



Patent dodatkowy
do patentu nr _____

Zgłoszono: 30.10.73 (P. 166202)

Pierwszeństwo: _____

Zgłoszenie ogłoszono: 02.12.74

Opis patentowy opublikowano: 31.12.1977

MKP B01d 47/00

Int. Cl.²
B01D 47/00

Twórca wynalazku: _____

Uprawniony z patentu: Lone Star Steel Company, Dallas, Texas
(Stany Zjednoczone Ameryki)

Sposób oczyszczania gazów przemysłowych

1

Przedmiotem wynalazku jest sposób oczyszczania gazów przemysłowych, a zwłaszcza z zanieczyszczeń stałych oraz gazów kwaśnych i innych rozpuszczalnych gazów.

Odprowadzane do powietrza gazy pochodzące z różnych procesów przemysłowych i chemicznych mogą zawierać zanieczyszczenia stałe o różnej wielkości cząstek i rozmaitym składzie chemicznym jak też zanieczyszczenia w postaci ciekłej lub gazowej. Ciekłe i gazowe składniki tych gazów odlotowych są bardzo różne co do charakteru poczynając od pary wodnej, dwutlenku węgla i wody, które są zasadniczo uważane za nieszkodliwe a kończąc na takich substancjach jak tlenki siarki i azotu, tlenek węgla i rozmaite kwasy, które są silnie toksyczne a ich zawartość w atmosferze musi być ściśle kontrolowana aby zapobiec poważnym szkodom o charakterze ekologicznym. Zanieczyszczenia stałe w gazach odlotowych mogą być różne pod względem wielkości od dużych cząstek takich jak płatki zgorzeliny do mikroskopijnych o wielkości mniejszej od mikrona. Typowym przykładem tych mikroskopijnych zanieczyszczeń są cząstki tlenku żelaza powstającego zwykle przy wytopie stali w piecach martenowskich oraz świeceniu surowców w konwertorach zasadowych.

Chociaż wyraźne zainteresowanie metodami kontroli zanieczyszczenia środowiska we wszystkich dziedzinach gospodarki notuje się dopiero od kilku lat to jednak już wcześniej istniały liczne, sze-

2

roko stosowane metody usuwania zanieczyszczeń na przykład zanieczyszczeń stałych z gazów, jak również sposoby usuwania zanieczyszczeń gazowych.

Znanych jest szereg podstawowych rodzajów urządzeń do oddzielania stałych zanieczyszczeń od gazów. Pierwszym są oddzielacze mechaniczne do których należą takie urządzenia jak filtry wyposażone w siatki lub inne przegrody nie przepuszczające zanieczyszczeń stałych o silnym rozdrobnieniu natomiast pozwalające na przepływ gazów. Do innej grupy mechanicznych urządzeń oddzielających należą separatory odśrodkowe lub cyklonowe, w których zanieczyszczenia stałe lub w ogóle cząsteczki ciał stałych są oddzielane przez zmianę kierunku przepływu strumienia gazu.

Oddzielanie substancji stałych silnie rozdrobnionych od gazu może być również dokonywane przy wykorzystaniu sił elektrostatycznych jak to ma miejsce w dobrze znanych elektrofiltrach. W takim urządzeniu gaz jest przepuszczany przez obszar działania pola elektrycznego, które powoduje naładowanie cząstek stałych elektrycznością statyczną i następnie przyciąganie ich przez płytki o ładunku przeciwnym, skąd osadzone cząstki stałe mogą być usuwane za pomocą środków mechanicznych.

Trzeba wspomnieć również, że obok sił odśrodkowych i sił elektrostatycznych w urządzeniach wyżej wspomnianych występują również siły ciążenia, które również mogą powodować w pewnym

stopniu oddzielanie cząstek stałych. Projektowano już także sprzęt do oddzielania cząstek stałych od gazów działający zasadniczo w oparciu o siły ciążenia. Urządzenia takie posiadają zasadniczo duże komory osadnikowe, w których prędkość strumienia gazu jest bliska zeru. Jeśli taka komora jest wystarczająco duża to czas przebywania w niej gazu będzie dostatecznie długi, aby umożliwić osadzenie się w tej komorze znacznej części cząstek stałych zawartych w gazie.

Ogólnie rzecz biorąc wszystkie wspomniane wyżej urządzenia do oddzielania stałych substancji w postaci rozdrobnionej działają skutecznie przy oddzielaniu stosunkowo dużych cząstek a zdolność oddzielania zmniejsza się szybko gdy wielkość cząstek stałych jest mniejsza od 1–2 mikronów (1 mikron = jedna milionowa metra).

