

**Jerzy Bertrand, Zdzisław Librant
Jerzy Ranachowski**

**UWARUNKOWANIA EKSPLOATACYJNE
I DOBÓR TWORZYW CERAMICZNYCH
DLA KRANÓW CZERPALNYCH**

56/1988

WARSZAWA 1988

Praca wpłynęła do Redakcji dnia 16 listopada 1988 r.



56745



Na prawach rękopisu

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
Nakład 170 egz. Ark.wyd. 2,85 Ark.druk. 3,75
Oddano do drukarni w styczniu 1989 r.
Nr zamówienia 160/89

Warszawska Drukarnia Neukowa, Warszawa
ul. Śniadeckich 8

Jerzy Bertrand
Zdzisław Librant
Jerzy Ranachowski
Zakład Akustyki Fizycznej IPPT PAN
Gerard Zielonka
Instytut Technologii
Materiałów Elektronicznych

UWARUNKOWANIA EKSPLOATACYJNE I
DOBÓR TWORZYW CERAMICZNYCH
DLA KRANÓW CZERPALNYCH

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono elementy technologii płytek ceramicznych dla wodociągowych zaworów wodnych z uwzględnieniem krajowych możliwości zarówno materiałowych jak i maszynowych. Przedstawiono również analizę warunków eksploatacyjnych płytek ceramicznych w zaworach wodnych. Wykazano, że krytycznymi parametrami dla tych warunków są skład fazowy, gładkość i równoległość powierzchni trących. W warunkach standardowej obróbki szlifierskiej odpowiednią gładkość uzyskuje się dla ceramiki o zawartości Al_2O_3 powyżej 94%.

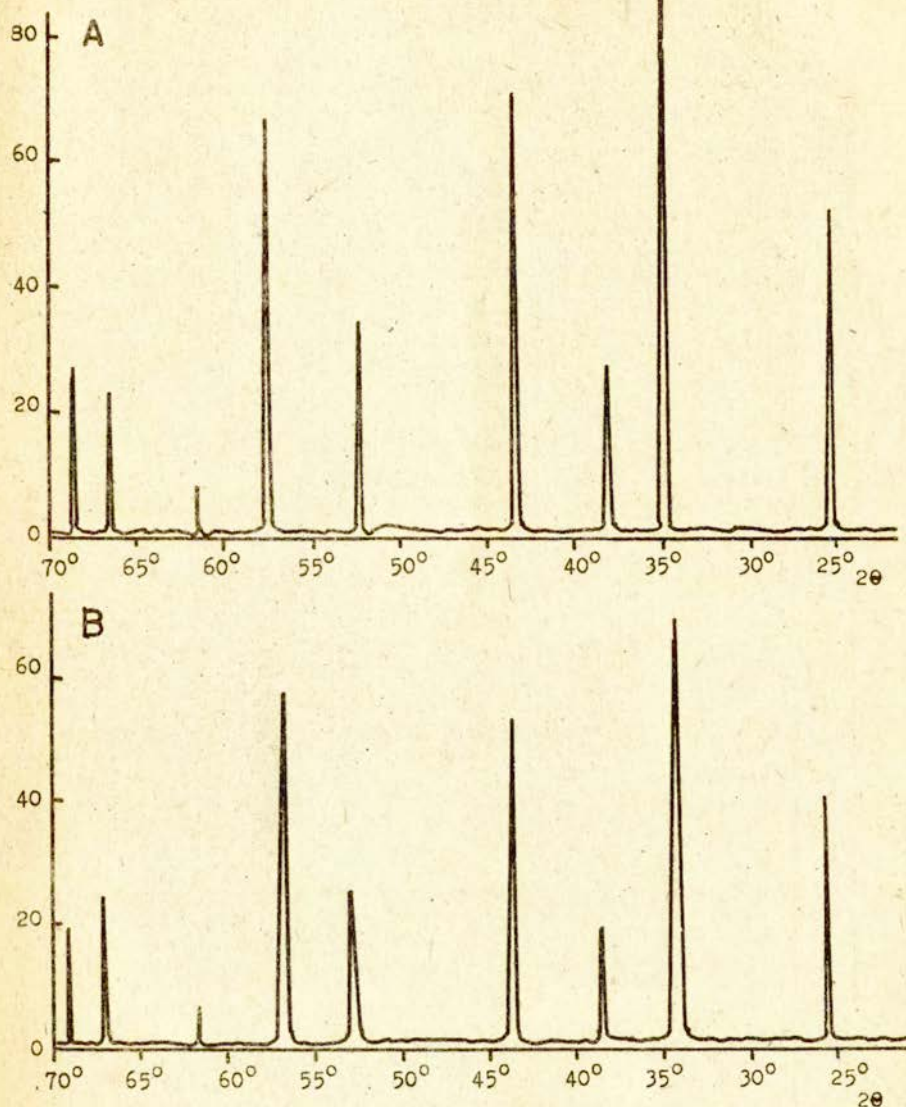
WSTĘP

Ceramiczne tworzywa konstrukcyjne znajdują coraz szersze zastosowanie jako trwałe części maszyn i armatur przemysłowych. Wszędzie tam gdzie wymagany jest kontakt z mediami agresywnymi chemicznie i z podwyższoną temperaturą materiały ceramiczne mają zdecydowaną przewagę nad tworzywami metalicznymi. W ostatnich dwudziestu latach materiały ceramiczne zaczęto z powodzeniem stosować również w armaturze komunalnej /uszczelki, zawory,

części pomp/ a w szczególności jako podstawowe elementy konstrukcji czerpального zaworu wodnego na gorącą i zimną wodę. Przed ponad dwudziestoma laty amerykańska firma ALCOA reklamowała wkładki z czystego tlenku glinu do baterii czerpalnych na zimną i gorącą wodę. Obecnie prawie każda większa firma mająca w swym profilu ceramikę konstrukcyjną z czystego tlenku glinu oferuje różne zestawy płytek zamykających do baterii wodociągowych. Nowe rozwiązanie w porównaniu do rozwiązania konwencjonalnego gwarantuje większą trwałość i większą funkcjonalność ze względu na eliminację uszczelek gumowych oraz zredukowanie zakresu manipulacji przy włączaniu i wyłączaniu wypływu wody. Uzyskuje się również znaczne oszczędności metali kolorowych w stosunku do rozwiązania konwencjonalnego.

O ile nowa konstrukcja baterii wodociągowej ma znaczną przewagę w porównaniu do starej, to technologia wytwarzania wkładek ceramicznych wymaga dużego poziomu wiedzy technicznej, szczególnie w zakresie nadawania kształtu i obróbki gładkociowej płaszczyzn trących wkładek ceramicznych. Funkcjonowanie zaworu czerpального z kształtkami ceramicznymi związane jest z przesuwaniem się po sobie dwóch gładkich powierzchni / $R_a \sim 0,25 \mu\text{m}$ / z filtrem wodnym przy czym przesuw ten odbywa się w warunkach niewielkiego, w stosunku do wytrzymałości na ściskanie nacisku.

Wbrew pozorom, dla materiału kruchego, warunki te nie są wcale łagodne. Woda wodociągowa niesie z sobą mikroziarną mineralną z tak twardym materiałem jak piasek kwarcowy włącznie. Mikroziarna mogą być wcierane między pracujące powierzchnie powodując stopniowe pogarszanie się gładkości powierzchni. Drugim istotnym czynnikiem niszczącym jest woda, która aktywizuje rozwój mikropełnięć nawet przy minimalnym istniejącym naprężeniu. Problem ten nie był w literaturze badany w referowanym tutaj aspekcie aplikacyjnym, dlatego poniżej przedstawiono rozważania które mogą być pośrednio odniesione do interesującego nas problemu zużycia kształtek ceramicznych w baterii wodociągowej.



Rys. 1. Dyfraktogramy rentgenowskie współpracujących powierzchni kształtek ceramicznych. Dyfraktometr rentgenowski DRON-3 z anodą miedziową.

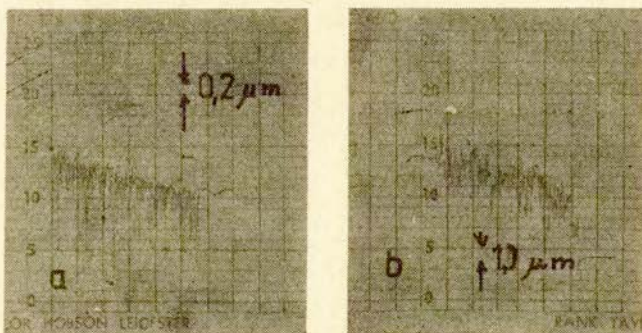
1. ANALIZA MINERALOGICZNA CERAMIKI STOSOWANEJ W ZAWORACH WODOCIAGOWYCH.

Badania obejmowały analizę rentgenowską tworzywa ceramicznego, dostępnych na rynku importowanych kształtek ceramicznych.

Analiza fazowa przeprowadzona metodą dyfraktometrii rentgenowskiej, wykazuje obecność alfa tlenku glinu bez mierzalnych tą techniką ilości fazy międzyciarnowej rys. 1.

Zestawienie kształtek powierzchniami pracującymi wykazuje efekt kohezji co świadczy o wysokiej gładkości powierzchni.

Badania stanu tych powierzchni przy pomocy profilogramu TALYSURF firmy TAYLOR-HOBSON wskazują na to, że chropowatość wynosi $Ra \approx 0,25 \mu m$. Powierzchnie nie stykające się mają $Ra > 1 \mu m$. rys.2.

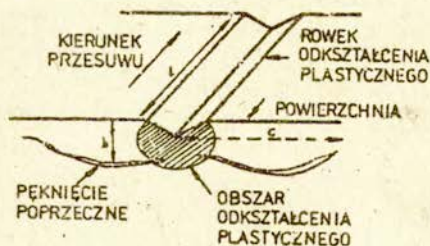


Rys. 2. Profilogramy powierzchni kształtki ceramicznej do baterii wodociągowej. Profilograf TALYSURF, firmy TAYLOR-HOBSON. a/ powierzchnia pracująca, b/ powierzchnia swobodna.

Analiza mineralogiczna powierzchni pracujących wykonana przy pomocy mikroskopu ZEISS NEOPHOT 2 wykazała silne porysowanie i liczne płaskie obszary wyłupanych ziaren fot.1a. Badaną powierzchnię polerowano przez 48 godzin w 1% roztworze H_2SO_4 z dodatkiem alfa - Al_2O_3 jako środka polerującego. W efekcie polerowania usunięto rysy natomiast obszary z powyrwanymi ziarnami nie uległy zmianie ilościowej, ujawniły się natomiast granice drobnych ziaren. Zmierzona głębokość wyłupań leży w granicach 4 do 6 μm . W dalszym ciągu płytkę trawiono w H_2SO_4 w temperaturze 210°C przez 20 minut. Operacja ta umożliwiła pomiar wielkości ziaren które leżą w przedziale 2 - 90 μm , przy średniej wielkości około 22 μm fot. 1b. Ziarna mają charakter płytkowy o wymiarach płytek 4,6 x 22 μm . Porowatość otwarta do 1% przy średnicy porów około 1,5 μm . Wyłupania stanowią około 35% powierzchni płytki.

Literatura światowa najwięcej uwagi poświęca ceramice z czystego tlenku glinu głównie ze względu na jego masowe zastosowanie jako tworzywa konstrukcyjnego zwłaszcza w ostatnich latach.

Jedną z ważnych własności, tej ceramiki jest odporność na zużycie ściernie. Obecnie nie ulega wątpliwości, że jednym z podstawowych zjawisk odpowiedzialnych za to zużycie jest zjawisko mikroodkształcenia plastycznego.



Rys. 3. Schemat powstawania uszkodzeń powierzchniowych kształtek ceramicznych skutkiem przesuwania ziarna ściernego. /piramidy twardościomierza/ wg [1].

Modelowo można rozpatrywać to zużycie na przykładzie analizy tworzenia się rysy skutkiem przesuwania po powierzchni analizowanego materiału, twardego ziarna w postaci piramidy twardościomierza [1]. Na rys 3 pokazano schemat powstawania uszkodzeń na powierzchni i pod powierzchnią ceramiki skutkiem przesuwania ziarna ściernego /piramidy twardościomierza/.

Dno rowka wytworzonego przez przesuwające się ziarno związane jest z mikrosferą odkształcenia plastycznego od której odchodzą mikropełnięcia podpowierzchniowe. Zakrzywiają się one w kierunku powierzchni powodując odłupywanie cienkich warstwek ceramiki. Jak wykazał Swain [2] pęknięciom podpowierzchniowym towarzyszą pęknięcia zarówno w dnie rowka jak i poprzeczne do niego. Wpływają one istotnie na wytrzymałość ceramiki. BECHER [3] badając proces obróbki ścierną monokryształu korundu wykazał, że szlifowanie wytwarza warstwę powierzchniową silnie odkształconą plastycznie i że głębokość warstwy poślizgu wynosiła 30 μm . W materiale polikrystalicznym badania SEM obszarów przyległych do rowka wykazały obecność pasm poślizgu, które przy przecinaniu się z granicą ziarna generowały pęknięcia [2]. Generalnie zauważono, że procesy ściernie wytwarzają powierzchniową warstwę odkształcenia plastycznego. Głębokość tej warstwy maleje ze wzrostem twardości materiału jak można zresztą oczekiwać.

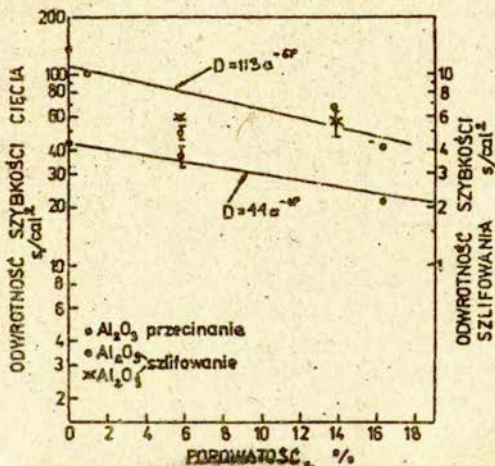
Istotnych dla technologii obróbki ścierną ceramiki spostrzeżeń dokonali RICE i SPERONELLO [4], wprowadzając parametr trudności obróbki, który określono jako odwrotność prędkości powierzchniowego znoszenia materiału, badali jego zależność od podstawowych parametrów, mikrostrukturalnych takich jak porowatość i wielkość ziaren.

