

**ZASTOSOWANIE ANALIZY OBRAZU DO OCENY MIKRO-
STRUKTURY ŻELIWA SFEROIDALNEGO
I INNYCH MATERIAŁÓW ODLEWANYCH**

D. MYSZKA¹, M. FATERKOWSKA²
Politechnika Warszawska, Zakład Odlewnictwa
ul. Narbutta 85, 02-524 Warszawa, Polska

STRESZCZENIE

Żeliwo sferoidalne jest tworzywem o najwyższym wskaźniku produkcji odlewniczej na świecie, stąd też dążenie do uzyskiwania coraz to nowych gatunków tego materiału, jak również poprawiania jakości i kontroli klasycznych jego gatunków. Zastosowanie badań metalograficznych do oceny makro- i mikrostruktury jest jedną z podstawowych technik wykorzystywanych w laboratoriach wspomagających produkcję. Okazuje się jednak, że w dużej części przypadków nawet ocena pobieżna jest trudna lub niewystarczająca, np. porównania z wzorcami w przypadku wielkości kulek grafitu. Poszukiwane są zatem metody skutecznego wspomaganie analizy stereometrycznej makro- i mikrostruktury, w tym również z zastosowaniem komputerowego przetwarzania obrazu. W artykule przedstawiono możliwości programu *analySIS* dostępnego w Zakładzie Odlewnictwa Politechniki Warszawskiej oraz pomiary dla żeliwa sferoidalnego o różnej wielkości i ilości kulek grafitu w mikrostrukturze. Efektem tych analiz jest ciekawy pogląd na wpływ wydzielen grafitu na własności żeliwa sferoidalnego. Ustalono bowiem, że w miarę zwiększania ilości i zmniejszania wielkości wydzielen grafitu w osnowie żeliwa to zwiększający się udział osnowy (poza mikrosegregacją) będzie miał determinujący wpływ na właściwości materiału w całej objętości.

Keywords: image analysis, ductile iron, microstructure, properties.

1. WPROWADZENIE

Mikrostruktura pierwotna żeliwa sferoidalnego jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na ostateczne własności żeliwa. Dlatego też, jej kształtowanie za pośrednictwem składu chemicznego, szybkości stygnięcia, bądź chłodzenia odlewów jest szczególnie istotnym elementem w całkowitym procesie produkcji. Ocena tej mikrostruktury stanowi natomiast źródło informacji dla dalszych zabiegów, np. obróbki cieplnej, kształtujących ostateczne własności żeliwa.

¹ dr inż. Dawid Myszka, myszkadawid@wp.pl

² stud. Monika Faterkowska

Mikrostruktura żeliwa sferoidalnego to w uproszczeniu kulki grafitu umiejscowione w metalowej osnowie. Jakkolwiek stopień sferoidyzacji, wielkość oraz rozmieszczenie grafitu to niezwykle istotne cechy, to jednak charakter osnowy żeliwa jest niewątpliwie niemniej ważny. Ferrytyczna, ferrytyczno-perlityczna, perlityczna, martenzytyczna, bądź bainityczna osnowa otaczająca grafit może być wynikiem różnych zabiegów stosowanych przez odlewników dla uzyskania żądanych własności żeliwa. Odpowiednia kontrola składu chemicznego to najprostsza z metod pozwalająca na uzyskanie praktycznie wszystkich ww. mikrostruktur.

Szczegółowa analiza procesów, jakie dokonują się podczas krystalizacji, stygnięcia oraz zabiegów obróbki cieplnej żeliwa sferoidalnego pozwala wnioskować, iż wśród czynników istotnie wpływających na właściwości tego materiału znajdują się:

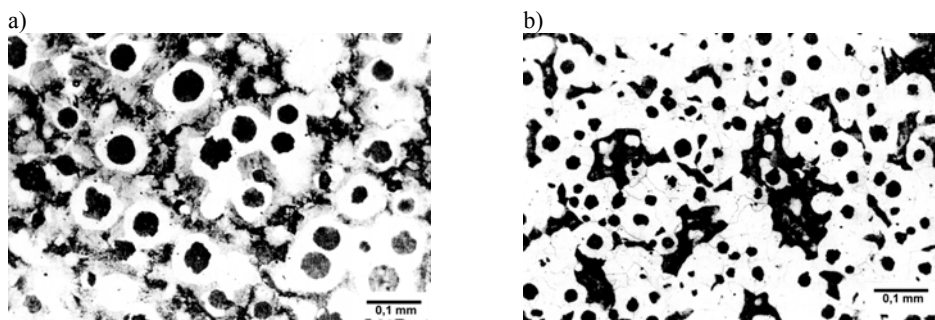
- Ilość i wielkość wydzielań grafitu (kształt sferoidalny!);
- Rodzaj osnowy;
- Intensywność mikrosegregacji.

Ze względu na przeprowadzone badania wykorzystania analizy obrazu do oceny mikrostruktury, w dalszej części artykułu przedstawione będą rozważania i wyniki charakteryzujące wydzielenia grafitu kulkowego.

2. WYDZIELENIA GRAFITU SFEROIDALNEGO W ŻELIWIE

Zmniejszenie grubości ścianek jest równoznaczne ze zwiększaniem szybkości krzepnięcia i stygnięcia odlewów, a tym samym wzrostem niejednorodności stężenia pierwiastków w żelwie [1]. Jak wykazano jednak w pracach [2,3], wraz ze wzrostem grubości ścianek, maleje liczba kulek grafitu oraz ilość komórek eutektycznych w odlewie. Mniejsza ilość wydzielań grafitowych sprzyja większej mikrosegregacji pierwiastków, a tym samym zmniejszeniu własności mechanicznych. Z kolei większa ilość wydzielań dla większej szybkości krzepnięcia (mniejsza grubość ścianek) to mniejsza odległość między kulkami, a to sprzyja mniejszej różnicy w stężeniu pierwiastków w mikroobszarach. Dla mniejszej grubości ścianek odlewów stwierdzono również lepsze własności mechaniczne w wypadku odlewów krzepnących wolniej, charakteryzujących się mniejszą ilością kulek grafitu/mm². Z tych też powodów poszukiwano, innej niż mikrosegregacja, przyczyny determinującej ostateczne własności odlewu.

Poprzez sterowanie gęstością wydzielań grafitu sferoidalnego można znacznie oddziaływać na mikrostrukturę żeliwa, a tym samym na jego właściwości. Jest to fakt doskonale znany odlewnikom wytwarzającym odlewy ze zwykłych gatunków żeliwa sferoidalnego. Jak wykazano w pracach [4,5], zwiększenie gęstości kulek grafitu ze 100 do 230 wydzielań/mm² w żelwie sferoidalnym perlityczno - ferrytycznym poddanym obróbce, znacznie zwiększa jego wytrzymałość na rozciąganie, plastyczność i udarność przy zachowaniu tej samej twardości. Jak stwierdzono, wynika to z faktu większego rozdrobnienia sferoidów, a tym samym mniejszej odległości między nimi. Większa gęstość wydzielań grafitu to mniejsza wielkość produktów krystalizacji i mniej zróżnicowana budowa fazowa, a przez to mniej przypadkowy ich rozkład powodujący czasami dość nierównomierne rozmieszczenie poszczególnych składników mikrostruktury (rys. 1a,b).



Rys. 1. Mikrostruktura żeliwa sferoidalnego perlityczno-ferrytycznego: a) 102 kulki/mm², b) 230 kulek/mm², [4]

Fig. 1. Microstructure of pearlitic-ferritic ductile iron: a) 102 nodules/mm², b) 230 nodules/mm², [4]