Oprócz urządzeń do oddzielania stałych substancji rozdrobnionych typu suchego znane są również inne typy płuczek do gazów pracujących na mokro. Najprostszą z takich płuczek jest komora zawierająca jedną lub więcej dysz rozpylających. Komorę taką może stanowić przewód lub komora spalania albo też może to być specjalnie zaprojektowana komora z dyszami rozpylającymi. Ogólnie rzecz biorąc prędkość przepływu gazu przez taką komorę jest stosunkowo niewielka i substancje stałe są usuwane przez zderzanie się cząstek stałych z kropelkami wody. Jeśli w gazie znajduje się również para wodna to rozdrobnione substancje stałe zawarte w gazie mogą być odpowiednio przygotowane do oddzielenia lub poddawane aglomeracji w drodze termoforezy i tutaj oczywiście może również występować oddzielanie w wyniku działania sił odśrodkowych lub sił ciążenia. Komory z dyszami rozpylającymi charakteryzują się zwykle niewielkim zużyciem energii i są najsukuteczniejsze przy oddzielaniu dużych cząstek substancji stałych.

W celu zwiększenia skuteczności oddzielania stałych substancji stosowano różnego rodzaju płuczki typu Venturi'ego charakteryzujące się dużym zużyciem energii. Jedną z postaci wykonania tego typu płuczki, zawiera przewód mający zbieżny odcinek, część zwężkową i odcinek rozbieżny, poprzez który to przewód jest przedmuchiwany gaz przy użyciu dmuchawy lub wentylatora albo ejektorów parowych. W części zwężkowej, w której prędkość gazu jest największa wtryskiwana jest za pomocą jednej lub większej liczby dysz, woda, która w postaci kropel uderza w strumień gazu a kropelki te zderzają się z cząstkami stałymi zawartymi w gazie. Oddzielanie tych cząstek następuje zasadniczo poprzez zderzanie kropelki wody z cząstkami stałymi. We wspomnianych tutaj płuczkach Venturi'ego prędkość względna pomiędzy gazem i wodą jest uzyskiwana w drodze przedmuchiwania gazu za pomocą wentylatorów dmuchaw lub zasysaczy strumieniowych (ejektorów). Oczywiście nie ma tutaj większego znaczenia czy gaz jest przedmuchiwany względem wody czy też odwrotnie i oba te systemy zostały zastosowane w płuczkach typu Venturi'ego.

W płuczce strumieniowej Venturi'ego siłę napę-

dową dla gazu uzyskuje się za pomocą ejektora zimnej wody umieszczonego zasadniczo w osi zbieżnego odcinka przewodu i nie potrzebna jest tutaj żadna inna siła napędowa. Woda jest pompowana do dyszy ejektora gdzie rozpyla się na kropelki, które następnie mieszają się z gazem. Przepływ gazu jest wywoływany w drodze wymiany pędu pomiędzy wodą i zasysanym przez nią gazem, przy czym cząstki stałe zawarte w gazie są usuwane tutaj jednocześnie przez zderzanie się z kropelkami wody. Tego typu płuczka strumieniowa Venturi'ego jest od dawna produkowana przez Koetrol Corporation i jest ona oznaczana przez producenta jako płuczka „Typ 7010”.

Opisane wyżej płuczki typu Venturi'ego są skuteczne przy usuwaniu zanieczyszczeń stałych o wielkości cząstek powyżej 2 mikronów ale skuteczność ta szybko się zmniejsza gdy wielkość cząstek spada poniżej 1 mikrona. W celu sprostania wymaganiom stawianym przez liczne nowe przepisy dotyczące zanieczyszczenia powietrza konieczne jest skuteczne usuwanie zanieczyszczeń stałych o wielkości cząstek mniejszej od mikrona. Chociaż te mikroskopijne cząstki zanieczyszczeń stałych mogą stanowić niewielki procent wagowy wszystkich stałych zanieczyszczeń zawartych w gazie to jednak ze względu na ich niewielki rozmiar można liczyć że stanowią one do 98% całkowitej liczby cząstek zanieczyszczeń stałych znajdujących się w gazie.

Wiadomo że skuteczność oddzielania stałych zanieczyszczeń na drodze zderzeń pomiędzy kropelkami wody i cząstkami stałymi jest zależna zarówno od wielkości tych kropel jak też prędkości względnej pomiędzy cząstkami i kropelkami. Tak więc gdy prędkość względna pomiędzy kropelkami i cząstkami stałymi wzrasta to wzrasta również prawdopodobieństwo zderzeń pomiędzy nimi a tym samym stopień oddzielenia zanieczyszczeń. Oczywiście jest również to, że dla danej masy wody prawdopodobieństwo zderzeń wzrasta jeśli ta masa jest rozdzielona na większą liczbę kropel o mniejszych rozmiarach niż w przypadku gdy kropelki te są większe, ale liczba ich jest mniejsza.