Dla porowatości uzyskano zależność:

$$D = D_0 \exp(-bP) \quad (1)$$

gdzie: D - trudność obróbki przy porowatości P
 D_0 - trudność obróbki przy porowatości 0
 b - współczynnik

Zależność ta jest identyczna jak dla wytrzymałości. Nawet współczynnik $b=4$ leży w przedziale wartości otrzymywanych dla wytrzymałości. Sytuacja ta jest przedstawiona na rys.4. Jak można oczekiwać opór materiału na obróbkę /cięcie i szlifowanie/ maleje ze wzrostem porowatości. Podobną korelację z wytrzymałością materiału uzyskano dla zależności trudności obróbki od wielkości ziarna. Trudność obróbki szlifierskiej /odwrotność prędkości znoszenia materiału/ jest proporcjonalna do odwrotności pierwiastka wielkości ziaren rys. 5.

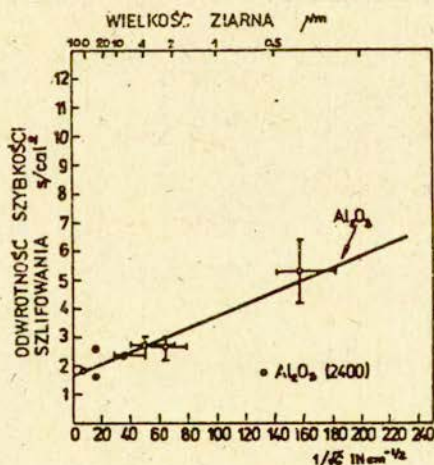


Rys. 4. Zależność pomiędzy trudnością obróbki /szlifowanie i przecinania/ a porowatością dla ceramiki z tlenkiem glinu [4].

Również bardzo istotnych obserwacji dokonał WESTWOOD et all [5] badając wpływ środowiska /wody i wyższych alkoholi/ na obrabialność ceramiki z Al_2O_3 . Generalnie obecność cieczy zwiększa efekty obróbki/ o czym wie każdy szlifierz/ co autorzy wiążą z ładunkiem powierzchniowym w wyższych alkoholach. Podobnych obserwacji dostarczyli GRUVER i KIRCHNER [6] którzy próbowali również w sposób ilościowy, określić wielkość uszkodzeń powierzchni ceramiki przy szlifowaniu, modelując to rysowaniem powierzchni piramidą twardościomierza. Autorzy stwierdzili przy tym, że głębokość pęknięcia środkowego była co najmniej o rząd wielkości większa od głębokości rowka odkształcenia plastycznego. Zależność pomiędzy głębokością pęknięcia środkowego "C" a obciążeniem normalnym P_n piramidy podał SWAIN [2].

$$\frac{P_n}{\text{tg} \psi \cdot 3/4} \approx K_c \cdot C^{3/4} \quad (2)$$

gdzie: K_c - krytyczny współczynnik intensywności naprężenia
 ψ - połowa kąta piramidy



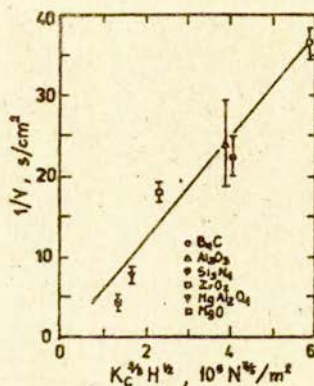
Rys. 5. Zależność pomiędzy trudnością obróbki przy szlifowaniu a wielkością ziarna dla ceramiki z tlenku glinu [4].

EWANS podał półilościowy model zużycia ściernego zakładając, że zużycie to odbywa się przed odłupywaniem materiału, drogą generowania pęknięć podpowierzchniowych odchodzących od obszaru odkształcenia plastycznego /jak to przedstawiono na rys. 3/ wywołanego przejściem ziarna ściernego. Jeżeli pęknięcie podpowierzchniowe ma długość "c" i znajduje się na głębokości "h" to szybkość znoszenia materiału V będzie proporcjonalna do iloczynu $c \cdot h$ a ostatecznie do:

$$V \approx c \cdot h \approx P_n^{7/6} / K_c^{2/3} \cdot H^{1/2} \quad (3)$$

gdzie: H jest twardością materiału

Zależność tę przedstawiono na rys. 6 dla szeregu podstawowych materiałów konstrukcyjnych począwszy od tlenku magnezu do węgliku boru.



Rys. 6. Oporność na obróbkę ścierną różnych ceramiek konstrukcyjnych jako funkcja parametrów materiałowych twardość i oporność na pęknięcie [1].

W świetle omówionych powyżej zależności i oczekiwanych warunków pracy płytek ceramicznych zastosowanych w bateriach wodociągowych wynika, że materiał na płytki powinien spełniać następujące wymagania:

- wysoka twardość,
- wysoka odporność na pękanie,
- mała wrażliwość na aktywację przez wodę procesu rozwoju mikropeknięć.

Spśród powszechnie stosowanych tworzyw konstrukcyjnych wymagania powyższe spełnia ceramika z czystego tlenku glinu. Przy twardości Vickersa powyżej 1500 kg/mm^2 i wartości K_{Ic} 4 - 5 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ można uzyskać doskonałą odporność na ścieranie pod warunkiem, że zastosowana technologia wytwarzania ceramiki, nie dopuszcza do rozrostu ziaren i nie wprowadza nadmiernej ilości fazy międzyziarnowej. Stosowane powszechnie w technologii ceramiki z tlenku glinu dodatki ukatwiające spiekanie przez obniżenie temperatury wypału prowadzą do powstania fazy bezpostaciowej wiążącej ziarna alfa tlenku glinu. Faza ta stosunkowo łatwo zamyka pory, ale drastycznie obniża zarówno mikrotwardość jak i odporność na pękanie. Wartość K_{Ic} dla szkielek krzemianowych leży zwykle w przedziale 0,5 - 2,0 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$.

2. UWARUNKOWANIA TECHNOLOGICZNE DLA UZYSKANIA CERAMIKI SPEŁNIAJĄCEJ WYMAGANIA EKSPLOATACYJNE BATERII CZERPALNYCH.

Jak wspomniano w poprzednim rozdziale, decydującymi o powodzeniu w rozważanym zakresie zastosowań są odporności na ścieranie i twardość. Dla ceramiki z czystego tlenku glinu własności te osiąga się poprzez:

- zmniejszenie lub likwidację zawartości fazy międzyziarnowej,
- minimalizację porowatości,
- niedopuszczenie do nieciągłego rozrostu ziaren,
- zachowanie jednorodnej mikrostruktury z małymi ziarnami w końcowej fazie spiekania.

Osiągnięcie tych wszystkich efektów w znacznym stopniu zależy od mikrostruktury tlenku wyjściowego, którego stopień agregacji lub aglomeracji powinien być minimalny. Optymalny surowiec powinien się składać z indywidualnych krystalitów nie

powiązanych ze sobą ani w agregaty ani w aglomeraty. Ponieważ taki proszek jest zazwyczaj bardzo drogi, podstawową operacją technologiczną jest przemiał w celu rozbitcia aglomeratów. Operację tę wykorzystuje się również dla wymieszania podstawowego składnika z dodatkami. Optymalnym urządzeniem dla tego zabiegu są młyny wibracyjne /firmy Boulton, Kawasaki lub inne/. W dobrze wybranym surowcu, gdzie wielkość kryształitów nie przekracza $0,5 \mu\text{m}$ kilka godzin przemiału wystarcza dla osiągnięcia większości frakcji poniżej $2 \mu\text{m}$ a całości poniżej $6 \mu\text{m}$.

W tabelicy 1 przedstawiono typowe przebiegi mielenia dla stosowanych w kraju tlenków glinu.

Zapobieganie wzrostowi ziaren osiąga się przez niewielki dodatek MgO bądź to w proszku czystego tlenku bądź też w postaci talku lub serpentynitu jeżeli dopuszcza się pewną ilość fazy glinokrzemianowej obniżającej temperaturę spiekania. Oprócz MgO dobre wyniki z zapobieganiem nieciągłego wzrostu ziaren osiągnięto z tlenkiem niklu.

Osiągnięcie jednorodnej mikrostruktury z małymi ziarnami zależy bardzo istotnie od stopnia początkowego zagęszczenia proszku.

Przy efektywnym rozbitciu aglomeratów i zastosowaniu substancji poślizgowej istnieje szansa dobrego, wstępnego zagęszczenia, które warunkuje z kolei osiągnięcie niekiej porowatości i niewielkiego rozrostu ziaren.

BRUCH [8] wykazał, że przy spiekaniu tlenku glinu z dodatkiem $0,25\%$ wag. MgO istnieje zależność pomiędzy stopniem wstępnego upakowania ziaren a osiągniętą porowatością i wielkością ziarna w spieku.

Na rys. 7 przedstawiono empiryczną relację wynikającą z tych badań.

Widać, że zmniejszenie porowatości odbywa się kosztem wzrostu ziaren i przy porowatości początkowej 65% osiągnięcie porowatości końcowej 1% jest możliwe przy wzroście wielkości ziaren do $20 \mu\text{m}$, niezależnie od zastosowanej kombinacji czasu i temperatury. Efekt ten występuje dlatego, że mierzona w

procesie spiekania energia aktywacji dla procesu zagęszczania i procesu wzrostu ziarna, są praktycznie takie same. Dla praktyki technologicznej ma to ogromne znaczenie zwłaszcza wtedy gdy chcemy osiągnąć bezporowatą próbkę z niewielkimi ziarnami. Należy wtedy dążyć do maksymalnego zagęszczania wstępnego przed procesem spiekania. Naturalnie jest to zadanie nadzwyczaj trudne i jak wspomniano wcześniej wymaga specjalnie preparowanych proszków oraz techniki prasowania izostatycznego lub też w skrajnym przypadku prasowania na gorąco.

W rozważanych tutaj zastosowaniach ceramiki i sugerowanej dla niej technologii, nie potrzeba aż tak wyrefinowanych technik wytwarzania.

Tablica 1

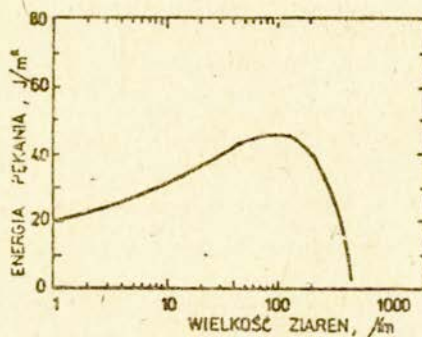
Zakres wielkości aglomeratów w μm	Zawartość frakcji w %				
	BAKO-CERA /import			Skawina	
	surowy	mielony 5 godz.	mielony 7 godz.	surowy	mielony 3 godz.
- 25	-	-	-	-	-
25 - 20	-	-	-	-	-
20 - 15	28,7	-	-	3,2	-
15 - 10	18,6	-	-	3,5	-
10 - 8	11,1	-	-	3,7	-
8 - 6	14,3	-	-	5,3	-
6 - 4	10,7	-	-	11,7	-
4 - 2	8,5	40,4	29,2	32,2	20,9
2	8,0	59,6	70,8	40,3	79,1



Rys. 7. Empiryczny diagram spiekania dla tlenku glinu z dodatkiem 0,25% wag. MgO. Na osiach odłożono parametry mikrostruktury spisku, linie wyznaczają ich relację przy początkowej porowatości próbki wyjściowej dla dowolnej kombinacji czasu i temperatury.

Świadczy o tym mikrostruktura kształtek pochodzących z importu gdzie średnia wielkość ziaren wynosi około 20 μm, zapewnia wystarczającą gładkość i trwałość eksploatacyjną. Niemniej jednak świadomość konieczności ograniczenia wzrostu ziaren w procesie spiekania ceramiki dla omawianych tutaj zastosowań musi być podkreślana jeszcze z następujących powodów. Konieczności zmniejszenia kosztów wypalania głównie przez obniżenie temperatury wypału, jest istotną pokusą dla wszystkich producentów. W technologii ceramiki z tlenku glinu osiąga się to drogą wprowadzenia wiązania ziaren fazą glinokrzemianową. Przy dobrym skomponowaniu tej fazy osiąga się twardość Vickersa ceramiki o zawartości 92% Al₂O₃ wyższą, niż przy zawartości 99,8% Al₂O₃. Niemniej jednak, krzemionka obecna w fazie międzyziarnowej istotnie ułatwia wzrost ziaren Al₂O₃, formując mikrostrukturę duplexową z gigantycznymi ziarnami korundu w osnowie z drobniejszymi ziarnami. Sytuacja ta jest niepożądana ze względów wytrzymałościowych. Korund jak wiadomo, ze względu na swoją symetrię ma anizotropową rozszerzalność cieplną.

Po przekroczeniu pewnej wielkości ziarna w wyrobie, zaczynają się generować i rozwijać mikropęknięcia stanowiące zagrożenie dla długotrwałej stabilności wyrobu. Sytuacja ta znajduje odbicie w zależności powierzchniowej energii pęknięcia ceramiki z tlenku glinu od wielkości ziarna tego tlenku [9] co przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Powierzchniowa energia pęknięcia w funkcji wielkości ziarna dla ceramiki z tlenku glinu [9].

Sytuację po lewej stronie maksimum można interpretować jako skutek generowania się mikropęknięć i pochłaniania energii odkształcenia przez rozwijające się mikropęknięcia. Przy pewnej wielkości ziarna efekt spontanicznego mikropęknięcia wywołany anizotropią rozszerzalności cieplnej jest tak duży, że powoduje gwałtowny spadek wytrzymałości materiału co z kolei odbija się na mierzonej energii pęknięcia. Następną bardzo istotną własnością, która musi być osiągnięta w zastosowanej technologii wytwarzania, jest odporność materiału na nagłe zmiany temperatury. Odporność ta zwana również odpornością na wstrząs termiczny /OWT/ jest pojęciem bardzo złożonym.

W potocznej świadomości użytkowników ceramiki funkcjonuje ona jako niezbyt sprecyzowana właściwość jakościowa określana dwustopniowo, dobra - zła, ewentualnie trójstopniowo, dobra - umiarkowana - zła.

