ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1978
Seria: MECHANIKA z. 66 Nr kol. 570

Zbigniew PIĄTKIEWICZ, Eugeniusz KOWALSKI,
Henryk SZLUMCZYK

Politechnika Śląska
Instytut Odlewnictwa

WPŁYW ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH NA PRZEBIEG PROCESU PNEUMATYCZNEJ REGENERACJI

Streszczenie. Opracowanie obejmuje opis zjawiska rozdrabniania materiałów kruchych oraz wyniki badań dla potrzeb regeneracji.
Celem badań jest ocena przebiegu procesu rozdrabniania ziarn piasku kwarcowego w elementach układu regeneracji pneumatycznej.
Określenie jakościowe przebiegu zjawiska oraz przybliżona ocena ilościowa umożliwiają dobór parametrów regeneracji mas formierskich ze względu na układ urządzeń oraz warunki ich pracy. Analizę stopnia rozdrabniania ziarn piasku przeprowadzono na podstawie wyników badań laboratoryjnych i mikroskopowych.

1. Wstęp

Regeneracji zużytych mas formierskich w odlewniach dokonywać można różnymi metodami, które w zależności od rodzaju lepiszcza /spoiwa/ różnią się sposobem oddziaływania na zużytą masę.

Celem regeneracji jest odzyskanie osnowy masy, którą stanowi najczęściej piasek kwarcowy. Piasek po regeneracji powinien posiadać parametry zapewniające prawidłowy przebieg procesu wytwarzania odlewów.

Metody regeneracji stosowane w rozwiązaniach przemysłowych polegają na:
- termicznym oddziaływaniu na masę regenerowaną,
- zastosowaniu wody jako czynnika regenerującego,
- mechanicznym oczyszczaniu piasku w urządzeniach kruszących /regeneracja mechaniczna/,
- oczyszczaniu ziaren piasku z wykorzystaniem strumienia powietrza /regeneracja pneumatyczna/.

Szerokie zastosowanie znajdują obecnie rozwiązania suchej regeneracji mas /mechanicznej i pneumatycznej/.

Nawet w zakresie regeneracji pneumatycznej opracowane rozwiązania są zróżnicowane z uwagi na sposób realizacji procesu oczyszczania piasku oraz technologiczne połączenia układu urządzeń w linii produkcyjnej.

2. Fizyczny aspekt regeneracji mas

Fizyczne własności materiałów kruchych, do których zaliczamy piasek kwarcowy, odzwierciedlają ich parametry mechaniczne, jak np.: gęstość, sprężystość, plastyczność, wytrzymałość czy twardość. Własności te określają zdolność ciał do przeciwstawienia się deformacji i kruszeniu /rozbijaniu, rozdrabnianiu/ pod działaniem sił zewnętrznych. Mechaniczne wielkości charakteryzujące kruche i twarde materiały są bezpośrednio związane z ich budową strukturalną, molekularnymi siłami wiązania oraz właściwościami chemicznymi [3] .

Proces regeneracji przebiega na powierzchni ciała twardego, ponieważ połączenie między ziarnami cząstek ciała /piasku kwarcowego/ posiada charakter adhezyjny [5] .

Siła wiązania zależy w znacznej mierze od wielkości i stanu powierzchni łączonych ciał. Stan powierzchni ciała stałego charakteryzuje jego energia powierzchniowa, która związana jest z parametrami wewnętrznej struktury ciał krystalicznych. Aktywność powierzchniową ziarn obniżają zanieczyszczające ich powierzchnię pozostałości glin i innych składników mineralogicznych. Im grubsza jest nieaktywna powłoka pokrywająca ziarna, tym mniejsza jest swobodna energia powierzchniowa, z którą związana jest aktywność powierzchniowa ziarn piasku.

