45,1	3,1	11,0	14,9	21,2	51,0
2	17,2	7,3	42,7	1,6	11,8	16,5	22,0	40,8
3	17,6	8,0	45,5	1,6	11,8	16,5	22,0	44,8
4	17,4	8,4	48,0	1,6	11,8	15,7	22,0	50,3
5	16,9	7,3	43,2	3,9	11,8	15,7	20,4	45,5
6	16,3	7,7	47,6	1,6	10,2	14,9	21,2	44,8
7	16,3	7,4	45,3	1,6	11,0	14,9	20,4	45,5
8	16,9	8,4	49,5	2,4	10,2	14,9	22,0	48,7
9	18,2	8,7	48,1	3,1	11,0	17,3	24,3	52,6
10	16,7	7,6	45,7	0,8	11,0	15,7	21,8	41,6

Tabela 5.

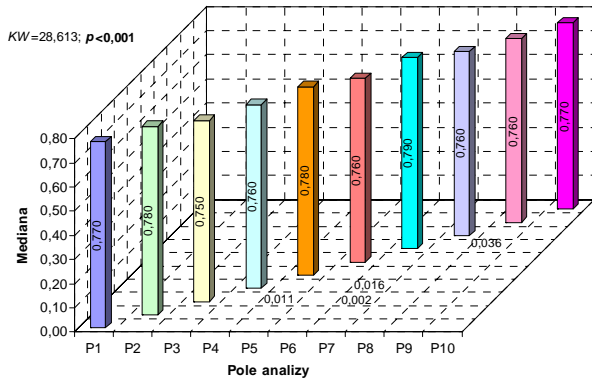
Ilościowy opis średnicy średniej płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej – próbka 1 (pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Nr pola analizy	Średnia μm	SD μm	Wsp. zm. %	Min μm	Kwartyl_1 μm	Mediana μm	Kwartyl_3 μm	Max μm
1	22,8	9,5	41,8	3,9	14,9	22,0	29,1	58,1
2	24,0	9,4	39,0	2,4	17,3	23,6	29,8	51,0
3	24,9	9,9	39,9	2,4	17,3	23,6	31,4	61,2
4	24,7	10,6	43,1	2,4	16,5	23,6	31,4	59,7
5	23,2	9,4	40,4	4,7	16,5	22,0	29,1	61,2
6	23,3	9,8	42,2	2,4	15,7	22,8	29,8	57,3
7	22,6	9,3	41,2	3,1	15,7	21,2	28,3	55,0
8	24,1	10,4	43,2	3,1	15,7	22,8	30,6	56,5
9	25,6	10,8	42,2	4,7	17,3	25,1	33,0	62,0
10	23,4	9,6	40,9	3,1	16,5	22,8	29,8	53,4

Tabela 6.

Ilościowy opis kształtu płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej – próbka 1 (pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

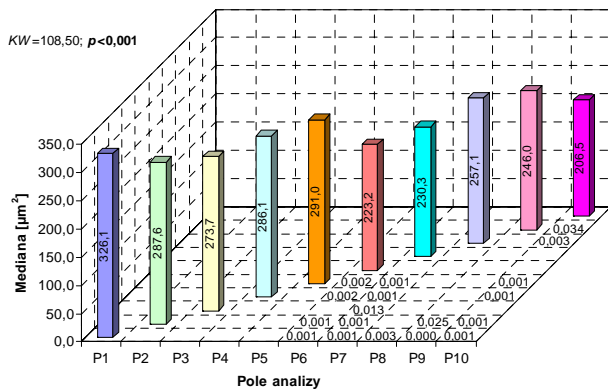
Nr pola analizy	Średnia	SD	Wsp. zm. %	Min	Kwartyl_1	Mediana	Kwartyl_3	Max	Wynik testu Kolmogorowa
1	0,767	0,136	17,7	0,310	0,688	0,770	0,860	1,000	>0,10
2	0,755	0,144	19,0	0,000	0,660	0,780	0,850	1,000	<0,01
3	0,746	0,142	19,0	0,000	0,660	0,750	0,850	1,000	>0,10
4	0,747	0,154	20,6	0,000	0,660	0,760	0,850	1,000	>0,10
5	0,777	0,128	16,4	0,420	0,690	0,780	0,870	1,000	>0,10
6	0,755	0,149	19,7	0,300	0,660	0,760	0,865	1,000	>0,10
7	0,774	0,143	18,5	0,000	0,690	0,790	0,880	1,000	<0,05
8	0,753	0,146	19,4	0,320	0,660	0,760	0,860	1,000	>0,10
9	0,752	0,142	18,9	0,290	0,660	0,760	0,848	1,000	>0,10
10	0,757	0,145	19,1	0,000	0,670	0,770	0,860	1,000	>0,10



