

Wacław SAKWA, Stanisław JURA,  
Zbigniew PIĄTKIEWICZ, Damian HOMA, Fred MISERA

Politechnika Śląska  
Instytut Odlewnictwa

## URZĄDZENIA I TECHNOLOGIA WDMUCHIWANIA PROSZKÓW DO CIEKŁEGO METALU

Streszczenie. W artykule przedstawiono mechanikę procesów metalurgicznych z zastosowaniem technologii wdmuchiwania proszków, opisano czynnik nośny, przedstawiono urządzenie do wdmuchiwania proszków do ciekłego metalu oparte na systemie "POLKO", opisano cykl pracy urządzenia, przedstawiono schemat liniowy połączeń sterowania i charakterystykę techniczną urządzenia, przedstawiono uzyskane efekty wdmuchiwania wapna do kąpieli stalowej.

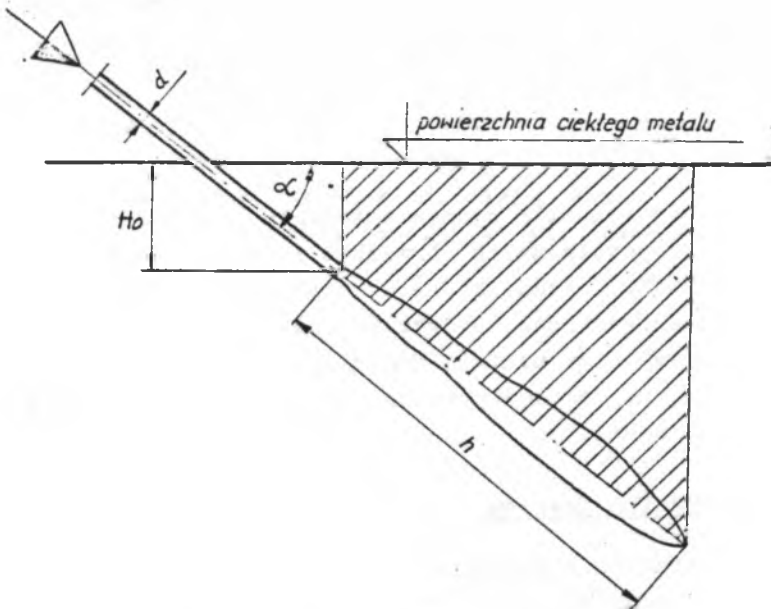
### Wstęp

Rozwój techniki wymaga materiału o coraz wyższej jakości, zapewniających trwałość i niezawodność maszyn i urządzeń. Metoda, która w metalurgii stali i staliwa zwiększa wydajność, podwyższa zdecydowanie jakość stali i staliwa oraz ułatwia organizację jest oparta na procesie m.in. pneumatycznego wdmuchiwania proszków do ciekłej stali.

### 1. Mechanika procesu

Podstawową cechą procesów metalurgicznych z zastosowaniem proszków jest ich duża szybkość i intensywność. Zalety te, tak ważne dla wydajności i jakości stali, uzyskuje się dzięki dobremu wymieszaniu kąpieli z proszkami. Bardzo małe wymiary cząstek pozwalają na szybkie nagrzanie proszków i utworzenie żużła aktywnego w stosunku do składników ciekłego metalu. Wpływające cząstki, zgodnie z prawem Stokesa, z szybkością zależną od średnicy, reagują z kąpielą niezależnie od charakteru wyprawy pieca i żużła, w związku z czym w procesach kwaśnych można odsiarczać i odfosforować kąpiel stalową.

Kryterium oceny efektywności prowadzonego procesu stanowi stopień wzajemnego oddziaływania proszku z ciekłym metalem i żużlem. Przy ustalonej technologii topienia oraz przy określonych własnościach technologicznych i fizyko-chemicznych stosowanych proszków i gazów efektywność prowadzonego procesu zależy przede wszystkim od objętości strefy aktywnego mieszania, w której następuje bezpośredni kontakt cząstek wprowadzanego proszku z ciekłym metalem. Zwiększenie bezpośredniego kontaktu cząstek materiału uzyskuje się przez zwiększenie objętości strefy aktywnego mieszania w stosunku do ilości wprowadzonych proszków. Rys.1.



Rys.1. Strefa aktywnego mieszania /3/

Jednostkową objętość strefy aktywnego mieszania  $V_{aj}$  określa stosunek objętości strefy aktywnego mieszania  $V_a$  do natężenia przepływu wprowadzanego proszku  $m_c$ , co można wyrazić następująco:

$$V_{aj} = \frac{V_a}{m_c} = \frac{[H_0 \cdot h \cdot \cos + \frac{1}{4} \cdot h^2 \cdot \sin 2\alpha]}{d \cdot w_c} \cdot \frac{4}{\pi} \left[ \frac{m^3}{kg} \cdot s \right]$$

gdzie:  $\frac{kg}{m^3}$  - koncentracja mieszaniny

W przybliżeniu można przyjąć, że głębokość przenikania strumienia solgazu czyli strumienia proszków zmieszanych z gazem w ciekłym metalu  $h$  nie zależy od kąta zawartego między osią wypływu strumienia solgazu a powierzchnią lustra ciekłego metalu oraz głębokości zanurzenia otworu wylotowego przewodu transportowego  $H_0$  i może być określona zależnością:

$$h = \sqrt{\frac{\rho}{\rho_c}} \cdot w \cdot \sqrt{d} \cdot [m],$$

gdzie:  $\rho [kg/m^3]$  - gęstość gazu;  $\rho_c [kg/m^3]$  - gęstość metalu.

Z otrzymanego wzoru wynika, że głębokość przenikania strumienia  $h$  w ciekłym metalu i z nią związaną jednostkową objętość strefy aktywnego mieszania  $V_{aj}$  najkorzystniej uzyskuje się przez zwiększenie prędkości wypływu strumienia gazu  $w$  u wylotu rurociągu transportowego.