Oczyszczenie powierzchni łączonych cząstek nawet prostymi metodami pozwala zwiększyć ich aktywność, a tym samym wytrzymałość połączenia. Bardzo dobre rezultaty można osiągnąć poprzez suche /mechaniczne i pneumatyczne/ oczyszczanie powierzchni ziarn, w wyniku cze-

go oprócz usunięcia zanieczyszczeń mineralogicznych uzyskuje się kształt ziarna zbliżony do kulistego /tj. optymalnego ze względu na wielkość energii powierzchniowej/. Procesy te aktywizując powierzchnię wiązania zapewniają wzrost wytrzymałości mas formierskich przy minimalnym zużyciu składników wiążących.

Spoiwo otaczając ziarna piasku powłoką wiążącą po utwardzeniu łączy je ze sobą. Występujące siły wiązania między ziarnem a powłoką posiadają charakter adhezyjny [5] .

Równocześnie obserwuje się wzrost wytrzymałości składnika wiążącego. Występowanie sił między molekułami spoiwa tłumaczy się zjawiskiem kohezji.

Rozpatrując proces regeneracji należy uwzględnić następujące przypadki:

- siły kohezji przewyższają siły adhezji, wówczas odrywanie powłoki składnika wiążącego dokonuje się po powierzchni ziarn,
- siły adhezji przewyższają siły kohezji, co powoduje rozrywanie powłoki spoiwa,
- wartości obydwu sił zbliżone są do siebie, co wpływa na występowanie mieszanego typu kruszenia,
- wytrzymałość związana z siłami adhezji i kohezji przewyżaza wytrzymałość ziarn osnowy /piasku kwarcowego/, w wyniku czego może nastąpić niszczenie ziarn poprzez ich pękanie i rozrywanie.

Stosowane materiały wiążące, dobierane do wytwarzania mas formierskich, posiadają wytrzymałość znacznie mniejszą od wytrzymałości osnowy. Dobór taki umożliwia odzyskiwanie osnowy masy w wyniku jej regeneracji.

Zależnie od jakości powierzchni ziarn osnowy zmienny jest stosunek sił adhezji i kohezji, w wyniku czego najczęściej występuje mieszany typ kruszenia.

3. Zależności energetyczne przebiegu procesu

Z prac badawczych i rozważań teoretycznych 3 wynika stwierdzenie, że całkowita energia niezbędna do rozdzielenia ciała o strukturze krystalicznej powinna

przewyższać energię wewnętrzną i powierzchniową ciała. Zgodnie z prawem pękania ciał kruchych [4] całkowitą energię niezbędną do realizacji tego procesu można określić zależnością:

$$A = \sigma \cdot \Delta F + K \cdot \Delta V_1, \qquad /1/$$

gdzie:

A - całkowita praca zużyta na rozpad ciała twardego,

σ - jednostkowa praca powierzchniowa,

ΔF - nowopowstająca powierzchnia przy rozpadzie

K - praca sprężystej deformacji przypadająca na jednostkę objętości,

ΔV_1 - część objętości ciała ulegająca deformacji.

Parametr K zawiera energię potencjalną nabytą przez ciało pod działaniem sił zewnętrznych. Wartość energii nabytej pod działaniem sił zewnętrznych może wzrosnąć do krytycznej, która "wyzwolona" powoduje naruszenie wiązań wewnętrznych kryształu.

Udarowe oddziaływanie ciała na nieruchomą płytę przy nagromadzonej energii potencjalnej przewyższającej wartość krytyczną powoduje pękanie."Wyzwalana" przy tym energia deformacji ulega rozproszeniu przechodząc w ciepło.

Adaptując zależności z teorii rozdrabniania ciał kruchych do potrzeb regeneracji można przyjąć, że zużycie energii na usuwanie powłok zużytych składników wiążących z powierzchni ziarn opisuje zależność:

$$A_1 = \sigma_{adh} \cdot \Delta F_s, \qquad /2/$$

gdzie:

σ_{adh} - jednostkowa praca adhezji na granicy spoiwo-ziarno,

ΔF_s - powierzchnia ziarna piasku kwarcowego, z której oddzielone zostało spoiwo.