Rys. 2. Wartości mediana bezwymiarowego współczynnika kształtu płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej oraz wynik testu Kruskala-Wallisa z uwzględnieniem poziomu istotności statystycznej we wzajemnych porównaniach parami (próbka 1; pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Tabela 7. Ilościowy opis powierzchni płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej – próbka 2 (pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Nr pola analizy	Średnia μm^2	SD μm^2	Wsp. zm. %	Min μm^2	Kwartyl_1 μm^2	Mediana μm^2	Kwartyl_3 μm^2	Max μm^2	Wynik testu Kolmogorowa
1	429,3	382,2	89,0	3,1	150,4	326,1	590,6	2795,8	<0,01
2	390,9	349,6	89,4	3,7	150,6	287,6	525,6	2551,7	<0,01
3	363,7	320,2	88,0	2,5	129,5	273,7	492,0	2020,9	<0,01
4	391,5	380,2	97,1	6,2	141,8	286,1	515,4	3329,1	<0,01
5	374,9	316,4	84,4	3,7	143,6	291,0	511,1	2117,7	<0,01
6	321,6	316,8	98,5	3,1	119,6	223,2	406,9	2311,3	<0,01
7	316,5	305,1	96,4	2,5	106,8	230,3	419,7	2504,2	<0,01
8	334,3	293,5	87,8	8,0	134,4	257,1	434,0	2176,9	<0,01
9	342,8	336,1	98,0	5,5	121,3	246,0	426,0	3397,5	<0,01
10	283,7	261,6	92,2	2,5	109,3	206,5	370,8	2080,1	<0,01



Rys. 3. Wartości mediana pola powierzchni płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej oraz wynik testu Kruskala-Wallisa z uwzględnieniem poziomu istotności statystycznej we wzajemnych porównaniach parami (próbka 2; pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Tabela 8.

Ilościowy opis obwodu płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej – próbka 2 (pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Nr pola analizy	Średnia μm	SD μm	Wsp. zm. %	Min μm	Kwartyl_1 μm	Mediana μm	Kwartyl_3 μm	Max μm
1	80,7	40,0	49,6	3,1	52,6	78,5	106,8	234,0
2	76,3	35,7	46,7	4,7	50,3	71,5	98,1	224,6
3	73,8	37,3	50,5	3,1	45,5	68,3	98,9	217,5
4	75,4	38,0	50,4	6,3	48,7	69,9	98,1	258,3
5	74,4	34,9	47,0	4,7	47,1	70,3	97,4	180,6
6	67,3	35,3	52,5	3,9	42,4	61,2	84,8	223,8
7	66,2	35,5	53,6	3,1	40,8	62,0	88,5	212,8
8	69,8	32,3	46,3	7,9	45,5	65,6	87,9	200,2
9	70,0	35,8	51,1	5,5	43,2	63,6	87,9	247,3
10	64,1	32,2	50,2	3,1	40,2	58,1	82,2	241,8

Tabela 9.