Wiadomo wreszcie, że laminarność przepływu wokół ruchomych ciał takich jak kropelki wody i w połączeniu z przypadkiem, gdy wielkość cząstek stałych jest wystarczająco mała w porównaniu do wielkości kropelek mogą powodować, że cząstki te będą zmieniały drogę i opływały kropelki wody bez zderzania się z nią. Tak więc dla zwiększenia skuteczności oddzielania w przypadku małych cząstek stałych zanieczyszczeń konieczne jest (a) zwiększenie masowego wydatku przepływu wody, (b) zmniejszenie wielkości kropelki lub (c) zwiększenie prędkości względnej pomiędzy kropelkami i cząstkami stałymi. Każda z tych alternatyw stanowi zwiększenie wymaganej energii. I tak zwiększenie wydatku masowego przepływu wody wymaga zwiększenia mocy potrzebnej do pompowania. Wielkość kropelki może zostać zmniejszona nieco przez zwiększenie ciśnienia wody lub też

przez zmiany konstrukcyjne dyszy w kierunku zapewnienia silniejszego rozpylania wody. Wreszcie prędkość względna pomiędzy cząstkami substancji stałych i kropelkami wody może być zwiększona przez zwiększenie energii zużywanej na nadanie ruchu jednemu z płynów.

Każda z powyższych alternatyw znalazła zastosowanie do płuczek mokrych zużywających dużo energii. W przypadku płuczek typu Venturi'ego oczywiste jest że w celu zwiększenia skuteczności oddzielania musi być zwiększona ilość energii dostarczanej do strumienia wody. Ponieważ woda jest w zasadzie nieściśliwa to ta dodatkowa ilość energii może być do niej doprowadzona przez zwiększenie jej temperatury zamiast wzrost jej ciśnienia. Oczywiście również może być konieczne zwiększenie ciśnienia wody w celu zapobiegania jej wrzenia przed dyszą.

Gdy jako źródło energii napędowej jest stosowana gorąca woda to wtedy urządzenie do tego celu nazywane jest ejektorem gorącej wody. Ejektor gorącej wody jest doskonale znany jako skuteczne źródło napędu dla tuneli aerodynamicznych np. z amerykańskich opisów patentowych Nr 2 914 941 i 3 049 005. Napęd za pomocą gorącej wody został także zastosowany w urządzeniach pomocniczych do prób silników strumieniowych w celu stwarzania niskiego ciśnienia stymulującego zmienne warunki na różnych wysokościach i jednocześnie tłumienia dźwięków oraz oddzielania produktów spalania pochodzących z badanego silnika strumieniowego lub raketowego. (Patrz O. Frenzl „Hot-water Ejector for Engine Test Facilities”, Journal of Spacecraft, Maj—Czerwiec 1964, tom 1 nr 3 str. 333—338). Wg powyższej publikacji napęd przy użyciu gorącej wody został opracowany jako ulepszenie napędu za pomocą ejektora pary wodnej, poprzednio stosowanego do wytwarzania ciągu w tunelach aerodynamicznych oraz urządzeniach do prób silników raketowych.

W celu wytworzenia ciągu w tunelu aerodynamicznym, zwłaszcza takim który pracuje przy prędkościach ponaddźwiękowych, konieczne było dostarczenie niezwykle dużej ilości energii w stosunkowo krótkim czasie. Chociaż para przy określonym ciśnieniu i temperaturze zawiera więcej energii cieplnej lub ma większą entalpię niż taka sama masa wody to jednak gromadzenie dużej ilości pary w zbiorniku akumulacyjnym może być niewykonalne z przyczyn ekonomicznych a ponadto niemożliwe jest wydobyć wszystkiej pary z takiego zbiornika. Natomiast zbiornik akumulacyjny z gorącą wodą może być szybko opróżniony i zasadniczo wszystka energia zgromadzona w tej wodzie może być dostępna do wykorzystania.

Opisane wyżej rodzaje urządzeń do oddzielania cząstek stałych były również stosowane w rozmaitych kombinacjach. I tak powszechnie stosowano płuczki natryskowe (komory z dyszami rozpylającymi) a za nimi oddzielacze cyklonowe albo też jedną bądź dwie płuczki strumieniowe typu Venturi'ego z podłączonym za taką płuczką lub płuczkami oddzielaczem.

