ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1973

Seria Mechanika z. 50 Nr kol. 368

Józef Gawroński, Edward Janusz,
Bernard Krajczy
Instytut Odlewnictwa

ODLEWANIE ODŚRODKOWE KUL WEWNĄTRZ PUSTYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono nową technologię odlewania odśrodkowego kul pływakowych Ø 150 mm z czystego aluminium, wewnątrz pustych. Zasadniczą cechą technologii odlewania odśrodkowego kul jest wprowadzenie żeliwnej kokili napełnionej ciekłym metalem w ruch obrotowy w dwu płaszczyznach wzajemnie prostopadłych. Dla uzyskania możliwie najbardziej równomiernej grubości ścianek, należy zachować określony stosunek obrotów w obu płaszczyznach.

1. Wstęp

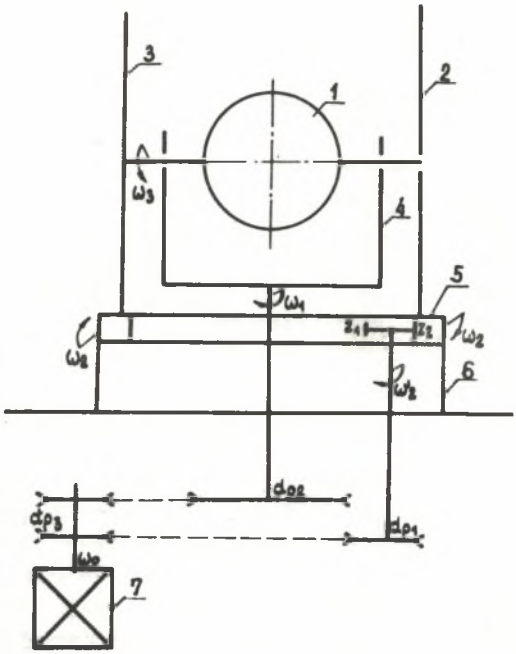
Współczesne urządzenia do odlewania odśrodkowego niezależnie od położenia osi wirowania, charakteryzują się tym, że swobodna powierzchnia wirującego metalu przyjmuje kształt symetryczny względem głównej osi wirowania. W przypadku wirowania kokili wokół dwu osi swobodna powierzchnia ciekłego metalu, przy prawidłowo wybranych parametrach konstrukcyjnych i technologicznych, jest powierzchnią kulistą, a więc symetryczną względem środka kuli.

W literaturze krajowej i zagranicznej brak jest do tej pory danych dotyczących możliwości odlewania odśrodkowego kul wewnątrz pustych; z konieczności, prowadzone badania musiały dać odpowiedź na szereg zasadniczych pytań, z których najważniejszymi są:
wzajemny stosunek obrotów kokili wokół obu osi; wielkość stosowanych obrotów; długość cyklu wirowania zapewniającego zakrzepnięcie metalu; szybkość uzyskania przez wirującą kokilę i ciekły metal zamierzonych parametrów kinematycznych; niezbędne parametry technologiczne jak: temperatura zalewania, temperatura podgrzania kokili, temperatura wybicia odlewu, rodzaj pokrycia kokili itp.

2. Konstrukcja urządzenia do odlewania odśrodkowego kul

Zasada działania urządzenia do odlewania odśrodkowego kul została oparta o patent krajowy nr 47334, jednak realizacja celu badań wymagała poważnej modyfikacji konstrukcji, szczególnie zaś całego systemu napędu.

Zasadę pracy urządzenia przedstawia rys. 1. Wybór właściwego stosunku obrotów jarzma i stołu decyduje o uzyskaniu odlewu kuli o równomiernej grubości ścian. W czasie badań wypróbowano dwa rodzaje napędu: 1) "niezależny", umożliwiający swobodną regulację obrotów jarzma i stołu, 2) "sztywny", wiążący na stałe oba obroty.



