ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1991

Seria: HUTNICTWO z.36 Nr kol. 1063

Grzegorz ŁUKAS
Instytut Metarulgii
Politechniki Śląskiej

MIESZANIE CIEKŁEGO METALU W PROCESACH KONWERTOROWYCH

Streszczenie. Przeprowadzono eksperymenty modelowe mieszania ciekłej stali w konwertorze z dmuchem z góry i z dołu, w których badano wpływ takich parametrów, jak natężenie wdmuchiwanego gazu, ilość dysz, średnicę dysz, wysokość słupa cieczy w modelu na czas ujednorodnienia cieczy modelowej. Metodami analizy statystycznej wyznaczono równania opisujące powyższe zależności. Porównano wpływ dmuchu z góry i z dołu w konwertorze na czas mieszania ujednorodniającego. Uzyskano porównywalne wyniki czasu mieszania w modelu konwertora z odpowiednimi czasami wyznaczonymi dla instalacji przemysłowych.

1. Wstęp

Zasoby surowcowe oraz dostęp do tanich źródeł energii są obecnie podstawowymi czynnikami determinującymi rozmiary produkcji stali w gospodarce światowej. Wyczerpywanie się dostępnych źródeł surowców oraz energii wraz z niedostatecznym rozwojem energetyki jądrowej wywołuje w gospodarce tendencje do ich oszczędzania. W przemyśle hutniczym wdraża się nowe procesy produkcji stali, które ograniczają zużycie surowców, gwarantując jednocześnie zwiększenie uzysku stali oraz polepszenie jej jakości.
W ostatnim dwudziestoleciu w metarulgii stali obserwuje się skoncentrowanie badań nad intensyfikacją wytapiania stali w procesach konwertorowych. Poszukiwania optymalnych rozwiązań procesu konwertorowego wytyczyły kierunki badań w zakresie stosowania dmuchu dolnego oraz kombinowanego, doboru materiałów ceramicznych na kształtki gazoprzepuszczalne oraz wyłożenie wlewnic, kinetyki reakcji utleniania składników kąpieli i wpływu mieszania na ujednorodnienie ciekłej stali. Powyższe badania prowadzi się w celu opracowania modelu dymamicznego stosowania procesami konwertorowymi.

2. Wpływ mieszania stali w procesie konwertorowym na przebieg reakcji metalurgicznych

W tlenowym procesie konwertorowym oddziaływanie strugi tlenu z kąpielą metalową odbywa się zgodnie z teorią niesprężystych zdarzeń.

Energia kinetyczna wnikającej strugi tlenowej zostaje zamieniona na energię kinetyczną metalu i żużla. Wymiana pędu pomiędzy przepływającą strugą tlenu oraz pęcherzykami tlenu węgla a ciekłym metalem i żużlem stanowi o istocie procesu mieszania [1]. Mieszanie metalu i żużla w konwertorze prowadzi i ujednorodnienia kąpieli pod względem składu chemicznego i temperatury, do przyśpieszenia transportu reagentów do powierzchni reakcji, co wpływa na przyśpieszenie reakcji utleniania. Intensywne mieszanie metalu i żużla powoduje emulgację tych faz, która prowadzi do wzrostu powierzchni kontaktu w emulsji metalowo-żużlowej, sprzyjając procesom odsiarczania i odfosforowania stali. Mieszanie ciekłego metalu i żużla zachodzi również w wyniku konwekcji naturalnej zależnej od gradientu gęstości. Całkowita energia zużywana w procesie konwertorowym z górnym dmuchem na mieszanie metalu i żużla jest sumą energii kinetycznej wypływających pęcherzyków gazu:

$$E_c = E_k + E_{co} \tag{1}$$

Baptizmaniskij [2] udowodnił, że tylko ok. 20 - 25% początkowej energii strugi tlenu zużywa się na mieszanie kąpieli, 70 - 75% wynoszą straty przy niesprężystym zderzeniu, a 5 - 10% energii zużywa się na pokonanie sił wyporu i 2 - 3% na tworzenie nowej powierzchni.
Dla konwertorów z dolnym dmuchem energia mieszania jest sumą energii kinetycznej strugi tlenu oraz energii mieszania wynikającej z izotermicznej ekspansji gazu:

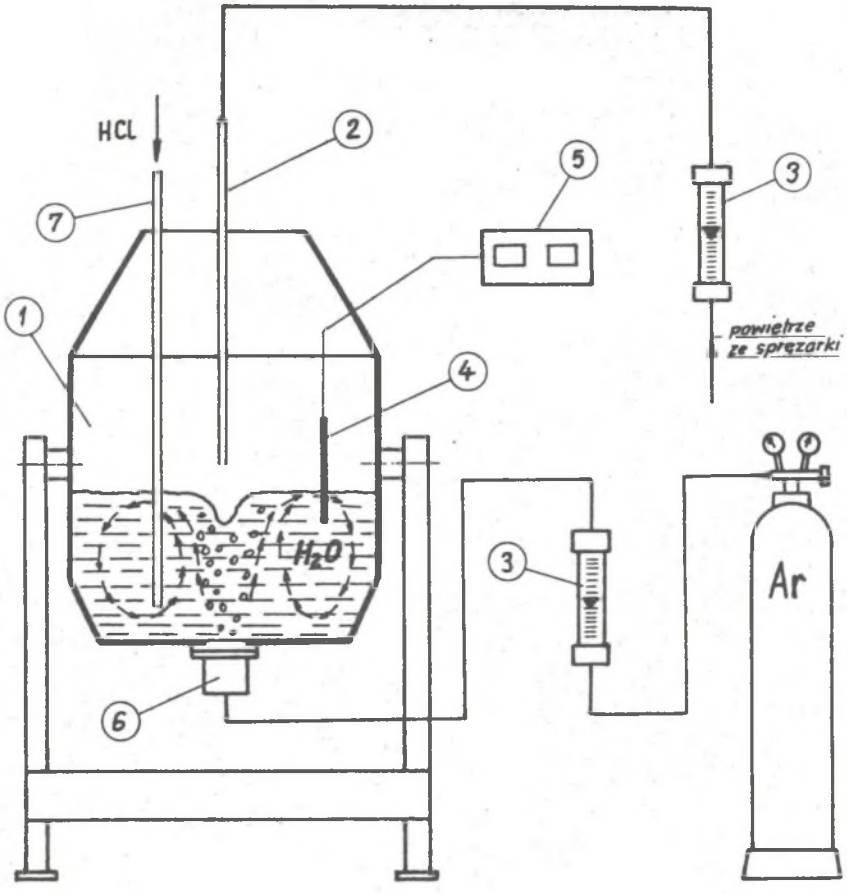
$$E_c = E_k + E_{izot(CO)} \tag{2}$$

gdzie: E_k - energia kinetyczna strugi tlenu,
$E_{izot(CO)}$ - energia pęcherzyków CO przekazywana do ciekłego metalu w wyniku izotermicznej ekspansji gazu.

W konwertorach tlenowych z górnym dmuchem decydujący wpływ na mieszanie kąpieli metalowej ma szybkość wypalania węgla we wtórnej strefie reakcji oraz ilość powstających pęcherzyków CO, a w konwertorach z dmuchem dolnym intensywność mieszania zależy od natężenia przepływu wdmuchiwanego tlenu.

Głównymi wadami procesu konwertorowego z dmuchem górnym są słabe wymieszanie kąpieli (szczególnie w zakresie niskich zawartości węgla), zła jednorodność składu chemicznego i temperatury, brak równowagi w układzie żużel-metal. W procesie tym występują duże straty żelaza związane z wysoką zawartością [O] w stali i wysoką temperaturą żużla. Również ograniczone odwęglanie ($[C] \approx 0{,}02\%$) jest wodą tego procesu [3,4] .

W konwertorach z dmuchem dolnym w wyniku lepszego wykorzystania energii niesionej strugą gazu uzyskuje się silne wymieszanie reagujących faz, dużą jednorodność składu i temperatury stali, wysokie odfosforowanie i odsiarczanie, małe straty w wyniku utleniania żelaza oraz niski poziom O w stali.



