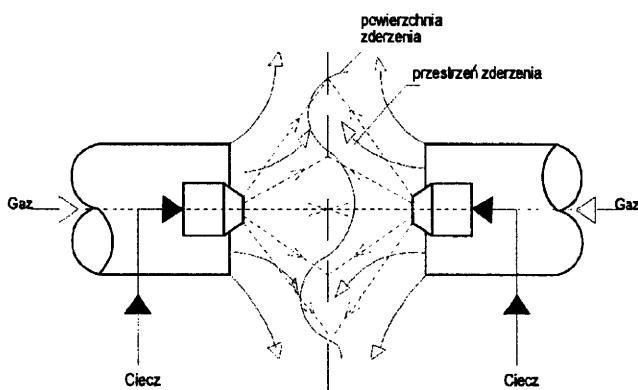


Jerzy Warych

Odsiarczanie gazów odlotowych w środowisku zderzających się strumieni płynów

Rozwój technologii odsiarczania gazów odlotowych, mimo wielu znanych sposobów prowadzenia procesu, trwa w dalszym ciągu, przede wszystkim w celu poprawy sprawności procesowej, dyspozycyjności i obniżenia kosztów ogólnych.

Jedną z alternatywnych metod odsiarczania gazów odlotowych może być wykorzystanie zjawiska zderzenia bezpośredniego, mniej lub bardziej czołowego, strumieni oczyszczanych gazów w obecności ciekłego reagentu, mającego właściwości sorbentu dwutlenku siarki. Zderzenie czołowe strumieni, gdy napływają one na siebie wzdłuż tej samej osi, jest konfiguracją najprostszą (rys. 1).



Rys. 1. Schemat zderzenia czołowego strumieni gazu i strug cieczy

W rezultacie zderzenia w jego najbliższej przestrzeni wytwarza się strefa dużej burzliwości, stwarzająca dobre warunki do wymiany pędu, ciepła i masy w układach jednorodnych i wielofazowych. Wynika to z następujących powodów:

- wzrostu prędkości względnej płynów, co zmniejsza opory zewnętrzne wnikania ciepła i masy,
- wzrostu średniego czasu przebywania substancji (reagentów) w niewielkiej przestrzeni oddziaływania,
- istnienia w układzie gaz–ciecz dużych sił ścinających i zderzeń cząstek, co prowadzi do zwiększenia powierzchni międzyfazowej i szybkości jej odnawiania,
- zderzeń strumieni fazy ciągłej, co powoduje dobre ich wymieszanie i wyrównanie stężeń w układzie.

Taka korzystna charakterystyka układu znajduje potwierdzenie w wielu badaniach procesów podstawowych, jak również w zastosowaniach technicznych [1,2]. W odniesieniu do odsiarczania gazów, które jak dotąd nie było przedmiotem badań w tym układzie, istotna jest intensyfikacja wymiany masy, tj. absorpcji SO_2 , w odpowiednim – ciekłym – sorbencie.

Zwiększenie strumienia zaabsorbowanej masy SO_2 wiązać tu można z wymienionymi wyżej właściwościami układu zderzeniowego, a także z wtórnym rozpyleniem kropli i ściśnięciem w strefie zderzenia oraz wzrostem cyrkulacji powietrzchniowej i wewnętrznej w kroplach na skutek zderzeń i deformacji. Porównanie absorbera zderzeniowego na podstawie badań absorpcji gazów dobrze i słabo rozpuszczalnych w wodzie wskazuje, że współczynniki przenikania masy w absorberach zderzeniowych są porównywalne lub wyższe niż w klasycznych absorberach natryskowych, półkowych i wypełnionych [2].