Pierwsze próby ilościowego opisu tej właściwości przeprowadzono w latach pięćdziesiątych. Wprowadzono wtedy współczynnik odpornościowy:

$$R = \sigma(1 - \nu)K/E \cdot \alpha \quad (4)$$

- gdzie: σ - wytrzymałość na rozciąganie
 ν - ułamek Poissona
 K - współczynnik przewodnictwa cieplnego
 E - moduł sprężystości
 α - współczynnik rozszerzalności cieplnej

Według powyższej definicji, materiał o dobrej odporności na szok ^{cieplny} powinien mieć wysoką wartość zarówno wytrzymałości na rozciąganie jak i przewodnictwa cieplnego, natomiast niskie wartości modułu sprężystości i współczynnika rozszerzalności cieplnej. W ceramice korundowej warunki te są trudne do spełnienia bo wysokiej wytrzymałości towarzyszy zwykle wysoka wartość modułu sprężystości a zmniejszenie współczynnika rozszerzalności cieplnej poprzez np. wprowadzanie glinokrzemianowej fazy międzyciarnowej pogarsza istotnie przewodnictwo cieplne. W rozważanych tutaj zastosowaniach intensywność szoku cieplnego nie przekracza 100 deg. co przy standardowych własnościach ceramiki korundowej $\sigma > 250$ MPa, $E > 250$ GPa, $K > 15 \frac{W}{m \cdot deg}$, α ok. $7 \cdot 10^{-6} deg^{-1}$ i ν ok. 0,22/ powinno zapewnić bezpieczne funkcjonowanie zaworu wodnego.

3. WYBÓR TWORZYW DO WYROBU ELEMENTÓW CERAMICZNYCH ZAWORÓW CZERPALNYCH I ICH TECHNOLOGIE.

3.1. Czysta ceramika korundowa.

Z grupy tworzyw korundowych, których skład i wykonanie są w pełni dopracowane w przemyśle elektronicznym, a są przydatne do wykonania płytek zaworów wodnych, wymienić można tworzywa korundowe typu Al - 99,5, Al - 19, Al - 95 i AMP. Stosowanie tlenków aktywnych umożliwiających uzyskanie tworzyw o wysokiej zawartości $Al_2O_3 \geq 99,5\%$ przy niskiej ich temperaturze splekania, posiadających mikrostrukturę o średniej wielkości ziarna w granicach 3 - 5 μm wydaje się w tym przypadku nieekonomiczne z uwagi na wysoką cenę takiego surowca oraz możliwości spełnienia funkcji użytkowych wyrobu przy zastosowaniu tworzyw wyżej wymienionych.

Składy surowcowe tworzyw korundowych:

tworzywa Al - 99,5:	Tlenek glinu	99,5%
	tlenek magnezu	0,4%
	trójtlenek itru	0,1%
tworzywa Al - 19:	tlenek glinu	97,5%
	fluorek baru	0,5%
	glina Jakubów	1,0%
	talk chiński sedym	1,0%
tworzywa Al - 95:	tlenek glinu	95,0%
	fluorek baru	0,5%
	glina Jakubów	0,5%
	talk chiński sedym	4,0%
tworzywa AMP:	tlenek glinu	94,0%
	glina czasowiarska	2,0%
	talk chiński sedym	2,6%
	fluorek wapnia	1,0%
	mączka kwarcowa	0,4%

Możliwe jest również wytypowanie innych tworzyw korundowych z tej grupy materiałowej pod warunkiem uzyskania mikrotekstury zwartej o małym rozroście ziaren co pozwoli na utrzymanie zgodności z warunkami technologicznymi po operacji polerowania powierzchni roboczych płytek.

3.2. Tworzywo wysokoglinowe.

Często używanym proszkiem są tworzywa wysokoglinowe. Tworzywa o zawartości powyżej 90% Al_2O_3 charakteryzują się szczególnie korzystnymi właściwościami. Wykonuje się z nich podłoża i obudowy układów hybrydowych, elementy konstrukcyjne lamp elektronowych, izolatory diody, tyrystory, elementy konstrukcyjne komór gaszeniowych i inne. Ponadto ogromną zaletą ceramiki wysokoglinowej jest stosunkowo niska temperatura wypalania wyposzająca $1410^{\circ}C$.

W skład tworzyw Al - 90 wchodzi następujące surowce:
tlenek glinu "Ala - O" /produkcja krajowa/
kaolin "Osmoza"
tytaniań magnezu
węglan baru /gatunek I/

Tworzywo Al - 90 należy do grupy tworzyw wysokoglinowych, niskospiekających się. Temperatura spiekania tego tworzywa wynosi około $1400^{\circ}C$, przy zawartości 90% Al_2O_3 , podczas gdy temperatura spiekania czystego tlenku glinowego wynosi około $1900^{\circ}C$.

Tworzywo Al - 90 otrzymywane jest z surowców o dużym rozdrobnieniu, a średnia wielkość ziarn tworzywa wynosi $2 \mu m$ co wpływa między innymi na obniżenie temperatury spiekania. Na obniżenie tej temperatury wpływa również wprowadzanie w skład surowcowy $MgTiO_3$. Tytaniań magnezu ulega rozkładowi w procesie spiekania. Nowo otrzymane związki są aktywne chemicznie, reagują ze składnikami szkłotwórczymi znajdującymi się w zestawie tworzywa $/BaCO_3/$, powodując powstawanie zwiększonej ilości fazy ciekłej. Faza ta rozpuszcza krystalizy Al_2O_3 . Obecność fazy ciekłej ułatwia przegrupowanie ziarn w pierwszym etapie spiekania, jak również procesy przenoszenia masy w etapie zagęszczania. Siłą napędową procesu spiekania jest nadmiar energii swobodnej związanej z rozwinięciem powierzchni.

Właściwości fizyczne tworzywa wysokoglinowego podano w tablicy 2.

Tablica 2

Temperatura wypału °C	Nasiąkli- wość wodna w %	Skurcz- liwość w %	Ciężar właściwy g/cm ³	Wytrzyma- łość na zginanie kG/cm ²	Współczyn- nik roz- szerzal- ności cie- plnej 20 - 200°C
1410	0,00	14,8	3,7	2600	5,5

W technologii odlewania pod ciśnieniem stosuje się organiczne lepiszcza technologiczne. Charakteryzują się one tym, że mogą wielokrotnie ogrzewane i ochładzane zmieniać swój stan skupienia. Należą do nich parafina oraz substancje powierzchniowo aktywne, do których zalicza się kwasy tłuszczowe: oleinowy, stearynowy, palmitynowy oraz wosk pszczele.

Istnieje możliwość termoplastycznego formowania z tworzyw wysokoglinowych wyrobów o najbardziej skomplikowanych kształtach. W przypadku tworzywa Al - 90 nieodzowne jest prowadzenie procesu wstępnej obróbki termicznej, w wyniku której uzyskuje się obniżenie ilości plastyfikatora, co wpływa na obniżenie skurczliwości w porównaniu do masy bez tej operacji. Właściwości odlewnicze omawianej masy w głównej mierze zależą od procesu prowadzenia wstępnej obróbki termicznej i głównie tym procesem należy regulować parametry masy, a nie od stanu rozdrobnienia masy do pozostałości na sicie 63 μm w granicach od 1 - 15%.

Najkorzystniejsze parametry fizyczne i elektryczne formowanych wyrobów uzyskuje się po zastosowaniu wstępnej obróbki termicznej w temperaturze 1380°C przy pozostałości masy na sicie 63 μm 5 lub 10% i 12% plastyfikatora, składającego się z parafiny w ilości 11,5%, wosku 0,5% oraz kwasu oleinowego w ilości 12 ml na 1 kg suchej masy technologicznej /w przypadku tworzywa Al - 90/.

4. PODSTAWY TECHNOLOGII PRODUKCJI ELEMENTÓW CERAMICZNYCH.

4.1. Formowanie termoplastyczne.

Metoda formowania termoplastycznego pod ciśnieniem w wielu przypadkach jest jedyną, ze względu na wymagane skomplikowane kształty wyrobów. Należy ona do bardzo interesujących metod formowania. Aby jednak poznać tę metodę, należy uprzednio zaznajomić się ze sposobami przygotowania tworzywa do formowania termoplastycznego. W niniejszej pracy przedstawiono dwie metody przygotowania tworzywa. Pierwsza - polegająca na bezpośrednim zestawieniu masy leejnej z tworzywem. Druga - polegająca na wstępnym rozdrobieniu proszku technologicznego.

Przedstawiono również przygotowanie masy leejnej. Sposób ten pokazany jest na schemacie. Ważne dla formowania pod ciśnieniem są własności mas leejnych, czyli między innymi pływnięcie przy podwyższonej temperaturze i twardnienie przy ochładzaniu. W pracy opisany jest sposób zabezpieczenia formy gęstwą leejną. Na proces formowania bardzo wpływa ciśnienie przy odlewaniu i twardnieniu, temperatura gęstwy, temperatura formy itp. Odlewane wyroby należy odparafinować, czyli odprowadzić substancję organiczną. Podczas odparafinowania w półfabrykacie zachodzą różne zjawiska. Odparafinowanie może być częściowe i całkowite. Po uformowaniu i odparafinowaniu wyrobu należy poddać go wypalowi. Wypalanie jest jednym z ważniejszych procesów w technologii wytwarzania tworzyw ceramicznych.

W dalszej części niniejszej pracy omówiony jest konkretny przykład formowania pod ciśnieniem tworzywa Al - 90.

Przygotowanie tworzywa do formowania termoplastycznego.

Podstawowymi materiałami do technologii formowania termoplastycznego pod ciśnieniem są: proszek ceramiczny i spoiwo technologiczne. Materiały te wymagają jednak odpowiedniego przygotowania. Istnieją dwie metody przygotowania masy do odlewania pod ciśnieniem wyrobów wysokoglinowych.

Metoda I - polega na wstępnym, silnym rozdrobieniu proszku technologicznego do uziarnienia, które zapewnia dobre właściwości wyrobów po wypaleniu. Następnie poddaje się proszek obrób-

ce termicznej, w wyniku czego otrzymuje się częściowe lub pełne spiekanie zestawu. Spiekanie to może być prowadzone w różny sposób:

- spiekanie masy w luźno nasypanych kapslach,
- spiekanie masy w formie pręcików /makaron/ o średnicy około 1 mm,
- spiekanie masy w formie brykietów.

Tak przygotowany zestaw kruszy się i ponownie miele. Ten sposób przygotowania ma na celu ograniczenie powierzchni właściwej proszku przeznaczonego do sporządzania masy odlewniczej. Jeśli zestaw zawiera w swoim składzie substancje rozkładające się w podwyższonych temperaturach /gliny talk/, wstępna obróbka termiczna zapewnia wzrost gęstości zestawu, a co za tym idzie obniżenie skurczliwości wypalania wyrobów.

Rozdrabnianie spieczonej masy możemy przeprowadzić różnymi sposobami mielenia:

- przemiał na mokro /w środowisku wodnym/
- przemiał na sucho /w środowisku powietrznym/
- przemiał na sucho /w środowisku powietrza z dodatkiem substancji powierzchniowo aktywnych/
- przemiał na gorąco /w rozdrobnionym lepiszczu z z substancjami powierzchniowo aktywnymi/

Sposoby te stwarzają różne warunki dla absorpcji spoiwa technologicznego na powierzchni cząstek proszku.

Dobrym i szeroko stosowanym sposobem jest suchy przemiał w środowisku powietrznym, z dodatkiem substancji powierzchniowo aktywnych.

Przy mieleniu proszków tymi sposobami do utworzenia z nich gęstwu potrzebna jest najmniejsza ilość spoiwa technologicznego.

Metoda II - polega na bezpośrednim zestawieniu masy lejnjej z tworzywem.

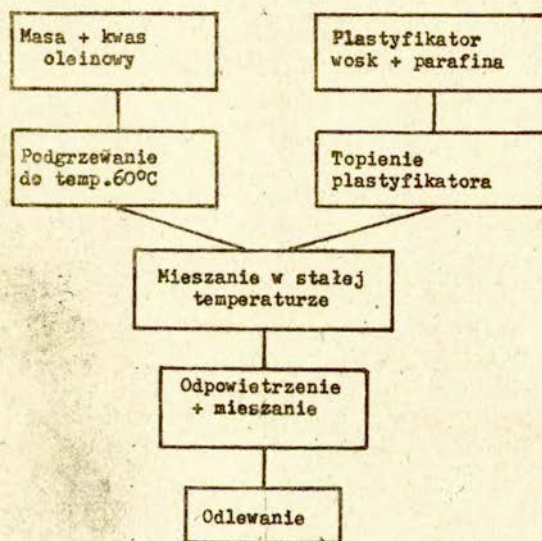
Rozwiązanie tego zagadnienia pozwala ominąć kosztowny proces technologiczny, jakim jest wstępna obróbka termiczna, jego ponowne kruszenie i mielenie. Problem tkwi jednak w doborze takiego stopnia rozdrobnienia zestawu, który z jednej strony zapewniłby właściwe spiekanie wyrobów, z drugiej zaś strony uzia-

nienie masy powinno być dostatecznie grube, aby nie wystąpiły nadmierne trudności w procesie odparafinowywania oraz aby nie było konieczne wprowadzenie do masy zbyt dużej ilości plastyfikatora.

Przygotowanie masy lejnej.

Proces przygotowania masy lejnej polega na zmieszaniu proszku technologicznego z plastyfikatorem w odpowiednio podwyższonej temperaturze /dla gęstwy z parafiną 70° - 100°C/.

Proces ten pokazano na schemacie rys. 9.



Rys. 9. Schemat przygotowania masy lejnej.

Ze względów technologicznych korzystne jest uzyskanie wyrobów o możliwie najmniejszej skurczliwości, czyli wykonywanych z masy o największej zawartości proszku technologicznego, a najmniejszej plastyfikatora.

Wobec powyższego dąży się do stosowania mas o najbardziej ścisłym ułożeniu ziarn i najmniejszej zawartości plastyfikatora. Pierwsze uzyskujemy przez odpowiedni dobór uziarnienia, drugie

przez właściwy dobór lepiszcza, powierzchniowo aktywnych substancji oraz przez dobór optymalnej metody formowania.

Właściwości mas lejnych.

Gęstwą lejną stosowaną do odlewania na gorąco pod ciśnieniem nazywamy układ dyspersyjny składający się z proszku /faza dyspersyjna/ i termoplastycznego lepiszcza technologicznego /ośrodka dyspergującego/. Taki układ odznacza się własnością płynięcia przy podwyższonej temperaturze i twardnienia przy ochładzaniu. Gęstwa lejna tworzy się w rezultacie adsorpcji na powierzchni cząstek proszku molekuł plastyfikatora. Cząstki lepiszcza tworzą na powierzchni cząstek proszku cienkie warstwy adsorpcyjne oddzielające cząstki jedną od drugiej i zabezpieczające ich wzajemną przesuwalność w rezultacie zmniejszenia tarcia wewnętrznego.