Rys.1 Schemat stanowiska laboratoryjnego do pomiaru czasu mieszania w modelu konwertora

Istnieje możliwość odwęglania stali do ekstermalnie niskich zawartości węgla (C=0,004%). W porównaniu z konwertorem z dmuchem górnym wadą tego procesu jest konieczność dużej inwestycji po to, aby przebudować istniejący konwertor LD, konieczność zaawansowanego sterowania automatycznego i technologii pomiarów, ograniczona trwałość dennicy [3]. Zasadnicza różnica w omawianych procesach polega na intensywności w mieszaniu ciekłego metalu i różnym czasie idealnego wymieszania kąpieli metalowej.

3. Badania modelowe procesu mieszania ciekłego metalu w konwertorze z dmuchem górnym i dolnym.

Wraz z rozwojem technologii mieszania ciekłej stali nagląca stała się konieczność ilościowego określenia intensywności mieszania. Nakanishi w tym celu [5] wprowadził tzw. czas mieszania ujednorodniającego nazywamy również czasem idealnego wymieszania, który jest czasem potrzebnym na to, aby wdmuchiwane do stali znaczniki równomiernie się rozproszyły.

Tablica 1

Wyznaczone wartości kryteriów podobieństwa metodą analizy wymianowej

Kryterium podobieństwa	Wzór	Model	Konwertor
Liczba Frouda	$Fr = \frac{\rho_g \cdot v^2}{\rho_L \cdot g \cdot h_B}$	3,38	3,66
Liczba Reynoldsa	$Re = \frac{\rho_g \cdot v \cdot d_g}{\eta_g}$	$8,6\ 10^3$ $2,9\ 10^4$	$2,07\ 10^6$ $2,59\ 10^6$
Stosunek wysokości kąpieli h_B do jej średnicy d_B	$\frac{h_B}{d_B}$	0,303	0,303
Kąt rozwarcia między osią dyszy a osią lancy	α	12°	$9^o - 20^o$
	$\frac{d_g \sqrt{N}}{d_B}$	0,003	0,009

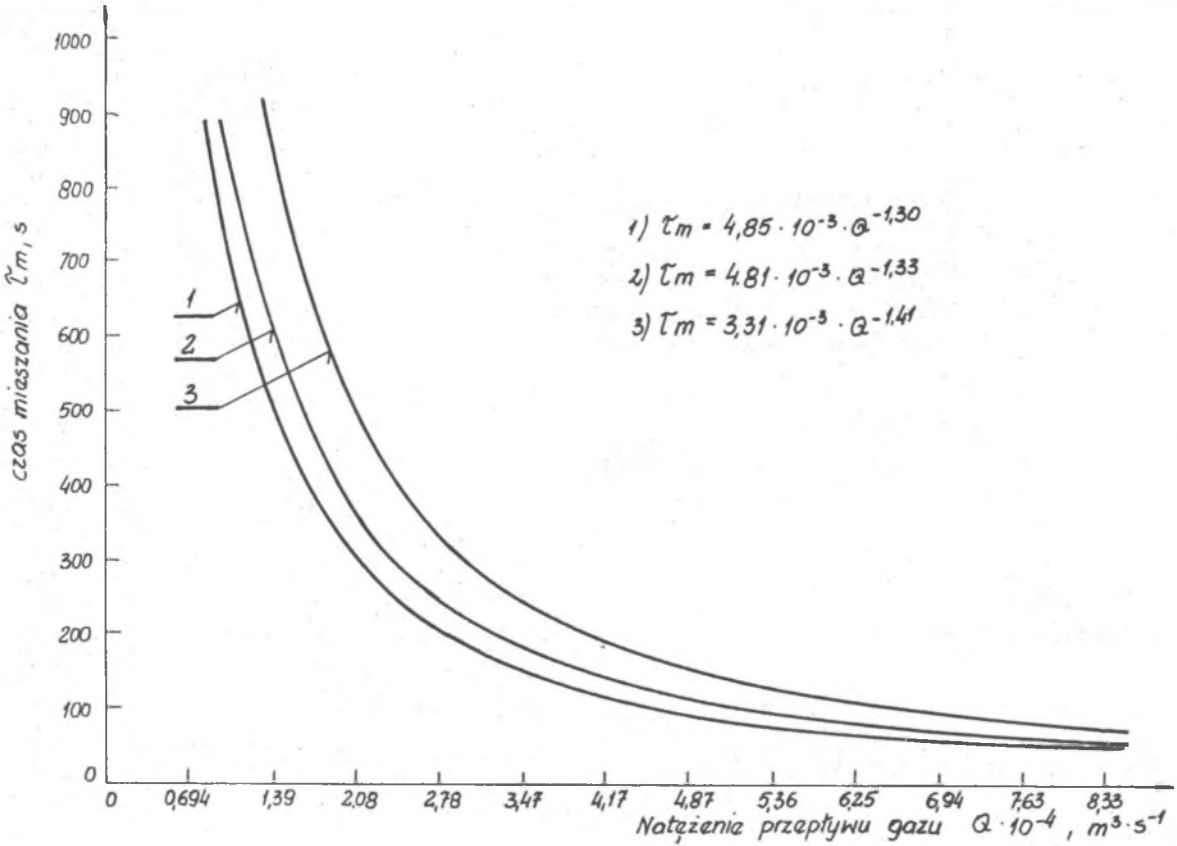
gdzie: ρ - gęstość, $kg \cdot m^{-3}$
g - przyspieszenie ziemskie, $m \cdot s^{-2}$
h_B, d_B - wysokość i średnicy kąpieli , m
d_g - średnica dyszy, m
η - lepkość dynamiczna, Pa.s
N - ilość dysz