Rys. 1. Schemat kinematyczny urządzenia do odlewania odśrodkowego kul wewnątrz pustych

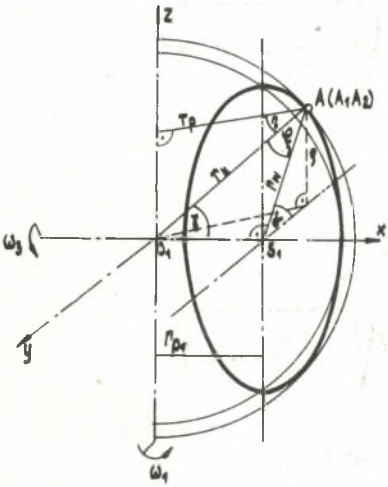
1 - kokila dzielona, 2 - koło toczne luźne, 3 - koło toczne sztywne, 4 - jarzmo, 5 - stół, 6 - korpus, 7 - silnik

Kokila wykonana jest z żeliwa szarego perlitycznego, a grubość jej ścianki wynosząca 25 mm, zapewnia wystarczającą pojemność cieplną i sztywność w czasie wirowania. Kokila składa się z dwu połówek zamykanych za pomocą prowadnic i klinów. Otwór wlewowy zamykany jest w płaszczyźnie podziału kokili stożkowym korkiem metalowym.

Głównym zadaniem istniejącego prototypu było zbadanie przyjętych parametrów konstrukcyjnych, kinematycznych i technologicznych, zapewniających uzyskanie dobrych odlewów.

3. Kinematyka urządzenia do odlewania odśrodkowego kul

Koniecznym warunkiem otrzymania równomiernej grubości ścian odlewu kuli wewnątrz pustej jest zapewnienie w każdym punkcie ścianki jednakowej siły odśrodkowej. Na rys. 2 przedstawiono sposób określenia położenia dowolnego punktu na powierzchni kuli. Na dowolny punkt na powierzchni kuli działają przyspieszenia wynikające z jednoczesnego obrotu kuli wokół dwu osi x i y. Przyspieszenie te ilustruje rys 3, przy czym

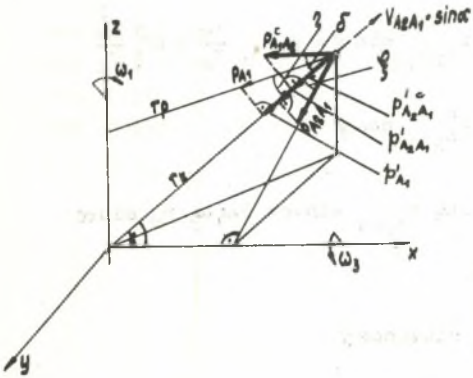


Rys. 2. Schemat kinematyczny ruchu kokili

A_1 - określa punkt A związany ze sztywnym układem obracającym się dokoła osi z

A_2 - określa punkt A związany z układem obracającym się wokół osi x.

Przyspieszenie punktu A_1 obliczamy: $p_{A_1} = \omega_1^2 \cdot r_p$, względne przyspieszenie punktu A_2 względem A_1 wynosi $p_{A_2A_1} = \omega_3^2 \cdot r_w$.



Rys. 3. Przyspieszenie działające na dowolny punkt na kuli

Przyspieszenie Coriolisa związane ze zmianą punktu unoszenia A_1 i wynikającymi stąd zmianami prędkości unoszenia $v_{A_2A_1}$ oznaczamy przez $p^c_{A_2A_1}$.

Ogólnie

$$\overline{p}_{A_2} = \overline{p}_{A_1} + \overline{p}_{A_2A_1} + \overline{p}^c_{A_2A_1}.$$

Przyspieszenie dośrodkowe (o kierunku r_k) punktu A_2 wynosi

$$p^n_{A_2} = p'_{A_1} + p'_{A_2A_1} + p'^c_{A_2A_1} \text{ x)}$$

$$r_w = r_k \sin\gamma$$

$$\varrho = r_w \sin\alpha = r_k \sin\alpha \cdot \sin\gamma$$

x) Znak "prim" oznacza rzut danego wektora na kierunek normalny r_k.

$$r_p^2 + \varrho^2 = r_k^2$$

$$r_p = \sqrt{r_k^2 - \varrho^2}.$$

Zatem

$$r_p = \sqrt{r_k^2 - r_k^2 \sin^2\gamma \cdot \sin^2\alpha} = r_k \sqrt{1 - \frac{r_w^2}{r_k^2} \cdot \sin^2\alpha}$$

gdyz

$$\sin\gamma = \frac{r_w}{r_k}.$$

Dalej

$$p'_{A_1} = p_{A_1} \cos\eta = p_{A_1} \frac{r_p}{r_k} = \omega_1^2 r_k \left(\sqrt{1 - \frac{r_w^2}{r_k^2} \sin^2\alpha}\right)^2$$