Ilościowy opis średnicy maksymalnej płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej – próbka 2 (pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Nr pola analizy	Średnia μm	SD μm	Wsp. zm. %	Min μm	Kwartyl_1 μm	Mediana μm	Kwartyl_3 μm	Max μm
1	31,8	15,2	47,8	2,4	20,4	30,6	40,8	79,3
2	30,0	13,4	44,8	2,4	19,8	27,9	38,5	72,2
3	29,4	14,5	49,4	1,6	18,8	26,7	38,5	77,7
4	29,8	14,3	47,9	3,1	19,6	27,5	39,3	84,0
5	29,4	13,2	45,0	2,4	18,8	27,5	38,5	68,3
6	26,5	13,3	50,3	2,4	17,3	23,6	33,0	88,7
7	26,2	13,3	50,6	1,6	16,5	24,3	34,5	79,3
8	27,8	12,4	44,5	3,9	18,1	26,7	34,5	73,8
9	27,6	13,5	49,0	3,1	17,3	25,1	35,3	82,4
10	25,5	12,5	49,0	1,6	16,5	22,8	32,2	98,1

Tabela 10.

Ilościowy opis średnicy minimalnej płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej – próbka 2 (pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Nr pola analizy	Średnia μm	SD μm	Wsp. zm. %	Min μm	Kwartyl_1 μm	Mediana μm	Kwartyl_3 μm	Max μm
1	18,1	9,2	51,0	0,8	11,0	17,3	24,3	53,4
2	17,6	8,6	48,9	1,6	11,8	15,7	22,0	59,7
3	16,7	8,2	49,0	1,6	11,0	15,7	21,2	51,8
4	17,3	9,0	52,2	2,4	11,0	15,7	22,0	68,3
5	17,1	8,1	47,3	1,6	11,0	16,5	22,0	45,5
6	15,8	8,0	50,5	0,8	10,2	14,1	19,6	52,6
7	15,5	8,5	54,6	1,6	9,4	14,1	19,6	55,7
8	16,1	7,5	46,8	2,4	10,2	14,9	20,4	47,9
9	16,3	8,4	51,6	1,6	10,2	14,9	20,4	69,1
10	14,8	6,9	46,5	1,6	10,2	13,3	18,8	47,9

Tabela 11.

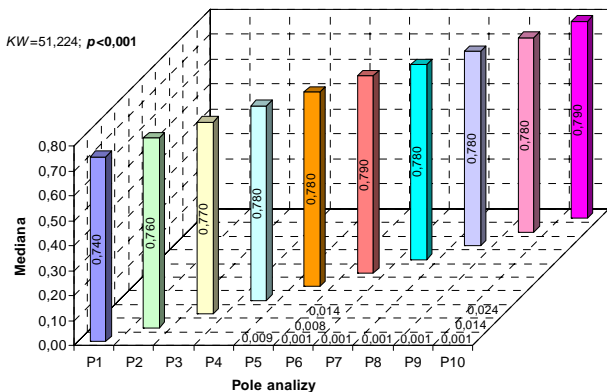
Ilościowy opis średnicy płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej – próbka 2 (pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Nr pola analizy	Średnia μm	SD μm	Wsp. zm. %	Min μm	Kwartyl_1 μm	Mediana μm	Kwartyl_3 μm	Max μm
1	25,9	12,1	46,7	2,4	17,3	25,9	33,8	69,9
2	24,7	10,8	43,6	2,4	16,5	23,6	31,4	66,7
3	23,9	11,3	47,3	1,6	14,9	22,0	31,4	64,4
4	24,4	11,5	47,0	3,1	16,5	22,8	31,4	73,8
5	24,1	10,6	43,9	2,4	15,7	22,8	31,4	55,7
6	21,9	10,7	48,7	2,4	14,1	20,4	27,5	68,3
7	21,5	10,8	50,0	1,6	14,1	20,4	28,3	65,2
8	22,8	9,8	43,2	3,9	15,7	21,2	28,3	58,9
9	22,8	10,8	47,5	3,1	14,9	21,2	28,3	76,2
10	20,9	9,8	46,6	1,6	13,5	18,8	26,7	71,5

Tabela 12.

