

**DOBÓR GEOMETRII I MATERIAŁU RDZENIA ODLEWU  
SZKIELETOWEGO O KOMÓRKACH OTWARTYCH**M. DZIUBA<sup>1</sup>, M. CHOLEWA<sup>2</sup>Zakład Odlewnictwa, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Wydział  
Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice

## STRESZCZENIE

Celem pracy był dobór geometrii szkieletu i materiału rdzenia do wytwarzania metalowych materiałów szkieletowych o regularnych komórkach otwartych. Plan za-projektowania rdzenia odlewu szkieletowego obejmował: podział rdzenia na najmniej-sze powtarzalne elementy, wyznaczenie geometrycznych cech komórek szkieletu meta-lowego, wytypowanie modelu kształtowego odlewu próbnego. Zaproponowano trzy koncepcje kształtu pojedynczych komórek. Na podstawie analizy geometrii pojedynczej komórki wyznaczono kształt rdzenia. Przedstawiono krystalabito – gipsową masę formierską.

*Key words: metal skeleton materials, cell model, core*

**1. GEOMETRIA UKŁADU ODLEW SZKIELETOWY – RDZEŃ****1.1. Wprowadzenie**

Materiały porowate coraz częściej stosuje się jako amortyzatory wstrząsów, izolacje, filtry i rozdzielacze, katalizatory samochodowe, elementy wymienników ciepła, maty, tłumiki dźwięków lub drgań, grzejniki, materiały konstrukcyjne, konstrukcje samonośne. Odlewy szkieletowe stanowią dopełnienie materiałów komórkowych, mogą być stosowane w przemyśle maszynowym m.in. na korpusy obrabiarek. Wytwarzane są wg proponowanej metody z wykorzystaniem tradycyjnych technik odlewniczych bez

---

<sup>1</sup> mgr inż., [maria.dziuba@polsl.pl](mailto:maria.dziuba@polsl.pl)

<sup>2</sup> dr hab. inż., [miroslaw.cholewa@polsl.pl](mailto:miroslaw.cholewa@polsl.pl)

angażowania drogich „laboratoryjnych” urządzeń w procesie wytwórczym (np. pian metalicznych).

Do materiałów porowatych można zaliczyć się m.in. odlewy szkieletowe. Podstawą tego rodzaju materiałów jest rdzeń, od którego zależy specyficzna szkieletowa postać otrzymanego odlewu. Odlewy szkieletowe o rdzeniu ceramicznym są prostym rozwiązaniem, pozwalającym na uzyskanie metalowych materiałów porowatych, mogących konkurować z innymi powszechnie stosowanymi w przemyśle metodami ich otrzymywania. Podstawową zaletą rdzeni służących do wykonania odlewów porowatych jest łatwość ich wykonania, nie wymagająca wysoce wyspecjalizowanego oprzyrządowania. Możliwość wytwarzania ich w oparciu o sztywne i luźne rdzenie ceramiczne daje w perspektywie możliwość wytwarzania odlewów o dowolnym kształcie i gabarytach ograniczonych jedynie zdolnością penetracji metalu w kanały rdzenia. Ponadto technologia stwarza możliwość wytwarzania odlewów szkieletowych w oparciu o kompozyty odlewane *ex situ* oraz *in situ*, co zwiększa możliwość kształtowania ich własności mechanicznych.

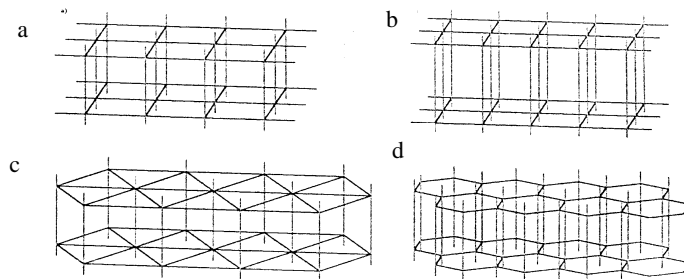
Optymalizacja rdzenia, zarówno pod względem geometrii, jak i materiału, z którego jest wykonany, jest niezwykle istotna przy projektowaniu odlewów szkieletowych.