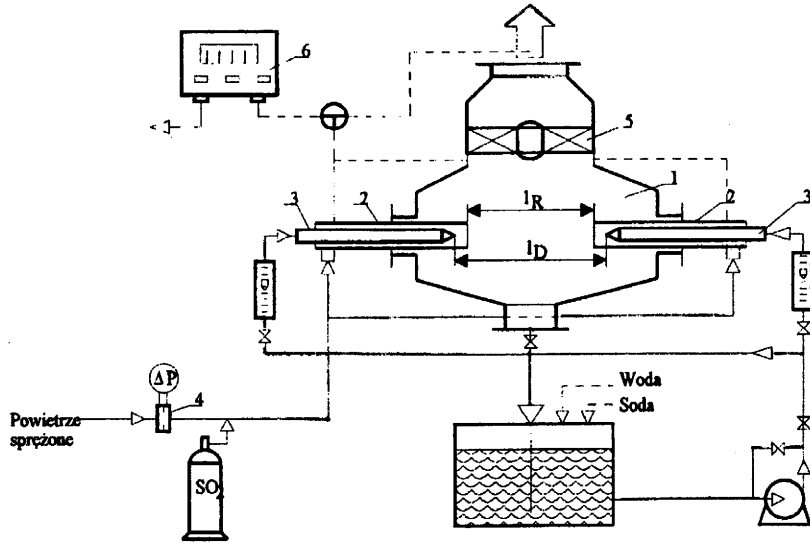
Dla identyfikacji procesowej układu [3], tj. zwiększenia jego zdolności do absorpcji SO_2 w roztworze alkalicznym, przeprowadzono badania doświadczalne będące przedmiotem niniejszej pracy.

Procedura badań

Schemat stanowiska do badania absorpcji SO_2 w skruberze zderzeniowym przedstawia rysunek 2. Jako testowy zastosowano strumień powietrza o parametrach otoczenia, do którego dozowano odpowiednią objętość SO_2 , tak aby zachować w przybliżeniu stałe stężenie SO_2 w powietrzu, tj. około 800 ppm. Strumień ten rozdzielono na dwa oddzielne strumienie, po czym wprowadzono do skrubera (1) przesuwnymi rurami (2) o średnicy wewnętrznej 60 mm, przez króćce przeciwnie skierowane, umieszczone na tej samej osi.

Rozwiązanie to umożliwiło zmianę położenia wylotów strumienia gazu, tj. wielkości przestrzeni zderzenia. Ciecz absorpcyjną, którą stanowił wodny roztwór sody kalcynowanej o stężeniu około $0,1 \text{ mol/dm}^3$ i temperaturze otoczenia, pobierano ze zbiornika i tłoczono pompą wirową poprzez rotometri do rozgałęzionych przewodów (3) o średnicy $1/2''$, zasilających dysze hydrauliczne. Dysze zapewniały rozpył w postaci pełnego stożka i umieszczone były na wylocie z rur (2) tak, że ich odległość w stosunku do krawędzi wylotów gazu z rur mogła być zmieniana, co tym samym pozwalało na zmianę wzajemnego położenia dysz. Po wyptywie i zderzeniu strumieni w przestrzeni skrubera pomiędzy wylotami z rur (2), w wyniku działania sił ciężkości, następowało rozdzielanie cieczy od gazu. Krople porywane i uniesione wraz z gazem wydzielano w odkraplaczu wirowym (5).

Zmiennymi parametrami badań były strumienie objętości gazu i cieczy oraz odległości wylotów strumieni gazu i rozpylonej cieczy. Pomiary, przy ustalonych parametrach procesowych, prowadzono w czasie 20+30 minut, do spadku pH roztworu do 6, dla każdego punktu badanych zmiennych. Roztwór wyczerpany regenerowano sproszkowanym wodrotlenkiem wapnia. Po zdekantowaniu i zmiekczeniu sprosz-



Fys. 2. Schemat instalacji badawczej (1 – skruber zderzeniowy, 2 – rury, doprowadzające gaz, 3 – rury z dyszami rozpylającymi doprowadzające roztwór sody, 4 – zwężka pomiarowa, 5 – odkraplacz, 6 – analizator SO_2)

kowanym Na_2CO_3 roztwór o $\text{pH} \approx 12$ używano ponownie do badań. Efekty odsiarczania gazu, tj. szybkość absorpcji SO_2 w roztworze sody kalcynowanej i sprawność odsiarczania, określano ze wskazań automatycznego analizatora SO_2 , który pobierał i analizował próbki gazu z rurociągu dolotowego i na wylocie ze skrubera, przed odkraplaczem. Prędkość liniową gazu na wylocie z rur doprowadzających gaz do strefy zderzenia (u_G , m/s), przy znanym strumieniu objętości gazu (V_G) i powierzchni przekroju prostopadłego do przepływu (A_R), obliczono z zależności:

$$u_G = V_G / 3600 A_R \quad (1)$$

Sprawność odsiarczania gazu (η) obliczono jako stosunek masy SO_2 zaabsorbowanego w czasie dt (m_A) do masy SO_2 , która w tym samym czasie została wprowadzona do skrubera (m_i):

$$\eta = \frac{m_A}{m_i} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} V_G (C_i - C_o) dt}{\int_{t_1}^{t_2} V_G C_i dt} \quad (2)$$

gdzie C_i i C_o oznaczają stężenia SO_2 (kgSO_2/m^3), odpowiednio na wlocie i wylocie ze skrubera.

Szybkość absorpcji SO_2 (kgSO_2/h) obliczono z zależności:

$$R_{\text{SO}_2} = \eta V_{\text{SO}_2} \rho_{\text{SO}_2} \quad (3)$$

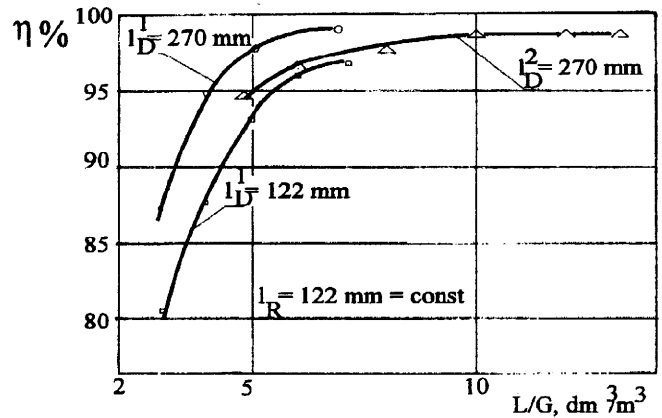
gdzie:

V_{SO_2} – strumień objętości SO_2 wprowadzony do skrubera, m^3/h ,
 ρ_{SO_2} – gęstość SO_2 w warunkach badań, kg/m^3 .

Wyniki badań

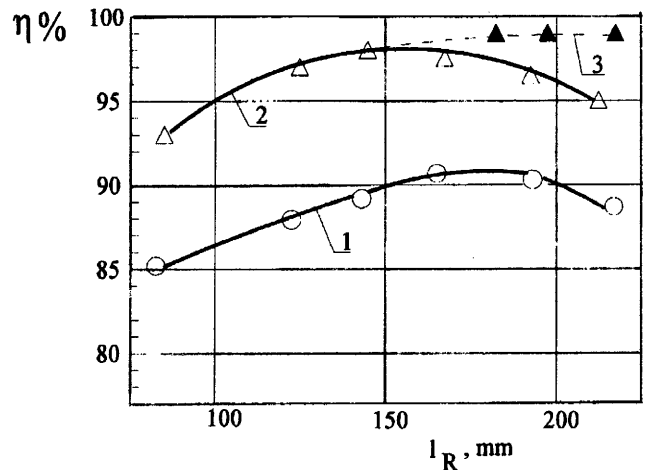
Wyniki badań przedstawiono na wykresach obrazujących wpływ zasadniczych parametrów procesowych, operacyjnych i konstrukcyjnych na sprawność odsiarczania i szybkość absorpcji SO_2 w roztworze węglanu sodu.

Sprawność odsiarczania zwiększała się wraz ze wzrostem gęstości zraszania roztworem sorpcyjnym, określonym przez stosunek L/G w zakresie $3+14 \text{ dm}^3/\text{m}^3$ (rys.3). Znaczenie miały również jednak i inne parametry, takie jak wzajemna



Fys. 3. Zależność sprawności odsiarczania gazu od gęstości zraszania przy zmiennych odległościach dysz zraszających, o drobnym rozpyle i małej wydajności (l_D^1) i o grubym rozpyle i dużej wydajności (l_D^2)

odległość dysz rozpylających roztwór sorpcyjny (l_D), wraz ze wzrostem której sprawność odsiarczania ulegała zwiększeniu. Wiązało się to ze zwiększeniem czasu kontaktu i powierzchni międzyfazowej reagującego układu gaz–ciecz.