Zastosowanie metody wdmuchiwania proszków do ciekłego staliwa pozwala na:

- przyspieszenie tworzenia żuźla,
- mechanizację załadowania składników żuźlowych do pieca,
- wypalanie węgla przez wprowadzenie mieszanek żuźlo-

- wych z  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  do kąpielii,
- odsiarczanie, odfosforowanie, odtlenianie, nawęglanie
- wprowadzenie dodatków modyfikujących i stopowych do kąpielii.

## 2. Sposoby wprowadzania proszków do ciekłego metalu

Proces pneumatycznego wprowadzania proszków do ciekłego metalu można prowadzić zarówno w piecach metalurgicznych jak i w kadziach.

W zależności od stosowanej technologii, konstrukcyjnego rozwiązania urządzeń do wdmuchiwania proszków oraz typu pieca, w którym prowadzi się proces topienia, kierunek wprowadzenia strumienia solgazu, czyli strumienia proszków zmieszanych z gazem, może być pionowy lub pod kątem w stosunku do powierzchni lustra ciekłego metalu. W procesie wdmuchiwania proszków czynnikiem nośnym mogą być następujące gazy: powietrze, tlen, azot, dwutlenek węgla, gaz ziemny /metan/, argon.

Do procesów utleniania, odsiarczania i odwęglania stosowany jest tlen, sprężone powietrze lub dwutlenek węgla. Gazy neutralne stosowane są przede wszystkim dla procesów odtleniania oraz wprowadzenia pierwiastków stopowych. Rodzaj stosowanych gazów jako nośników w procesie wdmuchiwania proszków do ciekłego metalu wpływa na jednostkowy koszt produkcji metalu. W pracy [6] przeprowadzono analizę ekonomiczności stosowania różnych gazów przy założeniu, że dla wytopienia 1 Mg metalu zużywa się 2 m<sup>3</sup> gazu. Wyniki tej analizy upoważniają nas do stwierdzenia, że najtańszym gazem jest sprężone powietrze a następnie w kolejności: gaz ziemny /metan/, propan-butan, tlen, azot, dwutlenek węgla, argon.

Ekonomiczność stosowania sprężonego powietrza w procesach wdmuchiwania proszków uzasadnia minimalny wpływ utleniającego działania powietrza na ciekły metal jak i sam jego koszt.

Powietrze stosuje się w przypadku wdmuchiwania proszków wapna lub mieszaniny wapna i rudy do procesów wyrabiania stali /gotowania/. Z powodzeniem sprężone po-

wietrze stosować można do wdmuchiwania węgla sproszkowanego do ciekłej stali. Powietrze dla procesów wdmuchiwania proszków do ciekłego metalu sprężone jest przez kompresory. Zawartość wilgoci w powietrzu zmienia się w zależności od warunków atmosferycznych i może osiągnąć do kilkudziesięciu gramów na 1 m<sup>3</sup>. Przekroczenie wilgotności powietrza /gazów/ powyżej 0,01 g/m<sup>3</sup> powoduje pewne nawodorowanie ciekłej stali.

Prócz tego przy znacznej ilości wprowadzonej wilgoci z powietrza może nastąpić zawilgocenie proszków w układzie urządzeń transportu pneumatycznego, zakłócenie pracy układów transportu w okresie obniżonych temperatur wskutek zamrażania wilgotnych proszków lub zamrażania skroplonej wody w układach pneumatycznego sterowania, jak również może nastąpić wzrost zawartości wodoru w ciekłym metalu.

Praktycznym rozwiązaniem tego problemu jest centralne osuszanie powietrza przed jego użyciem do procesów wdmuchiwania proszków. Powietrze należy osuszyć w takim stopniu, by nie nastąpiła kondensacja pary wodnej w czasie przepływu.

Argon stosuje się w przypadku wdmuchiwania proszków modyfikujących lub stopowych bezpośrednio do kadzi.

### 3. Urządzenie do wdmuchiwania proszków do ciekłego metalu oparte na systemie "Polko"

Urządzenia do wdmuchiwania proszków przede wszystkim powinny zapewnić:

- możliwość regulacji koncentracji mieszaniny /tj. stosunku natężenia przepływu proszków do natężenia gazów/, u wylotu z rurociągu zanurzonego w ciekłym metalu,
- niezawodność działania w warunkach przepływu mieszaniny proszków z gazem,
- stabilność przepływu proszków, tj. zachowanie stałego natężenia przepływu proszków wprowadzanych do ciekłego metalu,

- warunki bezpieczeństwa pracy przy zastosowaniu sprężonego powietrza jako nośnika jak i również przy stosowaniu innego gazu,
- bieżącą kontrolę procesu wdmuchiwania proszków.

Na podstawie przeprowadzonych badań w Instytucie Odlewnictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach opracowano zespół urządzeń służących do wdmuchiwania proszków do ciekłego metalu /1,2/.