Układ płuczkowy tego ostatniego typu jest opisany w artykule L.S. Harris'a zatytułowanym „Fame Scrubbing With the Ejector Venturi System” (Chemical Engineering Progress, Tom 62, nr 4, str. 55—59, Kwiecień 1966). Harris opisuje w tym artykule płuczkę dla mikroskopijnych stałych (poniżej mikrona), w której pierwszy stopień oddzielania stanowi płuczka strumieniowa typu Venturi'ego, gdzie woda pod ciśnieniem działa jednocześnie jako środek napędowy i jako medium oddzielające zanieczyszczenia stałe, podczas gdy parę wodną lub powietrze wprowadza się do strumienia wody przy dyszy w celu jej rozpylania i ogrzania. Wyrzucony strumień rozpylonej w postaci kropielek wody i pary wciąga za sobą gazy odlotowe i miesza się z nimi oraz oczyszcza je zasadniczo wskutek zachodzących zderzeń chociaż i inne zjawiska takie jak skraplanie mogą również tutaj zachodzić. Gazy pochodzące z pierwszej płuczki są kierowane do drugiej konwencjonalnej płuczki strumieniowej typu Venturi'ego a woda wraz z przechwyconymi przez nią cząstkami zanieczyszczeń stałych, pochodząca z obu płuczek, jest oddzielana w komorze osadnikowej lub w oddzielnym osrodkowym.

Układ płuczkowy przeznaczony do usuwania mikroskopijnych cząstek tlenku boru z gazów spalinowych wytwarzanych przez silniki strumieniowe, składający się z płuczki natryskowej i oddzielnego osrodkowego jest opisany w raporcie z października 1957, Dawida, Rhodes'a i Smith'a pt.: „Methods of Removing Boron Oxide Particles from Exhaust-Gases” (ASTIA Document No. AD-135346; Library of Congress Document No. PB 135391). W urządzeniu opisanym w tym sprawozdaniu ciąg stanowiący napęd dla całego układu wytwarzany jest przez gazy spalinowe wydostające się z silnika z prędkością ponaddźwiękową a oczyszczanie następuje przez połączone działanie wtrysku wody oraz rozpylania pary i wody. Działanie oczyszczające następuje nie tylko w wyniku zderzania się cząstek stałych z kropelkami wody i pary ale także poprzez skraplanie się pary na cząstkach znajdujących się w strumieniu gazu. Kropelki wody zawierające cząstki substancji stałej są oddzielane od strumienia gazu za pomocą oddzielnego osrodkowego.

Zastosowanie gorącej wody do wytwarzania ciągu, w połączeniu z oddzielaczem wody jest również opisane w amerykańskim opisie patentowym Nr 3 613 333 gdzie gorąca woda w stanie ciekłym stanowi jednocześnie źródło napędu wytwarzające ciąg i jest medium oddzielającym zanieczyszczenia.

W rozwiązaniu tym zastosowano komorę natryskową do przygotowywania zanieczyszczonego gazu do dalszego oczyszczania i usuwania jednocześnie dużych cząstek zanieczyszczeń stałych oraz gorącą wodę, wtrysk chemikaliów wytworzenia ciągu powodującego ruch gazów oraz przechwycenie pozostałych drobnych cząstek oraz produktów reakcji SO_2 znajdujących się w kropelkach wody. Oddzielanie kropielek wody i produktów reakcji SO_2 od oczyszczanego gazu następowało w oddzielnym cyklonowym.

Sposobem według wynalazku czynności wytwarzania ciągu i oddzielania zanieczyszczeń są sterowane oddzielnie i niezależnie od siebie oraz są wykonywane przez oddzielne elementy urządzenia. Ogólnie rzecz biorąc ciąg jest wytwarzany przez 5
ejektor pary wodnej podczas gdy działanie czyszczące może spełniać najkorzystniej woda wtryskiwana do strumienia pary wypływającego z dyszy ejektora, nie poddana żadnej obróbce przygotowawczej ani nie podgrzewana, która to woda 10
wpływa do przewodu mieszającego o odpowiednio dobranych proporcjach wymiarowych znajdując się w pobliżu wylotu tej dyszy ale za tym wylotem, licząc w kierunku przepływu. Najkorzystniej ta nie poddana żadnej obróbce i nieogrzewana woda jest rozpylana w sposób mechaniczny na 15
dużą ilość drobnych kropelek a następnie wtryskiwana do strumienia pary wodnej w miejscu gdzie może być ona jeszcze bardziej rozpylona przez strumień pary wodnej wypływający z dużą 20
prędkością z ejektora parowego.