Przyjęcie takie jest uzasadnione, ponieważ siły występujące na granicy faz ziarno-spoiwo posiadają adhezyjny charakter. Również praca niezbędna do rozdrobnienia zrostów ziarn może być określona zależnością ogólnego prawa kruszenia ciał twardych. Kohezyjne oddziaływania wewnątrz zestalonego spoiwa wymagają wykonania pracy na ich pokonanie zgodnie z zależnością:

$$A_2 = K \cdot V_2, \qquad /3/$$

gdzie:

V_2 - objętość zrostów ziarn podlegających deformacji /rozdrobnieniu/.

Wykorzystując podstawowe zależności mechaniki i wytrzymałości materiałów pracę deformacji można przedstawić równaniem:

$$A_2 = \frac{\sigma_{koh}^2}{2E} \cdot V_2, \qquad /4/$$

gdzie:

σ_{koh} - jednostkowa praca kohezji wewnątrz zestalonego spoiwa,

E - moduł Younga spoiwa.

Równanie to nosi nazwę równania Kika lub Kirpiczewa.

Praca całkowita regeneracji, zużyta na deformację zrostów i oddzielenie pozostałości zużytego spoiwa z powierzchni ziarn [4] , stanowi sumę:

$$A_R = A_1 + A_2. \qquad /5/$$

Jeżeli wytrzymałość osiągana siłami adhezji i kohezji przewyższa wytrzymałość samego ziarna, może nastąpić jego pęknięcie pod działaniem sił zewnętrznych.

Rozdrabnianie i ścieranie /oczyszczanie/ masy regenerowanej w układzie urządzeń pneumatycznej regeneracji systemu "POLKO" przebiega w następujących elementach konstrukcyjnych [1,2] :

- rurociągu transportowym na odcinkach prostych i w łukach /odcinkach rurociągu zmieniających kierunek przemieszczania/,

- urządzeniu odbiorczym /kołpaku udarowym/ zwanym regeneratorem.

W regeneracji pneumatycznej czynnikiem wywołującym ruch cząstek i nadającym żądane prędkości jest strumień powietrza transportującego. Zderzenie strumienia solgazu /mieszaniny powietrza i materiału transportowanego/ z płytą udarową może powodować pękanie i niszczenie ziarn piasku.

Warunkiem zapewniającym całość ziarn osnowy jest taki dobór prędkości /dla cząstek o określonej średnicy/, aby jej składowa normalna do płyty w chwili zderzenia posiadała wartość niższą od krytycznej.

Prędkość tę można określić porównując równania:

$$\frac{m_s \cdot W_{kr}^2}{2} = \frac{\sigma_{koh}^2}{2E} \cdot V ,$$

skąd:

$$W_{kr}^2 = \frac{\sigma_{koh}^2}{m_s \cdot E} \cdot V ,$$

przy czym:

$$m_s = V \cdot \varrho_s$$

$$W_{kr} = \sigma_{koh} \sqrt{\frac{1}{E \cdot \varrho_s}} , \qquad /6/$$

gdzie:

σ_{koh} - jednostkowa praca kohezji ziarna /cząstki/,

E - moduł Younga cząstki,

ϱ_s - gęstość właściwa cząstki.

W przypadku kształtowej płyty oporowej prędkością krytyczną jest wartość jej składowej normalnej. W rozważaniach przebiegu procesu rozdrabniania należy uwzględnić również wpływ warstwy cząstek, która w określonych warunkach może być utrzymywana strumieniem powietrza na powierzchni wewnętrznej kołpaka.