Ilościowy opis kształtu płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej – próbka 2 (pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Nr pola analizy	Średnia	SD	Wsp. zm. %	Min	Kwartyl_1	Mediana	Kwartyl_3	Max	Wynik testu Kołmogorowa
1	0,726	0,168	23,1	0,000	0,630	0,740	0,840	1,000	>0,05
2	0,751	0,144	19,2	0,000	0,670	0,760	0,850	1,000	>0,05
3	0,748	0,163	21,7	0,000	0,650	0,770	0,860	1,000	>0,05
4	0,758	0,149	19,7	0,270	0,670	0,780	0,860	1,000	>0,05
5	0,761	0,149	19,6	0,000	0,680	0,780	0,860	1,000	<0,05
6	0,779	0,151	19,3	0,000	0,690	0,790	0,880	1,000	>0,05
7	0,763	0,173	22,6	0,000	0,680	0,780	0,870	1,000	<0,01
8	0,770	0,141	18,4	0,280	0,680	0,780	0,870	1,000	>0,05
9	0,768	0,147	19,2	0,000	0,690	0,780	0,870	1,000	>0,05
10	0,777	0,151	19,4	0,000	0,680	0,790	0,890	1,000	>0,05

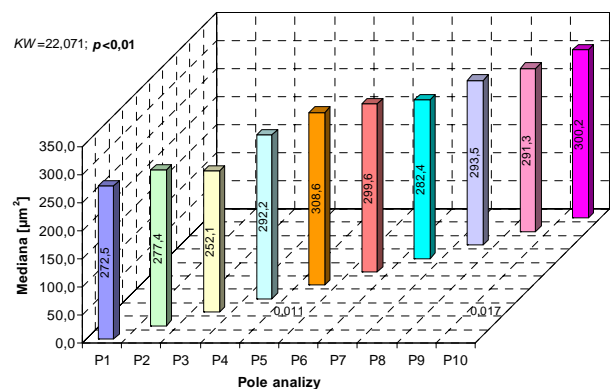


Rys. 4. Wartości mediany bezwymiarowego współczynnika kształtu płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej oraz wynik testu Kruskala-Wallisa z uwzględnieniem poziomu istotności statystycznej we wzajemnych porównaniach parami (próbka 2; pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Tabela 13.

Ilościowy opis powierzchni płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej – próbka 3 (pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Nr pola analizy	Średnia μm^2	SD μm^2	Wsp. zm. %	Min μm^2	Kwartyl_1 μm^2	Mediana μm^2	Kwartyl_3 μm^2	Max μm^2	Wynik testu Kołmogorowa
1	385,8	344,6	89,3	2,5	150,4	272,5	517,2	2517,2	<0,01
2	368,8	316,6	85,8	4,9	143,0	277,4	512,9	2091,8	<0,01
3	369,9	346,2	93,6	2,5	130,1	252,1	497,5	2392,6	<0,01
4	368,0	293,7	79,8	8,0	152,6	292,2	510,2	1736,1	<0,01
5	422,6	354,0	83,8	24,7	172,8	308,6	558,9	2162,7	<0,01
6	383,8	320,3	83,5	3,7	161,8	299,6	501,2	2149,1	<0,01
7	440,1	444,3	101,0	4,9	147,3	282,4	576,4	4277,3	<0,01
8	385,9	320,7	83,1	3,1	159,1	293,5	526,5	2029,5	<0,01
9	419,6	406,1	96,8	7,4	152,3	291,3	553,3	3736,0	<0,01
10	480,9	522,3	108,6	7,4	160,6	300,2	636,5	4356,8	<0,01



Rys. 5. Wartości mediany pola powierzchni płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej oraz wynik testu Kruskala-Wallisa z uwzględnieniem poziomu istotności statystycznej we wzajemnych porównaniach parami (próbka 3; pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Tabela 14.

