168/18

ARCHIWUM ODLEWNICTWA
Rok 2006, Rocznik 6, Nr 18 (2/2)
ARCHIVES OF FOUNDRY
Year 2006, Volume 6, N° 18 (2/2)
PAN – Katowice PL ISSN 1642-5308

WYKORZYSTANIE ANALIZY WSKAŹNIKÓW ZDOLNOŚCI DO OPTYMALIZACJI PROCESU WYTWARZANIA MASY FORMIERSKIEJ

A. SMOLIŃSKI[1], J. SZYMSZAL[2], J. GAJDA[3]
Politechnika Śląska, 40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 8

STRESZCZENIE

W artykule przestawiono wyniki analizy jakości wytwarzania masy formierskiej z wy-korzystaniem wskaźników zdolności. Ocenę jakości masy formierskiej przeznaczonej do formowania w produkcji seryjnej odlewów z pionową i poziomą płaszczyzną podziału formy przyprowadzono na wybranej linii produkcyjnej i oparto na takich parametrach technologicznych jak: temperatura masy obiegowej, zawartość gliny aktywnej, wilgotność, wytrzymałość na ściskanie, przepuszczalność i stopień zagęszczenia. Określenie stabilności procesu wytwarzania masy formierskiej przeprowadzono dla trzech wybranych okresów. Dokonano również oceny wzajemnej korelacji pomiędzy badanymi parametrami technologicznymi. Wnioski z przeprowadzonej analizy powinny wpłynąć na poprawę właściwości wytwarzanej masy.

Key words: control process quality, moulding sand

1. WPROWADZENIE

Wskaźniki zdolności jakościowej (często nazywane również „*wskaźnikami wydolności*") wykorzystuje się do oceny, na ile badany proces (w naszym przypadku będzie to proces wytwarzania masy formierskiej) jest w stanie spełnić odpowiednie wymagania jakościowe. Najczęściej wymagania te określa się poprzez wyznaczanie pola dopuszczalnej tolerancji – tzw. *tolerancji dolnej* i *górnej*. Ze względu na oddziaływania różnego rodzaju zakłóceń losowych kontrolowana cecha waha się w pewnych granicach wokół wartości średniej. Dla procesu ustabilizowanego granice te – zgodnie z zasadą „*sześciu sigma*" (czyli sześciu odchyleń standardowych) – będą wynosić: średnia ± 3·sigma.

[1] *dr inż., e-mail: aleksander.smolinski@polsl.pl*
[2] *dr inż., e-mail: jan.szymszal@polsl.pl*
[3] *dr inż., e-mail: janusz.gajda@polsl.pl*

2. METODYKA BADAWCZA

Do ilościowego określenia, w jakim stopniu realizowany proces wytwarzania masy formierskiej spełnia wymagania jakościowe obliczono tzw. wskaźniki zdolności. Najczęściej wskaźniki te wyznacza się w oparciu o ogólną zależnością:

$$\textit{Wskaźnik zdolności} = \frac{\textit{Szerokość pola tolerancji}}{\textit{Szerokość granic zmienności procesu}} \tag{1}$$

Jak widać, wskaźnik zdolności jest to iloraz szerokości wymaganego pola tolerancji i szerokości pola naturalnej zmienności procesu, czyli (najczęściej) zgodnie z jedną z własności rozkładu normalnego pola o szerokości 6 odchyleń standardowych (6σ). Jeżeli zmienność procesu będzie większa od szerokości pola tolerancji - co jest sytuacją niekorzystną, to wskaźnik zdolności będzie mniejszy od jedności. Jeżeli natomiast zmienność procesu będzie mniejsza od szerokości pola tolerancji to wskaźnik będzie większy od jedności i będzie to informacja korzystna, świadczy bowiem o spełnieniu wymagań jakościowych. Gdy wartość wskaźnika będzie równa jedności należy się liczyć z faktem, że około 0,27% ogólnej produkcji jest niezgodna z ustalonymi wymaganiami.

