

Tadeusz WARCHAŁA

Instytut Technologii Metali
Politechniki Częstochowskiej

WPLYW CZYNNIKÓW TECHNOLOGICZNYCH NA CHROPOWATOŚĆ POWIERZCHNI ODLEWÓW Z ŻELIWA SZAREGO^{x1)}

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu niektórych czynników technologicznych na chropowatość powierzchni małych odlewów żeliwnych. Badania przeprowadzono w oparciu o statystyczną metodę planowania doświadczeń ekstremalnych. Stwierdzono istotny wpływ temperatury zalewania, twardości formy oraz współdziałania obu tych czynników na chropowatość powierzchni odlewów. W badanych warunkach nie stwierdzono istotnego wpływu czasu zalewania i ciśnienia statycznego żeliwa.

1. Wstęp

Geometria powierzchni surowej odlewu stanowi istotny problem techniczno-ekonomiczny, nabierający coraz większego znaczenia. Z tych względów zagadnieniu chropowatości powierzchni odlewów poświęca się sporo uwagi. Rezultatem jest dość obszerna literatura, także polska [1-5], obejmująca swym zakresem wszystkie ważniejsze czynniki technologiczne. Mimo to nie zawsze jesteśmy w stanie przewidzieć, jak konkretnie kształtować się będzie chropowatość powierzchni odlewów przy określonych zmianach tych czynników, szczególnie przy kompleksowym ich oddziaływaniu.

2. Badania własne

Niniejsza praca zainspirowana została potrzebami jednej z odlewni żeliwa, produkującej odlewy małe i cienkościenne. W planie pracy przyjęto badanie wpływu następujących czynników na chropowatość powierzchni odlewów:

- grubość ścianki odlewu: g w mm - x_1 ,
- temperatura zalewania formy: T_z w $^{\circ}\text{C}$ - x_2 ,
- twardość formy: T_w w $^{\circ}\text{C}$ - x_3 ,
- czas zalewania formy: t w s - x_4 ,
- ciśnienie statyczne: H w cm - x_5 .

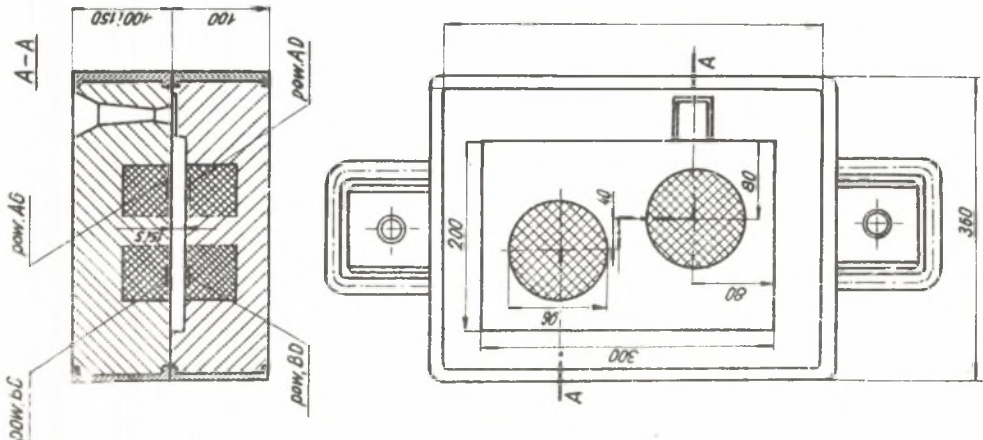
^{x1)} W badaniach uczestniczył mgr inż. Krzysztof Król

