

Zastosowanie analizy obrazu metalograficznego do oceny porowatości w spiekach

The use of a metallographic image analysis to assess the porosity of the sintered

MARIUSZ ROSIAK *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.516

W pracy przedstawiono metodykę oceny porowatości w materiałach spiekanych nieodkształconych plastycznie. Wybrano reprezentatywny obszar do analizy, wykonano zdjęcia metalograficzne, uzyskane obrazy przygotowano do analizy, opracowano założenia do weryfikacji obiektów do analizy oceny porowatości w spiekach. Przygotowano tablicę wzorców przykładowych kształtów porów według przyjętych kryteriów. Poprawność opracowanej metody wyznaczenia średniej porowatości w spieku, na podstawie analizy przyjętego reprezentatywnego lokalnego obszaru, zweryfikowano metodą hydrostatyczną.

SŁOWA KLUCZOWE: porowatość w spiekach, spieki metaliczne, współczynniki kształtu, średnica Feret'a, analiza obrazu

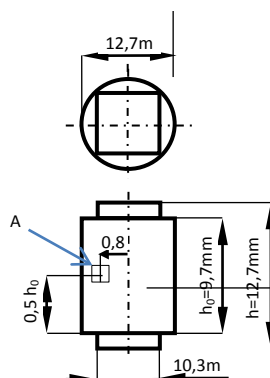
The paper presents a methodology for evaluating the porosity in the sintered material plastically undeformed. Selected representative area for analysis made metallographic photos, images obtained prepared for analysis, developed guidelines for the verification of objects to analyze the assessment of porosity in the sintered. They prepared an array of patterns of exemplary pore shapes according to accepted criteria. The correctness of the method developed in the designation of medium porosity frit, based on a representative adopted in the local area, hydrostatic verified.

KEYWORDS: porosity in the sintered, sintered metal, aspect ratios, diameter Feret, image analysis

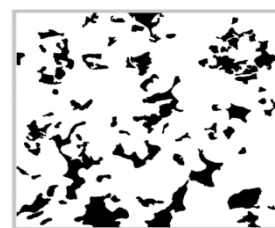
O własnościach metalicznych materiałów spiekanych decyduje charakter budowy osnowy metalicznej oraz wielkość, kształt i rozkład w objętości porów. Obróbka spieków w zakresie obróbki cieplnej czy przeróbki plastycznej istotnie wpływa na zmianę parametrów porowatości, co w konsekwencji wywołuje zmiany rozkładu gęstości w objętości tych materiałów. Zagadnienia opisujące niektóre aspekty związane z porowatością i gęstością spieków opisał Rosiak w pracach [1–3]. Wyniki swoich badań w zakresie określania wpływu warunków odkształcania plastycznego na udział i rozkład porowatości w objętości spieku publikowali m.in. Łukowski i Grosman w pracach [6, 7]. Wsparcie komputerowych technik mierzenia porowatości zastosowali w swoich pracach m.in. Dobrzański, Kowalski, Sułowski [8–11].

Metodyka badań

Do oceny parametrów porowatości zastosowano spieki metaliczne wykonane na bazie czystego proszku żelaza NC 100.24 w klasycznych warunkach metalurgii proszków w postaci walców o średnicy $d = 12,7$ mm i wysokości $h = 14,4$ mm. Szczegółową charakterystykę proszku NC 100.24 pod względem składu chemicznego i ziarnistości oraz technologii wykonania próbek spiekanych przed-



Rys. 1. Geometria próbek spiekanych: A – położenie elementarnego pola do analizy na przekroju wzdłuż osi



Rys. 2. Obraz struktury spieku przygotowany do analizy po eliminacji obiektów niebędących przekrojami porów (pow. $\times 500$)

stawił autor w pracy [4]. Zdjęcia metalograficzne wykonano na mikroskopie Olympus IX70, przy trzech wariantach powiększenia: $\times 100$, $\times 200$, $\times 500$ na zglądach nietrawionych. W przypadku elementów osiowosymetrycznych powierzchnię analizy można ograniczyć do połowy powierzchni zglądu. Takie podejście do oceny porowatości w spiekach zastosował Rosiak w swoich pracach [3, 4]. Ważnym aspektem przy analizie porowatości jest wybór reprezentatywnego obszaru, charakteryzującego się cechami porowatości, których wartości odpowiadają średnim wartościom cech porowatości w odniesieniu do całej objętości spieku. Próbkę wyznaczenia obszaru reprezentatywnego do oceny cech struktury przedstawili Grosman, Hadasik i Tkocz [5]. Lokalny, reprezentatywny obszar analizy przedstawiono na rys. 1