$$p'_{A_2A_1} = p_{A_2A_1} \cos\xi$$

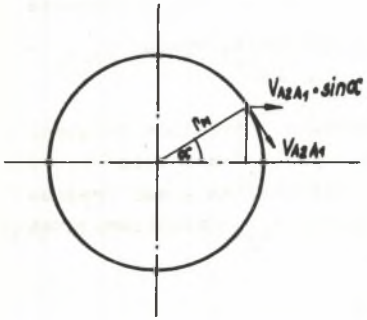
$$\xi = 90^\circ - \gamma$$

$$p'_{A_2A_1} = p_{A_2A_1} \sin\gamma = p_{A_2A_1} \frac{r_w}{r_k} = \omega_3^2 \frac{r_w^2}{r_k}$$

$$p^c_{A_2A_1} = p^c_{A_2A_1} \cos\gamma$$

$$p^c_{A_2A_1} = 2\omega_1 v_{A_2A_1} \sin\alpha = 2\omega_1\omega_3 r_w \sin\alpha$$

(rys. 4)



Rys. 4. Schemat rozkładu prędkości

$$p'^c_{A_2A_1} = 2\omega_1\omega_3 r_w \sin\alpha \cos\gamma$$

$$\cos\gamma = \frac{r_{p_1}}{r_k} = \sqrt{\frac{r_k^2 - r_w^2}{r_k^2}}.$$

Zatem

$$p^{c}_{A_2A_1} = 2\omega_1\omega_3\, r_w \sqrt{\frac{r_k^2 - r_w^2}{r_k^2}}\, \sin\alpha$$

$$p^{n}_{A_2} = \omega_1^2\, r_k \left(\sqrt{1 - \frac{r_w^2}{r_k^2}\sin^2\alpha}\right)^2 + \omega_3^2 \frac{r_w^2}{r_k} + 2\,\omega_1\omega_3\, r_w \sqrt{\frac{r_k^2 - r_w^2}{r_k^2}}\, \sin\alpha$$

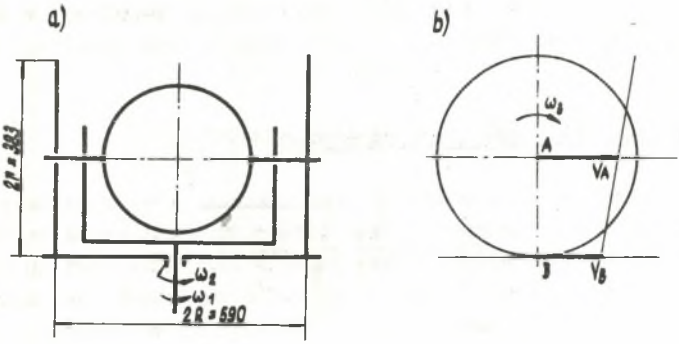
Jak to widać wyraźnie z ostatniego wzoru, przyspieszenie dowolnego punktu na powierzchni kuli nie jest wielkością stałą i zależy od kąta α. Istnieją jednak dwa punkty, leżące na przecięciu poziomej osi obrotu z powierzchnią kuli, których przyspieszenie jest stałe

$$p^{n}_{A_2}(r_w = 0) = \omega_1^2\, r_k.$$

Porównując przyspieszenie lub siły działające w dowolnym punkcie kuli i w punkcie specyficznym, otrzymujemy

$$\omega_1^2\, r_k = \omega_1^2\, r_k \left(\sqrt{1 - \frac{r_w^2}{r_k^2}\sin^2\alpha}\right)^2 + \omega_3^2 \frac{r_w^2}{r_k} + 2\omega_1\omega_3\, r_w \sqrt{\frac{r_k^2 - r_w^2}{r_k^2}}\, \sin\alpha.$$

Równanie to nie może być spełnione równocześnie dla każdego punktu - dla każdego α. Właściwe rozwiązanie można znaleźć po porównaniu sumy sił jednostkowych (przyspieszeń), działających na dany punkt podczas pełnego obrotu dookoła osi poziomej.