Istotą sposobu usuwania zanieczyszczeń z gazowego nośnika zawierającego zanieczyszczenia, jest to, że przez podłużny przewód mieszający przepuszcza się ten gazowy nośnik pod działaniem 25
ciągu wytwarzanego przez ejektor parowy; tworzy się turbulentną mieszaninę pary, przynajmniej rozpylonej wody i gazowego nośnika zawierającego zanieczyszczenia przez (a) rozprężanie pary poprzez dyszę ejektora parowego w celu utworzenia strumienia pary skierowanego do wnętrza przewodu 30
mieszającego, (b) utworzenie szeregu strumieni przynajmniej stosunkowo zimnej wody będącej w stanie ciekłym i wstępnie rozpylonej, które to strumienie są rozmieszczone obwodowo wokół strumienia pary wypływającego z dyszy ejektora parowego i (c) dalsze rozpylenie tej wody będącej 35
w stanie ciekłym przez skierowanie tych wstępnie rozpylonych strumieni do zewnętrznego obszaru tego strumienia pary; miesza się dalej gazowy nośnik zawierający zanieczyszczenia podczas jego przepływu przez przewód mieszający z przynajmniej tą ponownie rozpyloną wodą będącą w 40
stanie ciekłym i parą wewnątrz przewodu mieszającego i tak reguluje się przy tym przepływ tej turbulentnej mieszaniny poprzez przewód mieszający, aby czas przebywania mieszaniny turbulentnej wewnątrz przewodu mieszającego był wystarczający dla powstania kropelek przechwytyjących 45
zanieczyszczenia oraz wzrostu wielkości kropelek wody zawierających już zanieczyszczenia a następnie oddziela się te powiększone kropelki zawierające zanieczyszczenia od reszty gazowego nośnika.

Przy praktycznym wykonywaniu sposobu według wynalazku można wstępnie przygotowywać 50
zanieczyszczony gaz w komorze natryskowej poprzedzającej ejektor parowy, co zostanie w dalszym ciągu opisu szczegółowo wyjaśnione.

Sposób według wynalazku jest sposobem o kontrolowanym zużyciu energii, w którym część będącej do dyspozycji energii cieplnej pary jest najpierw przetwarzana na energię kinetyczną wytwarzającą ciąg powodujący przepływ zanieczyszczonego gazowego nośnika. Jednakże zanim energia 55

cieplna i energia kinetyczna pary osiągną stan równowagi część energii pary jest wykorzystywana do dalszego rozpylania rozpylonej już mechanicznie wody na mniejsze kropelki oraz nadania 5
przyspieszenia tym kropelkom wody aby osiągnęły one dużą prędkość w przewodzie mieszającym. Poruszające się z dużą prędkością małe kropelki wody są wtedy zdolne do przechwytywania cząstek zanieczyszczeń stałych poprzez zderzanie się z nimi. Ponadto zimna woda daje działanie chłodzące 10
dodatkowo do chłodzenia wynikającego z rozprężania się pary wewnątrz przewodu mieszającego. W wyniku tego działania chłodzącego znaczna część pary wodnej i inne, zdolne w tych warunkach do skroplenia, pary będą ulegały skraplaniu wewnątrz przewodu mieszającego. Ponieważ skraplanie zachodzi przede wszystkim w miejscach zarodkowania, cząstek zanieczyszczeń stałych lub 15
istniejących już kropelek wody, to skraplanie działa zarówno w kierunku zatrzymywania dodatkowych cząstek zanieczyszczeń stałych jak też powoduje powiększenie się istniejących kropelek wody. Przewód mieszający jest tak zaprojektowany, przy uwzględnieniu prędkości gazów przezeń 20
przepływających, aby powstawały w nim kropelki o wielkości pozwalającej na ich oddzielenie pod działaniem sił odśrodkowych.