4. Badania doświadczalne stopnia rozdrabniania piasku kwarcowego w układzie regeneracji pneumatycznej

W Instytucie Odlewnictwa Politechniki Śląskiej wykonano badania, których celem jest określenie wpływu prędkości przemieszczanych cząstek na ich rozdrabnianie. Ponieważ proces regeneracji mas prowadzony w optymalnych warunkach [1,2], tzn. przy prędkościach przepływu powietrza W_p = 35 - 65 m/s, nie wywołuje zmian na powierzchni ziarn osnowy masy regenerowanej, ocena wpływu poszczególnych elementów układu na prawidłowość przebiegu regeneracji jest utrudniona. Dla uzyskania wyraźnych efektów w postaci ścierania i rozdrabniania osnowy zwiększono prędkości cząstek w układzie pneumatycznym do poziomu powyżej wartości krytycznych "W_{kr}". Oznacza to, że celowe wprowadzenie tak dużych prędkości wynika jedynie z realizacji postawionego zadania, którym jest ścieranie i rozdrabnianie ziarn piasku. Na tej podstawie można pośrednio dokonać oceny wpływu poszczególnych elementów konstrukcyjnych na prawidłowy przebieg procesu regeneracji. Zakres regulacji prędkości przepływu powietrza w badanym układzie jest bardzo rozległy i można uzyskiwać zarówno prędkości rzędu W_p= 20 m/s jak i W_p = 200 m/s.

Prawidłowość przebiegu regeneracji mas systemu "POLKO" dla potrzeb przemysłu oceniano na kilku układach /1 łuk i 3 łuki, równe długości instalacji/ i określona optymalna prędkość przepływu powietrza wynosi W_p=35 -65 m/s. Prędkość ta uwarunkowana jest również rodzajem masy regenerowanej /spoiwa/ oraz stężeniem cząstek transportowanych w powietrzu transportującym [2] . Wynika stąd, że zakres prędkości stosowany w badaniach kilkakrotnie przewyższa wartości optymalne, lecz tylko taki dobór warunków badań umożliwia dokonanie oceny wpływu poszczególnych elementów układu na proces regeneracji. Wyniki badań wykorzystane mogą być również dla doboru prędkości pneumatycznego przemieszczenia materiału w innych rozwiązaniach.

Oceny stopnia rozdrobnienia ziarn piasku kwarcowego dokonano na podstawie badań powierzchni właściwej /S_w/,

średniej wielkości ziarna /d_z/ oraz liczby ziarnistości /L_z/ [6] .

Parametry te ujmują ziarnistość /wielkość frakcji/, lecz nie informują nas o charakterze zmian /kruszenie czy ścieranie/. Tych informacji mogą nam dostarczyć badania wskaźnika kształtu /W_k/ oraz analiza stanu powierzchni ziarna dokonywana na mikroskopie scanningowym.

Badania powyższe prowadzono dla piasku kwarcowego "WISŁAK" przed i po pneumatycznym przemieszczeniu.

Piasek przemieszczano w układach badawczych przedstawionych na rys.1. Układy oznaczono symbolami A, B, C i D /rys.1/, w których określono wpływ następujących elementów konstrukcyjnych:

- układ "A" - przemieszczanie piasku w prostym odcinku rurociągu,
- układ "B" - stanowi przedłużanie układu "A" łukiem zmieniającym kierunek przemieszczania o kąt 90°,
- układ "C" - do układu "B" domontowano odcinek prostego rurociągu,
- układ "D" - stanowi modelowe przybliżenie systemu "POLKO" pneumatycznej regeneracji mas.

Celem wykonania bilansu ilościowego piasku oraz wyeliminowania jego rozdrabniania przy wylocie zastosowano workowe urządzenia odbiorcze, spełniające równocześnie rolę filtra powietrza. Takie rozwiązanie zapewniało minimalne różnice /ubytki/ masy przemieszczanej / 0,4%/