Lepkość i temperatura twardnienia gęstwy leejnej w bardzo dużym stopniu zależą i są zbliżone do własności plastyfikatora, lecz w pełni się z nimi nie zgadzają ponieważ w adsorpcyjnej otocze własności plastyfikatora zmniejszają się. Zasadniczy wpływ na własności układu lejnego ma również materiał odlewany i ilościowe zależności między materiałem odlewany a plastyfikatorem tworzącym fazę dyspergującą.

Podstawową cechą układu lejnego, która określa jej przydatność do odlewania jest maksymalny stopień wypełnienia objętości układu, cząstkami proszku tzw. współczynnik upakowania K_{up} przy zachowaniu dostatecznej ciekłości zabezpieczającej możliwości odlewania różnych wyrobów.

$$K_{up} = \frac{V_w}{V_p} \quad (5)$$

gdzie; V_w - objętość wyrobu

V_p - objętość cząstek proszku znajdującego się
w wyrobie

Współczynnik upakowania K_{up} zależy od grubości warstwy lepiszcza.

Formowanie.

Formowanie przez odlewanie pod ciśnieniem zachodzi drogą zapełnienia formy metalowej gęstwą lejną i wytrzymaniem jej pod ciśnieniem w czasie niezbędnym do stwardnienia leiwa w formie. Zapełnienie formy gęstwą lejną przeprowadza się za pomocą specjalnych urządzeń odlewniczych, przy określonej temperaturze formy i leiwa oraz przy odpowiednim ciśnieniu.

Ciśnienie działające na masę lejną rozkłada się równomiernie w objętości zbiornika ciśnieniowego nad leiwem termoplastycznym. Zapełnienie formy zachodzi w rezultacie wypływu gęstwy lejnej z rury syfonowej urządzenia odlewniczego do otworu wlewowego formy. Ponieważ robocze ciśnienie zmienia się w miarę wchodzenia powietrza do komory urządzenia odlewniczego zmienia się też proporcjonalnie do tej zmiany szybkość wypływu leiwa.

Szybkość wypływu leiwa w początkowym momencie procesu odlewania równa się "0". Następnie do komory roboczej powietrze sprężone zaczyna wywierać zwiększone ciśnienie na leiwo i w ciągu czasu "t" ciśnienie w komorze osiąga wartość PK.

Istotny wpływ na proces zapełnienia formy ma temperatura masy lejnej, ponieważ w zależności od niej zmienia się lepkość i zdolność odlewnicza. Zmiana tych parametrów powoduje zmianę szybkości wtrysku i zapełnienia formy. Zmiana temperatury przy stałych innych warunkach, powoduje zmianę szybkości twardnienia leiwa, w następstwie czego zmienia się struktura odlewu.

Podwyższenie temperatury masy powoduje lepsze zlewanie się jej strug, co stwarza możliwość zamykania w odlewie pęcherzyków powietrza.

Obok temperatury duży wpływ na mechanizm zapełnienia formy ma ciśnienie. W zależności od wielkości ciśnienia /przy założeniu stałych innych warunków/ zmienia się szybkość zapełnienia i wpływu. Przy niskim ciśnieniu zapełnienie formy zachodzi z dołu do góry, a przy wzroście ciśnienia istnieje możliwość zapełnienia z góry w dół. Napełnienie z góry w dół uważamy za niekorzystne ponieważ mogą powstawać rozwarstwienia w formie.

Temperatura formy wpływa na czas twardnienia masy lejnej

ponieważ w czasie przemieszczania się do wnętrza, gęstwa lejna ochładza się o jej ścianki. Chłodzenie gęstwy lejnej prowadzi do zwiększenia jej lepkości a tym samym do zmniejszenia szybkości zapełnienia formy.

W przeciwieństwie do tego niższa temperatura formy sprzyja szybkiemu odprowadzeniu ciepła od odlewanej kształtki, co ze swej strony korzystnie wpływa na wydajność procesu odlewania kształtek. Przy stałych pozostałych zmiana temperatury formy od 0 - 20°C powoduje zmianę mechanizmu i szybkości zapełnienia formy.

Ogólnie z obniżeniem temperatury formy rośnie jakość półfabrykatu /mniej pustek wewnątrz/, jednak spadek temperatury nie może przekroczyć pewnej granicy, poniżej której w wyrobach o złożonej konfiguracji daje się zauważyć miejscami brak masy /niedolew/.

Na warunki odlewania i jakość odlewu wpływają oprócz wymienionych czynników wymiary i ilości otworów wlewnych oraz rozmieszczenie kanałów powietrznych w formach o bardziej skomplikowanych kształtach. Średnica otworu wlewowego przy stałej objętościowej szybkości zapełnienia określa szybkość wtrysku masy do formy.

Przy zmniejszonym przekroju otworu wlewowego zmniejsza się szybkość zapełnienia z powodu strat hydraulicznych w otworze. Położenie kanałów powietrznych i ich rozmiary określają właściwe napełnienie formy. Znajdujące się przed zalaniem we wnętrzu formy powietrze powinno mieć swobodne wyjście w ciągu całego procesu zapełnienia formy.

Przy zupełnym braku kanałów dla wyjścia powietrza gęstwa lejna zapełniając formę spręża powietrze znajdujące się w niej, aż do czasu gdy ciśnienie sprężonego powietrza we wnętrzu formy nie zrówna się z ciśnieniem sprężonego powietrza wpływającego do urządzenia odlewniczego. W takim przypadku ruch lejiwa do formy ustaje i forma zostaje napełniona.

Proces ochładzania lejiwa w formie zaczyna się od momentu jego wpływu do otworu wlewowego i trwa do momentu wyjścia odlewu z formy. Chłodzenie następuje wewnętrznymi powierzchniami formy, które posiadają 30 - 50°C temperaturę niższą niż gęstwa lejna.

Obniżeniu temperatury gęstwy towarzyszą zmiany objętości w stanie ciekłym. Po pełnym napełnieniu formy ochłodzenie ciekłego lewa ściankami formy następuje do czasu aż w warstwach gęstwy przylegających do ścianek formy temperatura obniży się do temperatury twardnienia. Na powierzchni styku między gęstwą a formą powstaje twarda warstwa, pod którą lewo pozostaje w dalszym ciągu w stanie płynnym.

W miarę wzrostu grubości twardej warstwy zwiększa się mechaniczna wytrzymałość kształtki, której towarzyszy zewnętrzna skurczliwość. Skurczliwość odlewu jest tym większa, im mniejsze jest ciśnienie oraz im mniejsza jest różnica temperatur lewa i formy. Skurczliwość odlewu korzystnie wpływa na proces wyciągania półfabrykatu z formy. Im większa jest skurczliwość, tym łatwiej odlew odchodzi od formy. Powstaje powietrzna szczelina między odlewem a ścianką formy, dzięki czemu ilość uszkodzonych wyrobów przy wyjmowaniu zmniejsza się.

Wpływ parametrów fizycznych na proces formowania.

Wielkość ciśnienia przy odlewaniu wpływa na szybkość ruchu gęstwy w przewodzie doprowadzającym i w formie, czas zapełnienia formy i charakter struktury odlewu.

Wielkość ciśnienia przy odlewaniu zależy od lepkości i zdolności odlewniczych roztopionego półfabrykatu. Przy gęstwach o małej lepkości duże ciśnienie prowadzi do dużej szybkości wtrysku co prowadzi do defektu tworzenia się struktury. Duże ciśnienie stosuje się tylko do odlewania bardzo lepkich gęstw lub wyrobów o cienkich ściankach. Podwyższenie ciśnienia po odlaniu przy wytrzymaniu w czasie twardnienia powoduje zwiększenie gęstości struktury i zmniejszenie porowatości.

Po przyłożeniu ciśnienia do płynnej gęstwy w czasie twardnienia odlewu plastyczna struktura zastygającego półfabrykatu płynie, zachodzi przemieszczenie i zagęszczenie półfabrykatu. W rezultacie zapełniają się pory powstałe w czasie krystalizacji plastyfikatora i odlew uzyskuje większą gęstość.

Wpływ temperatury gęstwy.

Temperatura gęstwy do odlewania określa w znacznej mierze jej odlewnicze własności:

- lepkość
- zdolność do rozwarstwień
- charakter przemieszczeń w kanale wtryskowym i w formie
- czas twardnienia
- jakość gotowych wyrobów
- inne

Podwyższenie temperatury zwiększa objętościowy ciężar i współczynnik zagęszczenia a zmniejsza wewnętrzną porowatość.

Zwiększenie gęstości odlewu ze wzrostem temperatury gęstwy uwarunkuje się różnym charakterem twardnienia odlewów z gorącej i chłodnej gęstwy. Przy dużym przedziale temperatury warstwa gęstwy przylegająca do formy szybko twardnieje tworząc cienką otoczkę. Dopóki temperatura otoczki jest bliska temperatury topienia plastyfikatora, struktura tej otoczki jest bardzo plastyczna.

Przy małym przedziale temperatury gęstwy i formy, rozwarstwienie w czasie chłodzenia jest mniejsze. Kiedy przedział bliski jest "0" a temperatura gęstwy bliska temperatury twardnienia, zachodzi prawie jednocześnie twardnienie całego odlewu. Przy temperaturze 60 - 70°C twardniejące warstwy deformują się trudniej niż przy gorętszej gęstwie. Znaczna część przyłożonego do gęstwy ciśnienia idzie na pokonanie tarcia wewnątrz gęstwy i o ścianki co spowodowane jest dużą lepkością. Odwrotnie, gorąca gęstwa ma wpływ plastyfikujący i rozgęszczający na sąsiednie twardniejące warstwy. W końcowym momencie twardnienia wyrobu, gorąca gęstwa podawana przez wysokie ciśnienie zapełnia centralny kanał odlewu tworzony przez skurcz i migrację plastyfikatorów. Jeśli nie ma podawanej gęstwy w centrum wyrobu tworzą się pustki lub mało zagęszczona warstwa. Zbyt chłodna gęstwa słabo płynie i nie może dobrze zapełnić centrum odlewu. Najbardziej odpowiednia temperatura wynosi 80 - 100°C

Wpływ temperatury formy.

Temperaturę formy wybiera się w zależności od konfiguracji odlewu. Przy pełnych detalach prostej konfiguracji do podwyższenia gęstości struktury, szybkości chłodzenia i twardnienia konieczna jest niska temperatura formy /do 10°C/. Wyższa temperatura /15 - 25°C/ konieczna do odlawania cienkościennych i złożonych wyrobów. W zimnych formach może nastąpić przedwczesne stwardnienie i gęstwa nie dojdzie do niektórych części formy.

Przy podwyższonej temperaturze formy gęstość struktury zmniejsza się i zwiększa się porowatość. Zmniejszenie objętościowego ciężaru, co za tym idzie współczynnika zagęszczania wyrobów odlanych przy podwyższonej temperaturze formy można wyjaśnić tym, że, w bardziej ciepłej formie gęstwa zastyga wolniej i w grubszej warstwie, a co za tym idzie plastyczne zagęszczenie twardej struktury odlewu jest utrudnione. W wyrobach odlanych przy dużej różnicy temperatury gęstwy i formy zawartość plastyfikatora w centrum wynosi około 9% mniej niż na zewnątrz, tymczasem w wyrobach odlanych przy małej różnicy temperatur wahania w zawartości plastyfikatora dochodzą do 15%, jednocześnie zmniejsza się zagęszczenie współczynnika upakowania odlanych wyrobów, a także elektryczna i mechaniczna wytrzymałość odlewów.

Odprowadzenie substancji organicznej.

Przy wszystkich wyrobach formowanych metodą termoplastyczną zachodzi konieczność usunięcia plastyfikatora po ich uformowaniu.

Parafina już w stosunkowo niskiej temperaturze /ok. 50-60°C/ topi się, to może doprowadzić do deformacji i zapłynięcia półfabrykatu pod wpływem własnego ciężaru. Przy szybkim podwyższeniu temperatury do około 130°C parafina przechodzi w stan gazowy, powstałe gazy mogą osiągnąć w wyższych temperaturach taką prędkość, która spowoduje powstawanie na powierzchni, wyrobu wzdęć, pęcherzy, a nawet przy zbyt intensywnym wrzeniu parafiny w wyższych temperaturach kształtki mogą ulec całkowi-

temu zniszczeniu mechanicznemu. Podstawowym zadaniem procesu usuwania plastyfikatora jest przygotowanie półfabrykatów do wypalania, drogą zmniejszenia ilości lub całkowitego usunięcia z nich parafiny. Przy całkowitym odparafinowaniu proces prowadzi się do temperatury początku spiekania cząstek masy w półfabrykacie. Przy tym parafina całkowicie wypala się.

Przy częściowym usuwaniu parafiny z półfabrykatu proces kończy się w stosunkowo niskich temperaturach około 190°C i wtedy półfabrykat zawiera pewną ilość parafiny. Według uczonych, ilość parafiny, która nie powoduje uszkodzenia półfabrykatu w procesie wypału może wynosić 30 - 40% tej ilości jaką półfabrykat zawierał przed odparafinowaniem. Ta ilość parafiny zabezpiecza w dostatecznym stopniu mechaniczną wytrzymałość półfabrykatu i nie powoduje jego deformacji w procesie wypalania. Wybór metody odparafinowania półfabrykatów zależy w głównej mierze od ich kształtów i wymiarów.

Częściowe odparafinowanie jest bardzo efektywne przy produkcji wyrobów grubościennych i o dużych gabarytach. Przy produkcji wyrobów cienkościennych o złożonych kształtach, bardziej celowe jest stosowanie metody całkowitego odparafinowania, gdyż metoda ta pozwala na otrzymanie półfabrykatów o wyższej wytrzymałości mechanicznej po odparafinowaniu.