Można określić ilościowo intensywność mieszania przez czas mieszania ujednoradniającego będący funkcją natężenia wdmuchiwanego gazu lub wprowadzonej mocy mieszania [6]. Czas idealnego wymieszania ciekłego metalu w procesach konwertorowych zależy od sposobu doprowadzenia gazu (dół, góra), miejsca doprowadzenia gazu, co ma szczególne znaczenie przy dmuchu z dołu, rodzaju stosowanych dysz oraz ich średnic i wreszcie od natężenia przepływu wdmuchowanego gazu.

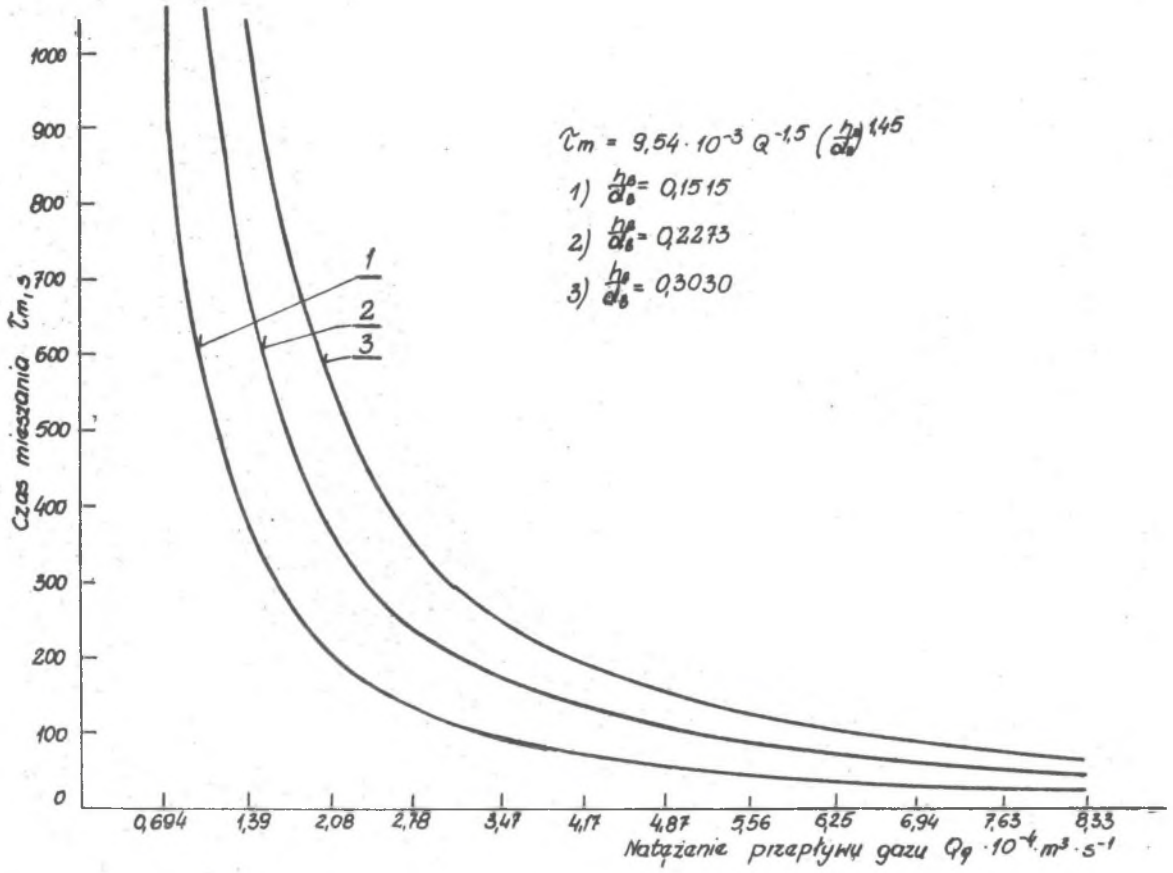
Tablica 2

Warianty prowadzonych badań oraz uzyskane wyniki czasu idealnego wymieszania w modelu konwertora

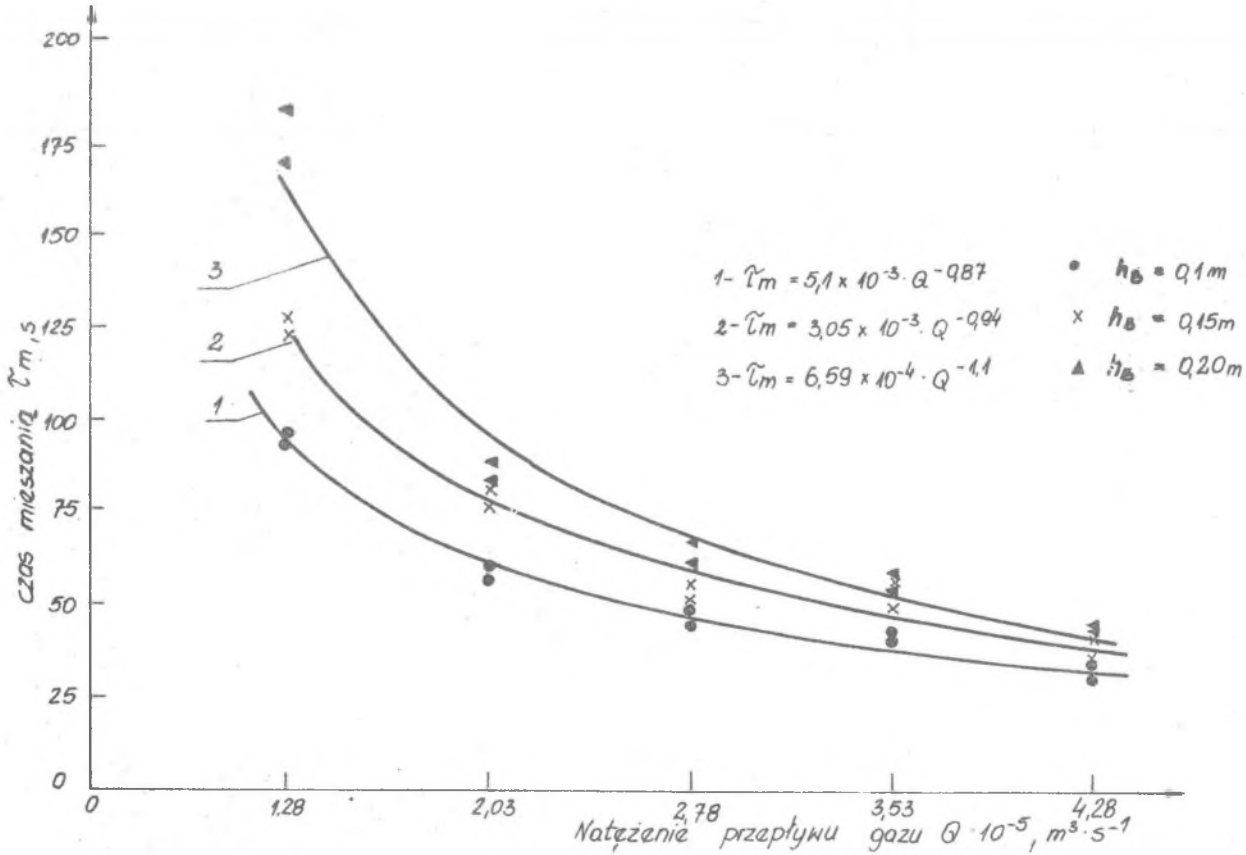
Nr eksperymentu	Rodzaj dmuchu	Natężenie przepływu wdmuchiwanego gazu Q $m^3 \cdot s^{-1}$	Ilość dysz N	Średnica dyszy d m	Wysokość słupa cieczy h_B	Równanie czasu idealnego wymieszania
1	2	3	4	5	6	7
