

*Fryderyk Staub, Mieczysław Pachowski, Bogusław Makówka
Roman Młyniec, Władysław Piskozub*

Katedra Metaloznawstwa

Wpływ przetrzymania żeliwa w stanie ciekłym na grafit sferoidalny*

Podano przebieg i wyniki badań nad wpływem czasu przetrzymania żeliwa w stanie ciekłym na wielkość grafitu sferoidalnego przy różnych grubościach ścianek odlewu w warunkach przemysłowych. Stwierdzono, że ze wzrostem grubości ścianek odlewu zwiększa się wielkość sferoidów. Wielkość sferoidów zmienia się także wraz z czasem przetrzymania osiągając największą wartość w około 15 minucie, najmniejsza zaś w około 22 minucie przetrzymania, po czym ponownie wzrasta. Ze względu na stosunkowo niewielką ilość próbek wysunięte wnioski wymagają potwierdzenia dalszymi badaniami.

1. Wstęp

Otrzymywanie żeliwa sferoidalnego o określonych własnościach możliwe jest jedynie przy ścisłym przestrzeganiu technologii wytwarzania. Opracowanie tej technologii w obecnym okresie produkcji nie może stwarzać poważniejszych trudności, wymaga jednak dostosowania się do warunków pracy w danej odlewni. Należy bowiem pamiętać, że prócz takich czynników jak rodzaj wsadu żeliwiaka, sposób jego prowadzenia, rodzaj wprowadzanego zmieniacza (elektronu lub innego stopu magnezu) na własności żeliwa sferoidalnego może mieć wpływ okres jego przetrzymania w stanie ciekłym oraz grubość ścianki odlewu.

Przetrzymanie mierzone od chwili wprowadzenia zmieniacza do żeliwa aż do zalania formy zależy głównie od metody otrzymywania żeliwa sferoidalnego, mechanizacji i organizacji pracy odlewni. Zmienny zakres

* Praca niniejsza opiera się częściowo na wynikach badań przeprowadzonych w przemyśle, częściowo zaś na wynikach otrzymanych w Katedrze Metaloznawstwa Politechniki Śląskiej przy współdziałaniu Koła Studenckiego Towarzystwa Naukowego.

grubości ścianek odlewów związany jest natomiast z profilem produkcyjnym odlewni.

Stosunkowo niska temperatura wrzenia magnezu (1102°C) może powodować, że w miarę przetrzymywania żeliwa w stanie ciekłym ilość magnezu będzie malała. Zmniejszona ilość magnezu powoduje zmniejszenie napięcia powierzchniowego i przechłodzenia, sprzyjając w ten sposób krystalizacji grafitu płatkowego. Przy krzepnięciu odlewów o cienkich ściankach przechłodzenie jest większe niż w odlewach grubościennych. Stąd zwiększona skłonność do krystalizacji grafitu płatkowego w grubych ściankach odlewu.

A. De Sy [1] podaje, że wielkość sferoidów rośnie wraz ze zwiększeniem grubości ścianek. Zależność tę ujęto w tablicy 1.

Tablica 1

Wielkość sferoidów w zależności od grubości ścianki odlewu

	Grubość ścianki odlewu w mm				
	30	80	150	250	350
Wielkość sferoidów w mm	0,05	0,055	0,09	0,12	0,13

Opinie badaczy na temat wpływu czasu przetrzymania żeliwa sferoidalnego są na ogół różne. Tak na przykład G. Vennerholm, H. Bogart i R. Melmoth [2] podają, że przy zawartości $0,08 \div 0,04\%$ Mg ilość magnezu obniża się o $0,001\%$ na każdą minutę przetrzymania.

C. R. Donoho [3], odlewając próbki z żeliwa sferoidalnego wytopionego w tyglu, stwierdził, że przetrzymanie 10,5 minuty spowodowało krystalizację grafitu płatkowego. Według innych badaczy dopuszczalny czas przetrzymania jest dłuższy i tak na przykład A. De Sy i R. Collette [4] określają go na $20 \div 30$ minut.

Opisane w dalszej części pracy badania miały na celu określenie wpływu przetrzymania żeliwa w stanie ciekłym na wielkość sferoidów przy różnych grubościach ścianek odlewu w warunkach przemysłowych jednej z odlewni krajowych. Ustalenie tych zależności powinno dać szereg wskazówek o znaczeniu praktycznym także innym odlewniom żeliwa.