Zjawiska zachodzące w półfabrykacie w czasie ogrzewania przedstawiają się następująco:

- wzrost objętości półfabrykatu w stanie stałym przy ogrzewaniu go od temperatury otoczenia do temperatury topnienia plastyfikatora,
- przejście plastyfikatora ze stanu stałego w stan płynny, któremu towarzyszy wzrost objętości i początek migracji plastyfikatora w stanie płynnym na zewnątrz półfabrykatu.
- wzrost objętości plastyfikatora w stanie płynnym i dalsza jego migracja na zewnątrz półfabrykatu przy podnoszeniu temperatury do temperatury wrzenia, jest to tzw. etap pocenia się wyrobów,
- przejście plastyfikatora ze stanu płynnego w stan gazowy, któremu towarzyszy duży wzrost objętości,
- początek spiekania półfabrykatu w punktach kontaktu między

ziarnami składników masy.

Spośród wymienionych zjawisk na szczególną uwagę zasługują zmiany objętości plastyfikatora przy przechodzeniu ze stanu stałego w stan płynny i ze stanu płynnego w stan gazowy. Zmiany te decydują o kształcie krzywej termicznej usuwania plastyfikatora organicznego.

Deformacja półfabrykatów przy ogrzaniu zaczyna się zazwyczaj w temperaturze 60 - 120°C tj. w temperaturach niższych niż temperatura wrzenia plastyfikatora. Dlatego w pierwszym stadium należy odprowadzić plastyfikator w stanie płynnym. W celu odciążenia plastyfikatora w stanie płynnym stosuje się adsorbaty - proszki mineralne, w których umieszcza się półfabrykaty. Migracja płynnego plastyfikatora do adsorbentu prowadzi do zmniejszenia jego ilości w półfabrykacie, co daje możliwość dalszego podwyższania temperatury. Przy podnoszeniu temperatury z dowolnie dużą prędkością w objętości półfabrykatów, w skutek ograniczonego przewodnictwa cieplnego masy, ma miejsce duża różnica temperatur. Na powierzchni wyrobu jest np. temperatura równa temperaturze wrzenia, a w środku wyrobu temperatura wynosi zaledwie 25 - 30°C. W przypadku tworzyw o niskiej temperaturze spiekania w powierzchniowej warstwie w pierwszej kolejności zakończy się migracja i wykipienie plastyfikatora, co doprowadzi do utworzenia cienkiej, twardej skorupki. W tym czasie w wewnętrznych warstwach zaczynają przebiegać tylko pierwsze etapy rozgrzewania, związane z odpowiednim wzrostem objętości plastyfikatora. Rozszerzające się wewnętrzne warstwy plastyfikatora napotykają na opór zewnętrznej skorupki i uszkadzają ją.

Widać z tego, że zbyt szybkie nagrzewanie półfabrykatów jest niedopuszczalne. Podgrzewanie powinno przebiegać według takiego reżimu, który pozwala na możliwie jednoczesny przebieg tych samych zjawisk w całej objętości półfabrykatu.

W przypadku tworzyw wysokoglinowych nie zachodzi niebezpieczeństwo wytworzenia się twardej skorupki na powierzchni wyrobów, ponieważ temperatura początku spiekania tworzyw wysokoglinowych wynosi około 1000°C, czyli od temperatury, w której praktycznie kończy się proces odparafinowania.

Wypalanie wyrobów.

Jednym z ważniejszych procesów w technologii wytwarzania tworzyw ceramicznych jest ich obróbka cieplna. Spiekanie jest zjawiskiem, dzięki któremu zbiór stykających się ze sobą drobnych ziarn wiąże się wzajemnie pod wpływem podgrzewania do odpowiedniej temperatury, niższej od potrzebnej dla tego zbioru ziarn. Wiązaniu ziarn towarzyszy skurczliwość całego układu ziarn i przejście sypkiego lub słabo związanego proszku w lity, mechanicznie wytrzymały polikryształ.

W końcowych stadiach zagęszczania obserwuje się zjawisko wzrostu wymiarów ziarn, w toku którego niektóre ziarna rozrastają się kosztem innych. Ten ostatni proces nie jest jednak nieodłącznym następstwem zjawisk spiekania właściwego. W toku spiekania zmniejsza się rozwinięcie powierzchni, a z nim i nadmiarowa energia związana z powierzchnią, która w przypadku proszku złożonego z drobnych ziarn jest silnie rozwinięta. Spiekanie jest zatem zjawiskiem zachodzącym samorzutnie wraz z podniesieniem temperatury, a także zjawiskiem nieodwracalnym, którego kierunek ustalony jest przez spadek energii swobodnej, towarzyszący zmniejszeniu się rozwinięcia powierzchni swobodnych układu.

W czasie spiekania można wyróżnić dwa zasadnicze makroskopowe przejawy spiekania, a mianowicie:

- wstępne stadium, w którym wzrasta adhezja sypkich początkowo ziarn i następuje zmniejszenie udziału porów drogą procesów przegrupowania ziarn w proszku z przyjęciem przez nie bardziej gęstego ułożenia,
- stadium, w toku którego obserwuje się pełną eliminację porów drogą zbliżania się środków ziarn i zwiększenie powierzchni kontaktów międzyziarnowych wskutek przeniesienia masy z miejsc styku ziarn do porów.

Według niektórych uczonych zjawisko spiekania czystego korundu zachodzi drogą jego rekrystalizacji, która przebiega bardzo szybko z tego powodu, że prężność przy bardzo drobnych cząsteczkach Al_2O_3 jest znacznie większa niż cząstek dużych. Rekrystalizacja również zachodzi na granicach fazy stałej i

ciekłej./Drobne ziarna mają dużą powierzchnię swobodną i duży iloczyn rozpuszczalności/. Przyczyną procesu rekrytalizacji jest dążenie ziarna do zmniejszenia energii swobodnej co następuje dzięki mocno rozwiniętej w wysokich temperaturach dyfuzji powierzchniowej i objętościowej.

Hamulcem procesu rozrostu ziarna są obce wtrącenia oraz pory. Rozrastające się ziarno, które natrafia na por rozszerza swoje granice przez co zwiększa swą powierzchnię, a w konsekwencji energię swobodną. Jeśli średnica pora przekracza 1/10 wielkości ziarna wtedy rozrost ziarna zostaje zahamowany. Można powiedzieć, że od warunków /temperatury, czasu, atmosfery/ w jakich zachodzą te zjawiska w dużym stopniu zależą właściwości gotowego wyrobu, a dobór tych warunków w przypadku obróbki cieplnej jest niezwykle ważny.

4.2. Schemat technologii wytwarzania omawianych kształtek ceramicznych metodą wtryskową.

Trzeba podkreślić, że wybór metody wtryskowego formowania płytek przy zastosowaniu produkcyjnych metod przygotowania mas wtryskowych oraz półautomatycznych urządzeń do odlewania zapewnia wystarczającą wydajność, dokładność wykonania i trwałość narzędzi formujących. Jako tworzywo możliwe jest wykorzystanie typowych znanych w przemyśle elektronicznym mas korundowych o zawartości $Al_2O_3 > 94\%$.

Schemat technologiczny /blokowy/ wykonania płytek metodą wtryskiwania pokazano na rys.rys. 10 - 15.

4.2.1. Opis schematu blokowego wykonania płytek, wytypowane urządzenia oraz wstępne dane techniczne.

1.1. Kontrola dostaw obejmuje badanie każdej partii tlenku glinu i uziarnienia, zawartość związków barwiących zawartość fazy OC . Kontrola pozostałych składników na zgodność z zamówieniem co do czystości.

1.2. Waga przemysłowa uchylna do 100 kg do odważania Al_2O_3 . Waga sklepowa uchylna do 10 kg do odważa-

nia pozostałych składników masy.

Waga techniczna z kompletem odważników do 0,5 kg do odważania pozostałych składników masy.

- 1.3. Młyn wibracyjny o pojemności roboczej na 50 kg masy z wykładziną gumową z mielnikami w postaci cylpepsów korundowych np. f-my Boulton typ AH-15. Mielenie masy przy stosunku mielniki : woda : surowiec 15 : 0,5 : 1. Czas mielenia 6 - 12 godzin. Kontrola obejmuje oznaczenie składu granulometrycznego na wadze sedymentacyjnej np. f-my Sartorius. Mielenie masy powinno być prowadzone do uzyskania poziomu uziarnienia 60% ziaren 2 μ m i brak ziaren powyżej 6 μ m. Lepkość masy w trakcie mielenia ustalać można doświadczalnie przez pomiar lejności w kubku Forda /powinno umożliwić utrzymywanie gęstwy na powierzchni mielników/.
- 1.4. Suszarka przemysłowa grzana oporowo z wymuszoną cyrkulacją powietrza np. typ SEL - 11. Masa powinna być suszona w kuwetach blaszanych.
- 1.5. Granulator obrotowy z sitem o boku oczka 2,5 mm np. węgierski granulator Chemokomplex.
- 1.6. Piec komorowy PEK - 300, KO - 10 lub tunelowy mufkowy grzany oporowo. Masa zasypywana w kapsle z materiału AK - 75, AK - 90 lub podobnego, nie wprowadzającego zanieczyszczeń do masy. Temperatura dehydratacji dobrana doświadczalnie do typu tworzywa 900 - 1100°C.
- 1.7. Worki foliowe oraz hoboki winidurowe zakręcane. W zasadzie masę bezpośrednio po dehydratacji powinno się wykorzystać do zarabiania z kwasem oleinowym.
- 2.1. Młyn kulowy o pojemności roboczej 100 - 200 l. np. produkcji Chodzieskich Zakładów Maszyn Cera-

micznych typ M - 1 z kulami korundowymi.

Przed załadowaniem młyna należy dokładnie suszyć jego wnętrze dmuchawą elektryczną. Czas mieszania z kwasem oleinowym 4 do 6 godzin. Ilość kwasu oleinowego 8 - 12 ml/kg suchej masy. Kontrola rozbicia aglomeratów przez oznaczenie rozwinięcia powierzchni metodą Blaine'a w granicach 0,8 - 1 m²/g oraz doraźnie przez roztarcie masy w palcach.

2.2. Analogicznie do p. 1.7.

2.3. Odważanie składników spoiwa parafina : wosk 12 : 1.

2.4. Konwertyer prod. ZSRR typ 2039, korzystnie więkzezy, np. produkcji Zakładów Budowy Urządzeń Technologicznych w Zielonej Górze. W konwertorze następuje stopienie składników spoiwa i wymieszanie z masą z rozproszonych kwasem oleinowym w temp. 60°C przy obrotach 60 obr/min. przy podciśnieniu 0,08 do 0,2 MPa. Kontrola lejności masy przeprowadzona może być w formie próbnej w postaci spirali lub klina. Pomiar długości spirali lub klina pozwala określić doświadczalnie przydatność masy do formowania. Można również kontrolować lepkość masy wtryskowej przy użyciu wiskozymetru typu REOTEST /2000 - 4000P/ w temp. 60°C ale w warunkach produkcyjnych metoda próbnego wtryskiwania jest wystarczająca.

3.0. Półautomat formierski prod. ZSRR typ 2103, korzystnie większy, typ 6020. Forma jedno lub dwugniazdowa chłodzona obiegiem wodnym. Kontrolować jakość odlewów sprawdzając przełom, jakość powierzchni i występowanie niedolewów masy.

4.1. Piec tunelowy do odparafinowania lub komorowy z instalacją odciągową. Płytki umieszczone w kapslach z tworzywa AK - 75; AK - 90 w zasypce z gruboziarnistego tlenku glinu o wielkości ziarna 40 - 60 μm.

Z uwagi na dużą grubość ścianki wyrobu stosować należy wolny wzrost temperatury w granicach 10 20°C na godzinę do temp. 200°C - 1200°C 50°C na godzinę.

4.2. Dygestorium lub stanowisko z odciąganiem i zainstalowanym sprężonym powietrzem. W trakcie czyszczenia płytek z zasyпки sprawdzać należy czy płytki nie posiadają deformacji i spęczeń.

4.3. Piec gazowy tunelowy o temp. pracy do 1700°C np. f-my Bricesco lub gazowy komorowy odpowiednik PG - 4 lub inny z wysuwaniem trzonem. Płytki należy wypalać ułożone w jednej warstwie na płytach ogniotrwałych z materiału Annacord 92 lub AK - 90 na podsypce z drobnopiękniściego białego elektrokorundu o wielkości ziarna 60 - 120 μm.

Kontrola dopalania przeprowadzona w wodnym 0,5% roztworze fuksyny kwasnej zgodnie z PN-69/E-06307 "Metody badań elektroizolacyjnych materiałów ceramicznych". Sztuki dopalone i nie posiadające mikropęknięć sprawdzić na zgodność wymiarów z rys w/g statystycznej kontroli jakości według PN-73/N-03021. Wymiary nie tolerowane na rys. sprawdzać zgodnie z PN-73/E-06306 "Odchyłki wymiarów i kształtu dla wyrobów z elektroizolacyjnych materiałów ceramicznych dla grupy tworzyw 700 i formowania wtryskowego". Odpowiada to dopuszczalnym odchyłkom wymiarów w klasie średniej.

5.0. Obróbka mechaniczna płytek sprawdza się do szlifowania powierzchni czołowych i polerowania powierzchni roboczej.

5.1. Szlifierka do płaszczyzn ze stołem magnetycznym typ SPC - 20 lub odpowiednik np. prod. chińskiej typ M7120P oferowanej przez Metalexport. Płytki naklejane powierzchniami czołowymi na płytach stalowych rowkowanych, szlifowanych przy pomocy kleju o składzie kalafonia:parafina 9:1. Głębokość szlifowania

wania 0,01 - 0,05 mm przy każdorazowym przesuwie stołu /niższa wartość dla szlifowania wykańczającego/. Szlifowanie przy pomocy tarcz diamentowych o spoiwie metalowym.

Konieczne silne chłodzenie płytek chłodziwem podczas szlifowania. Kontrola wymiarów płytek po szlifowaniu oraz równoległości płaszczyzn.

