

# Struktura niskostopowego staliwa – ilościowa analiza zanieczyszczeń

**D. Bartocha\*, J. Suchoń**

Katedra Odlewnictwa, Politechnika Śląska,  
ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice, Polska

\*Kontakt korespondencyjny: e-mail: [dariusz.bartocha@polsl.pl](mailto:dariusz.bartocha@polsl.pl)

Otrzymano 29.07.2011; zaakceptowano do druku 31.08.2011

## Streszczenie

Własności mechaniczne staliwa są funkcją przede wszystkim składu chemicznego i warunków krzepnięcia czyli struktury pierwotnej, jednak znaczącą rolę odgrywa także jego jakość rozumiana jako czystość metalurgiczna czyli jak najmniejsza zawartość szkodliwych składników struktury. W artykule przedstawiono wyniki analizy ilościowej porowatości i wtrąceń niemetalicznych w strukturze staliwa. Do histogramów rozkładu zanieczyszczeń dopasowano statystycznie funkcję, której współczynniki można traktować jako parametry niepożądanego składu struktury. Przeanalizowano wpływ zawartości O, N, P i S na wartości współczynników funkcji aproksymującej.

**Słowa kluczowe:** Staliwo konstrukcyjne, Wtrącenia niemetaliczne, Analiza ilościowa struktury

## 1. Wstęp

Spośród krajowych staliw konstrukcyjnych stopowych (PN-90/H-83161) i odpornych na ścieranie (PN-88/H-83160) najwyższe właściwości mechaniczne tj.  $R_m$  i  $R_e$  posiada staliwo L20HGSNM (Tabela 1). Wysokie, według normy,  $R_m > 1300$  MPa i  $R_e > 1100$  MPa tego staliwa predysponuje je wręcz do zastosowania na silnie obciążone elementy maszyn.

W przeciwieństwie do stali jedyną metodą polepszania właściwości i struktury w staliwie jest obróbka cieplna o odpowiednich parametrach, co czyni ten zabieg niezmiernie ważnym w przypadku odlewów konstrukcyjnych. Nie bez znaczenia jest tutaj skład chemiczny oraz zawartość zanieczyszczeń metalicznych i niemetalicznych i struktura pierwotna odlewu. Niezmiernie istotne są parametry niepożądanych składników struktury, ich ilość, rozmiary, kształt udział objętościowy.

W pracy przedstawiono wyniki analizy ilościowej zanieczyszczeń w strukturze staliwa L20HGSNM wytopionym w warunkach laboratoryjnych [1]. Analizie ilościowej poddano nietrawione zgłady metalograficzne próbek pobranych z odlewów próbnych z wykorzystaniem automatycznego analizatora obrazu NIS-ELEMENTS BR 3.10.

## 2. Materiał

Staliwem badanym było staliwo wzorowane, pod względem składu chemicznego, na staliwie L20HGSNM. Skład chemiczny oraz własności mechaniczne określone w polskiej normie przedstawiono w tabeli 1

Tabela 1.

Skład chemiczny i własności mechaniczne staliwa L20HGSNM [%]

Table 1.

Chemical composition and mechanical properties of L20HGSNM cast steel [%]

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	R <sub>m</sub> [MPa]	R <sub>eH</sub> [MPa]	A [%]	Z [%]	HB
0,18-0,25	0,7-1,0	0,8-1,1	<0,035	<0,03	0,6-0,9	0,1-0,2	0,9-1,2	1300	1100	6	22	388 - 477

Wytopy staliwa przeprowadzono w piecu tyglowym indukcyjnym o wyłożeniu kwaśnym o pojemności 50 kg, masa wytopionego staliwa wynosiła 40 kg. Staliwo w trakcie czterech dwu etapowych wytopów poddano różnym wariantom zabiegów metalurgicznych i modyfikacji [1], w ramach wytopów wykonano 8 odlewów próbných (rys. 1). Masa odlewu wynosiła 15 kg, a jego geometrię odlewu i nadlewu wzorowano na stosowanych w przemyśle odlewach próbných do określania własności mechanicznych. Została ona tak dobrana, aby uzyskać odlew maksymalnie niepodatny na powstanie w nim wad odlewniczych pochodzenia skurczowego. Skład chemiczny uzyskanego staliwa, został przedstawiony w tabeli 2.

Zawartość tlenu całkowitego, azotu oraz wodoru, określono metodą topienia próbki, umieszczonej w tyglu grafitowym w analizatorze zawartości azotu, tlenu i wodoru TCHEN600 firmy LECO, wykorzystując próbki precykowe pobrane w charakterystycznych fazach każdego z wytopów. Otrzymane wyniki zaprezentowano w tabeli 3. Dla trzeciego wytopu równocześnie z pobraniem próbek precykowych 0 i 1 określono zawartość aktywnego tlenu w topionym staliwie aparatem Celox firmy Heraeus Electro-Nite, zmierzone wartości podano w nawiasach.

Tabela 2.

Skład chemiczny staliwa z poszczególnych wytopów

Table 2.

Chemical compositions of melted cast steel

Nr wyt.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu
1_1	0,27	0,35	0,80	0,029	0,029	1,02	0,67	1,31	0,06	0,16
1_2	0,25	0,46	0,74	0,029	0,026	1,02	0,66	1,30	0,10	0,16
2_1	0,22	0,47	0,86	0,027	0,022	1,08	0,64	1,33	0,19	0,17
2_2	0,22	0,49	0,80	0,028	0,026	1,08	0,65	1,33	0,15	0,16
3_1	0,22	0,44	0,96	0,028	0,022	1,05	0,63	1,30	0,20	0,16
3_2	0,24	0,46	0,93	0,029	0,025	1,11	0,64	1,30	0,04	0,16
4_1	0,23	0,47	0,92	0,030	0,023	1,11	0,65	1,35	0,02	0,17
4_2	0,25	0,67	0,88	0,029	0,022	1,16	0,66	1,36	0,05	0,17

Tabela 3.