WARIANT 1	dmuch z góry	$6,94 \times 10^{-5}$ $8,33 \times 10^{-4}$	1	0,002	0,10 0,15 0,20	$\tau_m = 4,85 \cdot 10^{-3} \cdot Q^{-1,30}$ R=0,95 $\tau_m = 4,81 \cdot 10^{-3} \cdot Q^{-1,33}$ R=0,93 $\tau_m = 3,31 \cdot 10^{-3} \cdot Q^{-4,1}$ R=0,97 $\alpha_T = 0,05$ $\alpha_F = 0,01$
WARIANT 2	dmuch z góry	$6,94 \times 10^{-5}$ $8,33 \times 10^{-4}$	4	0,001	0,10 0,15 0,20	$\tau_m = 9,54 \cdot 10^{-3} \cdot Q^{-1,5} \cdot \left(\frac{h_B}{d_B}\right)^{1,45}$ R=0,98 $\alpha_T = 0,01$ i $\alpha_F = 0,01$
WARIANT 3	dmuch z dołu	$1,28 \times 10^{-5}$ $4,28 \times 10^{-5}$	1	0,0005	0,10 0,15 0,20	$\tau_m = 5,10 \cdot 10^{-3} \cdot Q^{-0,87}$ R=0,97 $\tau_m = 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot Q^{-0,94}$ R=0,98 $\tau_m = 6,59 \cdot 10^{-4} \cdot Q^{-1,10}$ R=0,98 $\alpha_T = 0,05$ $\alpha_F = 0,05$
WARIANT 4	dmuch z dołu	$1,28 \times 10^{-5}$ $4,28 \times 10^{-5}$	4	0,0005	0,10 0,15 o,20	$\tau_m = 1,35 \times 10^{-2} \cdot Q^{-0,75}$ R=0,98 $\tau_m = 7,33 \times 10^{-3} \cdot Q^{-0,82}$ R=0,97 $\tau_m = 6,95 \times 10^{-5} \cdot Q^{-1,10}$ R=0,98 $\alpha_T = 0,05$ $\alpha_F = 0,05$