Wartości liczbowe czynników przyjęto w granicach interesujących odlewnię i możliwych do osiągnięcia w jej warunkach. Jako kryterium oceniające wpływ czynników zmiennych, przyjęto, zgodnie z PN-67/H-83141, średnie arytmetyczne odchylenie profilu od linii średniej - R_a w μm . Zadanie było o tyle łatwe, że stosowany w odlewni proces technologiczny, oparty na danych literaturowych i doświadczeniu własnym, znajdował się w obszarze ekstremalnym. Chodziło tylko o określenie, które czynniki w jakim stopniu odbijają się najistotniej na chropowatości powierzchni odlewów. Z tych względów za stosowano metodę planowania doświadczeń ekstremalnych [6], przyjmując ćwierćpowtarzanie typu 2^{5-2} , dla którego efekty liniowe ocenia się łącznie ze współdziałaniami pierwszego rzędu:

$$x_1x_3 = x_2x_4 \quad \text{i} \quad x_1x_4 = x_2x_3.$$

Łączna ilość pomiarów podstawowych dla przyjętego planu wynosiła $N = 8$. W tabelicy 1 przedstawiono macierz planowania, z zaznaczeniem wylosowanej kolejności pomiarów oraz przyjętych poziomów zmian badanych czynników. W programie badań założono także sprawdzenie, czy i w jakim stopniu ochropowatości powierzchni odlewu decyduje jej położenie względem wlewów doprowadzających oraz płaszczyzny podziału (górną-dół). Z tego względu wybrano 4 pola pomiarowe, oznaczone odpowiednio na rys. 1 formy:

- AD - pole pomiarowe na dolnej powierzchni odlewu, położone w pobliżu wlewu doprowadzającego,
- BD - pole pomiarowe na dolnej powierzchni odlewu, położone z dala od wlewu doprowadzającego,
- AG - pole pomiarowe na górnej powierzchni odlewu, położone w pobliżu wlewu doprowadzającego,
- BG - pole pomiarowe na górnej powierzchni odlewu, położone z dala od wlewu doprowadzającego.



Rys. 1. Szkic formy odlewniczej

Tablica 1

Macierz planowania typu 2⁵⁻²

Czynniki zmienne	-	ε	T _Z	T _W	t	H	Współdziałania		Badany parametr
							$x_1x_3 = x_2x_4$	$x_1x_4 = x_2x_3$	
Poziom podstawowy ($x_1 = 0$)	-	10	1310	80	3	12,5	-	-	
Przedział zmian	-	5	50	10	3	2,5	-	-	
Poziom wyższy ($x_1 = +1$)	-	15	1360	90	6	15,0	-	-	
Poziom niższy ($x_1 = -1$)	-	5	1260	70	2	10,0	-	-	
Wodowe symbole zmiennych	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	$x_1x_3 = x_2x_4$	$x_1x_4 = x_2x_3$	\bar{y}_0
Kolejność wylosowana	+	-	-	-	-	-	-	+	y_1
2	+	+	+	-	-	-	-	-	y_2
3	+	-	-	+	-	-	-	-	y_3
6	+	+	-	+	-	+	+	-	y_4
7	+	-	+	+	-	+	-	+	y_5
1	-	+	-	-	+	+	-	-	y_6
4	+	-	+	-	+	+	+	-	y_7
8	+	+	+	+	+	-	+	+	y_8

Każda forma (rys. 1), wykonana z masy formierskiej pobranej ze stanowiska roboczego, posiadała 4 gniazda, do których wkładano kształtki o wymiarach $\phi 26$ i $h = 50$ mm.

Kształtki mające odtwarzać negatyw badanej powierzchni odlewu, wykonywano ze stosowanej przez odlewnię masy formierskiej, odwieziając ją następującymi dodatkami:

- miasek kwarcowy 1 K 0,16/0,20/0,10 - 78% - 8% (ciężarowo),
- bentonit z ZGH Zębiec - 0,5% (ciężarowo),
- pył węgla kamiennego - 0,5% (ciężarowo),
- woda - 3,5% (ciężarowo),

Całkowity czas mieszania w laboratoryjnej mieszarce krążnikowej wynosił 8 min. Po wymieszaniu masę przesiewano przez sito o oczkach 4×4 mm. Tak przygotowana masa wykazywała następujące własności technologiczne:

- wytrzymałość na ściskanie - $R_c^W = 0,4 - 0,45$ kg/cm²,
- przepuszczalność - $P^W = 80$ cm⁴/G.min,
- zawartość wilgoci - $w = 3 - 4\%$.