## **1.2. Koncepcja geometrii układu odlew szkieletowy – rdzeń**

Szkielet i rdzeń odlewu podzielono na najmniejsze powtarzalne elementy tzw. komórki. Poprzez dobór cech geometrycznych tych elementów ustalono kształt rdzenia, a następnie rozkład i parametry komórek w odlewie. Przy doborze geometrii rdzenia istotne znaczenie odgrywają powierzchnie styku komórek, które powinny pozwalać na łączenie ich w zespoły. Zwiększenie powierzchni styku ułatwia poprawne ułożenie kształtek rdzeniowych w kompletny rdzeń. W efekcie wpływa to na dokładność i ciągłość struktury rdzenia oraz poprawność zestawienia pakietów komórek. Dzięki temu można uzyskać regularną siatkę szkieletu odlewu. Nie zachowanie powtarzalności wymiarowej elementów rdzenia może doprowadzić do nierównomiernego wypełnienia wnęki formy odlewniczej i zaburzenia przepływu ciekłego metalu. Zwiększenie powierzchni styku pozwala na łatwe usunięcie rdzenia z odlewu.

W literaturze prezentowane są materiały komórkowe o elementarnej komórce w kształcie sześciianu, prostopadłościanu, pryzmy o podstawie trójkąta równobocznego i sześciokąta foremego.

Przyjęto struktury komórkowe o powtarzającym się układzie łączników i węzłów, które mogą się odkształcać sprężysto pod wpływem sił osiowych lub momentów gnących i sił poprzecznych. Zamodelowane struktury komórkowe powstałe przez połączenie elementarnych komórek przedstawiono na rysunku 1 [4]. Jednak trójosiowy stan obciążenia siłami, lub momentami sił, wymaga zamodelowania komórki o jednakowej budowie, wymiarach w trzech osiach co jest cechą charakterystyczną prezentowanej koncepcji.



Rys. 1. Struktury komórkowe powstałe przez połączenie elementarnych komórek w kształcie: a) sześcianu, b) prostopadłościanu, c) pryzmy o podstawie trójkąta równobocznego, d) pryzmy o podstawie sześciokąta foremnego [4]

Fig. 1. Cellular structures formed by connection of elementary cells with shape of: a) cube, b) cuboid, c) simple prism with equilateral triangle base, d) simple prism with regular hexagon base [4]

Do zaprojektowania geometrii rdzenia ceramicznego wybrano grupę brył charakteryzujących się możliwością wpisania ich w sześciany, ułatwia to określenie objętości porów i metalu w odlewie. Bryły te doskonale spełniają warunek powierzchni styku komórek powtarzalności komórek lub ich całych zespołów.

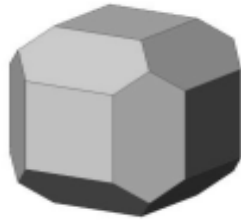
#### Osiemnastościan

Kształt komórki uzyskano przez ścięcie krawędzi sześcianu (rysunek 2). Bryła ta charakteryzuje się najdogodniejszymi powierzchniami styku uzyskiwanymi bezpośrednio przez ułożenie elementów obok siebie, bez konieczności uprzedniego łączenia ich w zespoły. Regulując wielkością powierzchni sześciokątów tj. zwiększając powierzchnię ścięcia krawędzi sześcianu zmienia się stosunek objętościowy porów, następuje to kosztem zmiany wielkości powierzchni styku komórek. Uzyskano w ten sposób symetryczną, przestrzenną budowę rdzenia i szkieletu metalowego.

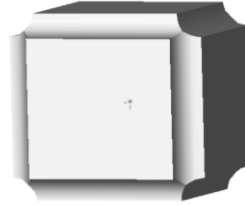
#### Osiemnastościan o minimalnych oporach hydraulicznych przepływu metalu

Kształt komórki uzyskano przez utworzenie w miejsce płaszczyzn po ścięciu krawędzi powierzchni o promieniu  $r$  (rysunek 3).