Najprostszym wskaźnikiem zdolności jest wskaźnik C_p (skrót od *Control Process*), obliczany następująco:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \sigma} \tag{2}$$

gdzie:

USL – górna granica tolerancji (skrót od *Upper Specification Limit*)
LSL – dolna granica tolerancji (skrót od *Lower Specification Limit*)
σ – wartość odchylenia standardowego badanego czynnika (liczbowego)

Wskaźnik C_p ukazuje, czy proces spełnia wyznaczone przez granice tolerancji wymagania jakościowe, przy czym jego minimalna wartość nie powinna być mniejsza od jedności. Im wartość tego wskaźnika jest większa tym lepiej. Wskaźnik ten nie uwzględnia niestety usytuowania naturalnego przedziału zmienności procesu w danych granicach tolerancji, i nawet znacznie przesunięcie nie znajduje swego odzwierciedlenia w jego wartości. W przypadku, gdy mamy uzasadnione przypuszczenie, że proces jest niestabilny nie należy do jego oceny jakości stosować wyłącznie wskaźnika C_p. Wskaźnik C_p należy więc wtedy uzupełnić o wskaźnik C_{pk}, wyznaczany jako mniejsza z wartości: *wskaźnika zdolności dla górnej granicy tolerancji* C_{pu} i *wskaźnika zdolności dla dolnej granicy tolerancji* C_{pu}, przy czym:

$$C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3 \cdot \sigma}; \quad C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3 \cdot \sigma} \tag{3}$$

gdzie: μ - to wartość średnia (oczekiwana) badanego czynnika (liczbowego).

Jeżeli obliczone wskaźniki C_p i C_{pk} są sobie równe, to oznacza, że proces jest „*wycentrowany*" a więc wartość średnia danego parametru ocenianego w procesie pokrywa się z wymaganą wartością nominalną. Duża różnica pomiędzy C_p i C_{pk} odpowiada dużemu przesunięciu wartości średniej w stosunku do wartość nominalnej. Należy dodać, że jeżeli np. wskaźnik C_p będzie równy 1, a wskaźnik C_{pk} będzie równy 0,6 to produkowana masa będzie w większości nie odpowiadała wymaganej jakości.

Prowadzona ocena jakości powinna być ponadto poprzedzona sprawdzeniem normalności rozkładu uzyskanych wyników, gdyż jedynie dla parametrów o rozkładzie normalnym podane wskaźniki mają uzasadnienie merytoryczne.

Do obliczeń statystycznych wykorzystano licencjonowaną wersję programu STATISTICA v.7.1 PL firmy StatSoft.

3. ANALIZA STABILNOŚCI PROCESU WYTWARZANIA MAS

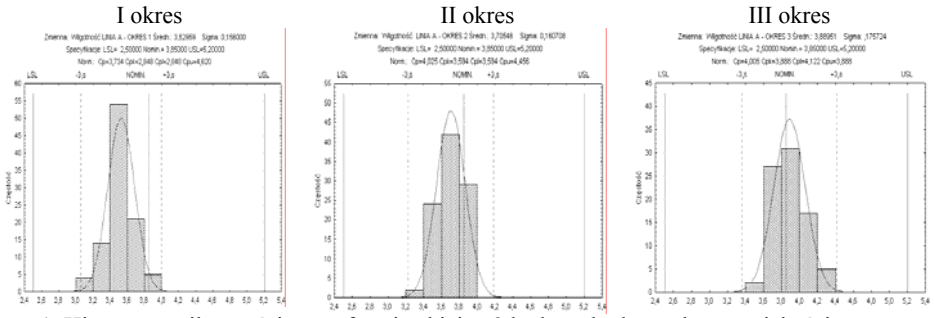
Wymagane granice tolerancji oraz wartości nominalne dla badanych parametrów technologicznych procesu wytwarzania masy formierskiej przedstawiono w tabeli 1.

Tabela. 1. Granice tolerancji oraz wartości nominalne dla badanych parametrów technologicznych procesu wytwarzania masy formierskiej

Table. 1. Borders of the tolerance and face values for checked technological parameters of the moulding sand manufacturing process

Parametr technologiczny	Wartość nominalna	Dolna granica tolerancji (LSL)	Górna granica tolerancji (USL)
Wilgotność [%]	3,85	2,5	5,2
Przepuszczalność [$m^2/10^8$ Pa*s]		80	
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]		1,2	
Zagęszczalność [g/cm^3]	38	24	52
Zawartość gliny aktywnej [%]	8	6,5	9,5
Temperatura masy obiegowej [°C]	45	10	80

Na rys. 1 przedstawiono histogramy podsumowujące dla wilgotności masy formierskiej w I, II i III okresie badań.



Rys. 1. Histogram wilgotności masy formierskiej w 3 badanych okresach oceny jakości

Fig. 1. Histogram of humidity for moulding sand in 3 periods of quality assessments

W tabeli 2 przedstawiono wyniki oceny wskaźników zdolności procesu wytwarzania masy formierskiej dla wszystkich ocenianych parametrów technologicznych w badanych okresach badań. Wskaźniki zdolności pozwalają w prosty sposób uzyskać informację o stabilności procesu, co ma istotne znaczenie w przypadku każdorazowego uruchamiani linii po przestoju bądź wdrożeniu nowej technologii.