Zagęszczanie kształtek odbywało się na przystosowanym ubijaku laboratoryjnym typu A-62. Różny stopień zagęszczenia masy uzyskiwano przez zmianę ilości uderzeń i dobór ilości masy. Twardość powierzchniową kształtki od strony podstawki ubijaka mierzono twardościomierzem typu ITw.

Planowany czas zalewania osiągnano przez dobór przekroju wlewów doprowadzających. Ciśnienie statyczne zmieniano przez stosowanie górnych skrzynek formierskich o odpowiedniej wysokości.

Formy zalewano żeliwem, zawierającym przeciętnie:

3,45% C; 2,75% Si, 0,57% Mn; 0,40% P; 0,12% S.

Temperaturę zalewania mierzono termoparą zanurzeniową Pt-RhPt ze wskaźnikiem profilowym klasy 1,5, o zakresie 0-1600°C. Wybijanie odlewów z form odbywało się po upływie jednej godziny od chwili zalania. Odlewy oczyszczone ręcznie, przy pomocy drucianej szczotki, aby nie naruszyć stanu powierzchni surowej.

Pomiaru chropowatości dokonywano w każdym polu (AD;BD;AG;BG) przy pomocy gładkościomierza typu SL-2, zgodnie z PN-67/H-83141. Jako wynik końcowy przyjmowano średnią arytmetyczną z trzech pomiarów R_a dla danej powierzchni

$$n=20$$

$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})}{n} \mu\text{m},$$

gdzie:

y_i - pojedynczy pomiar w μm ,

\bar{y} - średnia arytmetyczna pomiarów na danym odcinku mierniczym w μm ,

n - ilość pomiarów na odcinku mierniczym ($n = 20$).

Dla wyznaczenia błędu pomiaru, potrzebnego do oceny istotności współczynników regresji oraz różnic między chropowatością powierzchni AD, BD, AG i BG wykonano 5 odlewów w tzw. środku doświadczenia, tzn. na poziomie podstawowym ($g = 10 \text{ mm}$; $T_Z = 1210^\circ\text{C}$; $T_W = 80$ jednostek; $t = 5\text{s}$; $H = 18,5 \text{ cm}$).

3. Wyniki badań

Wyniki pomiarów kontrolnych R_a podano w tabelicy 2. Na ich podstawie zweryfikowana testem Cochrańa [7] hipoteza o równości wariancji ($H_0: S_{BD}^2 = S_{AG}^2 = S_{BG}^2$) okazała się słuszną, gdyż

$$G = \frac{S_1^2 \max}{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2} = 0,3277 < g(0,05; 4; 14) = 0,4366$$

Oznacza to, że we wszystkich pomiarach kontrolnych popełniano jednakowy błąd. Statystyczna ocena [7] chropowatości w czterech badanych miejscach odlewu wykazała, że istotne różnice występują między powierzchniami: AD - BD; AG - BD i AG - AD. Z danych tych wynika, że największa chropowatość występuje na dolnej części odlewu przy wlewie doprowadzającym (AD), nieco mniejsza na tejże stronie odlewu lecz z dala od wlewu (BD). Najmniejsze i nieistotnie różne między sobą wykazywały chropowatości na górnej powierzchni odlewu (AG i BG).

Ze względu na słusność hipotezy o równości wariancji, dla oceny błędu doświadczenia posłużono się ich średnią arytmetyczną: $(\bar{S}_{(y)})^2 = 29,7268$, co dało średni błąd pomiaru $\bar{S}_{(y)} = \pm 5,45 \mu\text{m}$. Na podstawie pomiarów zasadniczych, zrealizowanych wg przyjętego planu badań, obliczono współczynniki regresji, które zestawiono w tabelicy 3. Istotnymi okazały się tylko te które spełniły warunek:

$$b_i > \Delta S_{bi} = t(0,05; 7) \sqrt{\frac{(\bar{S}_{(y)})^2}{n}} = \pm 2,15 \cdot 1,92 = \pm 4,128.$$

Wyróżniono je w tabelicy 3 przez podkreślenie.