Ilościowy opis obwodu płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej – próbka 3 (pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Nr pola analizy	Średnia μm	SD μm	Wsp. zm. %	Min μm	Kwartyl_1 μm	Mediana μm	Kwartyl_3 μm	Max μm
1	75,6	35,7	47,2	3,1	49,5	69,9	97,4	215,1
2	73,1	33,6	46,0	3,9	47,9	68,3	94,2	191,6
3	73,0	37,0	50,7	3,1	46,3	66,7	93,4	230,8
4	73,8	32,6	44,1	7,9	49,5	71,5	95,0	181,4
5	80,6	36,5	45,3	15,7	53,4	75,4	104,2	221,4
6	75,5	33,4	44,2	4,7	51,0	71,5	95,0	206,5
7	79,6	39,4	49,5	3,9	49,5	73,8	102,1	241,8
8	76,0	35,1	46,1	3,1	50,3	72,2	97,4	208,9
9	78,4	38,6	49,2	7,9	50,3	71,5	100,7	239,5
10	83,7	45,8	54,6	7,1	50,6	73,0	107,6	288,9

Tabela 15.

Ilościowy opis średnicy maksymalnej płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej – próbka 3 (pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Nr pola analizy	Średnia μm	SD μm	Wsp. zm. %	Min μm	Kwartyl_1 μm	Mediana μm	Kwartyl_3 μm	Max μm
1	29,9	13,1	43,9	3,1	20,4	28,3	37,7	74,6
2	28,9	12,6	43,7	3,1	18,8	27,5	36,9	71,5
3	28,8	13,9	48,1	1,6	18,8	26,7	36,9	91,1
4	29,3	12,5	42,7	3,9	20,4	28,3	37,7	69,9
5	32,1	13,8	43,0	7,1	21,2	29,8	41,6	74,6
6	29,9	12,6	42,1	2,4	20,4	28,3	36,9	78,5
7	31,6	15,0	47,5	3,1	20,4	29,1	40,0	87,9
8	30,2	13,2	43,7	2,4	20,4	29,1	38,5	69,1
9	31,1	14,8	47,5	3,9	20,4	27,9	39,5	84,0
10	33,6	18,1	53,8	3,9	20,4	29,8	42,4	117,0

Tabela 16.

Ilościowy opis średnicy minimalnej płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej – próbka 3 (pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Nr pola analizy	Średnia μm	SD μm	Wsp. zm. %	Min μm	Kwartyl_1 μm	Mediana μm	Kwartyl_3 μm	Max μm
1	17,5	9,1	51,8	0,8	11,0	15,7	22,0	52,6
2	17,1	8,1	47,6	2,4	11,0	15,7	22,0	47,9
3	16,9	8,8	51,8	1,6	11,0	14,9	22,0	58,1
4	17,0	7,6	44,8	2,4	11,0	15,7	21,2	43,2
5	18,1	8,7	48,2	2,4	11,8	16,5	22,8	54,2
6	17,6	8,1	46,0	1,6	11,8	16,5	22,0	52,6
7	18,2	9,4	51,8	2,4	11,0	15,7	23,6	69,1
8	17,4	8,3	48,0	1,6	11,8	15,7	22,0	54,2
9	17,8	9,3	52,2	2,4	11,0	16,5	22,8	66,7
10	18,4	10,1	55,1	2,4	11,8	15,7	23,6	67,5

Tabela 17.