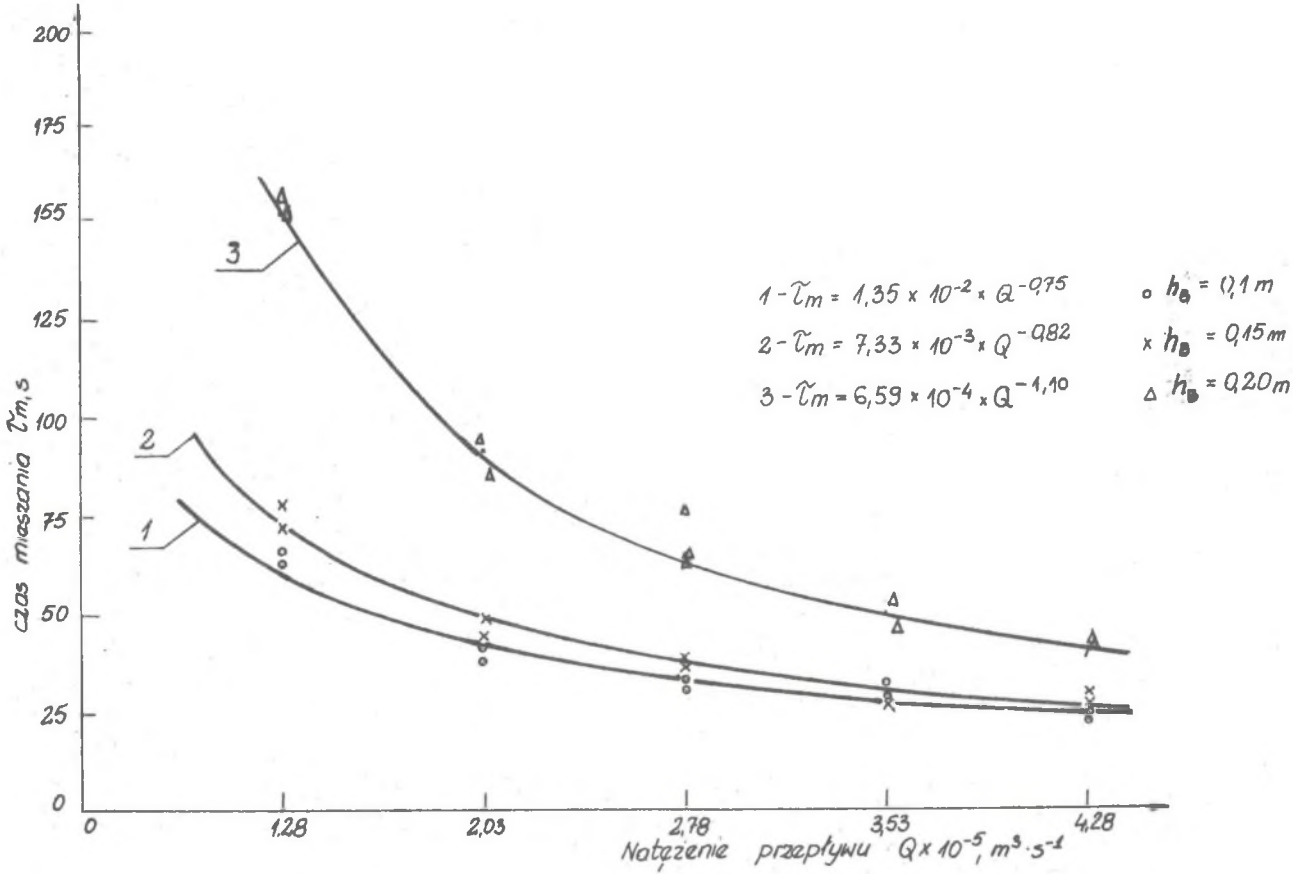
Rys.2 Zależność czasu mieszania od wysokości słupa cieczy w modelu podczas wdmuchiwania gazu z lancą z góry dla warunków: N = 1, d_g = 0,002 m. Wariant 1