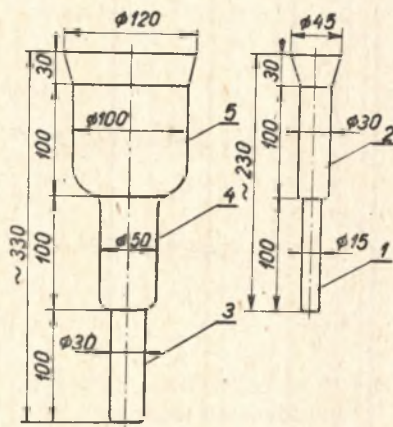
2. Przebieg badań

Badaniom poddano próbki z żeliwa sferoidalnego wytopionego w żeliwiaku ze zbiornikiem o wyłożeniu kwaśnym. Zasadniczo pracę oparto na jednym wytopie nr 140; wytop nr 143 dostarczył tylko materiału uzu-

pełniającego. Dla wytopu nr 140 wsad do żeliwiaka składał się z 80% surówki LHO i 20% złomu stalowego. Wprowadzenie magnezu odbywało się według metody bezpośredniego zalewania opracowanej przez jednego z autorów [5]. Żeliwo w ilości 300 kg wiano do kadzi bębnowej o pojemności 800 kg z kwaśnym wyłożeniem. Celem otrzymania grafitu sferoidalnego w grubych przekrojach odlewu, nawet po dłuższym czasie przetrzymania, wprowadzono celowo większą ilość elektronu (2,0%) w postaci złomu zawierającego około 82% Mg. Próba technologiczna według normy RN-53/MPM-22032 wykazała charakterystyczny jasnoziarnisty (błyszczący) przełom, a po dodatku 1,0% żelazokrzemu 75% — jasny i matowy. Po wymieszaniu żeliwa odlano próbki o kształcie i wymiarach jak na rys. 1 w formie z masy o zawartości wilgoci około 6%. Temperatury żeliwa zarówno na rynnę żeliwiaka, jak przy zalewaniu poszczególnych próbek mierzono pirometrem optycznym częściowego promieniowania firmy „Elliot Brothers London” bez wprowadzenia poprawki. Czas przetrzymania żeliwa mierzono stoperem, licząc od końca spustu żeliwa do początku odlewania każdej z próbek.

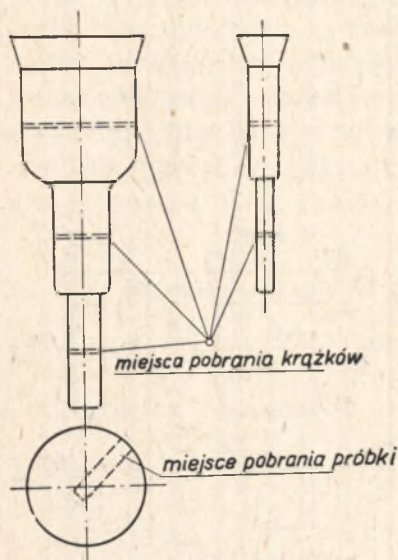
Wytop nr 143 różnił się zasadniczo tylko wsadem oraz ilością wprowadzonego elektronu. Wsad składał się z 55% surówki LHO i 45% złomu stalowego. Ilość dodanego złomu elektronowego (82,0% Mg) wyniosła 1,4%. Z wytopu nr 140 odlano ogółem 61 próbek, z wytopu nr 143 natomiast tylko 5 próbek o jednakowym czasie przetrzymania żeliwa w kadzi. Dla każdego wytopu wykonano analizę chemiczną żeliwa na rynie oraz po wprowadzeniu elektronu i żelazokrzemu, a ponadto dla próbek odlewanych w różnym czasie oznaczono zawartość magnezu. Oznaczeń tych dokonywano przy użyciu spektrografu kwarcowego o średnicy dyspersji ISP-22. Dokładność oznaczeń magnezu wynosi $\pm 13\%$, przy czym jest ona większa przy zawartościach magnezu zbliżających się do wartości bezwzględnej równej 0,1% Mg.

W celu wykonania zglądów do badań mikroskopowych z każdej próbki w połowie wysokości wycinano piłą mechaniczną krążek, z którego pobierano następnie pręt w kierunku promieniowym. Sposób pobierania próbek na zglądy przedstawiono schematycznie na rys. 2. W miejscu odpowiadającym w przybliżeniu środkowi próbki na nietrawionym zglą-