Ważną cechą tego rozwiązania jest możliwość sterowania udziałem objętościowym porów w odlewie za pomocą zmiany promienia zaokrąglenia  $r$ . Wraz ze wzrostem promienia zaokrąglenia uzyskuje się lepszą proporcję przekroju ścianek odlewu do powierzchni styku. Zaletą rozwiązania jest kołowy przekrój łączników szkieletu metalowego, co ogranicza do minimum wielkość oporów hydraulicznych przy wypełnianiu metalem wnęki formy w przestrzeni rdzenia.



Rys. 2. Osiemnastościan  
Fig. 2. Oktadekahedron

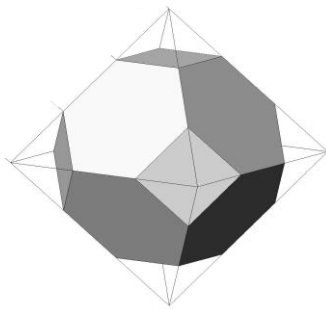


Rys. 3. Osiemnastościan „hydrauliczny”  
Fig. 3. Hydraulic oktaedekahedron

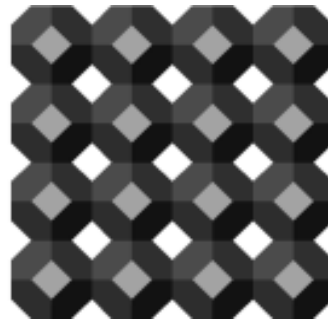
### Czternastościan Kelvina (tetrakaidekaedr)

Bryłę utworzono poprzez ścięcie narożników ośmiościanu rysunek 4. Geometria tetrakaidekaedru pozwala na wykonanie rdzenia o równomiernym rozstawieniu komórek, które stykają się ściankami kwadratowymi a nie sześciokątnymi. W wyniku takiego rozmieszczenia komórek powstaje odlew, który charakteryzuje się zawsze stałym udziałem objętościowym porów na poziomie 50%.

Odlew oparty na rdzeniu powstałym z zestawienia komórek o tej geometrii odpowiada geometrii rdzenia, tj. przestrzeń znajdująca się pomiędzy elementami rdzenia przyjmuje kształt tetrakaidekaedru połączonych w ten sam sposób, co w rdzeniu. Budowę odlewu opartego na komórkach o geometrii czternastościanu Kelvina pokazano na rysunku 5. Wynika z tego, że wszystkie połączenia w odlewie są pochylone, a ich przekrój jest mniej równomierny w porównaniu do poprzednio przedstawionych geometrii. Węzły połączeń są duże. Proces wykonania modelu w tej geometrii jest skomplikowany. Odlew posiada znaczne zróżnicowanie modułu krępnienia, co jest nieuzasadnione technologicznie.



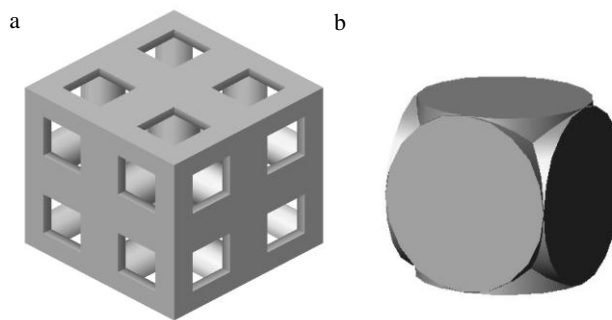
Rys. 4. Czternastościan Kelvina  
Fig. 4. Kelvin's tetradekahedron



Rys.5. Budowa odlewu opartego na komórkach o geometrii czternastościanu Kelvina  
Fig. 5. Structure of a cast based on cells with tetradekahedron geometry

Do badań wytypowano geometrię osiemnastościanu o minimalnych oporach hydraulicznych przepływu metalu. Geometria ta najlepiej spełnia wymagania geometryczne zarówno pod względem możliwości wykonania modeli o takim kształcie, sterowania udziałem objętościowym porów w odlewie (za pomocą zmiany promienia łącznika  $r$ ).

Przykład 16 komórek szkieletu z przypisanymi częściami elementów metalowych pokazano na rysunku 6a. obok (rysunek 6b) przedstawiono postać geometryczną węzła szkieletu łączącego jego elementy.