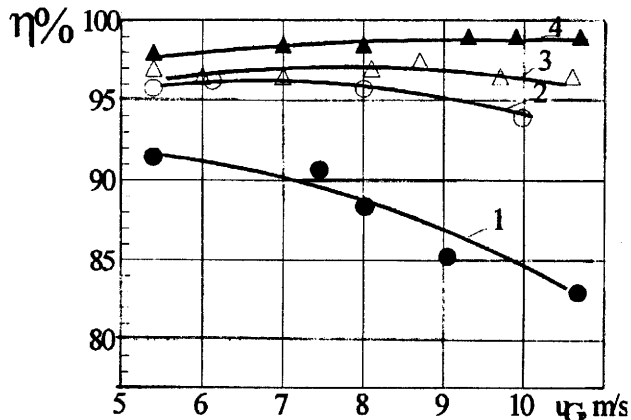
Fys. 4. Zależność sprawności odsiarczania gazu od odległości pomiędzy wylotami gazu przy $l_D = l_D$ i zmiennym stosunku L/G (1 – $4 \text{ dm}^3/\text{m}^3$, 2 – $6 \text{ dm}^3/\text{m}^3$; krzywa 3 odpowiada warunkowi $l_R = 142 \text{ mm} = \text{const}$ i zmiennym wartościom l_D)

Jakość rozpyłu roztworu, tzn. czy były to drobne (indeks górny przy l_D równy 1) lub grube krople (indeks równy 2), przy dostatecznie dużej odległości pomiędzy dyszami, oraz gdy gęstość zraszania była odpowiednio duża, nie miała znaczącego wpływu na sprawność odsiarczania gazów.

Zwiększenie odległości pomiędzy wylotami zderzających się strumieni gazu (l_R) powodowało wzrost sprawności odsiarczania tylko do pewnej granicy (rys.4). W warunkach badań była to odległość $l_R=150+160$ mm. Dalsze zwiększanie odległości powodowało systematyczny spadek sprawności odsiarczania, co wynikało z pogorszenia warunków wnikania masy i szybkości odnawiania się powierzchni kontaktu.

Zjawisko to może być w pewnym zakresie niwelowane, jeżeli wraz ze zwiększeniem l_R zwiększy się jednocześnie odległość pomiędzy dyszami (l_D) (rys.4, krzywa 3). Wydaje się jednak, że i w tym przypadku występuje również odległość optymalna l_D , co wymaga potwierdzenia w dalszych badaniach.

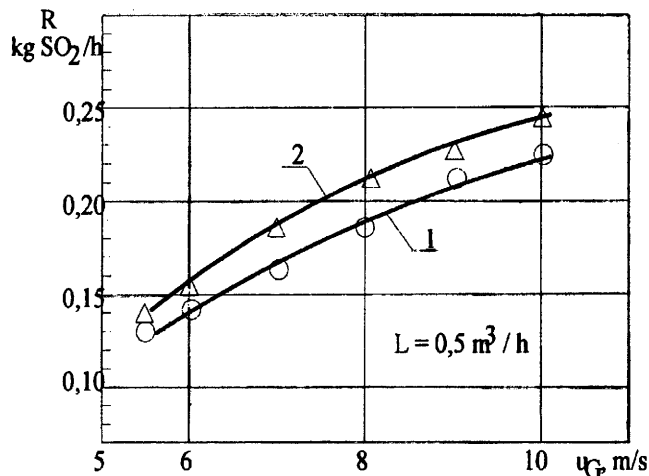
Zwiększenie prędkości liniowej odsiarczane go gazu na wylotach z rurociągów do strefy zderzenia powodowało, w zależności od gęstości zraszania roztworem sorpcyjnym, różny przebieg krzywych sprawności odsiarczania (rys.5).