Rys. 5. Geometryczne wymiary urządzenia

Po scałkowaniu powyższego równania w granicach od 0 do 2π i uporządkowaniu otrzymujemy:

$$\omega_3 = 0,71\ \omega_1$$

Dla wyznaczenia zależności między prędkością obrotową jarzma i stołu należy uwzględnić wymiary geometryczne urządzenia (rys. 5)
Z rys. 5a i 5b wynika, że

$$V_A = \omega_1 R; \quad V_B = \omega_2 R$$

$$\bar{V}_A = \bar{V}_B + \bar{V}_{AB}$$

$$\omega_3 = \frac{V_{AB}}{r} = \frac{\omega_1 R - \omega_2 R}{r} = \frac{R}{r}(\omega_1 - \omega_2).$$

Ponieważ

$$\omega_3 = 0,71\ \omega_1$$

oraz

$$\omega_3 = 1,54\ (\omega_1 - \omega_2),$$

to

$$\omega_2 = 0,538\ \omega_1$$

Z powodu braku danych na temat odśrodkowego odlewania kul wykorzystano wzory określające wielkość obrotów przy odlewaniu tulei o określonej różnicy grubości ścianek [1-3].
Analiza wyników obliczeń wzorami Cammena, Konstantinowa oraz wzorami półempirycznymi wykazała, że rozrzut ilości obrotów jest bardzo znaczny.

Uwzględniając jednak zarówno dane doświadczalne, jak i możliwości wytrzymałościowe urządzenia przyjęto, że napęd winien zapewniać uzyskanie około 650 $\frac{obr}{min}$ wokół osi pionowej z możliwością regulacji w dół i około 400 obr/min wokół osi poziomej, także z możliwością regulacji w dół.

4. Wybór parametrów topienia i odlewania

Półtechniczne badania odlewania kul wykonano przy zastosowaniu czystego aluminium. Metal topiono w piecu indukcyjnym pod przykryciem ochronnym i rafinowano argonem. Wysoka temperatura przegrzania metalu (900°C) oraz szybkie zalewanie i uruchomienie urządzenia zapobiega zakrzepnięciu większej warstwy metalu na dnie kokili w czasie jej bezruchu, a tym samym sprzyja uzyskaniu ścianek odlewu o równomiernej grubości.

Tablica 1

Parametry technologiczne odlewania odśrodkowego kul

Lp.	Temperatura metalu w piecu °C	Temperatura metalu przed zalaniem °C	Temperatura kokili °C	Temperatura kokili po wybiciu odlewu °C	Grubość pokrycia mm x)	Czas "martwy" sec xx)	Czas wirowania min	Gładkość powierzchni	n_{jarzma} / $n_{stołu}$
1	900	860	200	230	0,06	60	2'30	b.dobra	528/380
2	900	890	210	240	0,12	48	3'18	dobra	455/323
3	900	900	205	230	0,26	60	3'30	dostateczna	455/323

x) Skład pokrycia: 20% talku, 5% szkła wodnego, reszta woda.

xx) Czas od początku zalewania do chwili uzyskania założonych obrotów.

W tablicy 1 zestawiono przykładowo parametry technologiczne mierzone w czasie odlewania. Tablica podaje obroty jarzma i stołu, które pomimo ustalenia teoretycznych zależności musiały ulec pewnej korekcie ze względu na wpływ przyspieszeń stycznych nie ujętych w obliczeniach.

5. Własności odlewów

Od odlewów kul przeznaczonych na pływaki rybackie wymaga się dobrej gładkości powierzchni zewnętrznej, szczelności oraz równomiernej grubości ścianek.

Rys. 6. Wygląd wewnętrznej powierzchni odlewu kuli o zadowalającej jakości

Gładkość powierzchni zewnętrznej zależy przede wszystkim od gładkości wnęki kokili i rodzaju pokrycia ochronnego.

Badania wykonane na ponad stu odlewach dowiodły, że gładkość powierzchni wewnętrznej zależy wyłącznie od parametrów wirowania kokili oraz stopnia czystości metalu, która wiąże się nierozerwalnie ze sposobem topienia Na rys. 6 przedstawiono powierzchnię wewnętrzną odlewu o zadowalającej jakości.

Równomierność grubości ścianek kul określono po nawierceniu otworów; punkty pomiarowe wyznaczono posługując się siatką kartograficzną.

W tablicy 2 zestawiono wyniki pomiarów grubości ścian dla seryjnego odlewu przy parametrach wirowania kokili: n_{jarzma} = 450 obr/min, $n_{stołu}$ = = 128 obr/min. Idealna grubość ścianki kul g_{id} = 9,6 mm.