Dla powierzchni AD istotnymi czynnikami okazały się, oprócz b_0 , także $b_2 = 9,875$ i $b_3 = -11,125$.

Oznacza to, że wzrost temperatury zalewania powoduje wzrost R_a , natomiast twardość formy działa w kierunku przeciwnym. Współdziałania czynników zmiennych nie wykazały istotnego wpływu. Istniejącą tu zależność można wyrazić równaniem regresji liniowej:

$$\bar{Y}_{AD} = 52,375 + 9,875 x_2 - 11,125 x_3,$$

Tablica 2

Wyniki pomiarów kontrolnych i obliczone charakterystyki próby

Nr pomiaru i	Oznaczenia rozpatrywanych powierzchni odlewów kontrolnych																		
	AG					BG					AD					BD			
	y_i	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$	y_i	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$	y_i	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$	y_i	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$	y_i	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$	y_i	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$	
1	25	0,2	0,04	20	-3,4	11,56	33	-3,3	10,89	29	-2,5	6,25	29	-2,5	6,25				
2	28	3,2	10,24	18	5,4	29,16	38	1,7	2,89	30	-1,5	2,25	30	-1,5	2,25				
3	55	10,2	104,04	21	-2,4	5,76	34	-2,3	5,29	34	2,5	6,25	34	2,5	6,25				
4	20	-4,8	23,04	16	-7,4	54,76	36	-0,3	0,09	25	-6,5	42,25	25	-6,5	42,25				
5	26	1,2	1,44	18	-5,4	29,16	34	-2,3	5,29	29	-2,5	6,25	29	-2,5	6,25				
6	22	-2,8	7,84	22	-1,4	1,96	33	-3,3	10,89	28	-3,5	12,25	28	-3,5	12,25				
7	23	-1,8	3,24	23	-0,4	0,16	48	11,7	136,89	43	11,5	132,25	43	11,5	132,25				
8	25	0,2	0,04	34	10,6	112,36	48	11,7	136,89	43	11,5	132,25	43	11,5	132,25				
9	25	0,2	0,04	25	1,6	2,56	39	2,7	7,29	36	4,5	20,25	36	4,5	20,25				
10	26	1,2	1,44	22	-1,4	1,96	35	-1,3	1,69	23	-8,5	72,25	23	-8,5	72,25				
11	26	1,2	1,44	25	1,6	2,56	39	2,7	7,29	31	-0,5	0,25	31	-0,5	0,25				
12	27	2,2	4,84	26	2,6	6,76	36	-0,3	0,09	31	-0,5	0,25	31	-0,5	0,25				
13	27	2,2	4,84	31	7,6	57,76	38	1,7	2,89	31	-0,5	0,25	31	-0,5	0,25				
14	13	-11,8	139,24	23	-0,4	0,16	23	-13,3	176,89	35	3,5	12,25	35	3,5	12,25				
15	24	-0,8	0,64	27	3,6	12,96	30	-6,3	39,69	25	-6,5	42,25	25	-6,5	42,25				
\bar{y}	372	-	302,40	351	-	329,60	544	-	544,95	473	-	487,75	473	-	487,75				
\bar{y}		24,8 μm			23,4 μm			36,30 μm			31,5 μm			31,5 μm					
S^2_y		21,6000			23,5428		U	38,9250			34,8393			34,8393					
S_y		$\pm 4,64$			$\pm 4,85$			$\pm 6,23$			$\pm 5,90$			$\pm 5,90$					