Woda używana do wytwarzania pary powinna być odpowiednio uzdatniona w celu usunięcia z niej substancji chemicznych, które mogłyby w przeciwnym przypadku działać szkodliwie na materiał kotła parowego, przy czym stopień uzdatniania tej wody jest mniejszy niż wody przeznaczonej do ejektorów wody gorącej. Ponieważ entalpia pary, która może być użyta, jest znacznie 30
większa od entalpii wody stosowanej w ejektorach wody gorącej dających taką samą moc napędową, to wymagania odnośnie uzdatniania wody dla ejektorów parowych są znacznie mniejsze niż w odniesieniu do wody przeznaczonej do użycia w ejektorach na gorącą wodę. Można to stwierdzić 35
przez porównanie odpowiednich części wykresu Mollier'a dla przegrzanej wody i dla pary nasyconej, co zostanie omówione później. Mniejsze wymagania odnośnie uzdatniania wody w przypadku sposobu według wynalazku pozwalają na znaczne 40
obniżenie kosztów uzdatniania ponieważ dodatkowo woda, która jest wtryskiwana do strumienia pary w celu uzyskania zasadniczego efektu oczyszczania gazu może być zwykłą wodą stosowaną do celów przemysłowych w ogóle nieuzdatnianą i niepodgrzewaną. Tak więc, chociaż całkowita ilość 45
wody potrzebnej w sposobie według wynalazku może być zbliżona do ilości jakiej wymaga proces z zastosowaniem ejektora na wodę gorącą to jednak koszt tej wody może być zmniejszony nawet o 75%. Gdy ilość gazu do oczyszczenia jest 50
duża lub gdy wymagany ciąg musi być duży to całkowite zapotrzebowanie na wodę będzie znacznie mniejsze niż w przypadku zastosowania ejektora na wodę gorącą co wiąże się z dodatkowymi oszczędnościami w kosztach oczyszczania ścieków.

Obok zalet związanych z kosztami i samym prowadzeniem procesu oczyszczania, wynikających z 55

zastosowania nieuzdatnianej wody wylania się dalsza zaleta wtedy, gdy zachodzi potrzeba usuwania gazów kwasowych takich jak dwutlenek siarki oraz likwidowania przykrych zapachów pochodzących ze związków organicznych. W tym celu, jak to jest opisane bardziej szczegółowo w dalszym ciągu opisu, można wprowadzić do strefy przepływu burzliwego strumienia pary, w pobliżu dyszy ejektora z prądem w stosunku do niej, substancje alkaliczne takie jak tlenek wapnia, wodorotlenek wapnia, węglan sodu i wodorotlenek sodu w postaci roztworu wodnego lub zawiesiny w celu usunięcia dwutlenku siarki i innych gazów kwasowych z nośnika gazowego. W celu usunięcia przykrych zapachów pochodzących z substancji organicznych wprowadza się do stref przepływu burzliwego strumienia, podobnie jak to miało miejsce w przypadku substancji alkalicznych, środek utleniający taki jak na przykład nadmanganian potasowy. Strefy burzliwego mieszania utworzone według wynalazku działają również skutecznie jako płuczka do usuwania kwasowych gazów.

Dalszą zaletą sposobu według wynalazku z zastosowaniem ejektora parowego, w przeciwieństwie do przypadków gdy stosowany jest ejektor gorącej wody, jest możliwość regulacji parametrów. Ejektor parowy jest zdolny do pracy w szerokim zakresie ciśnień, których regulacja jest możliwa przez dławienie dopływu pary. Wiadomo jest, że moc napędowa ejektora jest funkcją entalpii pary dostarczanej do dyszy ejektora a ta z kolei jest funkcją ciśnienia, temperatury i entropii pary wypływającej z dyszy. Tak więc przez prostą regulację dławienia moc napędowa ejektora a tym samym ciąg wywoływany przez ejektor mogą być regulowane i nastawione na każdą wartość w zakresie roboczym ejektora. W związku z tym możliwe jest uzyskanie, w szerokich granicach, dowolnego ciągu jaki może być potrzebny oraz zmienianie tego ciągu zależnie od wymagań stawianych przez określone procesy chemiczne lub przemysłowe, przy których powstają, zanieczyszczone gazy odlotowe.

Zdolność oczyszczania gazów z zanieczyszczeń jaką wykazuje układ jest głównie funkcją masowego wydatku przepływu wtryskiwanej wody oraz wielkości kropelek, ma które ta woda jest mechanicznie rozpylana przez dysze rozpylające i ponownie rozpylana za pomocą strumienia pary wodnej. Jak to wykazano dalej w opisie, woda jest wtryskiwana do części strumienia pary w taki sposób, że w zakresie roboczym właściwie zaprojektowanego ejektora parowego oraz przewodu mieszającego, woda jest rozpylana na kropelki, które są wystarczająco małe nawet dla przechwycenia mikroskopijnych cząstek stałych (mniejszych od mikrona) powstających na przykład podczas świeżenia tlenem stali martenowskiej. Wydatek masowy przepływu wody może być wtedy zmieniany zależnie od stopnia zapylenia gazu tak aby uzyskać najskuteczniejsze działanie, zgodne ze stopniem czystości gazów jaki jest w danym przypadku wymagany. Jak to wykazano w dalszej części można zasadniczo uzyskać każdą wymaganą wy-

dajność oczyszczania gazów poprzez regulację wtrysku wody.