Zawartość O, N i H w staliwie z poszczególnych wytopów

Table 3.

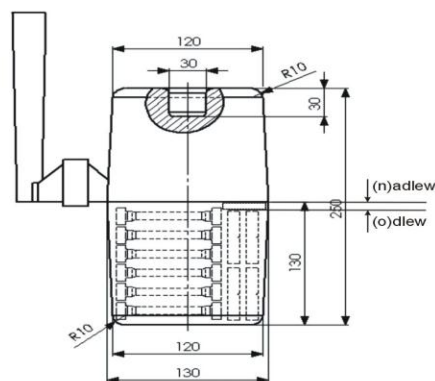
Contents of O, N and H in cast steel

Nr wyt.	Nr pr.	N	O	H
1	0	200	128	<0,6
	1	211	37	<0,6
	2	231	31	<0,6
2	0	213	132	0,6
	1	234	43	<0,6
	2	241	40	<0,6
3	0	209	124 (56)	0,6
	1	202	34 (6)	<0,6
	2	249	47	<0,6
4	0	192	95	0,6
	1	202	42	<0,6
	2	227	47	<0,6

W nawiasach podano zawartość aktywnego tlenu zmierzoną bezpośrednio w ciekłym metalu aparatem Celox firmy Heraeus Electro-Nite

Z odlewów próbných wycięto próbki do dalszych badań, umiejscowienie pobrania próbek przedstawiono na rysunku 1.

Zgłady metalograficzne wykonano na powierzchni górnej (nadlew) i dolnej próbki (odlew) z uwagi na dużą różnicę twardości mierzonej na tych powierzchniach przy grubości próbki 10mm. Analizę ilościową struktury próbki od strony nadlewu jak i odlewu przeprowadzono w identyczny sposób.



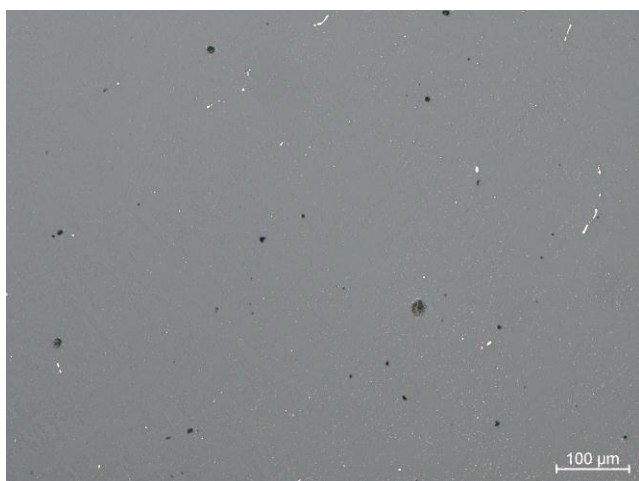
Rys. 1. Miejsce pobrania próbki z odlewu próbnego  
Fig. 1. Specimen cutting out place of experimental casting geometry

### 3. Badania

Na podstawie analizy wtrąceń w strukturze badanego staliwa, wyznaczono rozkłady liczby obiektów na  $\text{mm}^2$  oraz procentowego udziału obiektów w klasach wartości zlogarytmowanego pola powierzchni. Oddzielnej analizie poddano zanieczyszczenia gazowe, nazywane dalej porowatościami i zanieczyszczenia w formie stałej nazywane dalej wtrąceniami niemetalicznymi. Przykładowe zdjęcia struktury staliwa wytop 1\_2 przedstawiono na rysunkach 2 - oznaczone porowatości i 3 – oznaczone wtrącenia niemetaliczne.



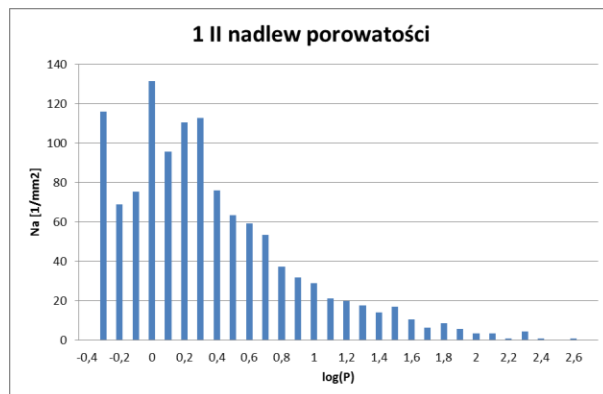
Rys. 2. Struktura staliwa - oznaczone porowatości  
Fig. 2. Cast steel microstructure with marked porosity



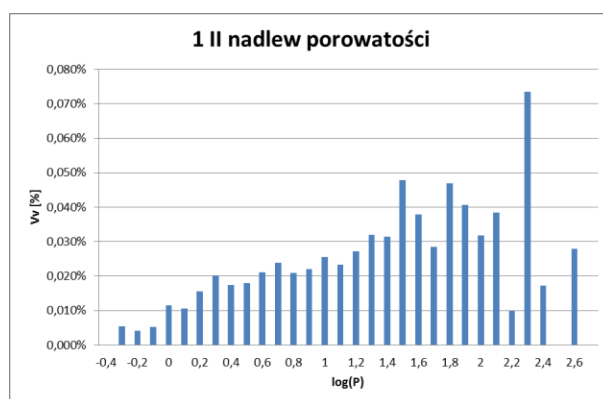
Rys. 3. Struktura staliwa, oznaczone wtrącenia niemetaliczne  
Fig. 3. Cast steel microstructure with marked non-metallic inclusions