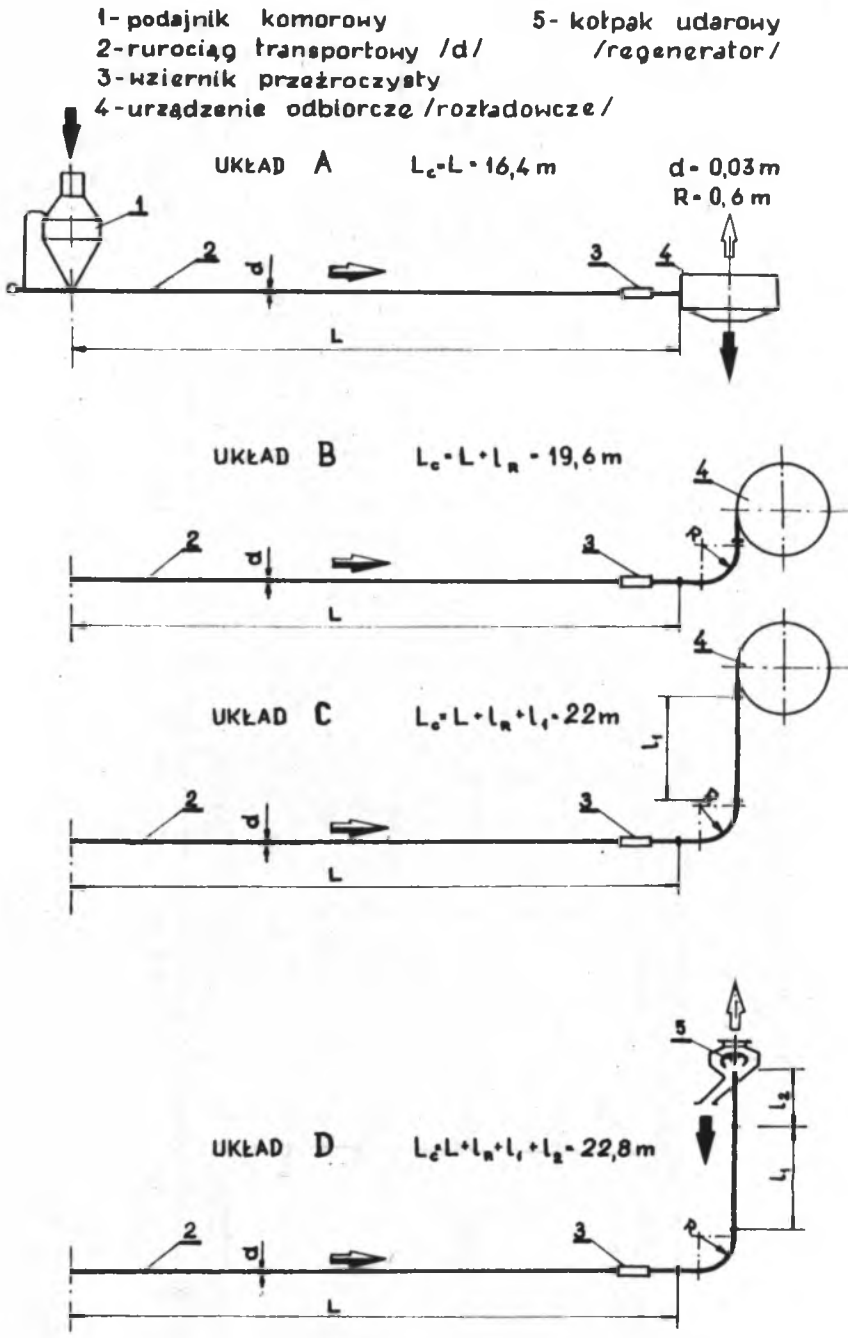
Wyniki badań piasku zestawiono w tablicach 1-4.

Do oznaczenia próbek piasku badanego zastosowano symbole:

m_o - piasek przed pneumatycznym przemieszczaniem,

m_R - piasek po pneumatycznym przemieszczeniu

oraz cyframi I,II i III opisano warunki pracy instalacji badawczej, której parametry podano również w tablicach 1-4.