Rys. 6. Budowa 16 komórek odlewu (a) i postać geometryczna węzła szkieletu metalowego (b)

Fig. 6. Cells structure 16 of cast (a) and geometry of metal skeleton (b)

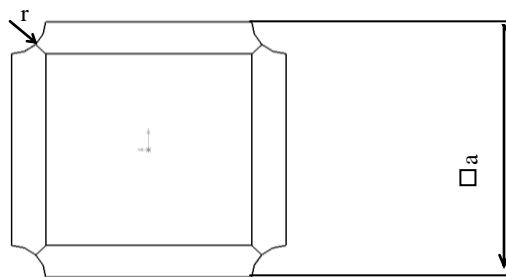
Wyznaczono wzór na objętość przestrzeni znajdującej się dookoła jednej komórki rdzeniowej - przestrzeń wypełniona metalem (rysunek 7, równanie 1 i 2):

$$V_m = \frac{21}{160} \cdot \pi \cdot a^3 \cdot n \text{ [mm}^3 \text{]} (1)$$

$$V_m = 8,4 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot n \text{ [mm}^3 \text{]} (2)$$

gdzie:

$V_m$  – objętość metalu w odlewie]  
 $a$  – wielkość elementu rdzenia  
 $r$  – wartość promienia elementu rdzenia  
 $n$  – ilość elementów rdzenia użytych do wykonania odlewu.



Rys. 7. Charakterystyczne wymiary osiemnastościanu „hydraulicznego”

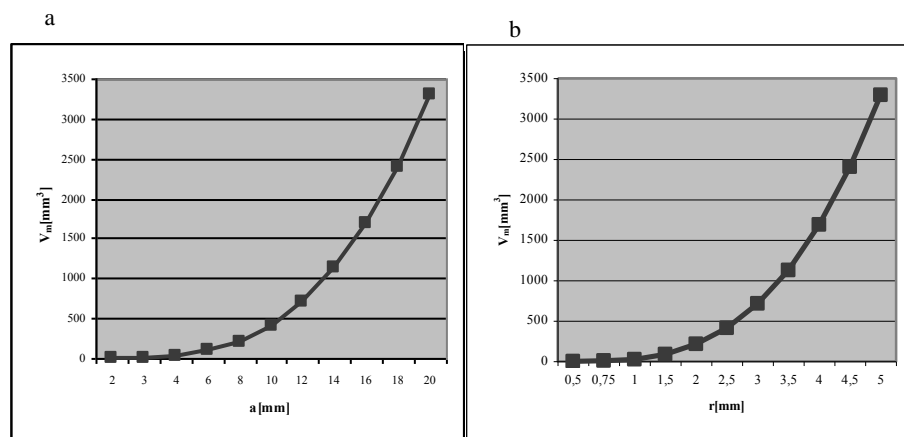
Fig. 7. Characteristic dimensions of hydraulic octahedron

Wyznaczono zależność  $V_m=f(a)$  oraz  $V_m=f(r)$  w celu określenia jak zmienia się objętość metalu w zależności od różnych wartości boku osiemnastościanu a lub promienia zaokrąglenia r (tablica 1 i rysunek 8).

Tablica 1. Wpływ wielkości boku a i promienia r na objętość metalu jednego elementu rdzenia  $V_m$ , gdzie  $r=1/4a$

Table 1. Influence of side dimension a and radius r on volume of metal for one element of the core  $V_m$ , where  $r = 1/4 a$

Lp.	a[mm]	r[mm]	$V_m[\text{mm}^3]$
1	2	0,5	3,29
2	3	0,75	11,13
3	4	1	26,38
4	6	1,5	89,02
5	8	2	211
<b>6</b>	<b>10</b>	<b>2,5</b>	<b>412,12</b>
7	12	3	712,15
8	14	3,5	1130,8
9	16	4	1688,06
10	18	4,5	2403,5
11	20	5	3297



Rys. 8. Objętość metalu jednego elementu rdzenia dla różnych wartości: a) boku a, b) promienia r  
Fig. 8. Metal volume of one elementary core for different values: a) side dimension a, b) radius r