Przykładowe histogramy rozkładu liczby porowatości na  $\text{mm}^2$  oraz procentowego udziału w klasach wartości zlogarytmowanego pola powierzchni wyznaczone dla odlewu próbnego 1\_2, na powierzchni próbki od strony nadlewu przedstawiono na

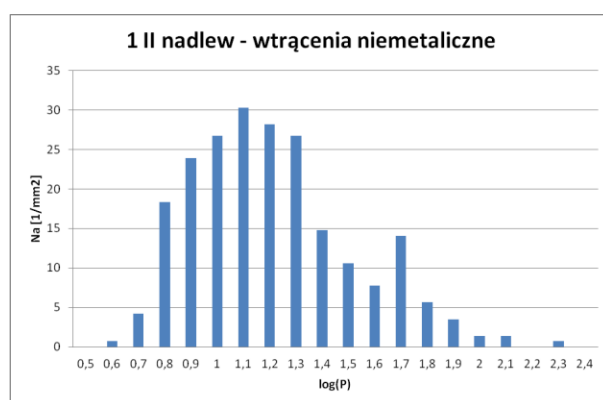
rysunkach 4 i 5, a histogramy rozkładu wtrąceń niemetalicznych na rysunkach 6 i 7.



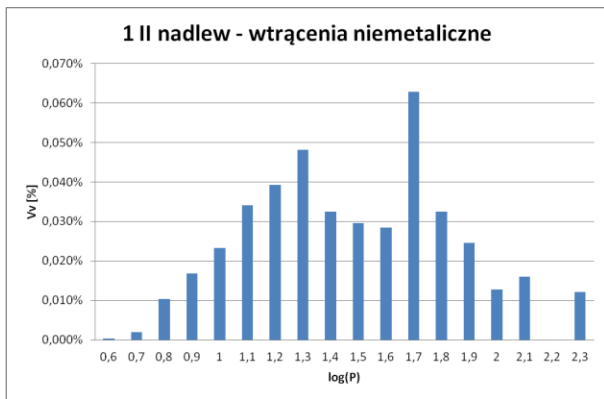
Rys. 4. Rozkład ilości porowatości w klasach wielkości  
Fig. 4. The quantity distribution of porosity in the size classes



Rys. 5. Rozkład procentowego udziału porowatości w klasach wielkości  
Fig. 5. The percentage fraction distribution of porosity in the size classes



Rys. 6. Rozkład ilości wtrąceń niemetalicznych w klasach wielkości  
Fig. 6. The quantity distribution of non-metallic inclusions in the size classes



Rys. 7. Rozkład procentowego udziału porowatości w klasach wielkości

Fig. 7. The percentage fraction distribution of porosity in the size classes

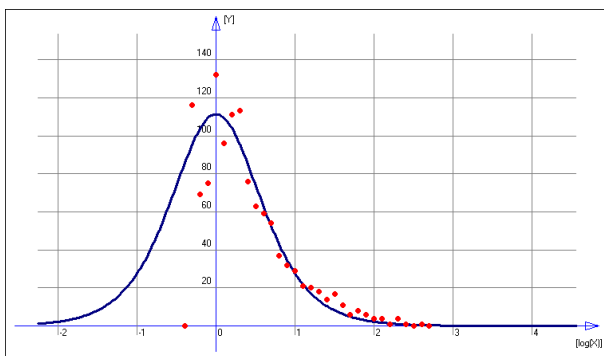
Do uzyskanych rozkładów dopasowano statystycznie metodą regresji krokowej funkcję aproksymującą o postaci:

$$Na(P/O) = U \frac{Z \exp(Z(W - \ln(P/O)))}{(1 + \exp(Z(W - \ln(P/O))))^2} \quad (1)$$

gdzie:

- U – wskaźnik sumarycznej ilości obiektów,
- W – różnicowanie wielkości obiektów,
- Z – średnia logarymiczna wielkość powierzchni obiektów.

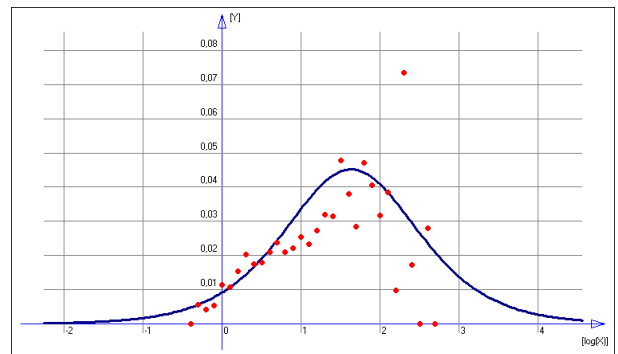
Wyznaczając wartości współczynników równania (1) U, W i Z, które można traktować jako parametry niepożądanych składników struktury [2]. Przykładowe przebiegi krzywej aproksymującej wyznaczone dla rozkładów prezentowanych na rysunkach 4 - 7 przedstawiono na rysunkach odpowiednio 8, 9, 10 i 11.