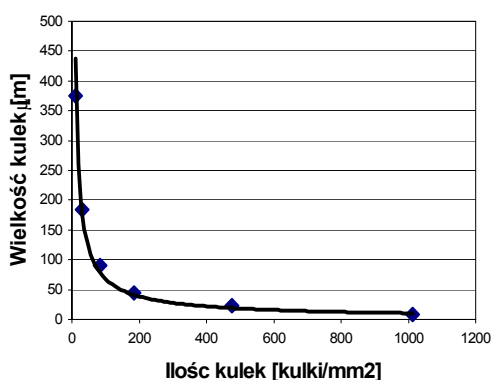
Rozważając zabiegi obróbki cieplnej dla uzyskania żeliwa ADI, należy odnotować, iż np. czas autenizacji zależy od wielkości wydzieleni grafitu. Im mniejsza jest objętość kulek i większa między nimi odległość (rys.2), tym szybciej następuje proces ich rozpuszczania. Z kolei mała odległość między sferoidami grafitu przyspiesza osiągnięcie stanu równowagowego nasycenia austenitu węglem. Badania wykonane dla kilku rodzajów żeliwa sferoidalnego o podwyższonej zawartości manganu (ok.0.6%wag.) wykazały również znaczący wpływ ilości kulek grafitu/mm² na przemianę izotermiczną. Udowodniono, że wraz ze wzrostem gęstości tych wydzieleni szybciej następuje zapoczątkowanie etapu I przemiany i wydłużenie „przedziału czasowego przemiany” [6]. Wcześniejsze rozpoczęcie przemiany austenitu w ferryt płytkowy i austenit wysokowęglowy powoduje uzyskanie bardziej rozdrobnionej i jednorodnej mikrostruktury ausferrytycznej, co prowadzi do zwiększenia własności mechanicznych ADI. Stwierdzono zatem, że zwiększenie gęstości kulek grafitu w żeliwie ADI jest prostym sposobem złagodzenia skutków mikrosegregacji składników stopowych, wprowadzonych do żeliwa, np. ze względu na konieczność zwiększenia jego hartowności.

3. ANALIZA OBRAZU DLA ŻELIWA SFEROIDALNEGO

Biorąc pod uwagę powyższe rozważania oraz możliwości Zakładu Odlewnictwa PW przeprowadzono badania wykorzystujące program *analySIS* do analizy obrazu zdjęć metalograficznych żeliwa sferoidalnego o różnej zawartości kulek grafitu oraz porównania z Polską Normą dotyczącą klasyfikacji żeliwa wg wielkości kulek grafitu w osnowie.

Program *analySIS* oferuje znaczną ilość możliwości przydatnych w metalografii oraz zaawansowanej i podstawowej analizie stereometrycznej, a w szczególności: operacje pozyskiwania obrazów; operacje pomiarowe (np.: pomiar długości (odcinek), pomiar kąta nachylenia odcinka, pomiary automatycznie zaznaczonej powierzchni, pomiary automatycznie obrysowanej powierzchni, pomiary manualnie obrysowanej powierzchni, pomiar obwodu obrysowanej powierzchni, pomiar średniej jasności obrysowanej powierzchni, pomiar długości obrysowanej powierzchni, pomiar szerokości obrysowanej powierzchni, pomiary siatki stereologicznej wewnątrz obrysowanej po

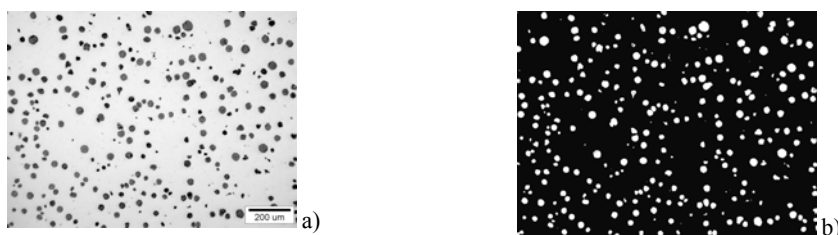
wierzchni, pomiar kąta wyznaczonego trzema punktami, pomiar jasności wskazanego punktu; podział obrazu siatką na definiowane prostokąty i pomiar 11 parametrów obrazu w każdym oczku siatki, manualne liczenie (zaznaczanie) obiektów na obrazie, automatyczne wyszukiwanie obiektów według wielkości, jasności, koloru i współczynnika kształtu, skalowanie pomiarów na podstawie dowolnego wzorca odległości np. linijki mikroskopowej, zapamiętywanie skalowań w celu ich ponownego wykorzystania).