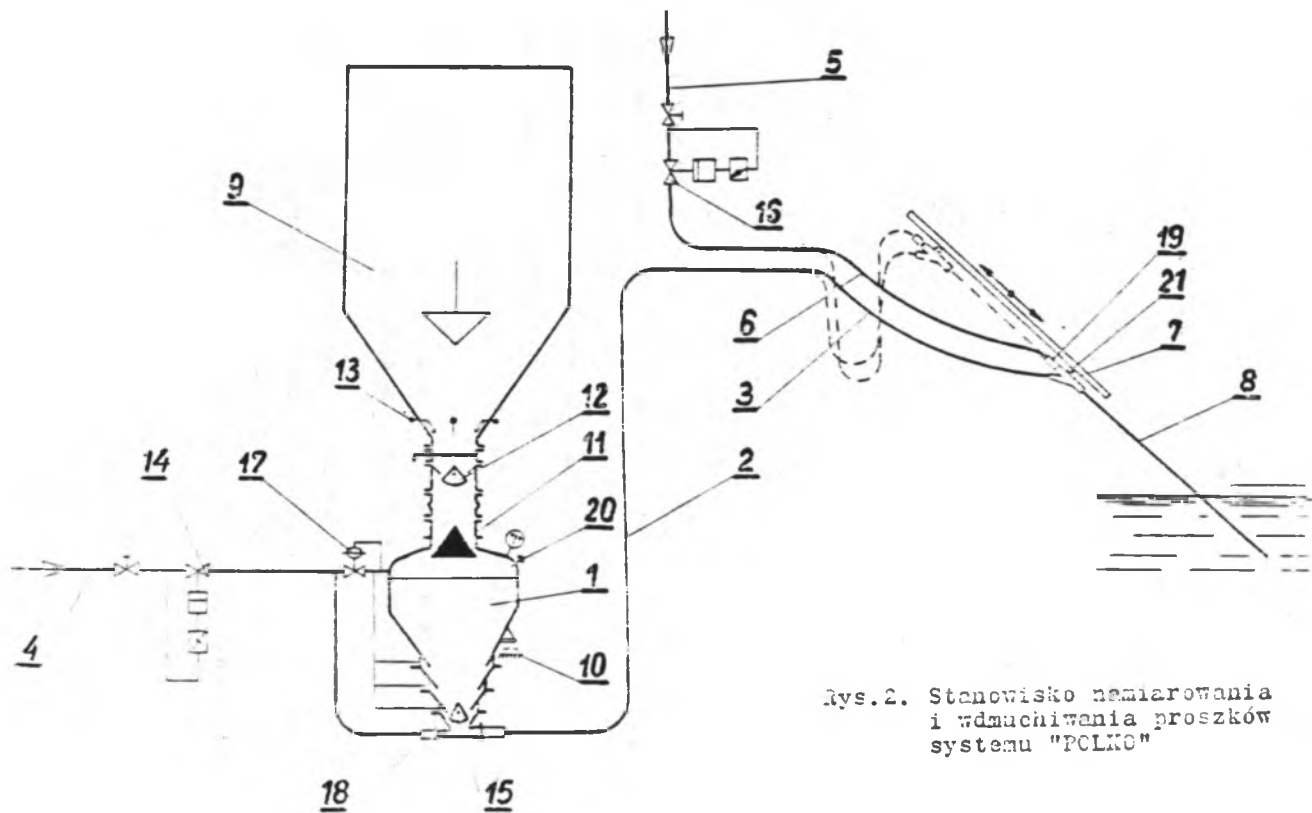
Instalacja /rys.2/ zbudowana jest z następujących elementów: 1 - podajnik komorowy transportu wysokociśnieniowego; 2,3 - rurociąg transportowy; 4,5,6 - rurociąg doprowadzający sprężony gaz; 7 - komora mieszania /dysza/; 8 - rurociąg dla bezpośredniego wtłaczania proszków do ciekłego metalu.

W przedstawionym rozwiązaniu można wyodrębnić dwa współpracujące ze sobą układy transportu pneumatycznego. Pierwszy układ, rozwiązujący problem podawania proszków z podajnika komorowego i rurociągiem 2,3 do komory mieszania 7, przy czym proces przemieszczania proszków dokonuje się w warunkach dużych koncentracji mieszaniny i małej prędkości przepływu, oraz układ drugi, spełniający funkcję bezpośredniego wdmuchiwania proszków z komory mieszania 7 rurociągiem 8, do ciekłego metalu w warunkach małej koncentracji mieszaniny i dużej prędkości przepływu.

#### 4. Opis operacji wagowego namiarowania i wdmuchiwania proszków

Cykl pracy urządzenia wagowego namiarowania i wdmuchiwania proszków możemy podzielić na trzy podstawowe operacje:

- 1/ wagowe namiarowanie proszków,
- 2/ wdmuchiwanie proszków do ciekłego metalu;
- 3/ zakończenie wdmuchiwania proszków.



Rys. 2. Stanowisko pomiarowe i wdmuchiwanie proszków systemu "POLKO"

#### 4.1. W a g o w e   n a m i a r o w a n i e   p r o s z k ó w

Celem zapewnienia ciągłości produkcji proszki magazynowane są w zbiorniku przesykowo-magazynującym 9 z określonym zapasem czasowym. Wagowe namiarowanie żądanej porcji proszku uzyskuje się przez zabudowanie podajnika komorowego 1 na czujnikach wagowych 10.

Cykl podawania proszków ze zbiornika przesykowo-magazynującego do podajnika komorowego realizowany jest przez otwarcie zasypu podajnika 11, otwarcie wysypu zbiornika 12 z równoczesnym otwarciem zaworu doprowadzającego sprężony gaz do wkładek fluidyzacyjnych 13. Strumień sfluidyzowanego materiału zaczyna napełniać komorę podajnika komorowego. Podczas napełniania podajnika komorowego dokonywany jest ciągły zapis ciężaru wysypywanego proszku w funkcji czasu.

Impuls wagi, wskazujący, że ciężar proszków osiągnął wartość żądaną /naważka/ powoduje w kolejności: równoczesne zamknięcie wysypu zbiornika magazynującego i odcięcie dopływu sprężonego gazu do wkładek fluidyzacyjnych. Zapoczątkowanie ww. cyklu jest ręczne /przycisk/, natomiast jego przebieg realizowany jest samoczynnie przez odpowiedni układ elektryczny.

#### 4.2. W d m u c h i w a n i e   p r o s z k ó w   d o c i e k ł e g o   m e t a l u

Po operacji wagowego namiarowania proszku następuje operacja wdmuchiwania proszków. Operacja ta inicjowana jest ręcznie, przez naciśnięcie przycisku na pulpicie sterowniczym. Cykl wdmuchiwania zważonej porcji proszków z podajnika komorowego do ciekłego metalu realizowany jest w kolejności: równoczesne zamknięcie zasypu podajnika i doprowadzenie sprężonego gazu rurociągiem 5,6 poprzez komorę mieszania 7 do lancy 8 oraz uruchomienie mechanizmu wprowadzającego lancę do ciekłego metalu.