Rys. 5. Zależność sprawności odsiarczania od prędkości liniowej zderzających się strumieni gazu, przy różnych gęstościach zraszania cieczą i stałych odległościach wylotów $l_R=l_D$ (1 – 0,42 m³/h, 2 – 0,50 m³/h, 3 – 0,80 m³/h, 4 – 1,00 m³/h)

W zakresie małych gęstości zraszania sprawność odsiarczania malała wraz ze zwiększeniem prędkości gazu, co świadczyło, że mimo polepszenia warunków kinetycznych wnikania SO₂ do kropli i warstewek roztworu w strefie zderzenia, pozostałe warunki były niekorzystne. Krótki czas kontaktu reagujących faz i krople w dużym stopniu ulegające koalescencji zmniejszały czynną powierzchnię przenikania masy. Potwierdzały to przebiegi krzywych sprawności w zakresie większych gęstości zraszania, gdzie sprawności odsiarczania w badanym przedziale zmian prędkości gazu zmieniały się nieznacznie. Przebieg zmian szybkości absorpcji SO₂ w roztworze sody w skruberze zderzeniowym, w zależności od prędkości liniowej zderzających się strumieni gazu, przy różnych odległościach wylotów l_R , przedstawiono na rysunku 6.

Szybkość absorpcji SO₂ zwiększała się wraz ze wzrostem prędkości, a tym samym energii zderzenia strumieni gazu, oraz wraz ze wzrostem odległości wylotów rur wylotowych, tzn. przestrzeni zderzenia. Dalszy wzrost odległości l_R poza granicę 200 mm, podobnie jak w przypadku sprawności odsiarczania, powodował również spadek szybkości absorpcji SO₂.



Rys. 6. Zależność szybkości absorpcji SO₂ od prędkości zderzenia się strumieni gazu przy różnych odległościach wylotów $l_R=l_D$ (1 – 82 mm, 2 – 142 mm)

Uzyskana w badaniach szybkość absorpcji SO₂ w zakresie 0,12+0,25 kgSO₂/h była porównywalna bądź wyższa niż w najbardziej sprawnych skruberach natryskowych. Świadczył o tym również objętościowy współczynnik przenikania masy odniesiony do fazy gazowej, który w niniejszych badaniach wynosił $K_{Ga}=0,35+10$ s⁻¹). Wysokie wartości tego współczynnika wynikały z dużej prędkości względnej kropli roztworu sorpcyjnego i gazu, która może tu dochodzić do podwójnej prędkości gazu. Szybkość przenoszenia masy była natomiast proporcjonalna do wykładnika prędkości względnej, co miało istotne znaczenie dla absorpcji gazów dobrze i średnio rozpuszczalnych.

Wnioski

♦ Sprawność odsiarczania gazu wzrastała wraz ze wzrostem gęstości zraszania określonej stosunkiem L/G i pozostawała wysoka, w małym stopniu zależna od prędkości gazu w zakresie 5,5+10,5 m/s, gdy gęstość zraszania cieczą była dostateczna.

♦ Istnieje optymalna odległość pomiędzy wylotami zderzających się strumieni gazu, a także pomiędzy dyszami rozpylającymi ciecz, z tym, że obserwowano wzrost sprawności odsiarczania gazów wraz ze zwiększaniem odległości dysz, w badanym zakresie zmian ich położenia.

♦ Początkowa średnica rozpylanych kropli nie miała znaczącego wpływu na sprawność odsiarczania gazów, jeżeli gęstość zraszania cieczą była dostatecznie duża.

LITERATURA

1. J. WARYCH: Oczyszczanie gazów w zderzających się strumieniach. Mat. III symp. „Ochrona Powietrza w Przemysle”, Łódź 1994, ss. 1–3.
2. A. TAMIR: Impinging-Stream Reactors: Fundamentals and Applications. Elsevier, Amsterdam 1994.
3. J. WARYCH: Patent PL nr 164511, 1994.

SO₂ Removal in a Space with Impinging Fluid Streams

The idea of impinging streams was included in the process of flue gas desulphurization: SO₂ was removed during axial impingement of two fluid streams. Experiments showed that the efficiency of SO₂ removal depended primarily on the linear velocity of the gas stream to be treated, on the spraying density,

and on the location of impingement. The investigated absorber involving two impinging streams was found to be very effective. The device is an attractive option to conventional absorbers of low or medium capacity.