Rys. 1. Kształt odlewów przeznaczonych do badań

dzie wyszukiwano pod mikroskopem miejsce typowe, a następnie przenosząc obraz na matówkę mierzono przy powiększaniu $100\times$ wielkość poszczególnych sferoidów w polu o średnicy 81 mm. Na podstawie pomiarów sferoidów wyliczono wartość średnią, którą przyjęto jako charakterystyczną dla danej próbki. W celu uniknięcia pomyłek przy pomiarach pomijano sferoidy znacznie mniejsze od przeciętnych, o wymiarach poniżej 0,005 mm. Nie brano również pod uwagę pojedynczych wydzielen grafitu o niekształconej postaci zbliżonej do płatkowej. Niektóre zgłady trawiono 4% alkoholowym roztworem HNO_3 , po czym obserwowano pod mikroskopem celem zorientowania się w strukturze osnowy metalicznej. Wykonano szereg mikrofotografii zgładów nie trawionych jak i trawionych. Wyniki badań zestawiono w tablicach oraz zilustrowano za pomocą wykresów.



Rys. 2. Sposób pobierania próbek do badań mikroskopowych

Wyniki analizy chemicznej żeliwa pobranego z rynny oraz po dodaniu elektronu i żelazokrzemu zestawiono w tablicy 2. Temperatury zalewania poszczególnych próbek oraz odpowiadające im zawartości Mg przedstawiono w tablicy 3. Należy przy tym zaznaczyć, że temperatura żeliwa na rynnie przy wytopie nr 140 wynosiła 1350°C , a przy wytopie nr 143 — 1370°C . W tablicy 3 podano także wyliczony współczynnik wykorzystania magnezu oraz średnią wielkość sferoidów.

3. Wyniki badań

Tablica 2

Skład chemiczny żeliwa przed i po zabiegu

Nr wytopu	Skład chemiczny w % *									
	C		Si		Mn		P		S	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
140	3,28	3,24	2,64	3,15	0,49	0,49	0,198	0,154	0,121	0,020
143	3,40	3,30	2,19	2,78	0,46	0,40	0,468	0,413	0,120	1,010

* a — przed zabiegiem, b — po zabiegu

Tablica 3

Wielkość sferoidów w zależności od grubości odlewu i czasu przetrzymania, zawartości magnezu i współczynnika wykorzystania tego pierwiastka

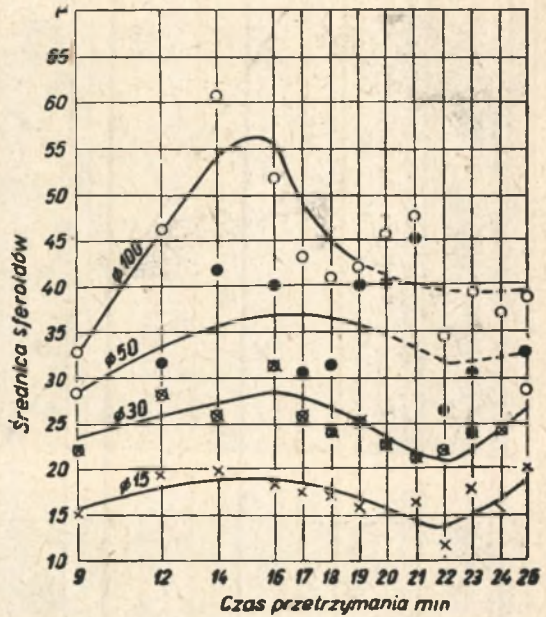
Lp.	Oznaczenie próbki	Czas przetrzymania minut	Średnica próbki mm	Zawartość Mg w %	Współczynnik wykorzystania Mg w %	Średnia wielkość sferoidów	Temperatura odlewania °C
1	140 1/1	9	15	—	—	18,5	1270
2	140 1/2		30	0,08	9,4	20,1	
3	140 1/3		30	0,09	10	24,5	
4	140 1/4		50	0,09	10	28,2	
5	140 1/5		100	0,09	10	32,9	
6	143/1	9	15	0,07	14,0	20,6	1285
7	143/2		30	—	—	28,8	
8	143/3		30	—	—	30,7	
9	143/4		50	0,06	13,1	39,7	
10	143/5		100	—	—	65,1	
11	140 2/1	12	15	—	—	19,0	1270
12	140 2/2		30	0,09	10	26,1	
13	140 2/3		30	—	—	30,0	
14	140 2/4		50	—	—	31,3	
15	140 2/5		100	0,08	9,4	46,0	
16	140 3/1	14	15	—	—	19,6	1265
17	140 3/2		30	0,10	10,8	22,9	
18	140 3/3		30	0,08	9,4	28,0	
19	140 3/4		50	—	—	41,6	
20	140 3/5		100	0,11	11,3	60,4	
21	140 4/1	16	15	—	—	18,6	1265
22	140 4/2		30	0,08	9,4	29,3	
23	140 4/3		30	0,11	11,3	32,2	
24	140 4/4		50	0,09	10	39,9	
25	140 4/5		100	0,09	10	51,4	
26	140 5/1	17	15	—	—	17,6	1260
27	140 5/2		30	0,09	10	25,6	
28	140 5/3		50	0,09	10	30,7	
29	140 5/4		100	0,09	10	43,0	
30	140 6/1	18	15	—	—	17,3	1260
31	140 6/2		30	0,10	10,8	23,5	
32	140 6/3		30	0,11	11,3	24,5	
33	140 6/4		50	0,11	11,3	31,5	
34	140 6/5		100	0,09	10	40,4	