U = 168,49; W = 0,0; Z = 2,6431

Rys. 8. Krzywa aproksymująca rozkład ilości porowatości w klasach wielkości

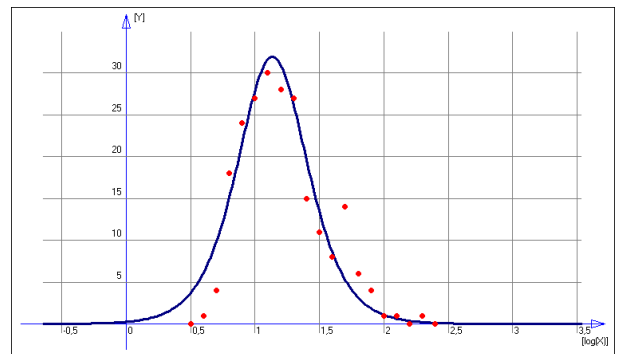
Fig. 8. Approximation curve of the quantity distribution of porosity in the size classes



U = 0,10285; W = 1,6358; Z = 1,7568

Rys. 9. Krzywa aproksymująca rozkład udziału procentowego porowatości w klasach wielkości

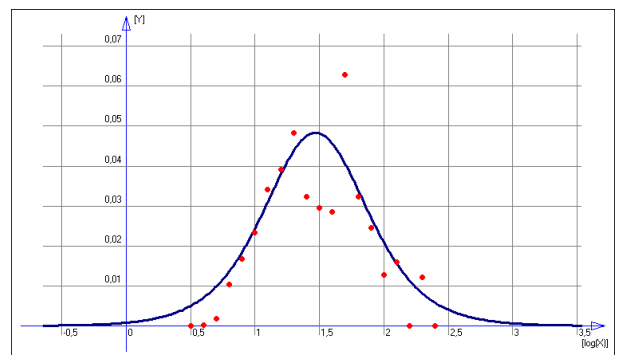
Fig. 9. Approximation curve of percentage fraction distribution of porosity in the size classes



U = 23,256; W = 1,1364; Z = 5,4868

Rys. 10. Krzywa aproksymująca rozkład ilości wtrąceń niemetalicznych w klasach wielkości

Fig. 10. Approximation curve of the quantity distribution of non-metallic inclusions in the size classes



U = 0,052024; W = 1,4724; Z = 3,7145

Rys. 11. Krzywa aproksymująca rozkład udziału procentowego wtrąceń niemetalicznych w klasach wielkości

Fig. 11. Approximation curve of percentage fraction distribution of non-metallic inclusions in the size classes

## 4. Wyniki

Zestawienie uzyskanych wyników w postaci wartości współczynników równania (1), wraz ze statystycznymi parametrami ich wyznaczenia, dla porowatości przedstawiono w tabelach 4-7 a odpowiadające im wykresy na rysunkach 12-15, a dla wtrąceń niemetalicznych w tabelach 8-11 a odpowiadające im wykresy na rysunkach 16-19,

Tabela 4.

Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład ilości porowatości w klasach wielkości oraz wartości parametrów statystycznych - nadlew

Table 4.

Approximation function of quantity distribution of porosity in the size classes coefficient and statistical parameters - riser

Nr	U*10 <sup>-2</sup>	W	Z	Odch. Std.	R	Test F
1_1_np	1,60	0,23	2,79	14,40	0,94	17,70
1_2_np	1,68	0,00	2,64	19,30	0,90	9,38
2_1_np	1,77	0,00	2,23	17,00	0,90	10,10
2_2_np	0,63	0,16	1,44	5,14	0,81	8,07
3_1_np	1,08	0,26	1,74	9,32	0,87	9,90
3_2_np	2,07	0,16	2,80	19,80	0,93	12,90
4_1_np	1,75	-0,30	1,02	9,39	0,83	8,40
4_2_np	1,45	0,27	2,04	11,00	0,92	15,90

Tabela 5.

Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład udziału procentowego porowatości w klasach wielkości oraz wartości parametrów statystycznych - nadlew

Table 5.

Approximation function of percentage fraction distribution of porosity in the size classes coefficient and statistical parameters - riser

Nr	U	W	Z	Odch. std.	R	Test F
1_1_np	0,16	1,79	1,59	0,02	0,70	5,99
1_2_np	0,10	1,64	1,76	0,01	0,70	6,05
2_1_np	0,16	2,17	1,93	0,02	0,81	7,66
2_2_np	0,22	2,58	3,29	0,04	0,81	4,52
3_1_np	0,26	2,57	1,75	0,03	0,79	5,39
3_2_np	0,45	3,21	0,82	0,03	0,52	3,22
4_1_np	0,73	2,88	2,98	0,09	0,89	7,76
4_2_np	0,26	2,29	2,23	0,04	0,79	5,55

Tabela 6.

Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład ilości porowatości w klasach wielkości oraz wartości parametrów statystycznych - odlew

Table 6.

Approximation function of quantity distribution of porosity in the size classes coefficient and statistical parameters - casting

Nr	U*10 <sup>-2</sup>	W	Z	Odch. Std.	R	Test F
1_1_op	1,12	0,36	2,27	8,69	0,93	17,90
1_2_op	1,01	0,21	2,84	9,52	0,93	14,90
2_1_op	1,19	0,22	2,78	10,60	0,94	16,20
2_2_op	0,96	0,31	1,74	7,44	0,89	11,90
3_1_op	3,57	0,00	1,93	29,70	0,91	9,95
3_2_op	1,73	-0,01	2,81	22,70	0,87	6,57
4_1_op	0,58	0,00	1,10	4,29	0,72	6,60
4_2_op	0,34	0,91	1,27	2,60	0,72	9,46

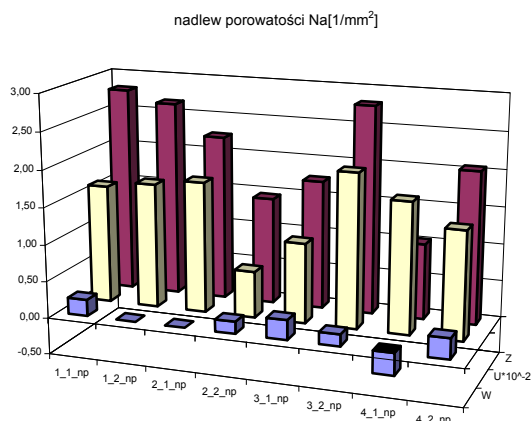
Tabela 7.

Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład udziału procentowego porowatości w klasach wielkości oraz wartości parametrów statystycznych - odlew

Table 7.

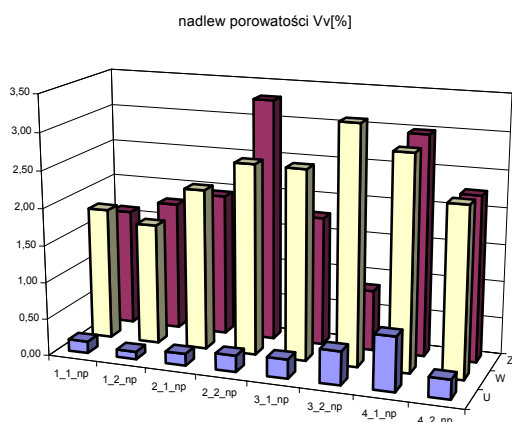
Approximation function of percentage fraction distribution of porosity in the size classes coefficient and statistical parameters - casting

Nr	U	W	Z	Odch. std.	R	Test F
1_1_op	0,16	1,79	1,59	0,02	0,70	5,99
1_2_op	0,14	2,21	2,01	0,02	0,71	4,48
2_1_op	0,12	1,77	1,95	0,02	0,70	5,02
2_2_op	0,24	2,45	2,28	0,02	0,92	13,90
3_1_op	0,43	2,40	0,96	0,04	0,55	4,24
3_2_op	0,10	2,91	6,70	0,03	0,84	3,99
4_1_op	0,15	2,65	6,18	0,04	0,83	4,27
4_2_op	0,14	2,39	4,09	0,02	0,91	9,56

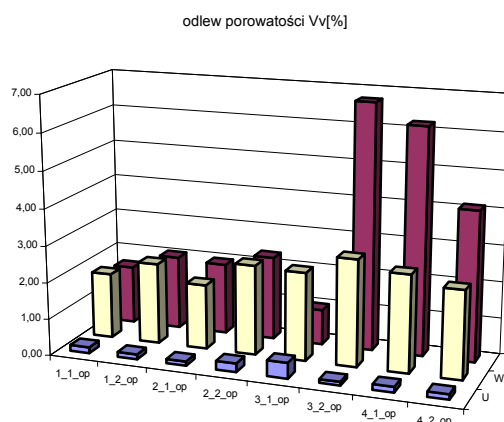


Rys. 12. Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład ilości porowatości w klasach wielkości - nadlew

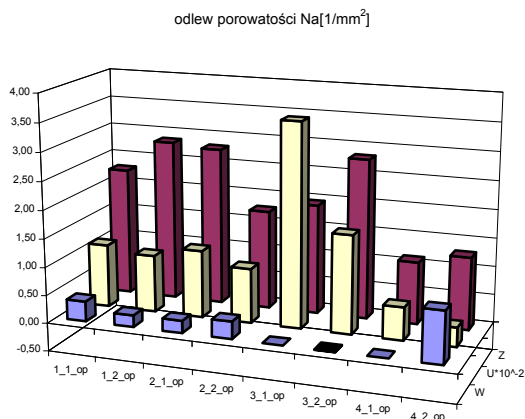
Fig. 12. Approximation function of quantity distribution of porosity in the size classes coefficient - riser



Rys. 13. Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład udziału procentowego porowatości w klasach wielkości - nadlew  
Fig. 13. Approximation function of percentage fraction distribution of porosity in the size classes coefficient - riser



Rys. 15. Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład udziału procentowego porowatości w klasach wielkości - odlew  
Fig. 15. Approximation function of percentage fraction distribution of porosity in the size classes coefficient - casting



Rys. 14. Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład ilości porowatości w klasach wielkości - odlew  
Fig. 14. Approximation function of quantity distribution of porosity in the size classes coefficient - casting

Tabela 8.

Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład ilości wtrąceń niemetalicznych w klasach wielkości oraz wartości parametrów statystycznych - nadlew

Tabela 8.

Approximation function of quantity distribution of non-metallic inclusions in the size classes coefficient and statistical parameters - riser

Nr	$U \cdot 10^{-1}$	W	Z	Odch. Std.	R	Test F
1_1_nw	1,86	1,14	4,01	3,49	0,86	9,86
1_2_nw	2,33	1,14	5,49	3,38	0,95	22,70
2_1_nw	2,22	1,20	4,77	5,11	0,86	8,78
2_2_nw	1,68	1,36	3,82	2,93	0,86	12,30
3_1_nw	1,84	1,21	4,40	2,85	0,92	12,30
3_2_nw	2,21	1,28	4,67	3,11	0,95	21,80
4_1_nw	1,82	1,38	4,11	2,85	0,91	14,60
4_2_nw	1,30	1,50	3,44	2,09	0,87	11,50

Tabela 9.

Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład udziału procentowego wtrąceń niemetalicznych w klasach wielkości oraz wartości parametrów statystycznych - nadlew

Tabela 9.

Approximation function of percentage fraction distribution of non-metallic inclusions in the size classes coefficient and statistical parameters - riser

Nr	U	W	Z	Odch. std.	R	Test F
1_1_nw	0,05	1,68	3,33	0,01	0,80	7,82
1_2_nw	0,05	1,47	3,71	0,01	0,86	9,29
2_1_nw	0,05	1,56	3,80	0,01	0,88	13,40
2_2_nw	0,07	1,83	3,40	0,02	0,76	6,27
3_1_nw	0,06	1,81	2,77	0,01	0,90	14,20
3_2_nw	0,05	1,57	4,41	0,01	0,93	20,40
4_1_nw	0,07	1,78	3,91	0,01	0,84	8,09
4_2_nw	0,06	1,95	4,41	0,01	0,83	7,17

Tabela 10.

Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład ilości wtrąceń niemetalicznych w klasach wielkości oraz wartości parametrów statystycznych - odlew

Table 10.

Approximation function of quantity distribution of non-metallic inclusions in the size classes coefficient and statistical parameters - casting

Nr	U*10 <sup>-1</sup>	W	Z	Odch. Std.	R	Test F
1_1_ow	1,85	1,05	7,25	4,81	0,91	9,93
1_2_ow	1,93	1,13	5,00	4,14	0,89	9,07
2_1_ow	2,22	1,22	4,54	4,44	0,88	10,40
2_2_ow	0,55	0,09	10,86	2,58	0,88	13,30
3_1_ow	2,22	1,17	5,78	2,78	0,97	32,30
3_2_ow	0,78	0,08	15,97	3,74	0,95	23,20
4_1_ow	1,17	1,36	3,97	2,07	0,86	12,40
4_2_ow	1,16	1,44	4,51	2,67	0,84	7,78

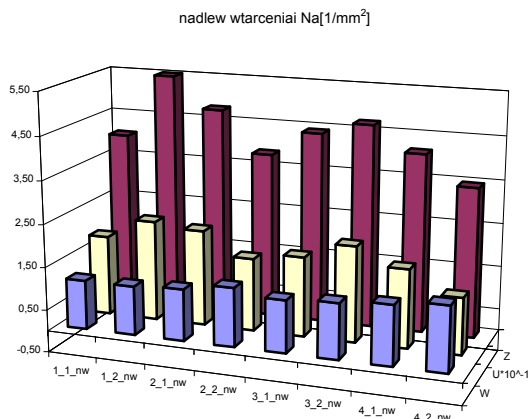
Tabela 11.

Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład udziału procentowego wtrąceń niemetalicznych w klasach wielkości oraz wartości parametrów statystycznych - odlew

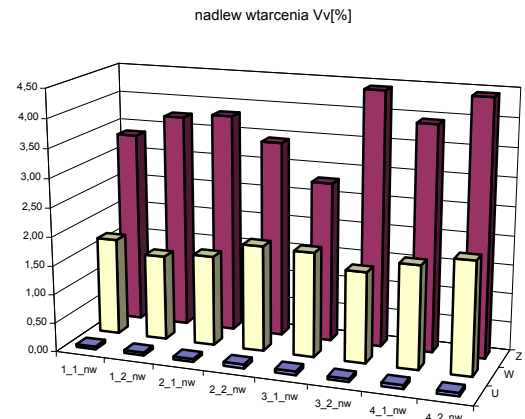
Table 11.

Approximation function of percentage fraction distribution of non-metallic inclusions in the size classes coefficient and statistical parameters - casting

Nr	U	W	Z	Odch. std.	R	Test F
1_1_ow	0,06	1,91	3,16	0,01	0,68	5,37
1_2_ow	0,04	1,48	4,05	0,01	0,87	10,40
2_1_ow	0,06	1,66	3,42	0,01	0,82	9,12
2_2_ow	0,06	1,87	3,56	0,01	0,88	13,40
3_1_ow	0,04	1,41	4,40	0,01	0,94	20,00
3_2_ow	0,05	1,47	5,17	0,01	0,93	23,30
4_1_ow	0,06	1,88	3,68	0,01	0,75	5,75
4_2_ow	0,04	1,78	4,29	0,01	0,84	8,91

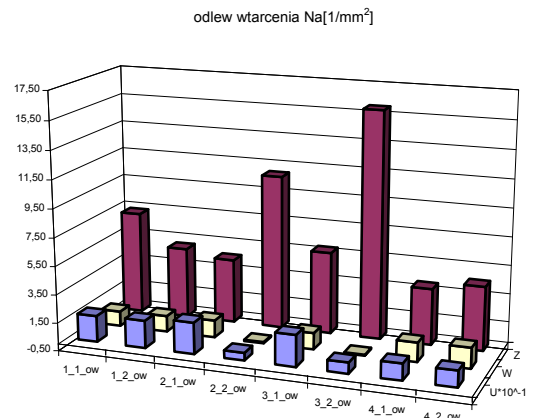


Rys. 16. Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład ilości wtrąceń niemetalicznych w klasach wielkości - nadlew  
Fig. 16. Approximation function of quantity distribution of non-metallic inclusions in the size classes coefficient - riser



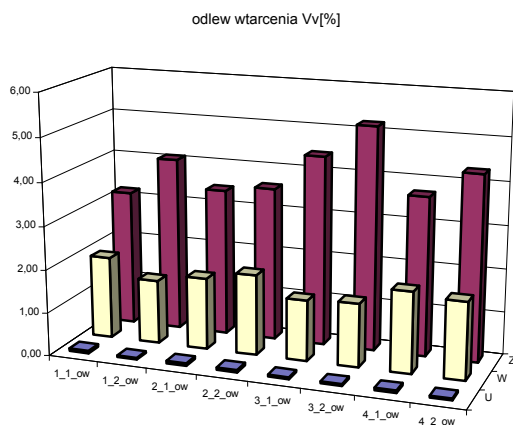
Rys. 17. Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład udziału procentowego wtrąceń niemetalicznych w klasach wielkości - nadlew

Fig. 17. Approximation function of percentage fraction distribution of non-metallic inclusions in the size classes coefficient - riser