Rys.3 Zależność czasu mieszania od natężenia przepływu gazu wdmuchiwanego z góry dla warunków: $N_g = 4$, $h_B = 0{,}1 - 0{,}2$, $d_g = 0{,}001$ m. Wariant 2

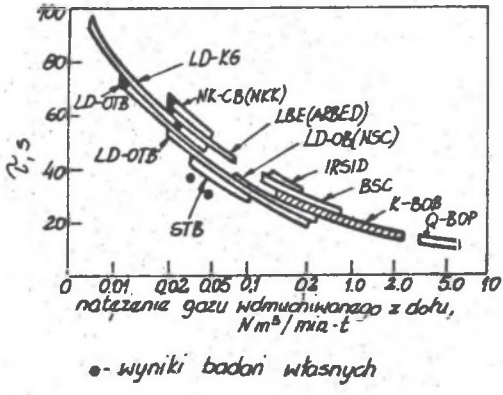


Rys.4 Wpływ natężenia przepływu gazu wdmuchiwanego z dołu na czas mieszania dla różnych wysokości napełniania modelu. Wariant 3



Rys.5 Wpływ natężenia przepływu gazu wdmuchiwanego z dołu na czas mieszania. Wariant 4

W celu określenia wpływu parametrów dmuchu górnego i dolnego w procesie konwertorowym na czas idealnego wymieszania kąpieli metalowej przeprowadzono badania modelowe procesu mieszania w modelu 300 t konwertora tlenowego, w którym ciekłą stal imitowała woda (rys.1). W badaniach określono wpływ natężenia przepływu gazu, ilości dysz, średnicy dysz, wysokości słupa cieczy w modelu na czas idealnego wymieszania cieczy modelowej. W trakcie eksperymentów rejestrowano zmiany stężenia H^+ roztworu w czasie. Czas, po którym stężenie jonów H^+ ustabilizowało się na stałym poziomie,przyjmowano jako czas idealnego wymieszania. Zachowanie podobieństwa geometrycznego między modelem a konwertorem oraz dobór metodyki badań pozwala w pewnym zakresie przenieść wyniki badań modelowych na obiekt rzeczywisty (tablica 1) [7,8].