Rys. 2. Zależność wielkości kulek grafitu w żeliwie sferoidalnym od ich ilości (obliczenia wykonane na zdjęciach metalograficznych wg PN)

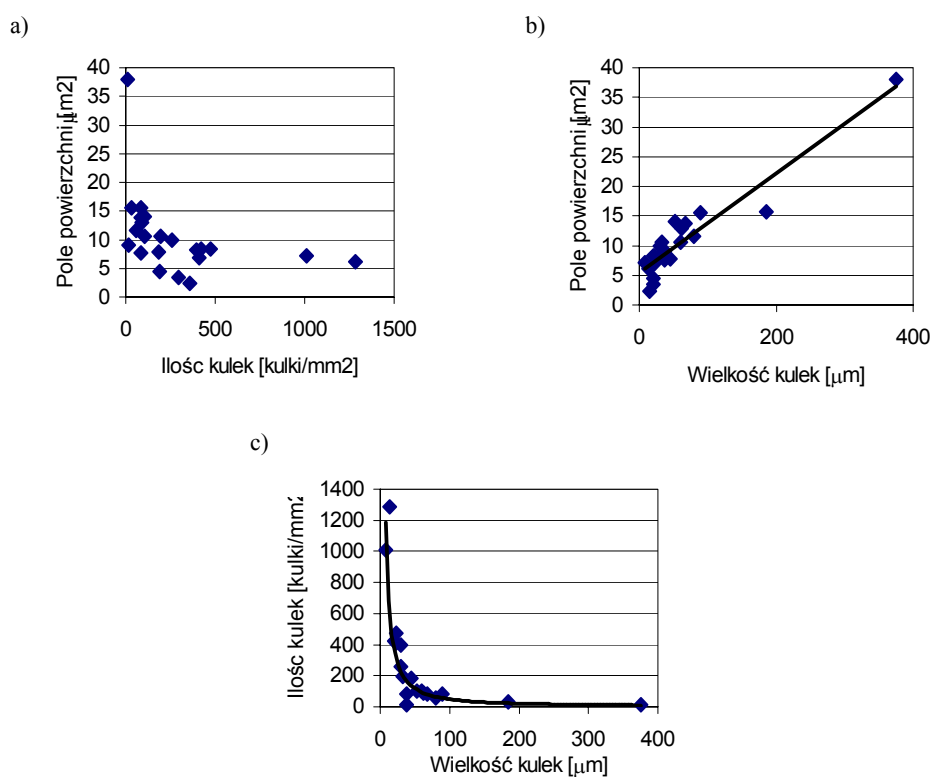
Fig. 2. Relationship between count and size of nodules in ductile iron (the calculation was made base on National Standard)

W badaniach żeliwa sferoidalnego wykorzystano opcję pomiarów automatycznie zaznaczanej powierzchni do oszacowania objętości grafitu sferoidalnego zawartego w żeliwie na bazie obliczeń udziału pola powierzchni czarnych okręgów do jasnej osnowy na zglądach metalograficznych dla powiększenia x100 (rys.3a,b). W programie wykonano również na zglądach pomiary wielkości i ilości kulek grafitu. Efektem końcowym były zależności przedstawione na poniższych wykresach (rys.4a,b,c).



Rys. 3. Mikrostruktura żeliwa sferoidalnego: a) zdjęcie mikrostruktury; b) analiza obrazu
Fig. 3. Microstructure of ductile iron: a) picture of microstructure; b) image analysis

Z wykresów tych bezpośrednio wynika, że jakkolwiek nie można znaleźć bezpośredniej zależności pomiędzy udziałem powierzchni grafitu sferoidalnego na zglądzie próbki żeliwnej, a ilością kulek grafitu (rys. 4a), to zależność taka występuje wyraźnie w stosunku udziału powierzchni do wielkości kulek (rys. 4b). Wiedząc, że występuje związek wielkości kulek grafitu do ich ilości (rys. 2; rys. 4c) można jednak znaleźć powiązanie ilości kulek grafitu i udziału powierzchni grafitu w żelowie. Wynika z niego w ogólnej tezie, że im większa ilość kulek grafitu tym mniejszy udział jego powierzchni (objętości) na zglądzie próbki (w odlewie). Teza ta jednak wymaga potwierdzenia szerszymi badaniami.