Przedmiot wynalazku jest przedstawiony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia urządzenie do stosowania sposobu według wynalazku, w przekroju poprzecznym, składającym się z rozpylacza, ejektora parowego służącego do wytwarzania ciągu, wtryskiwacza wody, przewodu mieszającego i oddzielnika cyklonowego, fig. 2 — fragment urządzenia pokazanego na fig. 1 w powiększeniu, na którym widać ejektor parowy i wtryskiwacz wody oraz przyległe części przewodu mieszającego i rozpylacza, fig. 3 — ten sam fragment urządzenia co na fig. 2 w rzucie poziomym, fig. 4 — rozbieżny odcinek dyszy ejektora parowego i wtryskiwacza wody wraz z należącymi do niego dyszami, również w większej podziałce, fig. 5 — ten sam fragment urządzenia co na fig. 4 w rzucie czołowym, fig. 6 — dyszę wtryskiwacza wody widzianą w kierunku pokazanego strzałką 6—6 na fig. 4, fig. 7A i 7B — schematycznie pokazany układ płaskich dysz rozpylających wodę w stosunku do dyszy ejektora parowego oraz przebieg rozpylanych strumieni wody, gdzie dysze wodne są ustawione względem osi ejektora odpowiednio pod kątem 45° i 15° , fig. 8A i 8B — schematycznie pokazany układ stożkowych dysz rozpylających wodę w stosunku do dyszy ejektora parowego oraz przebieg strumieni wody, gdzie dysze wodne są ustawione odpowiednio pod kątem 45° i 0° względem osi ejektora, fig. 9 — charakterystyki pracy trzech rodzajów dysz ejektora parowego użytych w urządzeniu według wynalazku, fig. 10A — część wykresu Molliera dla wody w stanie ciekłym sporządzonego dla ejektora na wodę gorącą, fig. 10B — część wykresu Molliera dla pary wodnej sporządzonego dla ejektora parowego a fig. 11 — wykres przedstawiający sprawność usuwania tlenu siarki w zależności od ilości użytego środka chemicznego dla różnych rozpuszczalnych substancji chemicznych.

Urządzenie pokazane na fig. 1 ma przewód 10 doprowadzający gazy odlotowe. W przewodzie tym może być umieszczona przepustnica 12 dla regulacji przepływu gazu przez ten przewód. Przewód 10 łączy się z dolną częścią komory rozpylania 14 o średnicy stosunkowo dużej w porównaniu z przewodem 10. Do komory rozpylania 14 jest wprowadzana, poprzez szereg dysz rozpylających 16, surowa woda. Dysze 16 są umieszczone na przewodach 18 łączących się z przewodem zbiorczym 20 doprowadzającym wodę z odpowiedniego źródła (nie pokazanego na rysunku). W dnie komory rozpylania znajduje się otwór ściekowy 22, poprzez który wypływa zawiesina wody i oddzielonych cząstek stałych i odprowadzana jest następnie do układu oczyszczania wody.

Komora rozpylania 14 jest zamknięta od góry ukośnym kołpakiem 24 mającym odgałęzienie 26 zakończone kołowym otworem wylotowym 28 z kołnierzem. Otwór wylotowy 28 kołpaka 24 łączy się z wyposażonym również w kołnierz otworem 30 znajdującym się na jednym końcu cylindrycznego przewodu mieszającego 32. Przeciwny ko-

niec przewodu mieszającego 32 jest połączony kołnierzem 34 z kołnierzem 36 przewodu prowadzącego stycznie do górnej części podwójnego cyklonu 38. Każdy z dwóch cyklonów 38 ma kształt zasadniczo cylindryczny i zawiera wstawkę 40 o mniejszej średnicy, której dolny koniec sięga do środkowego obszaru cyklonu. W dnie każdego z cyklonów znajduje się otwór odpływowy 42, poprzez który odprowadzana jest zawiesina wody i drobnych cząstek stałych do dalszego oczyszczania w instalacji do oczyszczania wody (nie pokazanej na rysunku). Oczyszczony gaz wypływa poprzez otwarty górny koniec 44 wstawki 40 cyklonu.

W kołpaku 24 komory rozpylania umieszczona jest dysza 46 ejektora parowego przebiegająca współosiowo do przewodu mieszającego 32. Do dyszy 46 ejektora doprowadzana jest para wodna pod ciśnieniem do czego służy przewód 48 doprowadzający parę i wyposażony w zawór 50 do dławienia przepływu. Do wtryskiwacza wody 52 wyposażonego w szereg dysz rozpylających 54 doprowadzana jest woda surowa poprzez przewód 56 wyposażony w zawór 58 do regulacji przepływu.