Rys.1. Schematy układów badawczych

Tablica 1

Zestawienie wyników badań laboratoryjnych i doświadczalnych parametrów transportu pneumatycznego piasku kwarcowego "WISŁAK" przed i po przemieszczaniu w układzie "A"

Badania laboratoryjne piasków									Uwagi
Lp	Parametr badany	Jednostka	Oznaczenie próbek						
			m_{cI}	m_{RI}	m_{cII}	m_{RII}	m_{cIII}	m_{RIII}	
1	d_z	mm	0,364	0,285	0,340	0,270	0,351	0,319	d_z - średnia wielkość ziarn
2	S_w	cm^2/g	96,49	175,03	94,63	155,37	90,60	123,92	S_w - powierzchnia właściwa w/g Hoffmanna
3	W_k	-	1,81	2,03	1,66	1,63	1,60	1,59	W_k - wskaźnik kształtu ziarn
4	L_z	-	34,87	49,80	36,85	47,45	36,16	42,81	L_z - liczba ziarnistości

Parametry doświadczalne transportu pneumatycznego

Lp	Parametr	Jednostka	Oznaczenie badania			Uwagi
			I	II	III	
1	W_p	m/s	166,9	141,2	113,0	W_p - prędkość powietrza na końcu rurociągu badanego układu
2	μ_M	kg/kg	1,63	1,88	2,34	M - koncentracja materiału
3	m_c	kg/s	0,183	0,177	0,185	m_c - masowe natężenie przepływu materiału

Tablica 2

Zestawienie wyników badań laboratoryjnych i doświadczalnych parametrów transportu pneumatycznego piasku kwarcowego "WISŁAK" przed i po przemieszczaniu w układzie "B"

Badania laboratoryjne piasku									Uwagi
Lp	Parametr badany	Jednostka	Oznaczenie próbek						
			m_{cI}	m_{RI}	m_{cII}	m_{RII}	m_{cIII}	m_{RIII}	
1	d_z	mm	0,343	0,255	0,318	0,227	0,368	0,297	
2	S_w	cm^2/g	90,43	202,84	90,62	168,92	91,63	127,54	
3	W_k	-	1,82	2,62	1,41	1,67	1,73	1,76	
4	L_z	-	33,29	95,0°	39,98	55,93	34,50	42,84	

Parametry doświadczalne transportu pneumatycznego

Lp	Parametr	Jednostka	Oznaczenie badania			Uwagi
			I	II	III	
1	w_p	m/s	165,4	136,9	108,8	
2	μ_M	kg/kg	1,68	2,01	2,35	
3	m_c	kg/s	0,183	0,183	0,176	

Tablica 3

Zestawienie wyników badań laboratoryjnych i doświadczalnych parametrów transportu pneumatycznego piasku kwarcowego "WISŁAK" przed i po przemieszczaniu w układzie "C"

Lp	Parametr badany	Jednostka	Badania laboratoryjne piasku						Uwagi
			Oznaczenie próbek						
			m_{cI}	m_{RI}	m_{cII}	m_{RII}	m_{cIII}	m_{RIII}	
1	d_z	mm	0,387	0,264	0,379	0,255	0,386	0,307	
2	S_w	cm^2/g	92,22	216,18	92,24	166,85	92,83	129,06	
3	W_k	-	1,87	3,54	1,94	1,88	1,88	1,81	
4	L_z	-	32,81	68,10	29,59	49,83	32,93	41,38	

Parametry doświadczalne transportu pneumatycznego

Lp	Parametr	Jednostka	Oznaczenie badania			Uwagi
			I	II	III	
1	W_p	m/s	168,4	140,1	118,7	
2	μ_M	kg/kg	1,59	1,91	2,21	
3	m_c	mg/s	0,172	0,175	0,171	

Tablica 4

Zestawienie wyników badań laboratoryjnych i doświadczalnych parametrów transportu pneumatycznego piasku kwarcowego "WISŁAK" przed i po przemieszczeniu w układzie "D"