Rys. 18. Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład ilości wtrąceń niemetalicznych w klasach wielkości - odlew  
Fig. 18. Approximation function of quantity distribution of non-metallic inclusions in the size classes coefficient and statistical parameters - casting



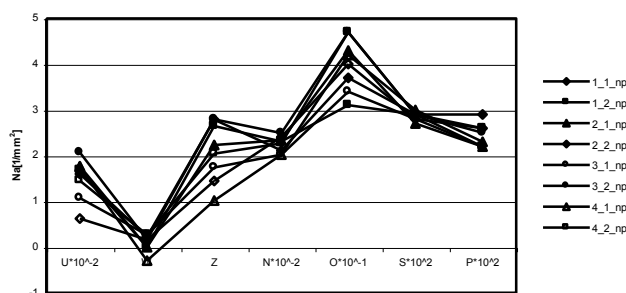


Rys. 19. Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład udziału procentowego wtrąceń niemetalicznych w klasach wielkości - odlew

Fig. 19. Approximation function of percentage fraction distribution of non-metallic inclusions in the size classes coefficient - casting

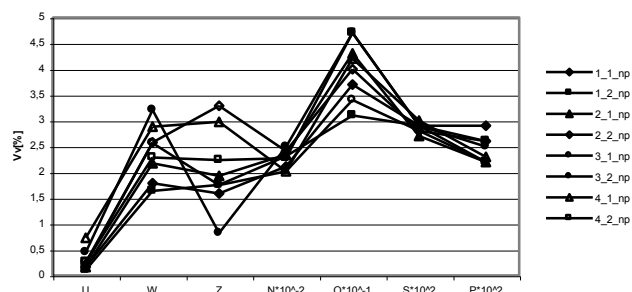
## 5. Analiza wyników

Poszukując czynników wpływających najintensywniej na wartości współczynników funkcji aproksymującej rozkładu nieporządkowanych składników struktury, nie popełniając dużego błędu można odgraniczyć się do zawartości tlenu, azotu, siarki i fosforu w staliwie. W celu ułatwienia oszacowania i zobrazowania wpływu zawartości tych pierwiastków na parametry nieporządkowanych składników struktury, wartości współczynników U, W, Z, dokonano graficznego zestawienia ich wartości, co zaprezentowano na rysunkach 20 – 27.



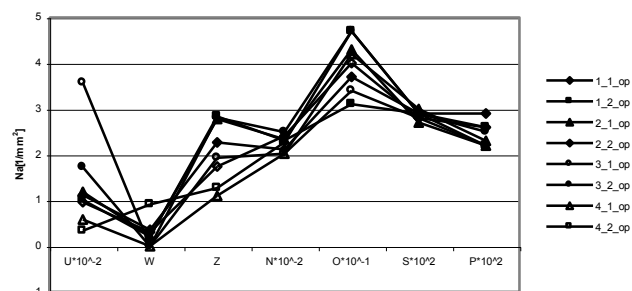
Rys. 20. Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład ilości porowatości w klasach wielkości i zawartości O, N, S i P - nadlew

Fig. 20. Approximation function of quantity distribution of porosity in the size classes coefficient and contents of O, N, S i P - riser



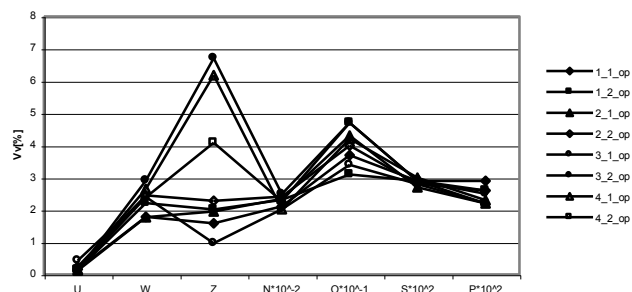
Rys. 21. Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład udziału procentowego porowatości w klasach wielkości i zawartości O, N, S i P - nadlew

Fig. 21. Approximation function of percentage fraction distribution of porosity in the size classes coefficient and contents of O, N, S i P - riser



Rys. 22. Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład ilości porowatości w klasach wielkości i zawartości O, N, S i P - odlew

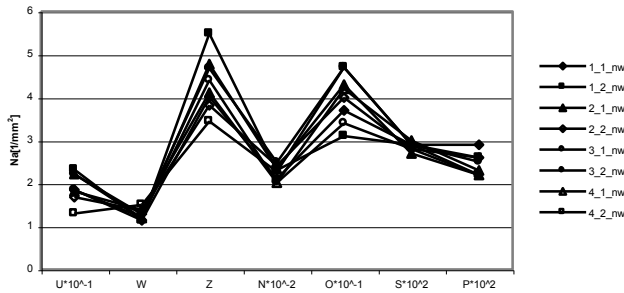
Fig. 22. Approximation function of quantity distribution of porosity in the size classes coefficient and contents of O, N, S i P - casting



Rys. 23. Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład udziału procentowego porowatości w klasach wielkości i zawartości O, N, S i P - odlew

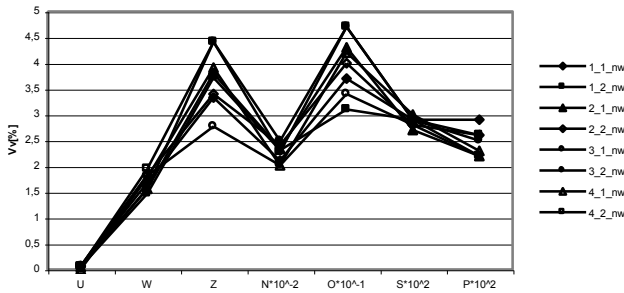
Fig. 23. Approximation function of percentage fraction distribution of porosity in the size classes coefficient and contents of O, N, S i P - casting