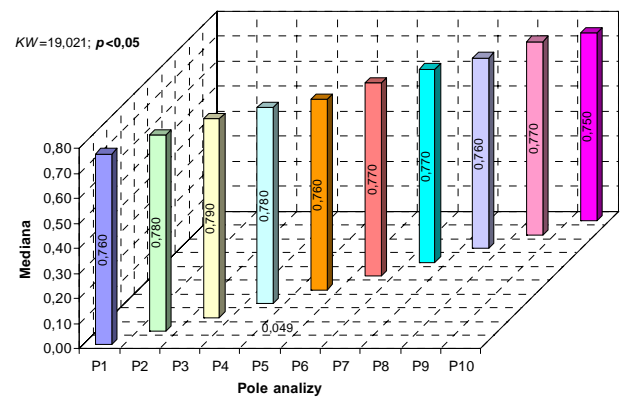
Ilościowy opis średniej średnicy płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej – próbka 3 (pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Nr pola analizy	Średnia μm	SD μm	Wsp. zm. %	Min μm	Kwartyl_1 μm	Mediana μm	Kwartyl_3 μm	Max μm
1	24,5	10,8	44,0	2,4	16,5	22,8	31,4	62,8
2	23,8	10,2	43,0	2,4	15,7	22,8	30,6	57,3
3	23,7	11,2	47,1	1,6	15,7	22,0	29,8	66,7
4	24,0	10,0	41,5	3,1	16,5	23,6	30,6	55,0
5	26,1	11,0	42,4	6,3	18,1	24,3	33,0	62,8
6	24,6	10,2	41,4	2,4	17,3	23,6	30,6	63,6
7	25,8	12,1	46,9	2,4	16,5	24,3	33,0	76,9
8	24,7	10,6	43,1	2,4	17,3	23,6	31,4	62,8
9	25,4	11,8	46,4	3,1	16,5	23,6	32,2	75,4
10	27,1	14,0	51,7	3,9	17,3	24,3	34,5	87,2

Tabela 18.

Ilościowy opis kształtu płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej – próbka 3 (pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Nr pola analizy	Średnia	SD	Wsp. zm. %	Min	Kwartyl_1	Mediana	Kwartyl_3	Max	Wynik testu Kolmogorowa
1	0,752	0,148	19,8	0,000	0,650	0,760	0,860	1,000	>0,05
2	0,768	0,133	17,3	0,350	0,680	0,780	0,860	1,000	>0,05
3	0,763	0,151	19,7	0,000	0,680	0,790	0,860	1,000	<0,05
4	0,761	0,140	18,4	0,200	0,680	0,780	0,860	1,000	>0,05
5	0,737	0,152	20,7	0,220	0,650	0,760	0,840	1,000	<0,05
6	0,759	0,136	17,9	0,000	0,670	0,770	0,850	1,000	>0,05
7	0,754	0,144	19,1	0,260	0,660	0,770	0,860	1,000	>0,05
8	0,754	0,143	19,0	0,200	0,660	0,760	0,850	1,000	>0,05
9	0,752	0,154	20,4	0,260	0,670	0,770	0,860	1,000	>0,05
10	0,739	0,153	20,7	0,220	0,660	0,750	0,845	1,000	>0,05

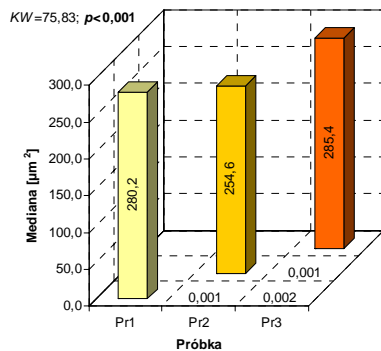


Rys. 6. Wartości mediana bezwymiarowego współczynnika kształtu płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej oraz wynik testu Kruskala-Wallisa z uwzględnieniem poziomu istotności statystycznej we wzajemnych porównaniach parami (próbka 3; pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Tabela 19.

Ilościowy opis powierzchni płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej

Nr próbki	Średnia μm^2	SD μm^2	Wsp. zm. %	Min μm^2	Kwartyl_1 μm^2	Mediana μm^2	Kwartyl_3 μm^2	Max μm^2	Wynik testu Kolmogorowa
1	359,4	291,8	81,2	23,1	147,3	280,2	490,7	2647,3	<0,01
2	350,1	326,8	93,3	2,5	126,4	254,6	461,1	3397,5	<0,01
3	399,7	368,8	92,3	2,5	152,7	285,4	533,3	4356,8	<0,01



Rys. 7. Wartości mediany pola powierzchni płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej oraz wynik testu Kruskala-Wallisa z uwzględnieniem poziomu istotności statystycznej we wzajemnych porównaniach parami (pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

Tabela 20.