- 5.2. Mycie płytek w gorącej wodzie z detergentem w płuczce mechanicznej lub przystosowanym do tego celu mieszalniku pralki wirowej wyposażonej w kosz do ułożenia płytek. Płytki posiadające trudno usuwalne ślady zarysowań metalicznych lub grafitowych należy trawić pod dygestorium w wodnym roztworze HCl 1:1.
- 5.3. Polerowanie na polerce półautomatycznej ze stołem obrotowym prod. RFN typ Mikrolap model AL - 1 większej model AL - 2. W automatycznej typ FL 8P umożliwiającej prowadzenie procesu polerowania przy zmianach nastawek nacisku z dwoma środkami polerującymi. Docieranie wstępne przy pomocy ziaren węglika krzemu o nr. ziarna 600 - 1200. Polerowanie "si-zolem" mieszaniną krzemionki koloidalnej w wodoro-tlenku potasu lub koloidalnym tlenku glinu Degussa Aluminium Oxid c o wielkości ziaren $< 0,3 \mu\text{m}$. Przykładowo model polerki Mikrolap AL - 1 o płycie roboczej ϕ 642 mm umożliwia jednorazowe polerowanie ~ 100 płytek. Dla uzyskania powierzchni wysoko błyszczących można zastosować końcowe polerowanie przy pomocy past diamentowych o najdrobniejszym ziarnie na polerce z tarczą obitą skórą lub sukrem. Przy prawidłowo prowadzonym procesie docierania i polerowania dla uzyskania założonych gładkości $R_a = 0,16$ powinno wystarczyć użycie polerek półautomatycznych.
- 5.4. Mycie płytek po polerowaniu w wodnym roztworze detergentu. W przypadku korzystania z past diamentowych mycie płytek pod wyciągiem w benzenie, metylo-

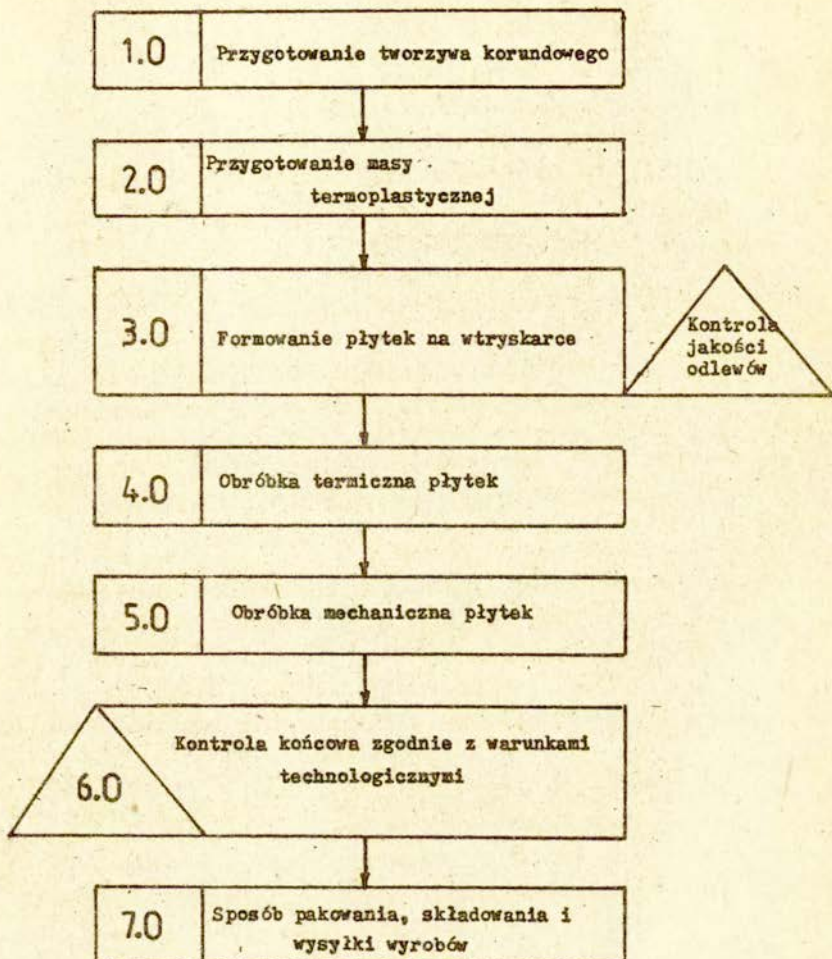
benzenie lub trójchloroetylenie.

6.0. Końcowa kontrola jakości powinna obejmować oprócz statystycznej kontroli wymiarów zgodnie z PN-73/N-03021 badanie chropowatości powierzchni roboczej na profilografometrze np. typ Talysurf prod. Taylor Hobson /Anglia/ lub ME-10 F-my C.Zeiss /NRD/. Korzystne jest wykonanie wzorców gładkości z materiału użytego do wykonania płytek o klasie gładkości od 7 do 9 co odpowiada Ra 0,63 - 0,16 co umożliwiłoby szybką kontrolę wzrokową w trakcie polerowania przez doświadczonego pracownika. Określenie płaskości metodą interferencyjną /przy pomocy płytek interferencyjnych/ z dokładnością do 1 μ m. Oprócz tego kontrola powinna obejmować wady powierzchni i krawędzi płytek na ubytki, nakłucia i wyszczerbienia /do określenia w warunkach technologicznych/.

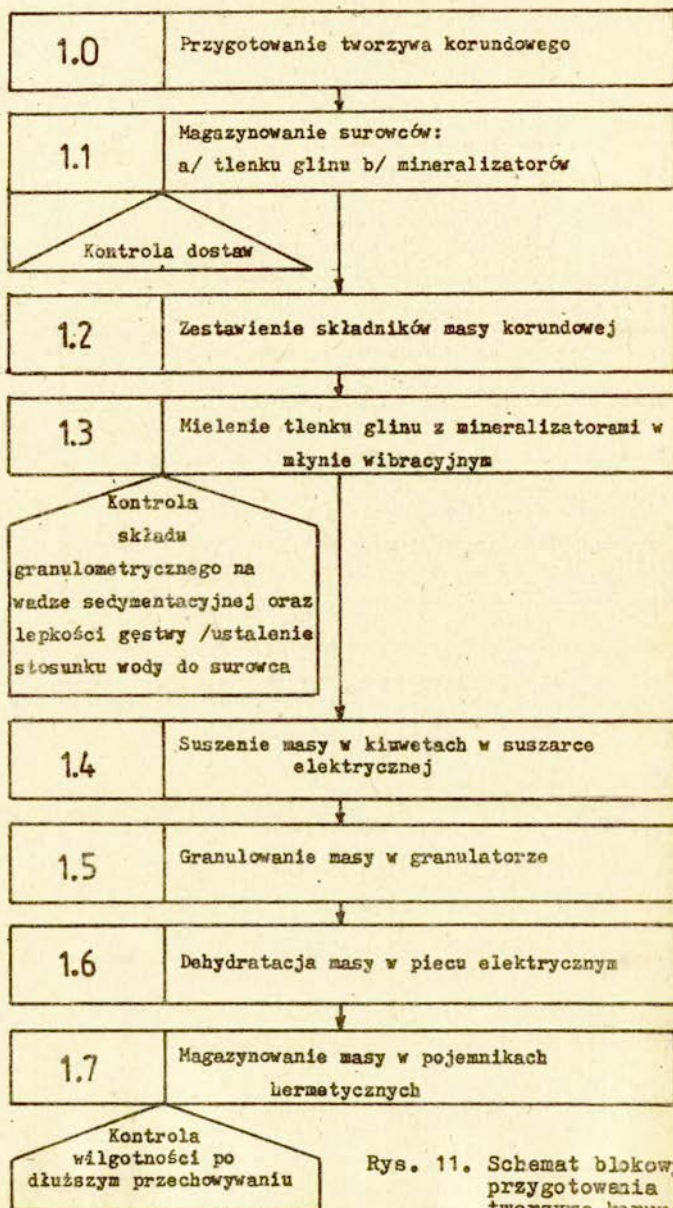
6.2. Przy wielkoseryjnej produkcji celowe jest wykonanie kompletnego zaworu posiadającego zaślepienie otwory wylotowe umożliwiające wyrywkowe sprawdzenie szczelności pomiędzy powierzchniami roboczymi płytek przy doprowadzeniu ciśnienia wody rzędu 0,3 - 0,5MPa.

4.3. Warunki wypalania biskwitowego i wypalania ostrego.

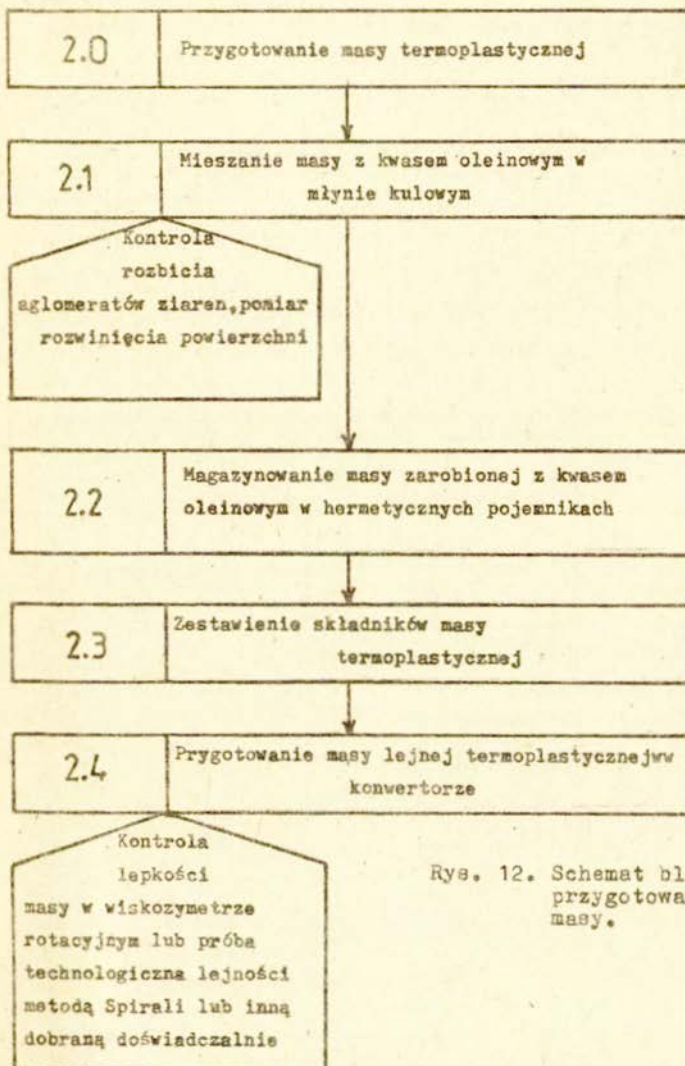
Płytki uformowane metodą wtryskową z tworzywa korundowego o wysokiej zawartości Al_2O_3 zawierają w swoim składzie duże ilości spoiwa termoplastycznego w postaci parafiny i wosku rzędu 12 - 17% wag. Tak duża ilość spoiwa powoduje, że proces jego usuwania musi być przeprowadzony z dużą ostrożnością i jest procesem długotrwałym. Tworzywa korundowe proponowane we wstępnej dehydratacji ~~tworzywa~~ posiadają stosunkowo duże rozwinięcie powierzchni a tym samym dla wysycenia ziaren masy przez spoiwo potrzebne są duże ilości spoiwa. Trzeba przyjąć model, że każdy aglomerat ziaren powinien być otoczony warstewką spoiwa, dopiero wówczas uzyskamy ^{bedzie} efekt płynięcia masy w podwyższonej temperaturze. Temperatura dehydratacji tego typu tworzyw nie



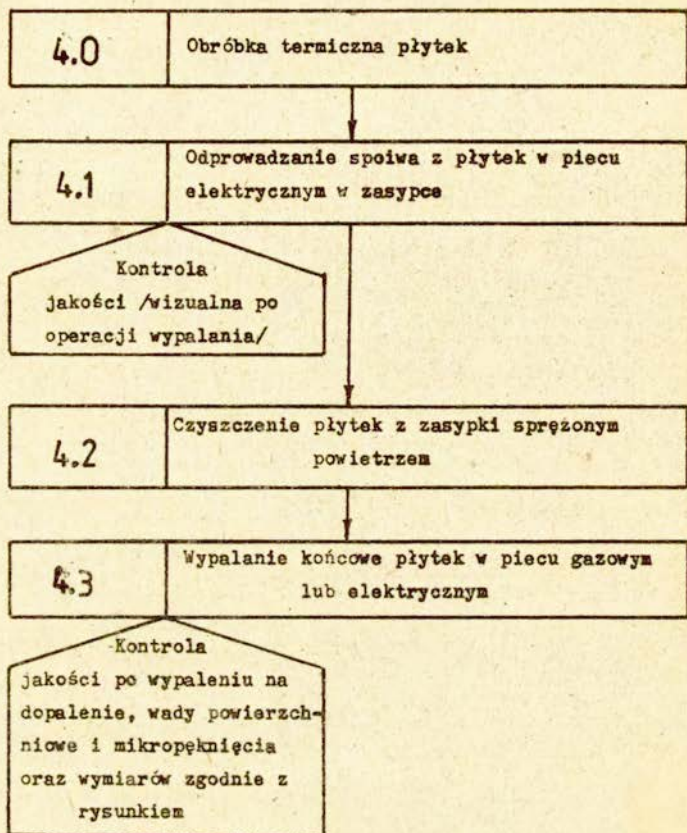
Rys. 10. Schemat blokowy technologii produkcji płytek ceramicznych.



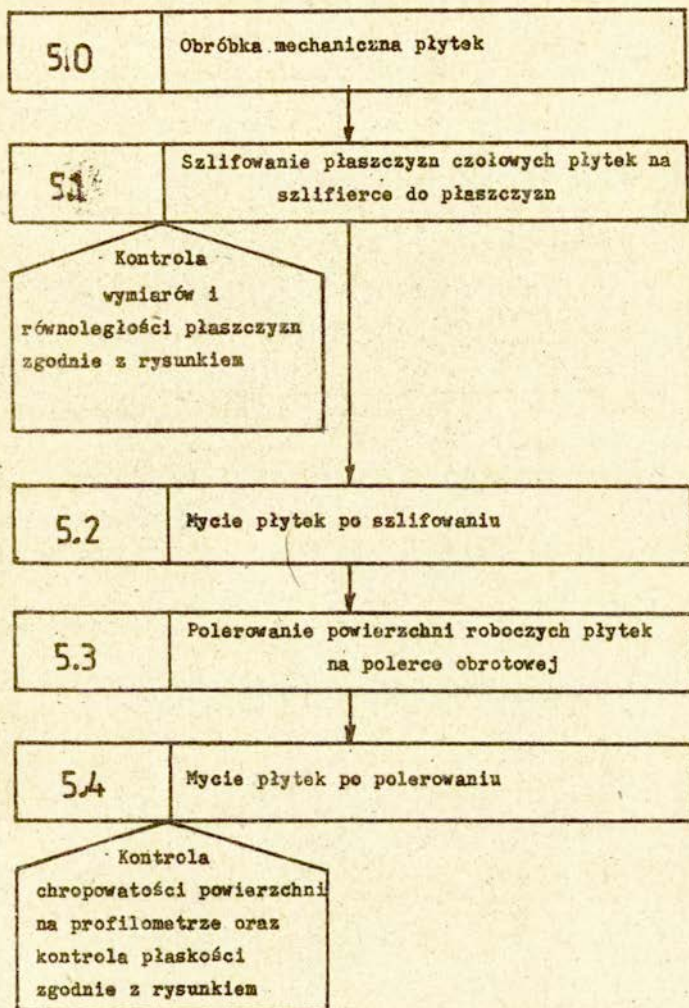
Rys. 11. Schemat blokowy przygotowania tworzywa korundowego.