Tablica 3

Macierz planowania i wyniki badań Ra

Czynniki zmienne	-	g mm	T _z oC	T _w oC	t s	Hst cm	-	-	Chropowatość powierzchni Ra μm		
Poziom podstawowy (x ₁ =0)	-	10	1310	80	5	12,5	-	-	Wartości średnie z 3 pomiarów w każdym polu		
Przedział zmian	-	5	50	10	3	2,5	-	-			
Poziom wyższy (x ₁ = +1)	-	15	1360	90	8	15,0	-	-			
Poziom niższy (x ₁ = -1)	-	5	1260	70	2	10,0	-	-			
Symbole kodowe zmiennych	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₁ x ₃ = = x ₂ x ₄	x ₁ x ₄ = = x ₂ x ₃	\bar{y}_{AD}	\bar{y}_{BD}	\bar{y}_{AG}
Kolejność losowania	5	2	3	6	7	1	4	8	49	41	27
	+	+	+	+	+	-	+	+	67	58	50
	+	-	-	-	-	-	-	-	36	35	31
	+	+	-	+	+	+	+	+	33	32	27
	+	-	+	+	-	+	-	+	46	37	37
	+	+	-	-	+	+	+	+	52	43	37
	+	-	+	-	+	+	+	-	86	72	69
	+	+	+	+	+	-	+	+	50	41	34
Współczynniki regresji b _i dla AD	52,375	-1,875	9,875	-11,125	3,625	1,875	2,125	-3,125	419	-	-
Współczynniki regresji b _i dla BD	44,875	-1,375	7,125	-8,625	2,875	1,125	1,625	-4,375	-	359	-
Współczynniki regresji b _i dla AG	39,000	-2,000	8,500	-6,750	3,750	3,500	0,250	-5,250	-	-	312
Δ S _{bi} = ± 4,128										S _y ² = 29,7268	

a po przejściu od wartości kodowych czynników do ich wielkości rzeczywistych [6]:

$$R_{a_{AD}} = 0,197 T_z - 1,112 T_w - 117,35 \mu\text{m}$$

Dla powierzchni BD, prócz tych samych czynników (x_2 i x_3) istotnym okazało się współdziałanie x_2x_3 , dla którego wartość $b_{23} = -4,375 \pm 4,128$. Oznacza to, że współdziałanie temperatury zalewania i twardości formy zmniejsza chropowatość powierzchni odlewu. O ile wpływ indywidualny T_z i T_w jest zrozumiały i od dawna znany, o tyle ciekawe jest właśnie ich współdziałanie, korzystne z punktu widzenia jakości powierzchni odlewu. Czy to jest możliwe, czy ma sens fizyczny? Przyjmując, że wytwarzanie się redukcyjnej atmosfery gazów wokół odlewu zapobiega penetracji metali i reakcjom metal - forma, to omawiane współdziałanie będzie oczywiste. Ze wzrostem temperatury zalewania ilość wydzielających się gazów i ich prężność rosną. Z drugiej strony wzrostowi twardości formy, wykonanej z tej samej masy formierskiej, odpowiada obniżenie jej przepuszczalności, na skutek zmniejszenia przestrzeni międzyziarnowych. W tych warunkach zdolność ochronna warstewki gazów rośnie. Nie bez znaczenia jest także wzrost wytrzymałości masy przy większym zagęszczeniu.

Przeprowadzone badania przepuszczalności i wytrzymałości stosowanej masy formierskiej przy różnych twardościach wykazały:

Twardość formy T_w	Własności masy formierskiej w stanie wilgotnym	
	Przepuszczalność $P^w \text{ cm}^4/\text{G}\cdot\text{min}$	Wytrzymałość na ściskanie $R_c^w \text{ kg/cm}^2$
70	147	0,32
80	91	0,40
90	82	0,68

Brak omawianego współdziałania na powierzchni AD jest spowodowany prawdopodobnie tym, że powierzchnia ta znajdując się w bezpośrednim sąsiedztwie wlewu doprowadzającego, jest intensywnie omywana strugą przepływającego żeliwa, przerywającego warstewkę gazów. Istotną rolę odgrywa tu także zjawisko erozji formy. Wracając do powierzchni BD, równanie regresji przy zmiennych zakodowanych będzie:

$$\bar{y}_{BD} = 44,875 + 7,125 x_2 - 8,625 x_3 - 4,375 x_2x_3,$$

a po odkodowaniu zmiennych:

$$R_{a_{BD}} = 0,782 T_z + 9,617 T_w - 0,008 T_z T_w - 910,54 \mu\text{m}.$$

Nie jest to już równanie liniowe, a zmiana znaku przy T_w jest spowodowana jedynie przeliczeniami iloczynu $T_z \cdot T_w$ i nie może być traktowana jako za przeczenie faktycznego kierunku działania tego czynnika.