Po osiągnięciu żądanej głębokości zanurzenia w ciekłym metalu otworu wylotowego lancy, która na ogół wy-



nosi  $3/4$  głębokości ciekłego metalu, licząc od powierzchni jego lustra, następuje uruchomienie układu podawania proszków przez otwarcie zaworu 14, głównego dopływu sprężonego gazu do podajnika komorowego, oraz otwarcie zasowy obrotowej 15 w komorze mieszania. Proszek z podajnika i rurociągiem transportowym 2,3 wprowadzany jest do komory mieszania 7. W komorze mieszania strumień gazu doprowadzony przewodami 5,6 zwiększa prędkość solgazu w lancy 8 do prędkości wylotowej powyżej 100 m/s. Podczas pracy podajnika komorowego prowadzony jest ciągły zapis ciężaru proszku w funkcji czasu, jak również rejestrowany jest w sposób ciągły pobór sprężonego gazu.

#### 4.3. Z a k o ń c z e n i e o p e r a c j i w d m u c h i w a n i a p r o s z k ó w

Zakończenie operacji wdmuchiwania proszków dokonuje się:

- 1/ samoczynnie po całkowitym opróżnieniu podajnika komorowego 1 i przedmuchu rurociągu transportowego 2,3
- 2/ przez operatora w przypadku częściowego opróżnienia podajnika komorowego.

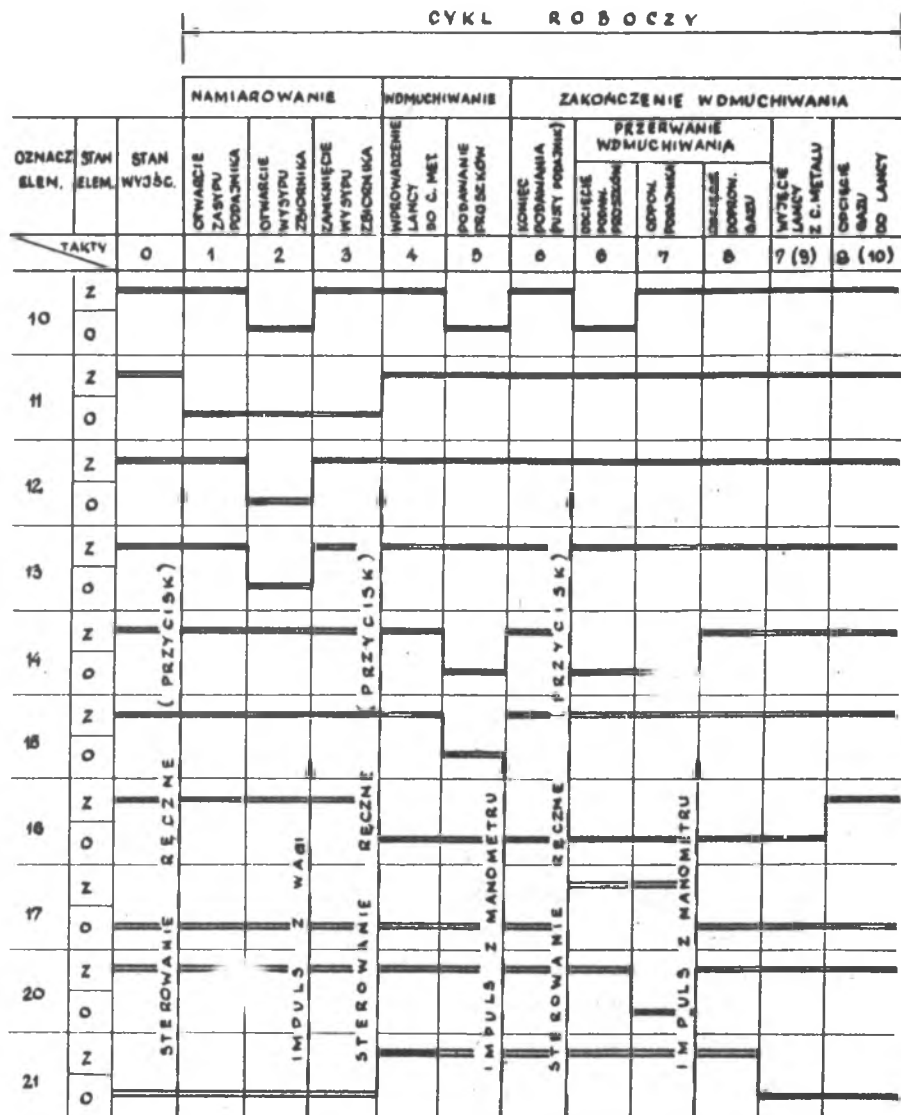
Samoczynne zakończenie operacji wdmuchiwania proszków inicjowane jest gwałtownym spadkiem ciśnienia w podajniku komorowym, co powoduje zamknięcie komory mieszania 15 i odcięcie głównego dopływu sprężonego gazu do podajnika zaworem 14.

W przypadku przerwania operacji wdmuchiwania proszków przez operatora następuje odcięcie podawania proszków do rzędu dysz zasilających zaworem 17.

Po odpowietrzeniu podajnika komorowego i gwałtownym spadku ciśnienia, końcowy impuls manometru kontaktowego powoduje odcięcie głównego dopływu sprężonego gazu do podajnika.

Następny cykl wdmuchiwania proszków przy całkowicie opróżnionym podajniku komorowym lub gdy podajnik jest częściowo napełniony proszkami rozpoczyna się ponownym wagowym namierowaniem proszków ze zbiornika 9.

Schemat liniowy połączeń sterowania urządzenia pokazano na rys.3.



## LEGENDA:

- - RUCH MECHANIZMU
- - STAN ROBOCZY
- Z - ZAMKNIĘTY
- O - OTWARTY

RYS. 3

Rys.3. Schemat liniowy połączeń sterowania urządzeń do wdmuchiwania proszków systemu "POLLEC"

Przy danym przekroju rurociągu transportowego 2,3 żądane natężenie przepływu solgazu oraz wielkość koncentracji mieszaniny  $\mu \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$  ustala się zaworami regulacyjnymi 17 i 18. Żądaną koncentrację mieszaniny w rurociągu transportowym 8 oraz prędkość wylotową strumienia solgazu ustala się zaworcem regulacyjnym 19.