Ilościowy opis obwodu płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej

Nr próbki	Średnia µm	SD µm	Wsp. zm. %	Min µm	Kwar-tyl_1 µm	Media- na µm	Kwar-tyl_3 µm	Max µm
1	73,2	32,5	44,4	3,1	48,7	69,9	94,2	202,6
2	71,2	35,9	50,4	3,1	44,8	66,0	92,7	258,3
3	76,7	36,8	48,0	3,1	49,5	71,5	98,1	288,9

Tabela 21.

Ilościowy opis średnicy maksymalnej płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej

Nr próbki	Średnia µm	SD µm	Wsp. zm. %	Min µm	Kwar-tyl_1 µm	Media- na µm	Kwar-tyl_3 µm	Max µm
1	29,0	12,3	42,6	2,4	19,6	27,5	36,9	83,2
2	28,2	13,6	48,4	1,6	18,1	25,9	36,1	98,1
3	30,4	14,0	46,0	1,6	20,4	28,3	38,5	117,0

Tabela 22.

Ilościowy opis średnicy minimalnej płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej

Nr próbki	Średnia µm	SD µm	Wsp. zm. %	Min µm	Kwar-tyl_1 µm	Media- na µm	Kwar-tyl_3 µm	Max µm
1	16,9	7,8	46,2	0,8	11,0	15,7	22,0	52,6
2	16,4	8,3	50,3	0,8	10,2	14,9	21,2	69,1
3	17,6	8,7	49,8	0,8	11,0	15,7	22,0	69,1

Tabela 23.

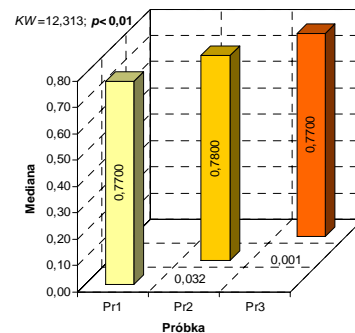
Ilościowy opis średniej średnicy płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej

Nr próbki	Średnia µm	SD µm	Wsp. zm. %	Min µm	Kwar-tyl_1 µm	Media- na µm	Kwar-tyl_3 µm	Max µm
1	23,8	9,9	41,6	2,4	16,5	22,8	29,8	62,0
2	23,1	10,9	47,0	1,6	14,9	21,2	29,8	76,2
3	24,9	11,2	45,0	1,6	16,5	23,6	31,4	87,2

Tabela 24.

Ilościowy opis kształtu płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej

Nr próbki	Średnia	SD	Wsp. zm. %	Min	Kwar-tyl_1	Media- na	Kwar-tyl_3	Max	Wynik testu Kolmogorowa
1	0,759	0,143	18,8	0,000	0,670	0,770	0,860	1,000	<0,01
2	0,762	0,154	20,3	0,000	0,670	0,780	0,870	1,000	<0,01
3	0,755	0,145	19,3	0,000	0,670	0,770	0,860	1,000	<0,01



Rys. 8. Wartości mediany bezwymiarowego współczynnika kształtu płaskiego przekroju stref wpływu cząstek fazy zbrojącej oraz wynik testu Kruskala-Wallisa z uwzględnieniem poziomu istotności statystycznej we wzajemnych porównaniach parami (pow. 200×), wykonano za pomocą [15]

3. Podsumowanie

Wychodząc na przeciw wysokim wymaganiom jakościowym stawianym przez specyfikę rynku, na którym występują ciągle zapotrzebowanie na odlewy nowej generacji jakimi są materiały kompozytowe, dąży się do podwyższania ich jakości przez ciągłą kontrolę procesu ich wytwarzania, wdrażanie nowych technologii przy maksymalnej ochronie środowiska naturalnego, szkolenie kadry i badania gotowych wyrobów, np. przez analizę struktury tych tworzyw, jak ma to miejsce w niniejszej pracy.