c. d. tablicy 3

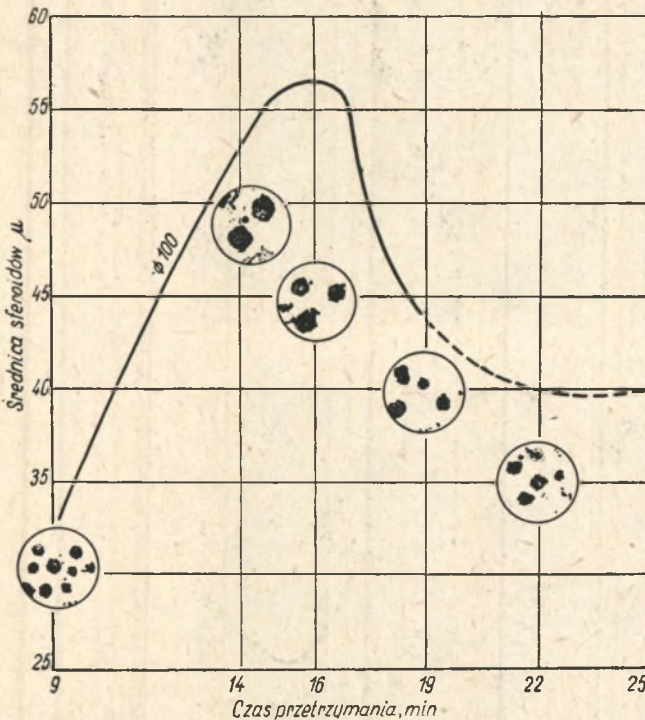
35	140 7/1		15	—	—	15,7	
36	140 7/2		30	—	—	27,8	
37	140 7/3	19	30	—	—	22,2	1255
38	140 7/4		50	—	—	40,2	
39	140 7/5		100	—	—	41,2	
40	140 8/2		30	0,09	10	24,2	
41	140 8/3		30	—	—	21,25	
42	140 8/4	20	50	0,08	9,4	40,2	1255
43	140 8/5		100	0,09	10	45,5	
44	140 9/1		15	—	—	16,6	
45	140 9/2		30	0,09	10	20,0	
46	140 9/3	21	30	0,09	10	22,4	1250
47	140 9/4		50	0,10	10,8	45,0	
48	140 9/5		100	—	—	47,2	
49	140 10/1		15	—	—	11,3	
50	140 10/2		30	0,09	10	21,5	
51	140 10/3	22	30	0,09	10	21,6	1250
52	140 10/4		50	0,09	10	26,0	
53	140 10/5		100	0,09	10	34,2	
54	140 11/1		15	—	—	17,5	
55	140 11/3		30	0,08	9,4	23,2	
56	140 11/4	23	50	0,08	9,4	30,1	1250
57	140 11/5		100	0,08	9,4	39,0	
58	140 12/1		15	—	—	15,4	
59	140 12/2		30	0,08	9,4	24,7	
60	140 12/3	24	30	—	—	24,5	1245
61	140/12/5		100	0,11	11,3	36,4	
62	140 13/1		15	—	—	21	
63	140 13/2		30	0,07	—	27,9	
64	140 13/3	25	30	—	—	28,5	1245
65	140 13/4		50	—	—	32,45	
66	140 13/5		100	—	—	38,9	

Zależność wielkości sferoidów od czasu przetrzymania dla różnych średnic próbek przedstawiono na rys. 3, a na rys. 4 — dla próbki ϕ 100 mm. Rozrzut punktów na wykresie (rys. 3) jest tym większy, im większa jest średnica próbki. Szczególnie duży rozrzut występuje dla próbki ϕ 50 i ϕ 100 dla czasu przetrzymania powyżej 19 minut. Dlatego też odpowiednie odcinki krzywych wykresu zaznaczono linią przerywaną. W czasie przetrzymania 14—16 minut średnia wielkość sferoidu wzrasta, przy czym wzrost ten jest tym większy, im większa