#### 5. Charakterystyka urządzenia do wdmuchiwania proszków do ciekłego metalu oparte na systemie "POLKO"

- |   |  |
|---|--|
| 1 - objętość użyteczna podajnika komorowego   | - 0,4; 0,6; 1,2 m <sup>3</sup>         |
| 2 - ciśnienie gazu zasilającego   | - 6 · 10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup> |
| 3 - zapotrzebowanie gazu  | - 8 - 12 Nm <sup>3</sup> /min          |
| 4 - średnia wydajność wdmuchiwania proszków przy średnicy lancy $\varnothing$ 24 mm | - 2,5 kg/s                             |
| 5 - prędkość strumienia solgazu u wylotu lancy                                      | - ok. 100 m/s                          |
| 6 - średnica rurociągu transportującego   | - 5 · 10 <sup>-2</sup> m               |
| 7 - prędkość przepływu proszków w rurociągu transportującym                         | - 4 - 10 m/s                           |
| 8 - napięcie zasilania układu sterowania  | - 220 V                                |

Opracowany proces wdmuchiwania proszków do ciekłego metalu w oparciu o dwustopniowy układ pneumatycznego ich przemieszczania w pełni odpowiada wymogom technologicznym

Zastosowane zespoły urządzeń zapewniają ekonomiczność, niezawodność i bezpieczeństwo pracy, stabilność przepływu różnorodnych proszków wprowadzanych do ciekłego metalu oraz szeroki zakres regulacji wydajności, koncentracji mieszaniny i prędkości wylotowej strumienia solgazu. Wyposażenie aparaturowe instalacji umożliwia bieżącą kontrolę procesu wdmuchiwania proszków do ciekłego metalu oraz pracę w cyklu zautomatyzowanym.

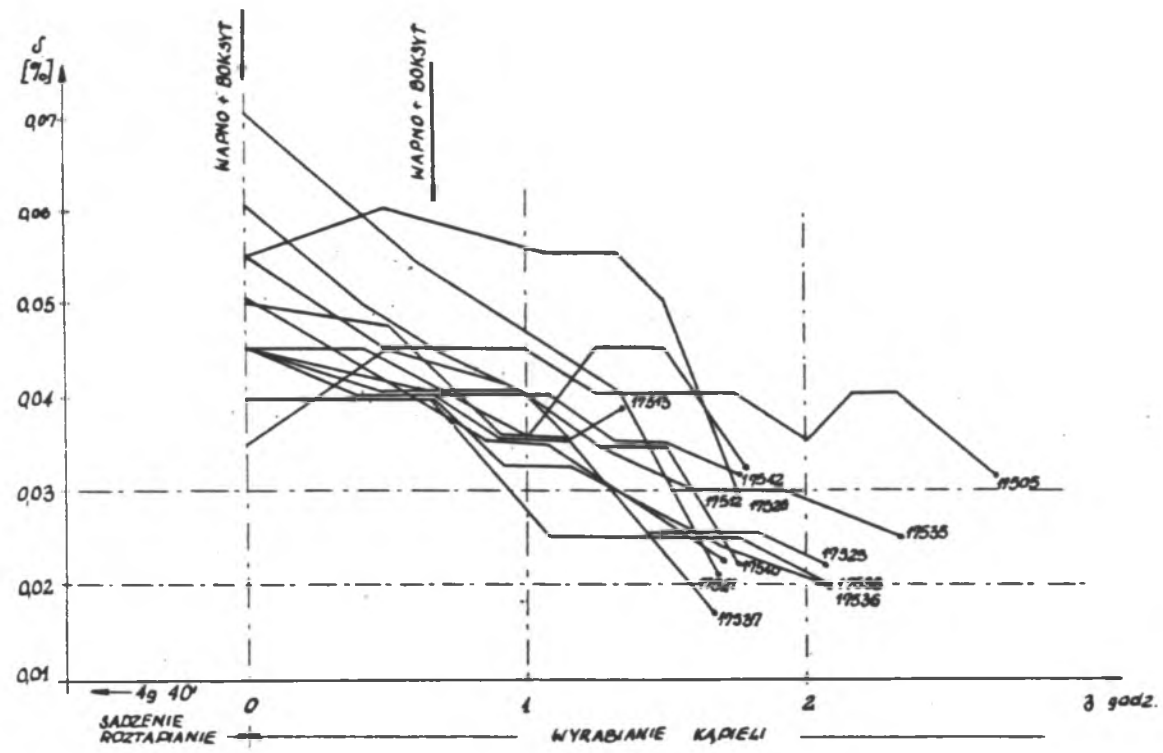
## 6. Uzyskane efekty wdmuchiwania wapna do kąpielii stalowej

Próby przemysłowe wytapiania stali z zastosowaniem wdmuchiwania wapna do kąpielii stalowej przeprowadzono w piecu martenowskim o pojemności 60 Mg. Do przeprowadzenia analizy technicznej przyjęto 13 wytopów prowadzonych wg dotychczasowego sposobu oraz 15 wytopów stali z zastosowaniem wdmuchiwania proszków wapna. Wyniki prób przedstawiają się następująco:

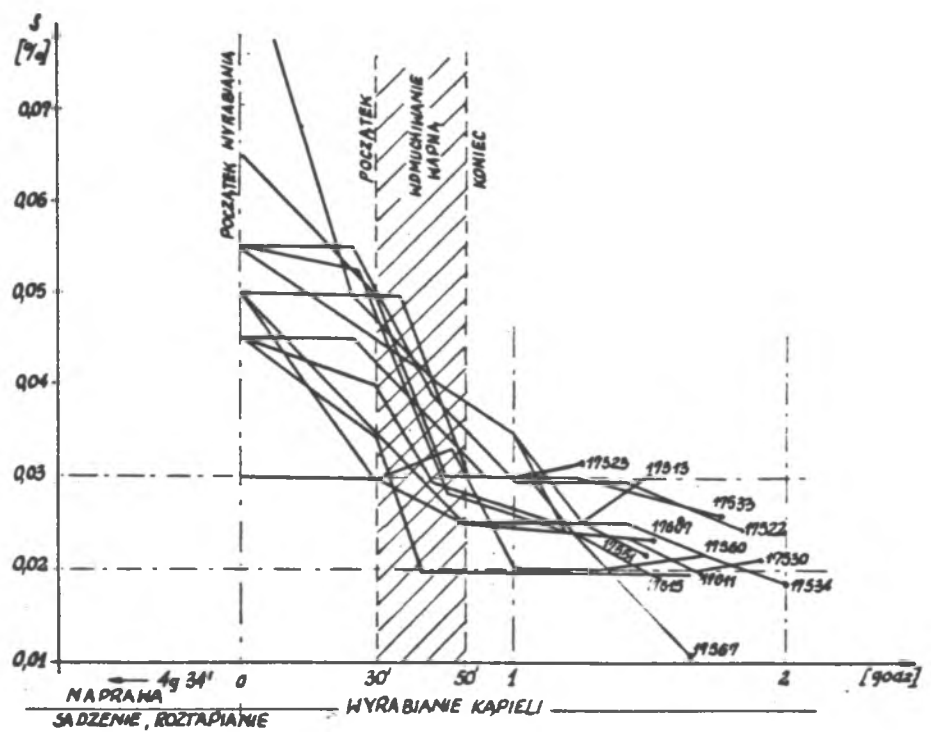
- skrócenie wytopów wynosi średnio 28 minut, co oznacza skrócenie całego wytopu o około 7,12 %
- szybkość wypalania węgla wzrosła o 19,7 % w stosunku do wytopów bez wdmuchiwania proszków i wynosi 0,61 %/godz. Równocześnie należy podkreślić, że nowa technologia pozwala na zwiększenie szybkości wypalania węgla do około 1 %/godz.;
- szybkość wypalania fosforu wzrosła o 12,6 % i wynosi 0,0125 %/godz.;
- szybkość usuwania siarki wzrosła o 39 % i wynosi 0,0182 %/godz.;
- stopień odfosforowania wzrósł o 11,2 % i wynosi 56,6%
- stopień odsiarczania w procesie proszkowym wynosi 55,46 %, co oznacza wzrost o 20 % w stosunku do wytopów prowadzonych metodą klasyczną.

Próby nawęglania wsadu wykazały, że można uzyskać sprawność nawęglania około 70 % przy zawartości początkowej węgla w kąpielii 0,89 - 1,21 %. Szczegółowe dane przedstawiono na rys. 4,5,6,7,8,9.

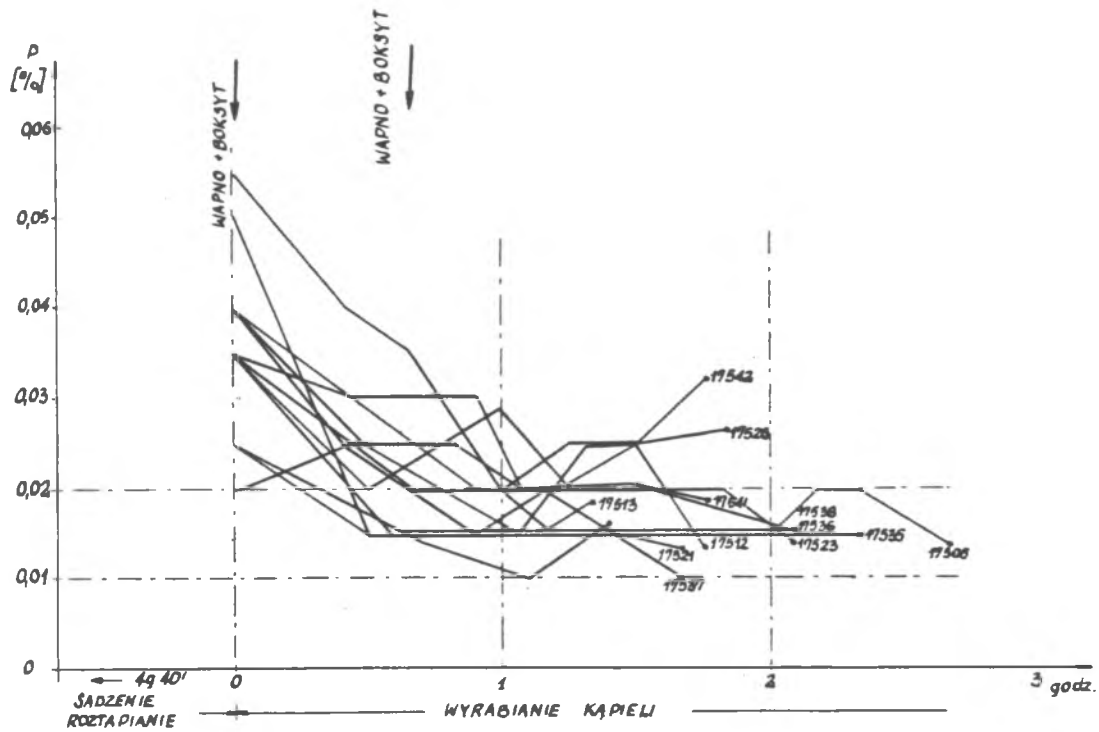
U w a g a : Do przeprowadzenia procesów stosowana ilość wapna wynosiła 16 kg na 1 Mg stali, co jest dolną granicą, jaką spotyka się w praktyce.