Aby poprawnie przeprowadzić analizę porowatości, obiekty reprezentujące obecność zanieczyszczeń w osnowie wyeliminowano, stosując jako materiał wzorcowy żelazo ARMCO, które jest litym, czystym technicznie żelazem, pozbawionym nieciągłości w budowie strukturalnej. Obraz struktury spieku w reprezentatywnym obszarze po przygotowaniu do analizy i po eliminacji obiektów zakłócających wynik przedstawia rys. 2. Dla tak przygotowanego obrazu określono procentowy udział porowatości, a uzyskany wynik zweryfikowano z wyznaczonym udziałem porowatości metodą hydrostatyczną z pracy [4].

Analiza i wyniki

Obiekty z zestawienia tabelarycznego podzielono według pola powierzchni na dziewięć klas wielkości, gdzie dla każdego przedziału wyznaczono obiekt reprezentatywny. Przykładowe wyniki w zestawieniu dla trzeciego przedziału wielkości obiektów w zakresie $45\text{--}67,5 \mu\text{m}^2$ przedstawiono na rys 3.

* Dr inż. Mariusz Rosiak (m.rosiak@po.opole.pl) – Politechnika Opolska

Tablica. Przykładowe zestawienie danych z analizy obrazu dla kilku przekrojów porów

LP	Pole	Obwód	Wsp. Kształtu R_s	Mx	My	$Df(0^\circ)$	$Df(90^\circ)$	Wsp. Fereta R_f
1	3194	320	2,555	405,775	51,635	62	107	0,579
2	600	100	1,326	583,173	8,890	39	19	2,053
3	1462	162	1,429	635,746	19,607	48	46	1,043
4	1175	157	1,672	680,618	24,773	46	33	1,394
5	1075	169	2,122	167,860	36,065	44	50	0,880

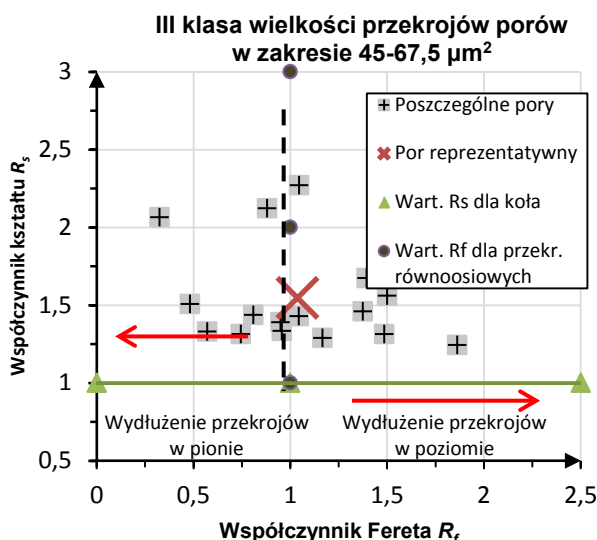
Współczynnik kształtu R_s i Fereta R_f wyliczono z zależności:

$$R_s = \frac{L^2}{4\pi S} \quad (1)$$

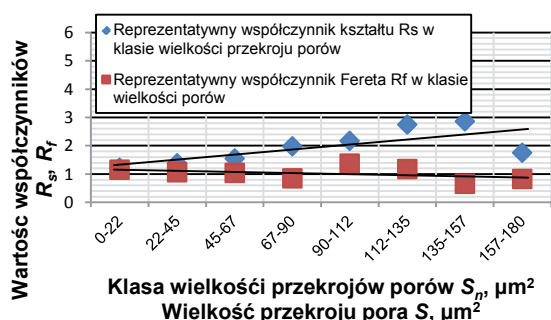
gdzie: L – obwód przekroju pora, S – pole przekroju pora.

$$R_f = \frac{Df(0^\circ)}{Df(90^\circ)} \quad (2)$$

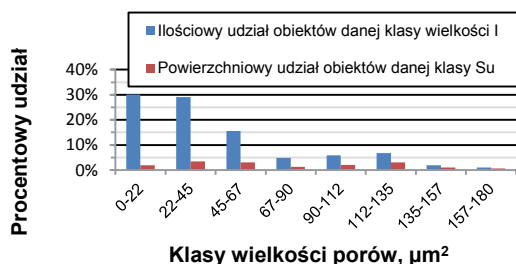
gdzie: $Df(0^\circ)$ – największa średnica w poziomie, $Df(90^\circ)$ – największa średnica w pionie.