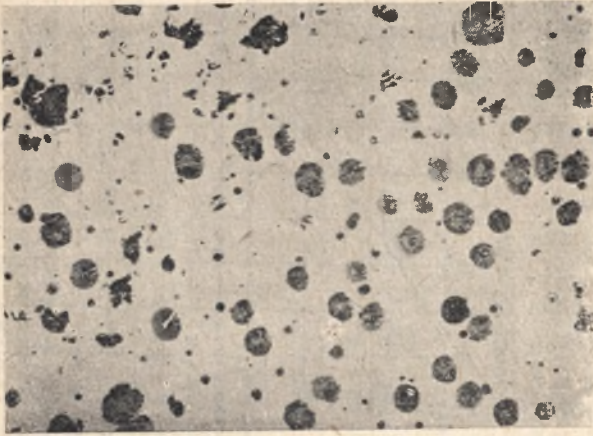
jest średnica próbki. Tak np. dla próbki ϕ 15 mm wzrost wielkości sferoidów wynosi około 25%, ϕ 30 mm — około 27%, ϕ 50 mm — około 30% i dla próbki ϕ 100 — około 70%. W czasie dalszego przetrzymania między 16 a 22 minutą następuje zjawisko odwrotne, tzn. średnica sferoidów zaczyna maleć, po czym znowu wzrasta. Na rysunkach 5, 6, 7, 8 i 9 przedstawiono mikrofotografie próbek ϕ 100 mm różniących się czasem przetrzymania, a po-



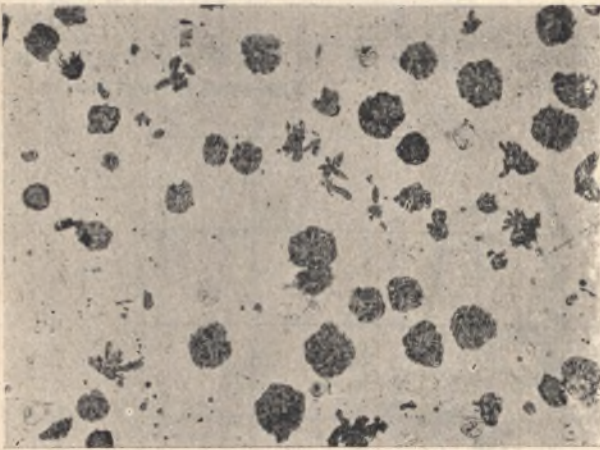
Rys. 3. Wpływ czasu przetrzymania na wielkość sferoidów (wytop nr 140)



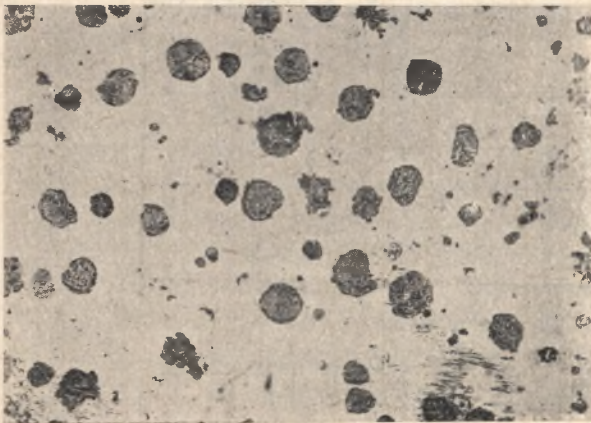
Rys. 4. Wpływ czasu przetrzymania na wielkość sferoidów dla próbki ϕ 100 mm



Rys. 5. Grafit sferoidalny
w próbce ϕ 100 mm po
czasie przetrzymania 9 min.
Nietrawiony. 100 \times

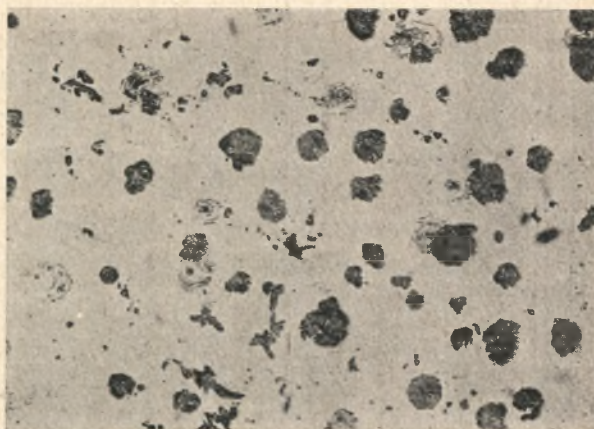


Rys. 6. Grafit sferoidalny
w próbce ϕ 100 mm po
czasie przetrzymania 14 min.
Nietrawiony. 100 \times