Jako wymiar  $a$  komórki rdzenia przyjęto 10 mm, natomiast promień  $r=1/4a$ . Osiemnastościan z powierzchniami o promieniu  $r$  zapewnia maksymalną powierzchnię styku komórek rdzeniowych, którą w badaniach przyjęto równą  $25\text{mm}^2$ . Modele komórki rdzenia o tej geometrii można wykonać przy zachowaniu dobrej dokładności wymiarowej ( $\pm 0,02\text{mm}$ ) otrzymanych elementów rdzenia. Lokalny wymiar grubości ścianki odlewu wynosi 5 mm, wymiar ten jest związany z przebiegiem wypełniania przestrzeni międzykomórkowych ciekłym metalem.

## 2. DOBÓR MATERIAŁÓW NA RDZEŃ CERAMICZNY ODLEWU SZKIELETOWEGO

Masa na rdzeń ceramiczny aluminiowego odlewu szkieletowego powinna charakteryzować się wysoką wytrzymałością na ściskanie połączoną z niską ścieralnością oraz wysoką wybijałnością. Zaproponowano masę o następującym składzie: mączka krystalitowa, gips, cement, woda. W celu poprawy wytrzymałości i zmniejszeniu ścieralności zwiększono ilość cementu w masie. Przygotowano składniki w proporcjach podanych w tablicy 2.

Tablica 2. Proporcje składników masy  
Table 2. Proportions components of mass

Mączka kry- stabilitowa [g]	Gips [g]	Cement [g]	Woda [g]
100	10	2	42

Masa o tym składzie chemicznym będzie podstawą do wykonania masy na rdzeń ceramiczny odlewu szkieletowego.

## 3. WNIOSKI

1. Regularny geometrycznie szkielet daje możliwość łatwego projektowania jego własności mechanicznych z użyciem programów komputerowych.
2. Wyznaczono korzystny kształt rdzenia ze względu na trójosiowy stan obciążenia i hydrauliczne opory płynięcia metalu.
3. Zaproponowano skład masy rdzeniowej do wytwarzania odlewu szkieletowego po optymalizacji proporcji jej składników.

## LITERATURA

- [1] Banatr J. *Manufacture, characterisation and application of cellular metals and metal foams*, Progress in Materials Science, 2001, nr 46, s.559-632.
- [2] Cholewa M. *Kształtowe odlewy z pian kompozytowych*, Archiwum Odlewnictwa, 2003, vol. 3, nr 9, s.81-88.
- [3] Darlak P., Dudek P.: *Materiały wysokoporowate – metody wytwarzania i zastosowanie*, Odlewnictwo: Nauka i praktyka, 2004, nr 1, s.3-17.
- [4] Janus-Michalska M.: *Effective models describing elastic behaviour of cellular materials*, Archives of metallurgy and materials, 2005, vol. 50, is.3, s. 595-608.
- [5] Kordzikowski P., Janus-Michalska M., Pęcherski R.P.: *Specification of energy – based criterion of elastic limit states for cellular materials*, Archives of metallurgy and materials, 2005, vol. 50, is.3, s. 619-634.
- [6] Missol W.: *Energia powierzchni rozdziału faz w metalach*, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1974.
- [7] Sobczak J. *Piany metalowe monolityczne i kompozytowe oraz gazary*, Wyd. Instytutu Odlewnictwa Kraków 1998.
- [8] Sobczak J.: *Metallic foams on the example of composite structures*, Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, 2001, vol. 21, nr.spec., s.161-169.
- [9] Stachowski A.: *Materiały porowate przyszłościowym zastosowaniem w konstrukcjach*, Kompozyty, 2001, nr.2, s.225-227.

## DESIGN OF CORE GEOMETRY AND MATERIAL IN SKELETON CASTING WITH OPEN CELLS

### SUMMARY

The main aim of this work was cell geometry and material selection for skeleton castings.

The core design plan enclosed core division into smallest repeatable elements, metal cell geometry determination and identification of shape model for example casting. Three concepts for elementary cells were presented. On base of elementary cell geometrical analysis the core shape was determined.

Recenzował: prof. zw. dr hab. inż. Stanisław Pietrowski