Tabela 2. Wyniki oceny wskaźników zdolności procesu wytwarzania masy formierskiej
Table 2. Results of point of ability for moulding sands production

Parametr technologiczny	Okres badań	Cp	Cpk	Średnia (SD)	Test Shapiro-Wilka
Wilgotność [%]	I	3,734	2,848	3,529 (0,156)	p=0,2801
	II	4,025	3,594	3,705 (0,161)	p=0,3321
	II	4,005	3,888	3,889 (0,175)	p=0,0876
Przepuszczalność [$m^2/10^8$ Pa*s]	I		4,218	185,2 (8,76)	p=0,0782
	II		3,986	184,2 (8,76)	p=0,1765
	III		4,154	191,6 (8,95)	p=0,2213
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	I		3,840	2,387 (0,103)	p=0,7373
	II		2,423	2,346 (0,157)	p=0,8182
	III		3,257	2,408 (0,123)	p=0,6732
Zagęszczalność [g/cm^3]	I	3,675	2,311	32,81 (1,51)	p=0,0865
	II	2,922	1,919	33,19 (2,05)	p=0,0897
	III	3,256	2,215	33,52 (1,67)	p=0,1120
Zawartość gliny aktywnej [%]	I	5,584	5,311	7,926 (0,196)	p=0,0987
	II	5,877	5,555	7,916 (0,233)	p=0,2143
	III	5,193	4,974	8,063 (0,272)	p=0,4420
Temperatura masy obiegowej [°C]	I	3,547	2,209	58,20 (8,75)	p=0,1123
	II	2,932	1,871	57,67 (4,71)	p=0,0759
	III	2,784	1,817	56,85 (6,89)	p=0,0981

Jak wskazują uzyskane wyniki, procesu wytwarzania masy formierskiej charakteryzuje się stabilnością w trzech porównywanych okresach, co ma niewątpliwie istotny wpływ na jakość uzyskiwanych odlewów. Dążność do pełnej stabilizacji procesu widać szczególnie wyraźnie w przypadku analizy zmian wartości wskaźników wilgotności w kolejnych okresach badawczych. Obserwuje się bowiem znaczną wartość wskaźnika C_p (równą ok. 4) oraz niewielką różnicę pomiędzy tym wskaźnikiem a wskaźnikiem C_{pk} (równą w ostatnim okresie ok. 0,1). Tak więc wszystkie badane parametry technologiczne procesu wytwarzania masy formierskiej znajdują się w polu przejętych granic tolerancji.

W podsumowaniu można stwierdzić, że stosowany sposób obiegu i odświeżania analizowanych mas formierskich gwarantuje utrzymania ich podstawowych własności na założonym poziomie. Pozwala przy tym na minimalizację ilości masy zużytej.

4. ANALIZA KORELACJI PARAMETRÓW TECHNOLOGICZNYCH WYTWARZANIA MAS

Do oceny wzajemnej korelacji poszczególnych parametrów technologicznych wytwarzania masy formierskiej wykorzystano analizę regresji i korelacji Pearsona opartej o model liniowy. W ocenie istotności statystycznej przyjęto poziom istotności $p(\alpha) < 0{,}05$. W tabeli 3 przestawiono wyniki analizy regresji i korelacji dla parametrów technologicznych wytwarzanych mas formierskich.

Tabela 3. Wyniki analizy regresji i korelacji dla parametrów technologicznych wytwarzanych mas formierskich

Table 3. Results of the regression and correlation analysis for technological parameters of moulding sands