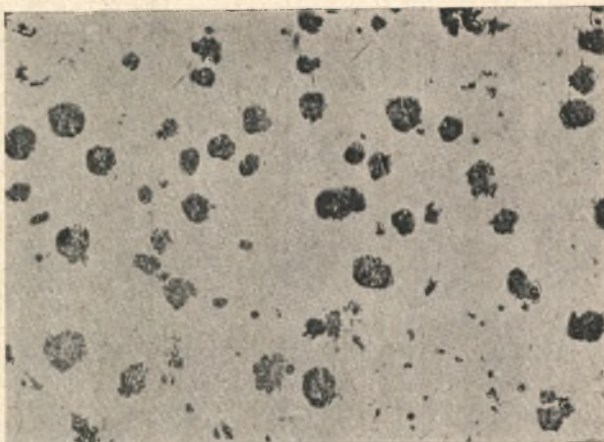


Rys. 7. Grafit sferoidalny
w próbce ϕ 100 mm po
czasie przetrzymania 16 min.
Nietrawiony 100 \times

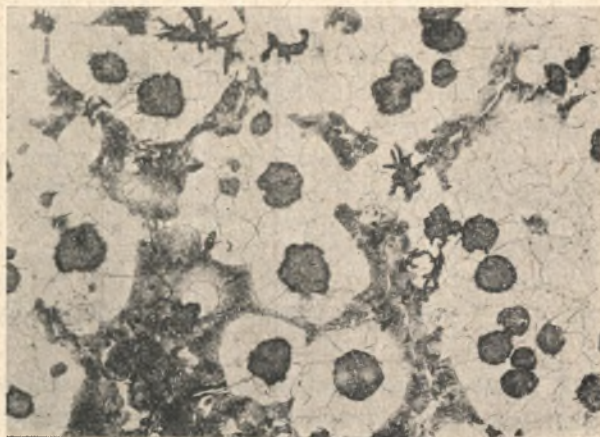
Rys. 8. Grafit sferoidalny
w próbce \varnothing 100 mm po
czasie przetrzymania 19 min.
Nietrawiony. 100 \times

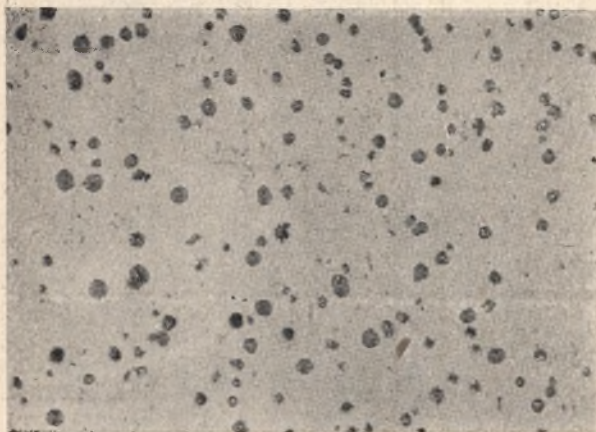


Rys. 9. Grafit sferoidalny
w próbce \varnothing 100 mm po
czasie przetrzymania 22 min.
Nietrawiony. 100 \times

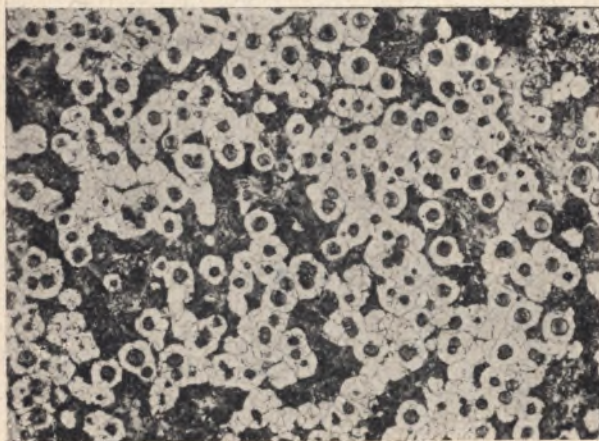


Rys. 10. Struktura próbki
 \varnothing 100 mm po czasie prze-
trzymania 16 min. W osno-
wie ferrytycznej skupienia
perlitu oraz grafit sferoi-
dalny. Trawiony HNO_3 .
100 \times