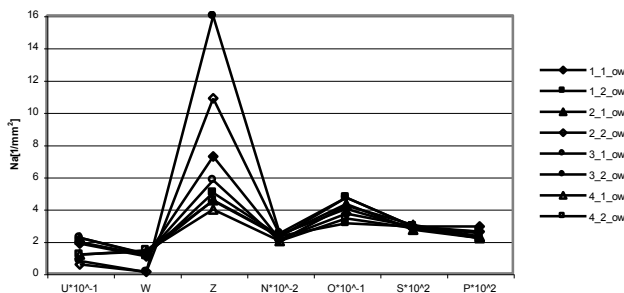
Rys. 24. Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład ilości wtrąceń niemetalicznych w klasach wielkości i zawartości O, N, S i P - nadlew

Fig. 24. Approximation function of quantity distribution of non-metallic inclusions in the size classes coefficient and contents of O, N, S i P - riser



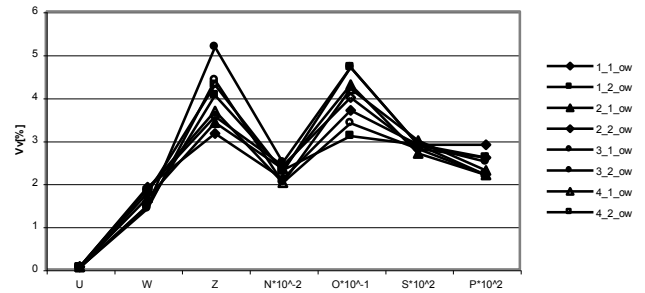
Rys. 25. Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład udziału procentowego wtrąceń niemetalicznych w klasach wielkości i zawartości O, N, S i P - nadlew

Fig. 25. Approximation function of percentage fraction distribution of non-metallic inclusions in the size classes coefficient and contents of O, N, S i P - riser



Rys. 26. Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład ilości wtrąceń niemetalicznych w klasach wielkości i zawartości O, N, S i P - odlew

Fig. 26. Approximation function of quantity distribution of non-metallic inclusions in the size classes coefficient and contents of O, N, S i P - casting



Rys. 27. Współczynniki funkcji aproksymującej rozkład udziału procentowego wtrąceń niemetalicznych w klasach wielkości i zawartości O, N, S i P - odlew

Fig. 27. Approximation function of percentage fraction distribution of non-metallic inclusions in the size classes coefficient and contents of O, N, S i P - casting

Analizując wpływ zawartości siarki, fosforu, tlenu i azotu w badanym staliwie na wartości współczynników U, W, Z funkcji aproksymującej można zaobserwować następujące rodzaje zależności:

- silne dodatnie – kiedy maksymalnym zawartościom rozpatrywanych pierwiastków odpowiadają maksymalne wartości współczynników funkcji i równocześnie minimalnym minimalne,
- silne ujemne – kiedy maksymalnym zawartościom rozpatrywanych pierwiastków odpowiadają minimalne wartości współczynników funkcji i równocześnie minimalnym maksymalne,
- dodatnie – kiedy tylko maksymalnym zawartościom rozpatrywanych pierwiastków odpowiadają maksymalne wartości współczynników funkcji lub tylko minimalnym minimalne,
- ujemne – kiedy tylko maksymalnym zawartościom rozpatrywanych pierwiastków odpowiadają minimalne wartości współczynników funkcji lub tylko minimalnym maksymalne.

W przypadku danych o ilościowej analizie porowatości w strukturze badanego staliwa zaobserwowano silne dodatnie zależności pomiędzy zawartością azotu i tlenu a wartością współczynnika Z, zawartością fosforu a wartością współczynnika W oraz silne ujemne zależności pomiędzy zawartością tlenu a wartością współczynnika U oraz zawartością fosforu a wartością współczynnika Z. Ponadto wystąpiły słabsze zależności dodatnie: O a W, P a U, oraz ujemne: N a U, S i N a W, S a Z.

Wyniki ilościowej analizy wtrąceń niemetalicznych w strukturze badanego staliwa pozwoliły zaobserwować silne dodatnie zależności pomiędzy zawartością tlenu a wartością współczynnika W, zawartością azotu a wartością współczynnika Z oraz silne ujemne zależności pomiędzy zawartością tlenu i azotu a wartością współczynnika U oraz zawartością azotu a wartością współczynnika W. Ponadto wystąpiły także słabsze zależności dodatnie: P a W, O a Z, oraz ujemne: S i P a U, S i P a Z. W przypadku zależności siarki i współczynnika W zaobserwowano wpływ jednocześnie ujemny i dodatni.

## Podziękowania

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010-2013 jako projekt badawczy N N508 585139.

## Literatura

- [1] D. Bartocha, J. Kilarski, J. Suchoń, C. Baron, J. Szajnar, K. Janerka: Niskostopowe staliwo konstrukcyjne, Archives of Foundry Engineering SI 3/2001, Gliwice 2011.
- [2] Cybo J., Jura J.: The functional description of isometrical structures in metallography. Wyd. Pol. Śl., Gliwice 1995.

# Structure of low-alloy constructional cast steel - a quantitative analysis of impurities

## Abstract

The mechanical properties of cast steel are primarily a function of chemical composition and solidification conditions i.e. primary structure, however, a significant role also plays its quality understood as purity metallurgical i.e. as small as possible content of harmful components of the structure. In work the results of porosity and non-metallic inclusions in steel cast structure quantity analysis are presented. A function which coefficient can be treated as parameters of unwonted structure component was statistically fitted to histograms of impurities distribution. The influence of O, N, P and S content on approximation function coefficients was analyzed.