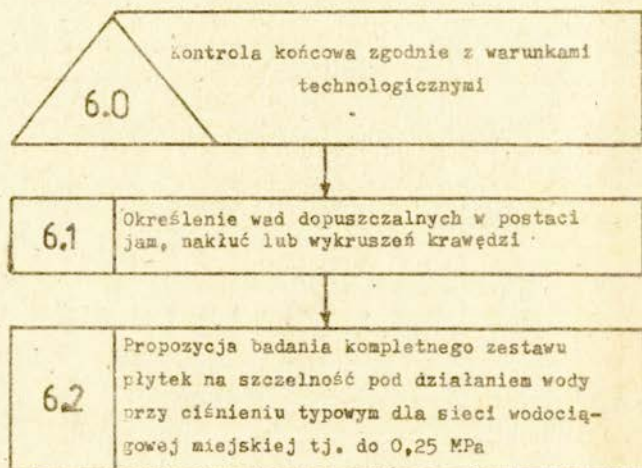
Rys. 12. Schemat blokowy przygotowania masy.



Rys. 13. Schemat blokowy obróbki termicznej płytek.



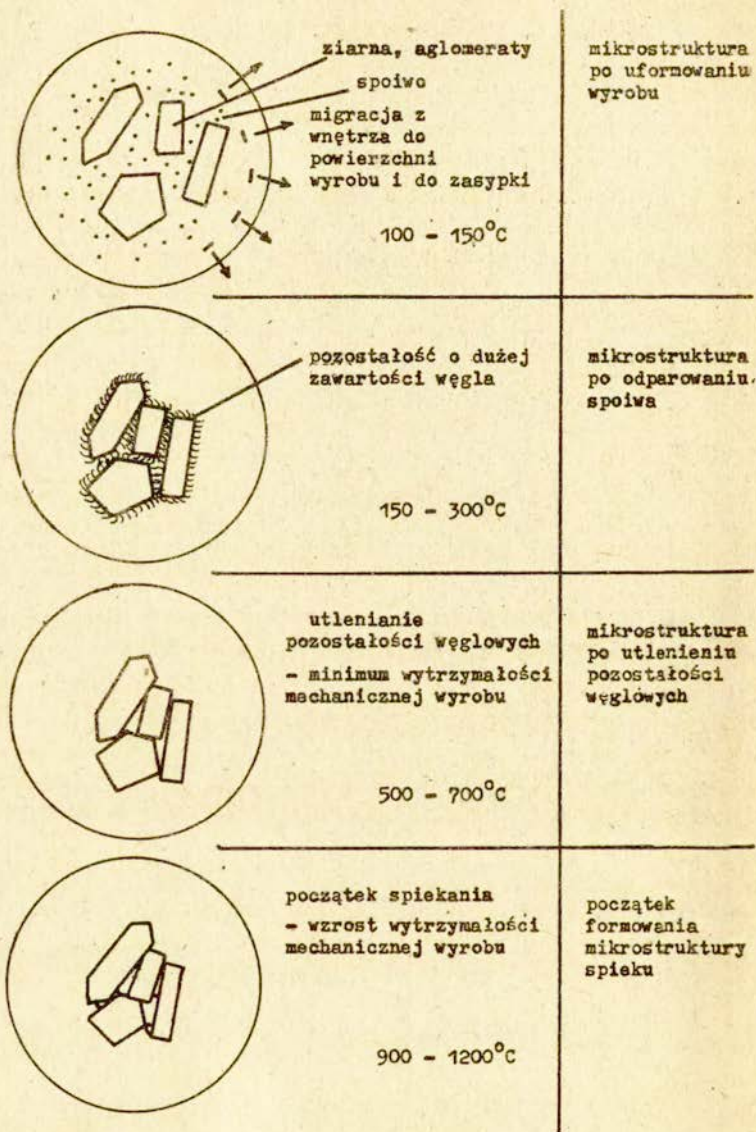
Rys. 14. Schemat blokowy obróbki mechanicznej płytek.



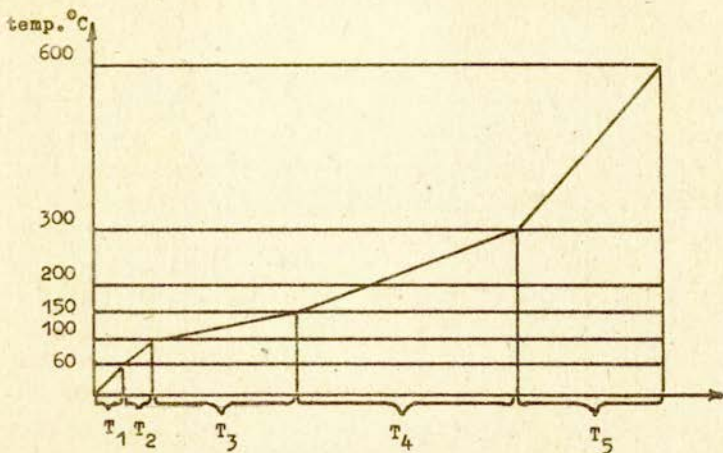
Rys. 15. Schemat blokowy kontroli końcowej wyrobu.

powinna być zbyt wysoka / < 1150°C/ ponieważ proces rozdrabniania byłby bardzo trudny. Dodatkową trudność stwarzają dodatki do masy materiałów ilastych, często o koloidalnych wielkościach ziaren. Usunięcie tak dużych ilości spoiwa z wyrobów w stosunkowo grubej ściance powinno być prowadzone w zasypce np. z gruboziarnistego tlenku glinu o wielkości ziarna od 30 do 60 µm. Podczas odprowadzenia plastyfikatorów następuje proces topienia spoiwa i jego migracji do powierzchni wyrobu. Umieszczanie wyrobów w zasypce zapobiega zjawisku "pocenia się kształtek" na skutek trudności z szybkim odparowaniem dużych ilości spoiwa z powierzchni wyrobu. Zасыпка zapobiega temu zjawisku i powoduje, że procesem limitującym jest proces migracji spoiwa z wnętrza do powierzchni wyrobu, bez utworzenia na powierzchni złuszczeń. W trakcie migracji spoiwa z wnętrza wyrobu do powierzchni i dalej do zasypki, następuje wzrost upakowania aglomeratów ziaren. Wymagane duże ilości spoiwa nie powodują trudności z uzyskaniem docelowej gęstości tworzywa i zwartości tekstury. Prawidłowo prowadzony proces odprowadzania spoiwa termoplastycznego powoduje stopniowe zagęszczanie tekstury już we wstępnych temperaturach procesu wg załączonego ^o schematu na rys. 16. W efekcie gęstość pozorną tworzywa uformowanego metodą wtryskową i metodą prasowania z mas półsuchych będzie porównywalna podobnie jak skurczliwość. Proces odprowadzania spoiwa powinien być prowadzony do temperatury w której następuje wstępne spieczenie czerepu. Częściowe usuwanie spoiwa przy grubościennych detalach jest ryzykowne. Dla tworzyw korundowych proces powinien być zakończony w temperaturze 1100 - 1300°C w zależności od typu zastosowanego tworzywa. Detale powinny być umieszczone w kapslach np. z tworzywa AK-75 lub AK-90, warstwa nad warstwą rozdzieloną zasypką. Piec do odprowadzania spoiwa powinien posiadać osłonę w postaci mufl. Można tu zastosować zarówno piece tunelowe jak i komorowe posiadające sprawną instalację odciągową do odprowadzania par rozkładającego się spoiwa. Pary parafiny mogą ulec samozapłonowi / > temp. 100°C i są bardzo szkodliwe dla zdrowia.

Wzrost temperatury w każdym przypadku powinien być ściśle kontrolowany i powinien mieć postać jak na krzywej rys. 17.



Rys. 16. Schemat zagęszczania tekstury w procesie wypalania.



- $T_1 + T_2$ - czas potrzebny do nagrzania detali w całej objętości i stopienia spoiwa.
- T_3 - czas potrzebny do migracji spoiwa z wnętrza wyrobu do powierzchni i do zasypki.
- T_4 - czas potrzebny do odparowania spoiwa.
- T_5 - czas potrzebny do utlenienia części zwęglonych spoiwa.

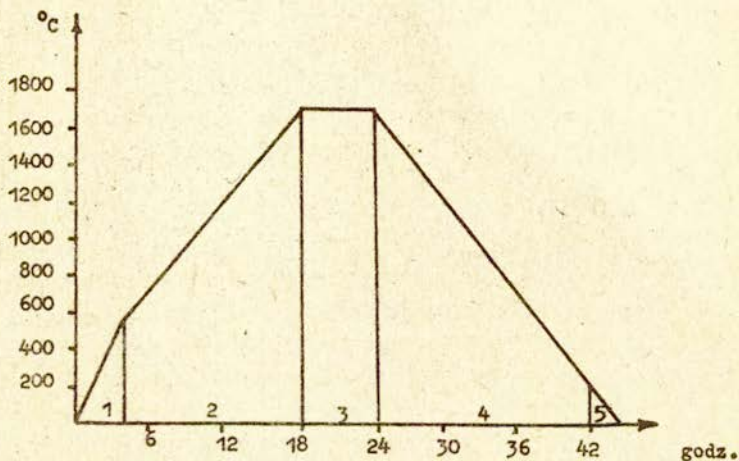
przykładowy proces odparafinowania

do 60°C	T_1 - postęp temp.	30°C/h - 2 godz.
60 - 100°C	T_2 - postęp temp.	20°C/h - 2 godz.
100 - 150°C	T_3 - postęp temp.	5°C/h - 10 godz.
150 - 300°C	T_4 - postęp temp.	10°C/h - 15 godz.
300 - 600°C	T_5 - postęp temp.	30°C/h - 10 godz.

Rys. 17. Przebieg procesu odparowania i utlenienia spoiwa.

Płytki wstępnie wypalone w zasypce do temperatury odpowiedniej początkowi spiekania po oczyszczeniu poddane są wypalaniu końcowemu. Wypalanie końcowe umożliwia zakończenie procesu spiekania uzyskanie wyrobu o zwartej teksturze umożliwiające wykonanie końcowej obróbki mechanicznej. Temperaturę spiekania końcowego dla tworzyw opisanych w poprzednich rozdziałach zawierają się w granicach 1650 - 1700°C. Ponieważ proces wypalania końcowego mimo decydującego znaczenia dla jakości wyrobu nie wymaga utrzymania tak ścisłych parametrów wypalania jak przy odprowadzeniu spoiwa dlatego można tu wykorzystać piece wysokotemperaturowe powszechnie używane w przemyśle ceramicznym, tunelowe gazowe jak np. piec f-my Bricesco o temp. pracy do 1750°C komorowe jak np. piec gazowy typ PG-4, piece z wysuwnym trzonem, piece kołpakowe itp. te ostatnie raczej stosowane do wyrobów o dużych gabarytach. Płytki należy wypalać po umieszczeniu na płytach ogniotrwałych powierzchnią płaską na płycie w jednej warstwie. Przed ułożeniem korzystne jest na płytę ogniotrwałą nasypać w niewielkiej ilości podsypkę z drobnopiękniściego elektrokorundu o wielkości ziarna 60 - 120 µm. Jako płyty ogniotrwałe mogą służyć takie materiały jak Annacord 92 lub AK - 90. Ponieważ płytki mają małe gabaryty postęp temperatury podczas wypalania może być stosunkowo szybki. I tak np. dla pieca tunelowego f-my Bricesco przedstawia się on jak na rys. 13.

Korzystne jest dobranie dla danego typu tworzywa optymalnej temperatury wypalania zapewniającej maksymalną gęstość wyrobu i nie powodującą znacznego rozrostu ziaren co w sposób niekorzystny miało by wpływ na uzyskanie wymaganej gładkości powierzchni. Po wypaleniu wyroby powinny być poddane kontroli jakości polegającej na sprawdzeniu wszystkich płytek na dopalenie oraz drobne wady i mikropęknięcia w 0,5% roztworze fuksyny zgodnie z PN-69/E-06307 "Metody badań elektroizolacyjnych materiałów ceramicznych". Kontrolę sztuk po roztworze fuksyny należy przeprowadzać w 100%. Sztuki dopalone i nie posiadające mikropęknięć należy sprawdzić na zgodność wymiarów z rysunkiem konstrukcyjnym w/g statystycznej kontroli jakości w/g PN-73/N-03021. Wymiary nietolerowane na rysunku należy spraw-



- 1 - strefa podgrzewania,
- 2 - strefa dojścia do palników
- 3 - strefa ogniowa
- 4 - strefa studzenia
- 5 - studzenie po wyjściu za furkę pieca

Rys. 18. Krzywa wypalania dla wyrobów z czystego tlenku glinu o niewielkich wymiarach.

dzić zgodnie z PN-73/E-06306 "Odchyłki wymiarów i kształtu dla wyrobów z elektroizolacyjnych materiałów ceramicznych" dla grupy tworzyw 700 i formowania wtryskowego. Jako dokładność wykonania można przyjąć odchyłki wymiarów w klasie średniej.

4.4. Obróbka wymiarowa i obróbka powierzchni stykowych.

Płytki uformowane metodą wtryskową mimo precyzyjnego odwzorowania formy muszą być poddane procesom obróbki mechanicznej w celu zapewnienia tolerancji wymiarowych i gładkości. Funkcja jaką mają spełniać zmusza do zwrócenia szczególnej uwagi na zapewnienie, w wyniku obróbki mechanicznej, właściwej jakości powierzchni. Formowanie wtryskowe zapewnia stosunkowo dużą dokładność wymiarową, ale płaskość 0,001 jaka została podana przez projektanta na rysunku konstrukcyjnym wymaga dokładnego szlifowania i polerowania powierzchni czołowych płytek. Natomiast samą równoległość obu płaszczyzn czołowych płytek, rzędu 0,08, można utrzymać bez obróbki mechanicznej jako odwzorowanie wyrobu w formie. Duża gładkość powierzchni roboczych płytek wspólna z płaskością powodują, że kompletny zawór powinien pracować jak idealne łożysko ślizgowe w sposób bezawaryjny, nie powodując ścierania i przecieków wody.