Rys.6 Zależność czasu idealnego wymieszania ciekłego metalu i cieczy modelowej od natężenia wdmuchiwanego gazu z dołu dla różnych odmian procesu konwertorowego

Eksperymenty przeprowadzono wg 4 wariantów, dla których wyznaczono metodami statystycznymi równania czasu idealnego wymieszania (tablica 2). W przypadku stosowania dmuchu z góry przez jedną dyszę o średnicy 0,002 m o natężeniu przepływu gazu Q_g=6,94 10^{-5} 8,33 · 10^{-4} czas idealnego wymieszania zmniejsza się od 2850 s do 50 s. Zmniejszenie wysokości słupa cieczy w modelu z 0,2 do 0,1 m skraca czas idealnego wymieszania średnio o 50% (rys.2) Zastosowanie czterootworowej głowicy lancy do dmuchu górnego dla mniejszych wartości przepływu gazu prowadzi do dalszego skrócenia czasu idealnego wymieszania (rys.3). W eksperymentach określenia czasu wymieszania dla dmuchu dolnego stosowano dziesięciokrotnie mniejsze natężenia przepływu gazu w porównaniu z dmuchem górnym, natomiast uzyskano znacznie niższe czasy idealnego wymieszania w granicach od 180 - 35 s (rys. 4 i 5). Uzyskane w modelu czasy idealnego wymieszania dla dmuchu dolnego są porównywalne z wynikami badań w tego typu urządzeniach w warunkach przemysłowych (rys. 6).

4. Podsumowanie

W przeprowadzonych badaniach modelowych udowodniono, że podczas dmuchu dolnego ma miejsce szybsza cyrkulacja metalu w konwertorze, co prowadzi do krótszego czasu idealnego wymieszania ciekłego metalu. Uzyskane czasy wymieszania dla dmuchu górnego w warunkach przemysłowych będą krótsze, ponieważ w badaniach modelowych nie uwzględniono wpływu mieszania ciekłego metalu przez powstające w kąpieli pęcherzyki CO.

LITERAURA

[1] Baptizmańskij W.I. Miedżibożskij M.Ja. Ochotskij W.B.: Konwiertiernyje processy proizwodstwa stali. Izd. Szkoła, 1984.

[2] Baptizmańskij W.I. Tieoria kisłorodno-konwiertiernowo processa. Izd. Mietałłurgija, Moskwa 1975

[3] Progress of the Iron and Steel Technologies in Japan in the Past Decade (III - Steelmeking) Trans Iron Steel Inst.Jap. 1985. Nr 7, s.627-710.

[4] Ohnishi M. Nagai J.: Iron and Steelmaker, 1983, Nr 8, s.28-34

[5] Nakanishi K.: Ironmaking and Steelmaking 1975, Nr 2 s.119

[6] Lukas G.: Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice, 1985

LIGNID METAL MIXING IN CONVERTOR PROCESSES

Summary

Model experiments of lignid steel mixing in converter with top and bottom blast have been carried out.
The influence of such parametres as the intensity of gass flow, the amount of nozzles, the level of lignid in the model upon homogenizing time of the model, have been tested. Equations describing those dependences have been assigneg by statistic analysis methods. The inluence of top and bottom blast in convertor on homogenizing mixing has been compared. Comparable results of mixing time in converter together with adequately determined times for industrial installations have been established.

ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В КОНВЕРТЕРНЫХ ПРОЦЕССАХ

Резюме

Произвиедено моделные эксперименты перемешивания жидкой стали в конвертерие с дутем донным и сверху, в которым исследовано влияние напряжения вдуванного газа, количества и диаметр фурм, высоту жидкости в модели на время хомогенизаций моделной жидкости. Методами статистической анализы назначено уравнения описывающие исследуемые зависымости. Сравнено итоги влияния дутя сверху и снизу на время хомогенизаций. Получено сравнителные итоги время перемешивания в модели конвертера с соответствующими времями назначеными для промышленного оборудования.