Rys. 3. Rozmieszczenia populacji przekrojów porów dla III klasy wielkości uwzględniające tendencje kierunkową (współczynnik R_f) oraz oddalenie kształtu przekroju pora od kołowego (współczynnik R_s). Dla przekroju kołowego współczynnik $R_s = 1$



Rys. 4. Wykres cech przekrojów porów reprezentatywnych dla przyjętych klas wielkości



Rys. 5. Udziały ilościowe I i powierzchniowe S_u przekrojów porów w odniesieniu do całej populacji analizowanych obiektów

W zakresie uprzywilejowania przekroju porów do wydłużenia w pionie lub poziomie wyróżniono pięć przedziałów wielkości współczynnika R_f , a dla oceny kształtu wartość współczynnika R_s podzielono na cztery przedziały. Dla każdej klasy wielkości przekroju porów przeprowadzono analogiczne analizy i wyznaczono cechy przekroju porów reprezentatywnych (rys. 4), ilościowy i powierzchniowy udział przedstawiono na rys. 5.

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie wniosków szczegółowych, które w ujęciu ogólnym można przedstawić następująco:

- na wynik oceny cech porowatości przeprowadzanych na przygotowanych obrazach istotny wpływ może wywierać obecność zanieczyszczeń w osnowie materiału spiekane, których wygląd na analizowanym obrazie nie odbiega od wyglądu porów, stąd dla poprawności uzyskanych wyników należy zastosować dodatkową metodykę badawczą eliminującą z analizy obiekty niebędące obrazami przekrojów porów,
- wybór reprezentatywnego obszaru do analizy wymaga szczególnej uwagi i powinien być tak dobrany, aby uzyskane wyniki były reprezentatywne dla całej objętości spieku,
- sposobem na wstępną weryfikację reprezentatywnego obszaru do analizy jest określenie na przygotowanym obrazie udziału objętościowego porów, którego wartość powinna być potwierdzona inną metodą badawczą, np. metodą ważenia hydrostatycznego,
- ilościowo w 60% dominują w budowie wewnętrznej pory drobne o powierzchniach przekrojów do $45 \mu m^2$,
- pory o powierzchniach przekrojów powyżej $67 \mu m^2$ charakteryzują się dużą powierzchnią rozwinięcia i skomplikowanym kształtem przekroju znacznie odbiegającym od kształtu kołowego.

LITERATURA

1. Rosiak M., Grosman F. „Zmiany w budowie wewnętrznej spieków okształcanych na zimno z możliwością nieograniczonego płynięcia promieniowego”. *Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej*, nr 321/2007, *Mechanika*, z. 89, s. 77.
2. Rosiak M. „Okształcanie spieków w warunkach złożonych stanów naprężeń”. *Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej*, nr 332/2009, seria *Mechanika*, z. 95, s. 57.
3. Rosiak M. „Efekt zagęszczania spieków okształcanych w złożonym stanie obciążenia”. *Materiały Konferencyjne PLASTMET 2012*, 20–23 listopada 2012, Łańcut.
4. Rosiak M. „The results of consolidation of sinters being deformed under complex loading condition”. *Archives of Metallurgy and Materials*. Vol. 58, No. 4 (2013): s. 1197–1205.
5. Grosman F., Hadasik E., Tkocz M. „Problem wyboru reprezentatywnego obszaru oceny struktury w ścisanych próbkach”. *Fizyczne i Matematyczne Modelowanie Procesów Obróbki Plastycznej*, 17–18.05.2001 Warszawa.
6. Łukowski J. „Kształtowanie plastyczne materiałów porowatych”. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Hutnictwo*, nr 44, Gliwice 1992.
7. Łukowski J., Grosman F. „Opracowanie wniosków i założeń dla technologów i konstruktorów dotyczących nierównomierności okształceń w procesach dogęszczania spieków”. Sprawozdanie z pracy badawczej nr NB-184/RM-2/87.
8. Dobrzański L., Muszytfa-Staszuk M., Łucko A. „The comparison of computer methods for porosity evaluation in sintered constructional steels”. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. Vol. 61, Iss. 2 (2013): pp. 395–402.
9. Kowalski S.J. „*The engineering of porosity materials*”. Poznań, 2004: pp. 9–20.
10. Dobrzański L., Muszytfa-Staszuk M., Rosso M. „Computer aided determination of porosity in sintered steels”. *Archives of Materials Science and Engineering*. Vol. 38, No. 2 (2009): pp. 103–111.
11. Sulowski M. „Application of computer methods for porosity measurements in sintered steels”. *Gingers and metals*. Vol. 53, No. 10 (2008): pp. 628–645.