Badania laboratoryjne piasku									Uwagi
Lp	Parametr badany	Jednostka	Oznaczenie próbek						
			m_{oI}	m_{RI}	m_{cII}	m_{RII}	m_{CIII}	m_{RIII}	
1	d_z	mm	0,292	0,219	0,378	0,263	0,385	0,268	
2	S_m	cm^2/g	80,16	276,75	91,31	262,18	81,15	211,62	
3	W_k	-	1,11	2,84	1,79	3,15	1,62	2,54	
4	L_z	-	43,49	53,10	39,63	48,25	38,99	46,45	

Parametry doświadczalne transportu pneumatycznego

Lp	Parametr	Jednostka	Oznaczenie badania			Uwagi
			I	II	III	
1	W_p	m/s	162,2	133,6	103,85	
2	μ_M	kg/kg	1,70	1,93	2,51	
3	m_c	kg/s	0,175	0,167	0,170	

W badaniach stosowano próbki o wadze 50 kg.
Badania laboratoryjne piasku wykonano zgodnie z normą PN-58/H-11077 oraz normami branżowymi [6] .

Pęknięcia na powierzchni ziarn oraz ich zniekształcenie obserwować można wykorzystując mikroskop scanningowy.
Zdjęcia obrazujące stan powierzchni przy powiększeniach x 100 i 300 zamieszczone zostały na rys. 2 - 11.

Pow. x 100

Rys.2 Powierzchnia ziarna piasku próbki m_c przed badaniem

Pow. x 300

Rys. 3 j.w.

Pow. x 100

Rys.4 Powierzchnia ziarna piasku próbki m_{RI} po badaniu w układzie A

Pow. 300

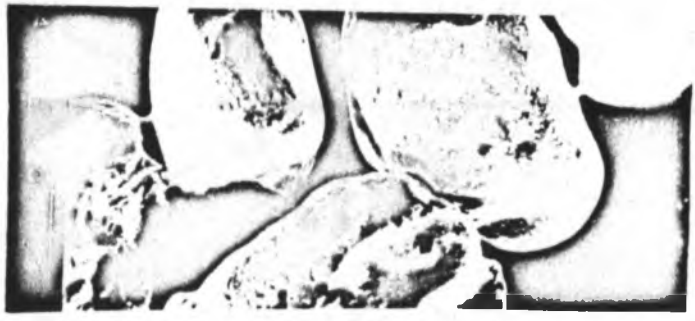
Rys.5 j.w.

Pow. x 100

Rys.6 Powierzchnia ziarna piasku próbki m_{RI} po badaniu w układzie "B"

Pow. x 300

Rys. 7 j.w.



Pow. x 100

Rys.8 Powierzchnia ziarna piasku próbki m_{RI} po badaniu w układzie "D"

Pow. x 300

Rys.9 j.w.

Pow. x 100

Rys.10 Powierzchnia ziarna piasku próbki m_{RIII} po badaniu w układzie "D"

Pow. x 300

Rys.11 j.w.

[4] I.B.Zajlerow: Regienieracija otrabotannych smiesiej w litiejnom proizwodstwie, Waszgiz-Moskwa 1971.

[5] B.G.Dieriagin, N.A.Krotowa, W.P.Smiłga: Adgiezija twierdych tieł, Nauka, Moskwa 1973.

[6] W.Sakwa, T.Wachelko: Teoria i praktyka materiałów formierskich, Śląsk, Katowice 1970.

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ НА РЕЖИМ ПРОЦЕССА ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ

Р е з ю м е

Работа является частью основных исследований, проводимых для режима процесса пневматической регенерации.

Поданные информации и разработанные предложения являются основой для оценки правильности подбора устройства пневматической системы регенерацин типа "POLKO".

EFFECT OF THE SYSTEM CONSTRUCTIONAL ELEMENTS ON THE PNEUMATIC REGENERATION PROCESS

S u m m a r y

The paper relates to the part of basic investigations of the course of pneumatic regeneration process.

The information and conclusions contained therein form the basis for evaluation of correct selection of individual units forming the POLKO system pneumatic regeneration installation.