Rys. 11. Grafit sferoidalny w próbce ϕ 15 mm po czasie przetrzymania 22 min. Nietrawiony. 100 \times



Rys. 12. Struktura próbki ϕ 15 mm po czasie przetrzymania 22 min. Trawiony HNO_3 . 100 \times . Charakterystyczne „wole oczy” — grafit sferoidalny otoczony ferrytem oraz skupienia perlitu

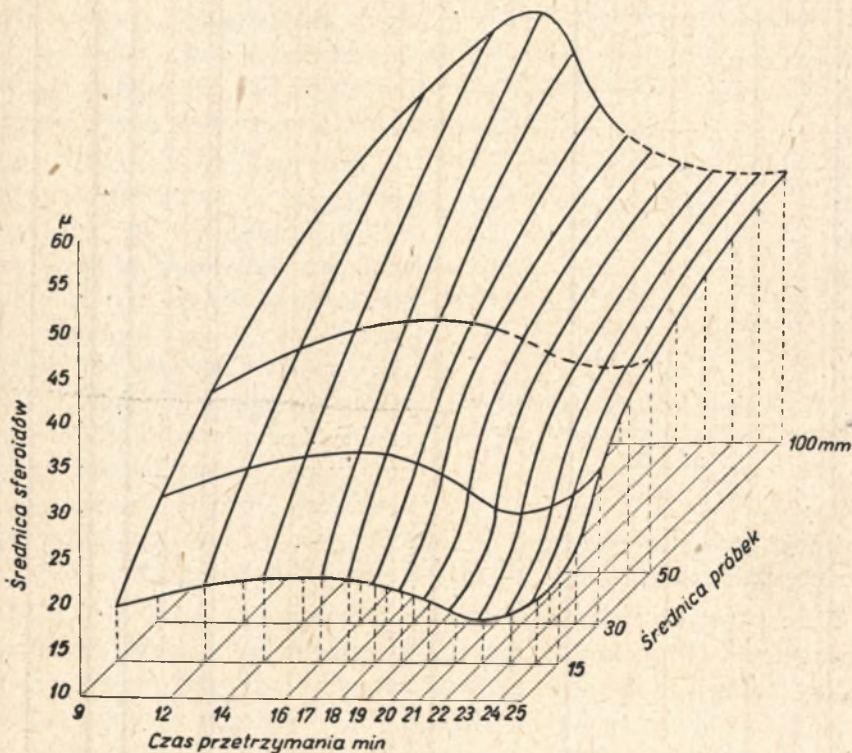
nadto na rysunku 10 strukturę próbki ϕ 100 mm. Rysunki 11 i 12 przedstawiają mikrofotografie próbki ϕ 15 mm, które wykazują najmniejsze sferoidy powstałe w czasie przetrzymania przez 22 minuty. Na rysunku 13 przedstawiono wykres ujmujący zależność wielkości sferoidów od średnicy próbki i czasu przetrzymania, na rysunku 14 zaś wpływ grubości ścianki odlewu na wielkość sferoidów.

4. Wnioski i dyskusja zaobserwowanych zjawisk

Z przeprowadzonych w warunkach przemysłowych badań nad wpływem czasu przetrzymania żeliwa sferoidalnego wynikają następujące wnioski:

- a) wielkość sferoidów zmienia się z czasem przetrzymania według krzywej wykazującej maksimum dla około 15 minuty przetrzymania i minimum dla około 22 minuty;
- b) wielkość sferoidów jest tym większa, im większa jest średnica próbki.

Poważny wpływ wywiera także ciepłe działanie próbki sąsiedniej, co występuje wyraźnie przy porównaniu próbek ϕ 30 mm odlanych jako część dolna i górna odlewu (rys. 1, próbka 2 i 3).

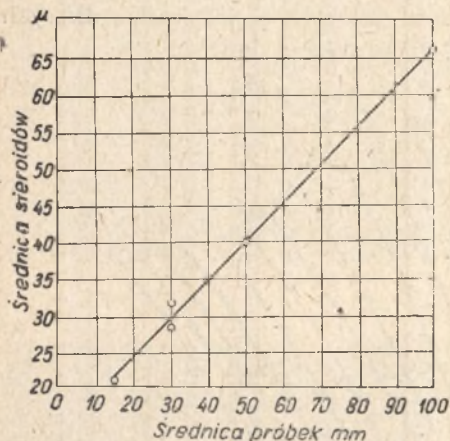


Rys. 13. Zależność wielkości sferoidów od średnicy próbki i czasu przetrzymania (wytop nr 140)

Wnioski te, oparte na niewielkiej stosunkowo ilości próbek, w celu potwierdzenia wymagać będą dalszych obszernych badań, tym bardziej że mogą one być obarczone dość poważnymi błędami subiektywnymi. Zastrzeżenie to dotyczy głównie wpływu czasu przetrzymania, ponieważ wpływ grubości ścianki znajduje potwierdzenie w pracach już publikowanych.