Do szlifowania powierzchni roboczych płytek powinna być zastosowana szlifierka do płaszczyzn ze stołem magnetycznym np. SPC-20 lub inny typ jej odpowiednik lecz o większych wymiarach stołu. Z oferowanych maszyn produkcji chińskiej oferowanych przez Metalexport można wymienić szlifierkę typu M 7120P. Z uwagi na bardzo ostre wymagania płaskości przyjęcie obróbki wykańczającej jednostopniowej polegającej tylko na docieraniu i polerowaniu bezpośrednio po wtryskiwaniu i wypalaniu w tym przypadku nie powinno mieć miejsca.

Szlifowanie płytek na szlifierkach odbywa się przy pomocy tarcz z nasypem diamentowym o spoiwie metalowym. Wielkość ziaren diamentu w ściernicy powinna odpowiadać obróbce wykańczającej jak również koncentracja ziarna, powinna być wysoka.

Przygotowanie płytek do szlifowania odbywa się przez naklejanie ich powierzchniami czołowymi na stalowych rowkowanych płytach

i szlifowanych, przy pomocy kleju. Klej stanowi mieszanina ka-
lafonii i parafiny w stosunku 9 : 1 którym po stopieniu smaruje się powierzchnię płyty a następnie układa na niej wyroby przewidziane do szlifowania. Podczas naklejania należy zwrócić uwagę żeby płytki ściśle przylegały do powierzchni płyty naklejone jak najmniejszą warstwą kleju. Ze względu na założoną bardzo dokładną obróbkę przez polerowanie należy przyjąć, że szlifowaniu poddane zostaną obydwie czołowe powierzchnie płytek co w znacznym stopniu ułatwi ustawienie detali na polerkach półautomatycznych aczkolwiek jak już wspomniano równoległość płaszczyzn 0,03 jest możliwa do utrzymania bezpośrednio po wtryskiwaniu detali. Przy szlifowaniu należy pracować na bardzo wolnych posuwach wzdłużnych i poprzecznych stołu roboczego szlifierki przy zbieraniu ostatniej warstwy materiału co zapewni dobrą jakość powierzchni płytek a tym samym ułatwi dalszy proces polerowania. Zbieranie pierwszych warstw materiału może być ze względów czasowych i ekonomicznych szybsze /przybieranie rzędu 0,1 mm/.

Natomiast końcowe zbieranie powinno być przybierane 0,05 mm. Po oszlifowaniu jednej strony płytek następuje ich odklejanie od płyty przez podgrzanie kleju. Szlifowanie drugiej strony odbywa się podobnie. Podczas szlifowania powierzchnie płytek są znaczone grafionem grafitowym dla kontroli zbierania warstw materiału z całej powierzchni wyrobu. Podczas szlifowania konieczne jest stałe intensywne chłodzenie tarczy szlifierskiej i materiału obrabianego chłodziwem dla obniżenia temperatury pracy ściernicy oraz ułatwienia wymywania i usuwania z powierzchni ściernicy drobiu materiału. Po szlifowaniu powinna być przeprowadzona kontrola wymiarowa płytek polegająca na sprawdzeniu grubości płytek i płaskorównoległości przy pomocy śruby mikrometrycznej. Pomiar powinien być przeprowadzony w kilku punktach płytki na jej obrzeżu. Kontrola powinna również obejmować wzrokową ocenę jakości obrabianej powierzchni oraz okresowe sprawdzenie gładkości powierzchni płytek po szlifowaniu na profilometrze co przy zużywaniu się narzędzi diamentowych w trakcie długotrwałej obróbki nie jest bez znaczenia.

Prawidłowo oszlifowane płytki powinny już bez polerowania posia-

dać uchwytny efekt bardzo lekkiego przylegania powierzchni czołowych nawzajem do siebie.

Oszlifowane płytki mają gładkość rzędu $R_a = 0,3 - 1,2$ w zależności od rodzaju materiału i staranności obróbki. Trzeba podkreślić, że pierwszy etap szlifowania na szlifierkach ze stołem magnetycznym aczkolwiek jest pracochłonny to jednak umożliwia ograniczenie obróbki końcowej do polerowania płytek na dwóch do trzech automatach polerskich bez konieczności stopniowego schodzenia z gradacją proszków polerskich od szlifowania przez docieranie i polerowanie wstępne do polerowania końcowego powierzchni lustrzanej.

Podstawową trudnością przy polerowaniu jest takie poprowadzenie procesu, żeby podczas uzyskiwania dużej gładkości nie zgubić płaskości uzyskanej ze szlifowania. Wbrew pozorom nie jest to zadanie łatwe i dlatego do polerowania powinny być użyte maszyny bardzo precyzyjne, sprawdzone przy obróbce twardych materiałów ceramicznych umożliwiające automatyzację procesu kontrolę docisku i prędkości polerowania. Funkcje takie spełniają polerki półautomatyczne ze stołem obrotowym prod. f-my Peter Wollers RPN typ Mikrolap model AL - 1 lub większy AL - 2. Firma produkująca te urządzenia ma duże doświadczenie w wykorzystaniu ich do polerowania materiałów ceramicznych i jak należy przypuszczać jest otwarta na wszelkie zapytania ofertowe. Wielkość stołu roboczego polerek AL - 1, AL - 2 rzędu $\phi 600 - 800$ mm umożliwia jednorazowe polerowanie kilkadziesiątu płytek przy zmiennych naciskach i możliwości wykorzystania kolejno dwóch czynników polerujących załączonych w modelu AL - 2. Jednak powinno się przyjąć zasadę, że polerka pracuje w cyklu produkcyjnym bez ciągłej zmiany czynników polerskich. Dlatego do cyklu produkcyjnego trzeba zaplanować zakupienie co najmniej dwóch takich polerek /co mimo ich wysokiej ceny jest koniecznością z uwagi na kluczową operację jednostkową polerowania w tej technologii/. Jako proszki polerskie można użyć węglika krzemu, wielkości ziarna $1 - 2 \mu m$, krzemionki koloidalnej, tlenku glinu polerskiego firmy Degussa o wielkości ziarna $0,3 \mu m$ itp. Pasty polerskie odpowiedniej jakości pochodzą głównie z importu a użycie ich musi mieć charakter doświadczalny w stosunku do wytypowanego tworzy-

wa. W tym przypadku przed zakupem urządzeń korzystne wydaje się złożenie zapytania ofertowego na zakup danego typu urządzenia z wcześniejszym wykonaniem prób. Po myciu polerowanych płytek należy przeprowadzić kontrolę jakości, która oprócz statystycznej kontroli wymiarów zgodnie z PN-73/N-03021 powinno obejmować badanie chropowatości powierzchni roboczej na profilografometrze np. typ Talisurf f-my Taylor Hobson /Anglia/ lub C. Zeiss /NRD/ typ ME - 10 jeżeli jest to możliwe to łącznie z badaniem płaskości powierzchni.

Korzystne wydaje się wykonanie wzorów gładkości z materiału użytego na płytki o klasach gładkości od 7 do 9 dla $R_a=0,63-0,16$, które umożliwiały by szybką kontrolę wzrokową przez doświadczonego pracownika. Z prostych metod kontrolowania płaskości powierzchni można przyjąć metodę interferencyjną przy pomocy specjalnych płytek interferencyjnych /prod PZO/. Metoda ta umożliwia szybką wzrokową ocenę stanu płaskości powierzchni łącznie z określeniem liczbowym z dokładnością do 1 μm . Generalnie trzeba przyjąć że właściwą próbą jest kontrola pracy powierzchni roboczych płytek na specjalnie zaprojektowanym stanowisku / zgodnie z punktem 6.2, rys. 15.

Orientacyjne zapotrzebowanie na surowce potrzebne do wykonania 1000 szt. płytek podano w tablicy 3.

Tablica 3.

Nazwa surowca	Rodzaj	Zapotrzebowanie z 5% naddatkiem	Orientacyjny koszt surowców na wykonanie 1000 szt. płytek
Tlenek glinu	Baco Cera Alum. lub Skawiński	20 kg.	15.000 zł
Parafina	R II 50	3,5 kg	
Wosk	Gat. I Spoide Psical	0,25 kg	
Pozostałe składniki masy podstawowej	W zależności od typu tworzywa	0,8 kg	

PODSUMOWANIE

Przedstawiona w niniejszym opracowaniu analiza warunków eksploatacyjnych płytek ceramicznych pracujących jako elementy zaworu wodociągowego wykazała, że krytycznymi parametrami ceramiki są skład fazowy, gładkość i równoległość powierzchni trących. Tylko na tworzywach wysokoglinowych o zawartości Al_2O_3 powyżej 94% uzyskano, w warunkach standardowej obróbki szlifierskiej i polerskiej, chropowatość powierzchni R_a lepszą od $0,32 \mu\text{m}$ co potwierdzają efekty kohezyjne po zetknięciu powierzchni pracujących. W pracy opisano również elementy technologii wykonania płytek ceramicznych. Technologia ta została opracowana z uwzględnieniem krajowych możliwości zarówno od strony materiałowej jak i maszynowej i może być realizowana w każdym zakładzie wytwarzającym ceramikę na bazie tlenku glinu.

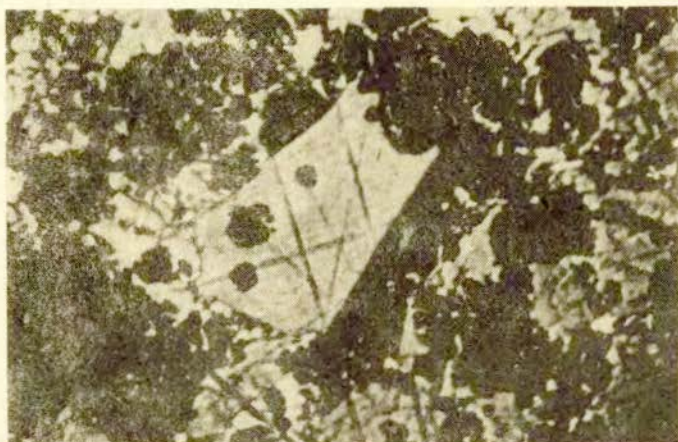
LITERATURA

1. E. DORRE, H. HUBNER, "Alumina - Processing, Properties and application", Springer Verlag 1984, str 147 - 154.
2. M.W. SWAIN "Microcracking associated with the scratching of brittle solids" we fracture mechanics of ceramics vol 3 pod red R.C. BRADT, D.P.H. HOSSELMAN i F.F. LANGE, wyd Plenum Press 1978 str 257 - 272.
3. P.F. BECHER "Abrasive surface deformation in sapphire" J.Amer. Ceram. Soc. 59 str 143 - 145 1976
4. R.W. RICE, B.K. SPERONELLO "Effect of microstructure on rate of machining of ceramics", J. Amer Ceram. Soc., 59 7 - 8 str 330 - 333 1976.
5. A.R.C. WESTWOOD, N.N. MAC MILLAN, R.S. KALYONCU, "Environment - sensitive hardness and machinability of Al_2O_3 ". Amer Ceram. Soc. 57 str 258 - 262 1973
6. R.M. GRUVER, H.P. KIRCHNER, "Effect of environment on penetration of surface damage and remaining strength", ibidem, 57 str 220 - 223 1974
7. Z. LIBRANT et al "Wpływ mikrostruktury proszków tlenku glinu na przebieg zagęszczania pod ciśnieniem i spiekania". V Sympozjum Ceramiki, 1984 str 16 - 36.
8. C.A. BROCH, "Sintering kinetics for the high density alumina process", Amer.Ceram.Soc. Bull., 41 str 799 - 806 1962.
9. R.W. RICE, S.W. FREIMAN, "Grain - size dependence of fracture energy of ceramics II a model for noncubic materials", J.Amer.Ceram.Soc., 64 6 str 350 - 354 1981.
10. Z. LIBRANT "Opracowanie podstaw technologii wytrzymałej ceramiki glinowej z zastosowaniem do uszczelnień i armatury wodnej". Izba Rzeczoznawców SEP Sprawozdanie 326/16/87 Warszawa 1987

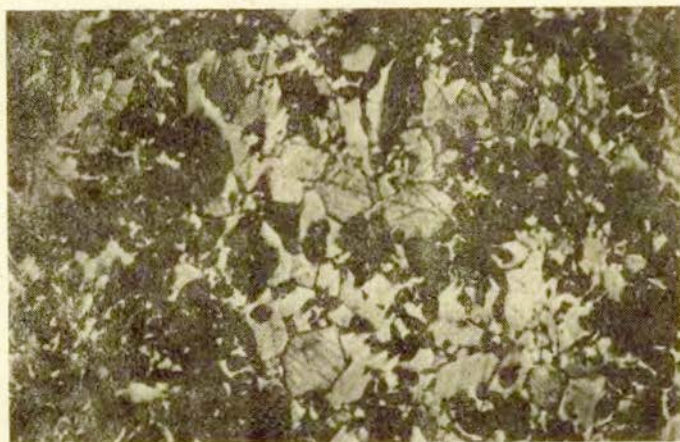
**Exploitation conditions and ceramic
materials for baller cranes
Summary**

The analysis of exploitation conditions for ceramic tiles which work as elements of a water pipe valve shows that the critical elements of ceramics are phase composition, smoothness and parallel motion of friction faces. The roughness of surfaces Ra better than 0,32 μm can be obtained only on materials with a high content of aluminium, above 94% of Al_2O_3 , in a standard conditions of grinding and polishing treatment which is confirmed by cohesive effects when working surfaces are brought into contact. The paper describes the elements of ceramic tile technology as well.

The technology has been worked out regarding materials and machines available in the country and can be realized in every plant which produces ceramics based on aluminium oxide.



Fot. 1a. Mikrostruktura pracującej powierzchni płytki ceramicznej. Mikroskop świetlny ZEISS NEOPHOT-2.
Powiększenie 500 x, rzeczywiste 2100 x.



Fot. 1b. Mikrostruktura płytki po wytrawieniu.
Widoczne granice ziaren korundowych bez śladów fazy międzyziarnowej.
Powiększenie 500 x, rzeczywiste 2100 x.



56745