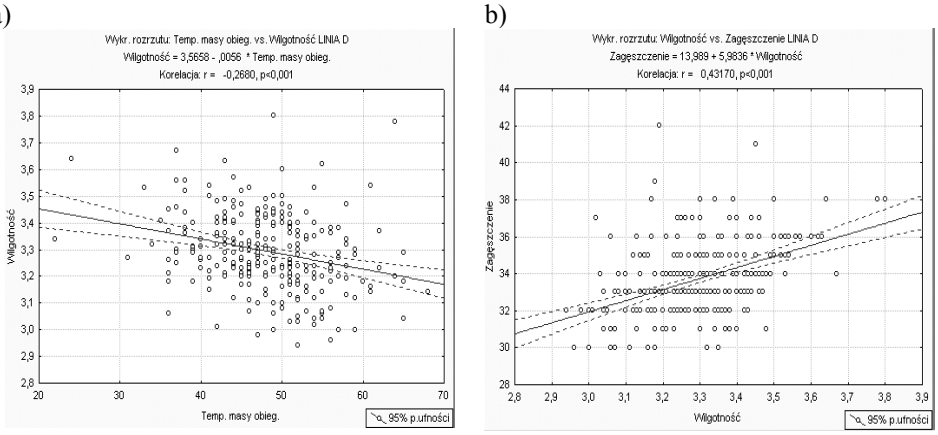
Korelowane parametry	Okres	Oszacowane parametru modelu y = ax+b	Współczynnik korelacji	Poziom istotności
Temperatura masy obiegowej & wilgotność	I	a = -0,008; b = 2,163	r = -0,2288	**p < 0,001**
	II	a = -0,005; b = 4,229	r = -0,1629	**p = 0,0237**
	II	a = -0,006; b = 3,565	r = -0,2680	**p < 0,001**
Zawartość gliny aktywnej & zagęszczenie	I	a = -0,298; b = 35,52	r = -0,0405	p = 0,502
	II	a = -0,918; b = 42,75	r = -0,1066	p = 0,5321
	III	a = -0,005; b = 33,65	r = -0,0003	p = 0,9983
Zawartość gliny aktywnej & przepuszczalność	I	a = -4,831; b = 149.8	r = -0,1200	p = 0,0560
	II	a = -1,713; b = 206, 9	r = -0,0352	p = 0,5632
	III	a = -14,61; b = 335,1	r = -0,2383	**p < 0,001**
Zawartość gliny aktywnej & wytrzymałość na ściskanie	I	a = 0,289; b = 0,075	r = 0,5289	**p < 0,001**
	II	a = 0,292; b = 0,052	r = 0,0525	**p < 0,001**
	III	a = 0,245; b = 0,539	r = 0,4480	**p < 0,001**
Wilgotność & zagęszczenie	I	a = 3,975; b = 18,45	r = 0,4866	**p < 0,001**
	II	a = 4,159; b = 18,59	r = 0,3931	**p < 0,001**
	III	a = 5,984; b = 13,99	r = 0,4317	**p < 0,001**
Wilgotność & przepuszczalność	I	a = -9,369; b = 152,1	r = -0,2188	**p <0,001**
	II	a = -17,78; b = 263,3	r = -0,3002	**p <0,001**
	III	a = -18,04; b = 278,1	r = -0,1970	**p <0,001**
Wilgotność & wytrzymałość na ściskanie	I	a = -0,044; b = 2,542	r = -0,0729	p = 0,0543
	II	a = -0,029; b = 2,535	r = -0,0443	p = 0,5432
	III	a = -0,042; b = 2,352	r = -0,0051	p = 0,7865

W oparciu o uzyskane wyniki analizy regresji i korelacji stwierdzono między innymi istnienie statystycznie istotnej korelacji ujemnej pomiędzy temperaturą masy obiegowej a wilgotnością, pomiędzy zawartością gliny aktywnej w masie a przepuszczalnością. Ponadto stwierdzono istotną korelację dodatnią pomiędzy zawartością gliny aktywnej w masie a wytrzymałością na ściskanie, pomiędzy wilgotnością masy a jej stopniem zagęszczenia oraz pomiędzy wilgotnością masy a jej przepuszczalnością.

Stwierdzono także zachowanie kierunku i siły korelacji we wszystkich trzech okresach prowadzonej oceny jakości procesu wytwarzania mas.

Na rys. 2. przestawiono wykresy korelacyjne dla wybranych parametrów technologicznych mas formierskich w III okresie badań.

a) b)



Rys. 2. Korelacja pomiędzy: temperaturą masy obiegowej a wilgotnością (a) oraz wilgotnością a stopniem zagęszczenia masy (b) w III okresie badań

Fig. 2. Correlation between the temperature of moulding sand and humidity (a) and humidity and the stage of mass consolidation (b) in the 3 periods of investigation

LITERATURA

[1] Gerber T.: Statystyczne sterowanie procesami – Doskonalenie jakości z pakietem STATISTICA, Wyd. StatSoft, Kraków (2000).

[2] Maliński M., Szymszal J.: Współczesna statystyka matematyczna w medycynie w arkuszach kalkulacyjnych. Wyd. Śl.A.M., Katowice (1999).

APPLICATIONS OF POINTS OF THE ABILITY FOR OPTIMALIZATION OF SAND MOULD PRODUCTION

SUMMARY

The analysis of quality of moulding sand production using pointers of ability in this praper have been shown. Assessment of moulding sand quality prepared to the casting of serial production of cast with horizontal and vertical parting plane of mould has been done. The temperature of moulding used sand fraction of active clay, humidity, comparative strength, permeability and stage of consolidation have been also estimated. The correlation between these parameter of moulding sand have been also estimated. The results of that analyzes ought to influence on the improve of moulding sand properties.

Recenzował: Prof. Franciszek Binczyk