Wzrost wielkości sferoidów w pierwszym okresie, tj. w czasie przetrzymania do około 15 minut, może być wytłumaczony malejącym prze-

chłodzeniem i napięciem powierzchniowym na skutek zmniejszania ilości magnezu w żeliwie. Zmniejszenie zawartości magnezu jest jednak niewielkie, tak że nie zostało ujawnione dostępnymi metodami analizy chemicznej. Wpływ malejącej ilości magnezu najwyraźniej występuje przy próbkach o dużej średnicy (ϕ 100 mm). Przy cieńszych próbkach



Rys. 14. Wpływ grubości ścianek odlewów na wielkość sferoidów (wytop nr 143)

wpływ ten jest niejako powstrzymywany zwiększoną szybkością stygnięcia, a więc zwiększonym przechłodzeniem. Dlatego też wzrost wielkości sferoidów ze wzrostem czasu przetrzymania dla próbek o zmniejszonych średnicach jest mniejszy.

W drugim okresie od 15 do 22 minuty przetrzymania żeliwa w stanie ciekłym, zaznacza się zmniejszenie wielkości sferoidów. Można przypuszczać, że w okresie tym ubytek magnezu następuje wolniej aniżeli w pierwszym okresie na skutek obniżonej temperatury żeliwa. Równocześnie zmieniacz (Fe-Si 75%), powodujący poprzednio lokalne przesyconie cieczy, obecnie wyrównując koncentrację przestaje częściowo działać. Ustaje więc jego wpływ na zmniejszenie przechłodzenia, tak że zaczyna ono stopniowo wzrastać.

Wzrost przechłodzenia powoduje zmniejszenie wielkości sferoidów. Spostrzeżenie to pokrywałoby się w zupełności z powszechną opinią, według której w żeliwie modyfikowanym działanie zmieniacza ogranicza się do około 15 minut. Dalszym potwierdzeniem mogą być obserwacje poczynione w czasie przemysłowej produkcji odlewów z żeliwa sferoidalnego.

Zaobserwowano bowiem, że w pewnych przypadkach przedmioty odlane później (przetrzymane około 20 min.) w cienkich przekrojach wykazują większe zabielenie aniżeli te same przedmioty odlane wcześniej (przetrzymanie około 10 min.).

W trzecim końcowym okresie, w czasie przetrzymania powyżej 22 minut, dominujący wpływ zaczyna wywierać temperatura żeliwa. Jest ona tak niska, że krzepnięcie zaczyna się już nieomal w kadzi, następuje więc bardzo powoli, przy niewielkim przechłodzeniu. To powolne krzepnięcie sprzyja dyfuzji węgla, która z kolei powoduje wzrost wielkości sferoidów.

Dalszy, dla niniejszej pracy drugorzędny wniosek polega na stwierdzeniu, że współczynnik wykorzystania magnezu przy metodzie bezpośredniego zalewania zależy w dużym stopniu od ilości elektronu wprowadzonego do żeliwa. Współczynnik ten jest tym większy, im mniejszą ilość elektronu wprowadzono, i tak np. przy wprowadzeniu 2,0% elektronu wynosi on średnio 10%, natomiast przy 1,4% elektronu wzrasta do 13,5%.

Nie ulega wątpliwości, że wielkość sferoidów wpływa na własności żeliwa, nie trudno więc dojść do wniosku, że zależą one także od czasu przetrzymania żeliwa w stanie ciekłym. Dlatego też przeprowadzone badania powinny nie tylko przyczynić się do poznania zjawisk występujących przy stygnięciu i krzepnięciu żeliwa sferoidalnego, lecz także do wyciągnięcia wniosków o znaczeniu praktycznym.

BIBLIOGRAFIA

- [1] A. De Sy, *Metal Progress*, 1950, t. 57, s. 79.
- [2] G. Vennerholm, H. Bogart, R. Melnoth, *Materials and Methods*, 1950, s. 51—55.
- [3] C. R. Donoho, „*American Foundrymen*”, 1940, t. 15, nr 2, s. 30—37.
- [4] A. De Sy, R. Colette, *La fonderie belge*, nr 20, 1949.
- [5] M. Pachowski, „*Przegląd Odlewnictwa*”, nr 1, 1955, s. 9—16.