Rys. 4. Zależności: a) Pola powierzchni grafitu na zglądzie metalograficznym do ilości kulek grafitu; b) Pola powierzchni grafitu na zglądzie metalograficznym do wielkości kulek grafitu; c) Ilości kulek grafitu na zglądzie metalograficznym do wielkości kulek

Fig. 4. Relationships: a) Area of graphite at metalographic image to; b) Area of graphite at metalographic image to size of graphite nodules; c) Amount of graphite nodules at metalographic image to size of graphite nodules

4. PODSUMOWANIE

Obecność grafitu sferoidalnego w strukturze oraz jego wpływ na właściwości żeliwa stawiają wciąż nowe wyzwania przed naukowcami. Dowodem tego są podejmowane ciekawe prace dotyczące tego zagadnienia [7,8]. Badania przedstawione w ramach artykułu wskazują, że analiza obrazu może być dobrym narzędziem wspomagającym „architektów” żeliwa sferoidalnego i służyć odkryciom nowych zależności. Analiza obrazu mikrostruktury nie ogranicza się oczywiście do żeliwa, dzięki programowi *analySIS* w Zakładzie Odlewnictwa PW prowadzone są badania nad różnorodnymi, nowoczesnymi materiałami odlewniczymi.

LITERATURA

- [1] Pietrowski St.: *Żeliwo sferoidalne o strukturze ferrytu bainitycznego z austenitem lub bainitycznej*, Archiwum Nauki o Materiałach, t.18, nr4, 253-273;
- [2] Shen-Chin Lee, Cheng-Hsun Hsu, Chao-Chia Chang, Hui-Ping Feng: *Influence of castin size and graphite nodule refinement on fracture toughness of austempered ductile iron*, Metallurgical and Metals Transactions, 1998, 29A, 10, 2511-2521;
- [3] Rivera G., Boeri R., Sikora J.: *Influence of the solidification microstructure on the mechanical properties of ductile iron*, Int. J. Cast Metals Res., 1999, 11, 533-538;
- [4] Jincheng Liu, Elliot R.: *The influence of cast structure on the austempering of ductile iron*, Int. J. Cast Metals Res., 1999, 11, 407-412;
- [5] Jincheng Liu, Elliot R.: *The influence of cast structure on the austempering of ductile iron. Part 3. The role of nodule count on the kinetics, microstructure and mechanical properties of austempered Mn alloyed ductile iron*, Int. J. Cast Metals Res., 1999, 12, 189-195;
- [6] Mysza D., Kaczorowski M., Tybulczuk J.: *Żeliwo sferoidalne ausferrytyczne – bezpośrednio hartowane izotermicznie*, Wyd. Instytutu Odlewnictwa, Kraków 2003;
- [7] Rebas N., Dommarco R., Sikora J., *Wear resistance of high nodule count ductile iron*, Wear 253 (2002), 855-861;
- [8] Dommarco R., Sousa M.E., Sikora J., *Abrasion resistance of high nodule count ductile iron with different matrix microstructure*, Wear 257 (2004), 1185-1192.

THE USE OF IMAGE ANALYSIS TO QUALITY MEASUREMENTS OF DUCTILE IRON AND OTHER CAST MATERIALS

SUMMARY

Ductile iron is a cast material with the largest coefficient of production amount in the world. That is why scientist still try to find new kind of iron and improve their properties and control quality. The use of metalografic investigation to control macro- and microstructure is a one of the base technique in production laboratories. But optical analysis without computer programs assistance is difficult or insufficient. Image analysis in foundry practice is not very popular but investigation presented in this article suggest great potential in such way of future research.

Recenzował: Prof. Mieczysław Kaczorowski