Z przeprowadzonej analizy statystycznej wynika, że badany materiał wykazuje dużą niejednorodność rozmieszczenia lokalnego ($p < 0,001$ podstawa do odrzucenia hipotezy zerowej – mediany różnią się istotnie), rys. 1–5.

Duża niejednorodność rozmieszczenia fazy zbrojącej występuje również w objętości całego badanego odlewu ($p < 0,001$) – rys. 7–8 i tab. 19–24.

Literatura

- [1] A. Ryba, Odlewnictwo – kierunek rozwoju. http://www.oig.com.pl/w_mediach/wywiad_mega_industry.pdf
- [2] J. Sobczak, Kompozyty metalowe, Instytut Odlewnictwa i Instytut Transportu Samochodowego, Kraków – Warszawa 2001.
- [3] J. Śleziona, B. Formanek, A. Olszówka-Myalska, Wytwarzanie kompozytów na osnowie stopów aluminium zbrojonych dyspersyjnymi cząstkami ceramicznymi i międzymeta-

- licznymi, Inżynieria Materiałowa Nr 3 (128), (2002), 122–128.
- [4] K. Gawdzińska, Discontinuities in metal composite cast materials. Archives of Foundry Engineering 13/1, 2007, vol. 7, 65–68.
- [5] J. Śleziona, Podstawy technologii kompozytów, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998.
- [6] K. Gawdzińska, S. Berczyński, M. Pelczar, J. Grabian, Application of the analysis of variance for the determination of reinforcement structure homogeneity MMC, Archives of Foundry Engineering 7/1, 2010, vol. 10, 35–38.
- [7] K. Roźniatowski, G. Górny, Analiza rozłożenia cząstek drugiej fazy na przekroju materiału z wykorzystaniem funkcji kowariancji, Wiadomości Stereologiczne, grudzień 1998, 38–43.
- [8] J. Szala, J. Chrapoński, Metody ilościowej oceny struktur niejednorodnych, Wiadomości Stereologiczne, Biuletyn PTSt, grudzień 2006, 42–48.
- [9] K. Gawdzińska, J. Szala, M. Maliński, Inhomogeneity of reinforcement arrangement in metallic composites, Inżynieria Materiałowa Nr 4/2008, 211–214.
- [10] K. Roźniatowski, Metody charakteryzowania niejednorodności rozmieszczenia elementów strukturalnych w materiałach wielofazowych, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Inżynieria Materiałowa, z. 22, Warszawa 2008.
- [11] K. Roźniatowski, T. Wejrzanowski, G. Górny, M. Rączka, Analiza niejednorodności mikrostruktury kompozytu AlN–TiB₂, Wiadomości Stereologiczne – Biuletyn Polskiego Towarzystwa Stereologicznego, grudzień 2005.
- [12] M. Maliński, Kryteria doboru procedur statystycznych – ilustracja na przykładach zagadnień stereologii i analizy obrazu, Wiadomości stereologiczne, październik, 2003, s. 18–20.
- [13] M. Maliński, Weryfikacja hipotez statystycznych wspomagana komputerowo, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
- [14] C. Domański, Testy statystyczne, PWE, Warszawa 1999.
- [15] Microsoft Excell

The homogeneity of reinforcing phase distribution in casts made of metal composite materials

Abstract

In the present paper is presented a description of the distribution of reinforcing phase (silicon carbide in the form of particles) in composite casts with siluminium matrix (AlSi11) by means of statistical methods. For evaluation of the homogeneity of distribution of examined elements within the analysed area, the SKIZ (*Skeleton by Influence Zone*) method was used. Statistical analysis was performed with the Kruskal-Wallis test.

Studies on determination of the quality parameters of composite casts, into which the homogeneity [uniformity] of reinforcing phase distribution can be included, will contribute to production of materials with a low number of structural defects, which have a direct influence on economic and ecological costs.