Tablica 2

Zestawienie średnich grubości ścianek kul

Punkt pomiaru	Grubość g(mm)	Odchyłka g_{id} - g (mm)	Punkt pomiaru	Grubość g(mm)	Odchyłka g_{id} - g (mm)	Punkt pomiaru	Grubość g(mm)	Odchyłka g_{id} - g (mm)
1	9,4	-0,2	22	9,8	+0,2	43	6,7	-2,9
2	13,4	+3,8	23	7,7	-1,9	44	9,5	-0,1
3	18,9	+9,3	24	5,8	-3,8	45	6,9	-2,7
4	18,1	5,5	25	4,3	-5,3	46	5,0	-4,6
5	18,5	+8,9	26	5,5	-4,1	47	6,4	-3,2
6	6,7	-2,9	27	5,8	-3,8	48	5,5	-4,1
7	5,9	-3,7	28	6,5	-3,1	49	5,2	-4,4
8	9,2	-0,4	29	5,5	-4,1	50	5,6	-4,0
9	16,1	6,5	30	3,9	-5,7	51	6,2	-3,4
10	14,0	4,4	31	6,0	-3,6	52	10,2	+0,6
11	15,1	5,5	32	7,1	-2,5	53	10,0	+0,4
12	15,5	+5,9	33	8,1	-1,5	54	5,1	-4,5
13	9,8	+0,2	34	12,0	+2,4	55	9,8	+0,2
14	15,6	+6,0	35	13,8	+4,2	56	8,6	-1,0
15	12,0	+2,4	36	14,2	+4,6	57	5,2	-4,4
16	14,1	+4,5	37	7,9	-1,7	58	5,3	-4,3
17	7,2	-2,6	38	7,6	-2,0	59	18,6	+9,0
18	5,8	-3,8	39	17,3	+7,7	60	20,2	+10,6
19	6,7	-2,9	40	15,4	+5,8	61	13,5	+3,9
20	6,8	-2,8	41	15,7	+6,1	62	14,6	+5,0
21	7,0	-2,6	42	12,8	+3,2			

Rozrzut grubości ścian w ramach jednego odlewu spowodowany jest przede wszystkim zbyt długim przestojem kokili w czasie jej zalewania ciekłym me-

talem. Opracowane zmiany i ulepszenia konstrukcyjne procesu zalewania przyczynią się do dalszego poprawienia równomierności grubości ścianek odlewów.

Szczelność odlewów badano wtłaczając sprężone powietrze (6 at.) do wnętrza odlewu zanurzonego w wodzie. Kule odlewane odśrodkowo niezależnie od stopnia równomierności grubości ścianek wykazały bardzo dobrą szczelność, co można wytłumaczyć dużą zwartością zewnętrznych warstw odlewu.

Badania wykonane dla różnych stosunków obrotów jarzma do obrotów stołu wykazały, że dokonane obliczenia są słuszne i stanowią podstawę do projektowania połączeń kinematycznych urządzeń do wykonywania odlewów o większych średnicach.

6. Wnioski

Technologia odlewania odśrodkowego kul wewnątrz pustych jest dalszym postępem na drodze eliminacji tradycyjnych metod odlewania w masach formierskich.

Nowa technologia już obecnie może zastąpić dotychczasowe sposoby spawania kul pływakowych dla rybołóstwa.

Uzyskana jakość odlewów, a przede wszystkim szczelność, gładkość powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej oraz równomierność grubości ścian predysponują odlewy do zastosowania praktycznego.

LITERATURA

1. Górny Z. - Odlewanie w formach wirujących, WNT, Warszawa 1964.
2. Gołowin S.J. - Osobyje widy litja, Maszgiz, Moskwa 1959, tłum. polskie WNT, Warszawa 1963.
3. Lewin M.M. - Centrobieżnaja otliwka mietałow, Maszgiz, Moskwa 1958.

ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ЛИТЬЕ ВНУТРИ ПУСТЫХ ШАРОВ

Р е з ю м е

В статье представлена новая технология центробежного литья плавучих шаров ϕ 150 мм из чистого алюминия внутри пустых. Основной особенностью технологии центробежного литья шаров является введение чугунных кокилей, наполненных жидким металлом во вращательном движении в двух плоскостях взаимно перпендикулярных. Для получения возможно равномерно толщины стенок следует сохранить определённое отношение оборотов в обеих плоскостях.

CENTRIFUGAL CASTING OF HOLLOW BALLS

S u m m a r y

The paper discusses a new technology of centrifugal casting of hollow balls, 150 mm in diameter, consisting of pure aluminium. The fundamental feature of the technology of centrifugal casting consists in the application of a two-dimensinal rotary motion to a cast iron mould, which has been filled up with liquid metal, the two dimensions of motion being perpendicular to one another. In order to obtain a most possibly uniform thickness of the walls, there should be maintaind a strictly determined ratio of rotations in both these planes.