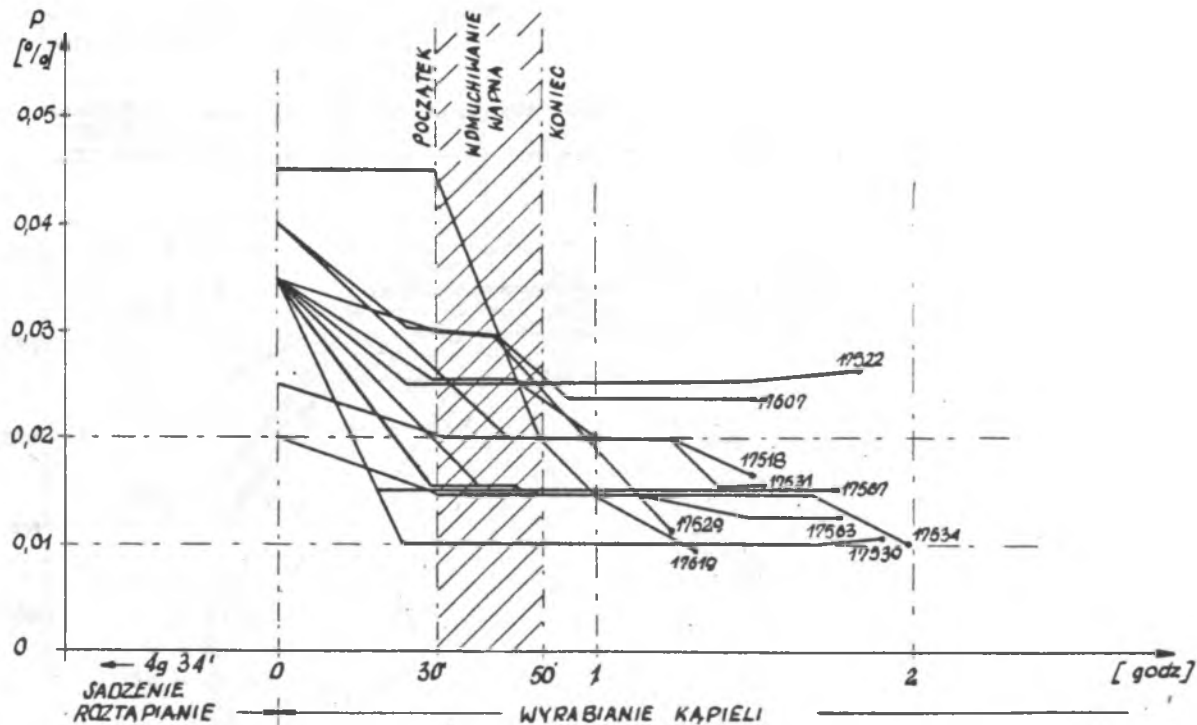
Rys.4. Kinetyka wypalania siarki w procesie wytapiania stali /bez wdmuchiwania proszków wapna/



Rys.5. Kinetyka wypalania siarki w procesie wytapiania stali z zastosowaniem wdmuchiwania proszków wapna - CaO

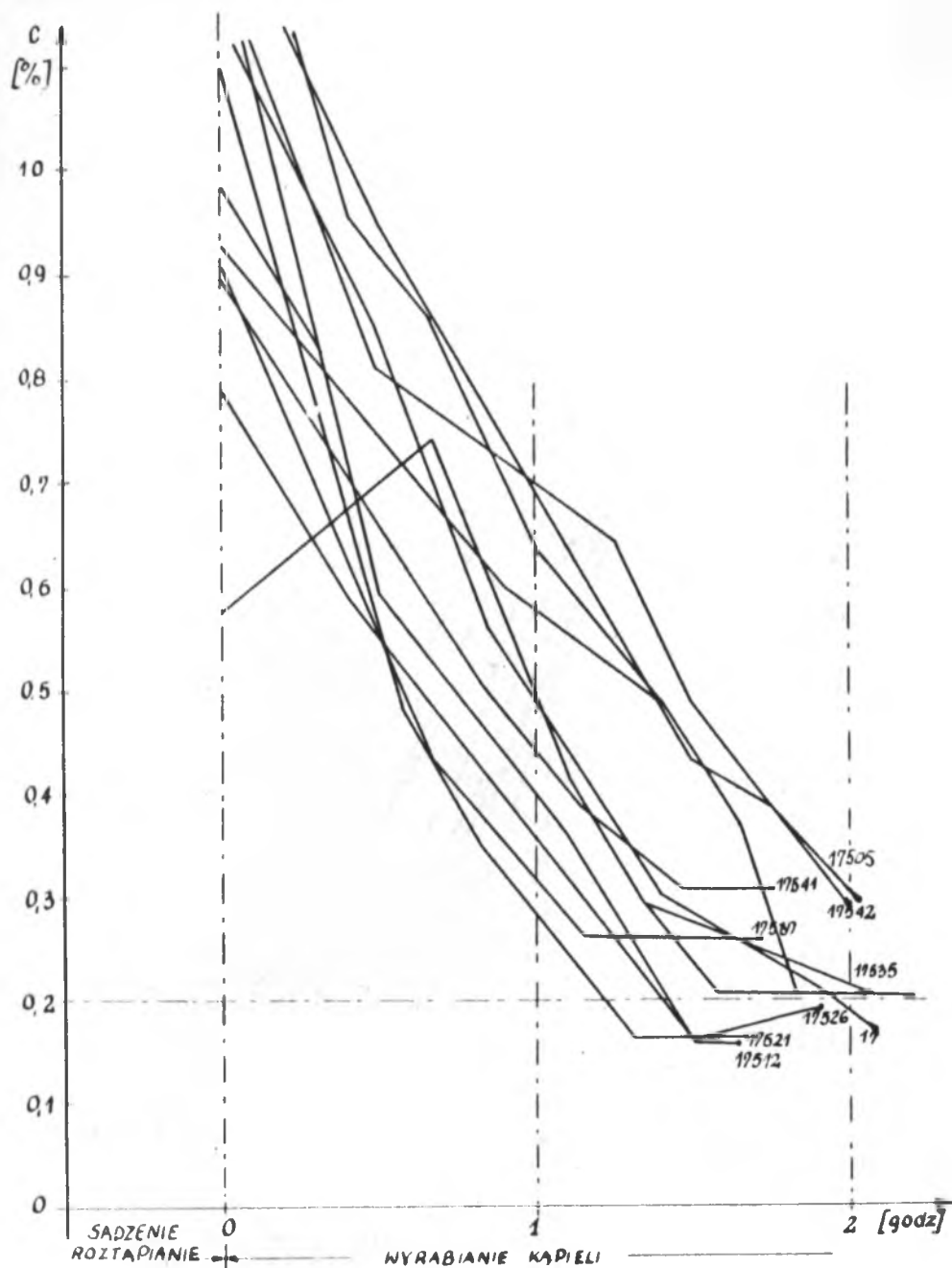


Rys.6. Kinetyka wypalania fosforu w procesie wytapiania stali /bez wdmuchiwania proszków wapna/