Dla powierzchni AG, która okazała się równorzędną powierzchni BG, stwierdzono istotny i podobny wpływ tych samych czynników co i w przypadku powierzchni BD:

$$\hat{y}_{AG} = 39,00 + 8,500 x_2 - 6,750 x_3 - 5,250 x_2 x_3.$$

Po przeliczeniu:

$$Ra_{AG} = 1,01 T_z + 13,08 T_w - 0,0105 T_z \cdot T_w - 1230,10 \mu m.$$

Z przeprowadzonych badań wynika, że w danych warunkach decydującymi o chropowatości powierzchni odlewu są:

- temperatura zalewania,
- twardość powierzchni wnętrza formy.

Brak potwierdzenia wpływu grubości ścianki odlewu, czasu zalewania i ciśnienia statycznego nie oznacza, że czynniki te są bez znaczenia dla omawianego problemu. Przy szerszych przedziałach zmian, wykraczających poza granice optymalne, mogłyby się okazać równie istotne. W badanym obszarze liczą się jednak tylko wymienione dwa czynniki. Dla odlewni, w której prowadzono badania, rozszerzenie obszaru badań było zbędne ze względu na asortyment produkowanych odlewów i stosowany park skrzynek formierskich.

4. Wnioski

Dla odlewów małych, typu płyty, istotnymi z punktu widzenia chropowatości powierzchni okazują się: temperatura zalewania oraz twardość wnętrza formy. Pozytywnym okazało się współdziałanie temperatury zalewania i twardości formy.

Dolne powierzchnie odlewów wykazują większą chropowatość w porównaniu z powierzchniami górnymi, szczególnie w pobliżu wlewów doprowadzających.

Minimalną chropowatość powierzchni odlewów w danych warunkach można osiągnąć stosując temperaturę zalewania w zakresie 1280 do 1320°C oraz twardość powierzchni wnętrza formy na poziomie 80 do 90 jednostek; twardość powierzchni dolnej półformy przy wlewach doprowadzających winna być nie mniejsza niż 90 jednostek.

LITERATURA

- [1] Lachiewicz A., Mazanek K. - Przegląd Odlewnictwa 9, 1967, 263.
- [2] Samsonowicz Z. - ZN Politechniki Wrocławskiej, 110, 1965, 1.
- [3] Samsonowicz Z. - Przegląd Odlewnictwa, 7, 1959, 214.
- [4] Szreniawski J. - Przegląd Odlewnictwa, 8-9, 1962, 225.
- [5] PN-67/H-83141 - Badania odlewów żeliwnych. Pomiar chropowatości powierzchni".
- [6] Nalimow W., Czernowa N. - Statystyczne metody planowania doświadczeń ekstremalnych, WNT, Warszawa 1967.
- [7] Zielinski R. - Tablice statystyczne, PWN, Warszawa 1972.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ШЕРЕХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ
ОТЛИВОК ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА

Р е з ю м е

В работе приведены результаты исследований влияния некоторых технологических факторов на шереховатость поверхности мелких чугунных отливок. Исследования проведены на основе статистического метода планирования экстремального эксперимента. Найдено существенное влияние температуры заливки, твердости формы и взаимодействия этих факторов на шереховатость поверхности отливок. В исследуемых условиях не обнаружено существенного влияния времени заливки и статического давления чугуна.

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL AGENTS ON ROUGHNESS
OF THE SURFACE OF GREY CAST IRON CASTINGS

S u m m a r y

The investigation results of the influence of some technological agents on roughness of the surface of small iron castings have been presented in this article.

The investigations have been carried out basing on the statistical method of extreme tests planning.

The significant influence of pouring temperature, mould hardness and joint-action of both of these agents on the roughness of the surface castings has been found. Under the test conditions no significant influence of pouring time and static pressure of the cast iron has been found.