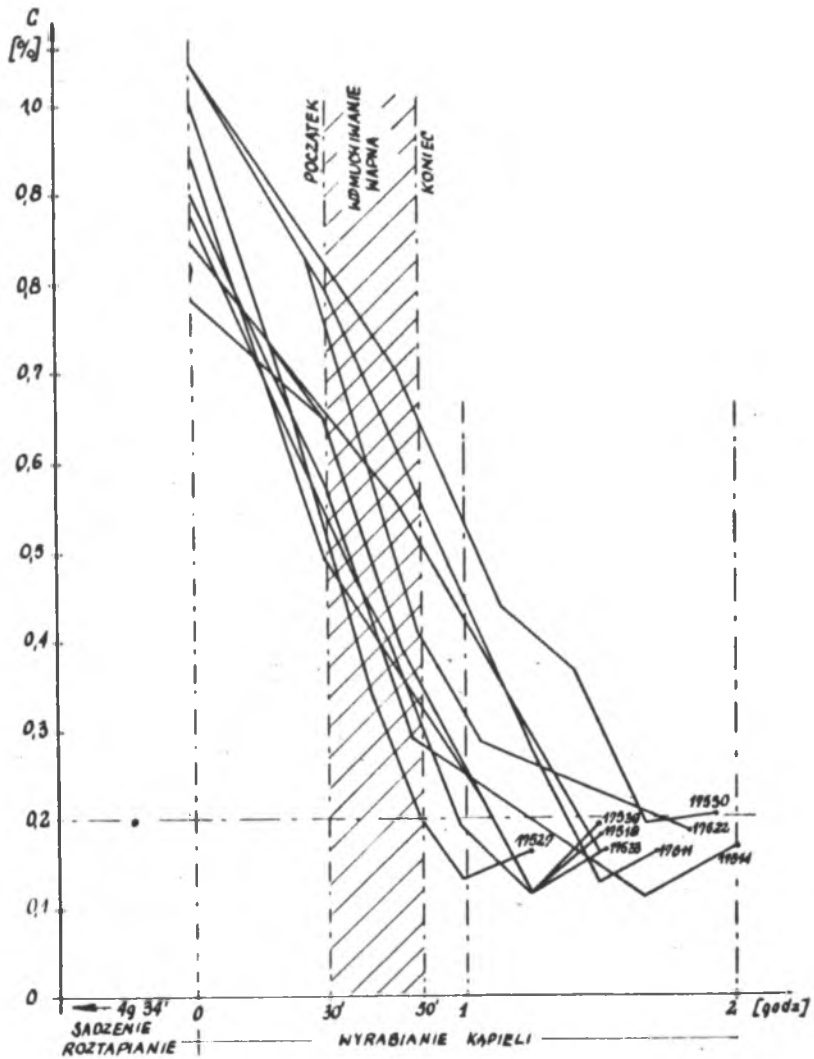


Rys.7. Kinetyka wypalania fosforu w procesie wytapiania stali z zastosowaniem wdmuchiwania proszków wapna - CaO





Rys. 8. Kinetyka wypalania węgla w procesie wytapiania stali /bez wdmuchiwania proszków/



Rys.9. Kinetyka wypalania węgla w procesie wytapiania stali z zastosowaniem wdmuchiwanego proszku wapna - CaO

## 7. Wnioski

Przeprowadzone próby przemysłowego stosowania technologii wdmuchiwania proszków wykazały, że:

- stosowane rozwiązania konstrukcyjne urządzenia spełniają całkowicie wymogi kinematyki i dynamiki procesu;
- urządzenie jest łatwe w obsłudze i może pracować w cyklu zautomatyzowanym;
- zastosowana technologia wdmuchiwania proszków skraca czas wytopów, podnosi jakość staliwa jak również ułatwia obsługę pieców.

## LITERATURA

- [1] W.Sakwa, St.Jura, Z.Piątkiewicz: Mechanizacja procesu wprowadzania proszków do ciekłego metalu, WZO, z.10, 1976 Gliwice.
- [2] W.Sakwa, St.Jura, Z.Piątkiewicz, F.Misera: Wytop staliwa z zastosowaniem procesu wdmuchiwania proszków, "Nowoczesne technologie w odlewnictwie" - materiały konferencyjne, Wisła, październik 1977, s. 1-15.
- [3] B.N.Ladyżenskij: Primierenije poroszka obraznych materialow w staleplawikom procese, Moskwa 1973.
- [4] P.Rebu: Kupiaszczyj stoj. Izd. Cmiwrietmet, 1959.
- [5] S.Leszczyński: Filtracja w przemyśle, WNT Warszawa, 1972.
- [6] B.N.Ladyżenskij, B.P.Tonkow: Wypławka stali w maszynostrojonii, Metałurgia, 1968.

УСТРОЙСТВА И ТЕХНИЛИГИЯ ВДУВАНИЯ ПОРОШКОВ  
В ЖИДКИЙ МЕТАЛЛ

Р е з ю м е

В статье представлено механику металлургических процессов с применением технологии вдувания порошков. Описано несущий агент, представлено устройства для вдувания порошка в жидкий металл, базирующие на системе Онисано цикл работы устройства, представлено линейную схему соединений управления и техническую характеристику устройства. Представлено одержанные эффекты вдувания извести в стальную ванну.

EQUIPMENTS AND TECHNOLOGY OF FLOWING POWDERS  
INTO THE LIQUID METAL

S u m m a r y

In the paper, mechanics of the metallurgical processes with application of powder blowing technology are introduced, together with description of the factor carrier, installation assigned for blowing powders into the liquid metal-based on the "POLKO" system together with description of operational functions of the installation, linear diagram of the controlling connections, technical specification of the installation and also, acquired effects of powder blowing into the steel bath.