Para potrzebna do procesu oczyszczania gazów może być doprowadzana z kotła ogrzewanego gazami odlotowymi przeznaczonymi do oczyszczania lub z innego dostępnego źródła pary. Do procesu może być używana para o ciśnieniu większym od 3,5 atmosfery. Najlepiej jest jeśli woda potrzebna do zasilania wtryskiwacza 52 jest nieuzdatniana i nieogrzewana, chociaż możliwe jest użycie wody uzdatnianej. Chociaż temperatura wody nie jest parametrem najistotniejszym w procesie oczyszczania według wynalazku to jednak trzeba nadmienić, że użycie zimniejszej wody będzie dawało lepsze wyniki ze względu na zwiększenie intensywności skraplania pary.

Na fig. 2 i 3 pokazano w rzutach pionowym i poziomym stożek rozprężającej się pary 60 wpływającej z wylotu dyszy 46 ejektora parowego i rozprężającej się w dalszym ciągu podczas przepływania jej przez przewód mieszający 32 aż do miejsca gdzie strumień pary natrafia na ścianę przewodu mieszającego w obszarze załamania lub zderzenia oznaczonym przez 62.

Gdy para, która znajduje się zasadniczo w stanie nasyconym, ulega rozprężaniu, przepływając przez dyszę o kształcie zbliżonym do rozbieżnym dostając się do przestrzeni o ciśnieniu atmosferycznym to będzie ona w dalszym ciągu ulegała rozprężaniu tworząc stożkowy strumień 60 o kącie wierzchołkowym zasadniczo równym kątowi wierzchołkowemu rozbieżnej części dyszy parowej. Gdy ciśnienia występujące w dyszy przekroczą krytyczną wartość stosunku tych ciśnień i gdy ciśnienie krytyczne przekroczy wartość ciśnienia statycznego wylotu dyszy to wtedy prędkość wypływu pary z dyszy w płaszczyźnie jej wylotu będzie większa od prędkości dźwięku.

Zostało stwierdzone, że para wpływająca z dyszy będzie kształtowała się w strumień mający rdzeń 64 o prędkości ponaddźwiękowej. Uważa się, że rdzeń 64 strumienia pary mający prędkość ponaddźwiękową zawiera szereg charakterystycznych

„rombów” 68 utworzonych przez ukośnie przebiegające fale uderzeniowe które ewentualnie zamknięte są przez przebiegającą prostopadle do osi strumienia falę uderzeniową 70. Uważa się, że w obszarze rdzenia występują największe prędkości 5 ponaddźwiękowe i że prędkość jest stała na całym przekroju poprzecznym rdzenia. W obszarach znajdujących się poza rdzeniem 64 o prędkości ponaddźwiękowej ale w granicach stożka 60 rozprężającej się pary, prędkości są również ponaddźwiękowe ale wartość prędkości nie jest stałą na całym przekroju poprzecznym. Ogólnie rzecz biorąc prędkość zmniejsza się wraz ze zwiększeniem 10 się odległości od wylotu dyszy do miejsca załamania 62 i w miarę jak miejsce to zbliża się do obszaru granicznego oddzielającego stożek rozprężającej się pary 60 od strumienia gazowego nośnika przepływającego przez przewód mieszający 32, lub wpływającego do tego przewodu. Gdy powstaje taki obszar graniczny to sięga on ściśle do 20 samej ścianki przewodu w miejscu załamania 62 przy czym ciśnienie przy ścianach tego przewodu przed miejscem załamania 62 jest ujemne a za tym miejscem jest dodatnie.

Gdy dysza parowa i przewód mieszający są właściwie zaprojektowane i mają właściwie proporcje wymiarowe to stożek rozprężającej się pary 60 uderza w ściankę przewodu mieszającego 32 z wystarczająco dużą siłą aby ściśle przywierał on 30 do tej ścianki. W takich warunkach strumień pary działa jako tłok współpracujący z przewodem mieszającym 32 i tworzy wraz z nim skutecznie działającą pompę ssącą. Na skutek ścisłego przywierania strumienia pary do ścianki przewodu mieszającego 32 zasysany nośnik gazowy jest skutecznie przepompowywany przez ten przewód. 35 Krótko mówiąc gdy dysza parowa i przewód mieszający się właściwie zaprojektowane powstaje skutecznie działająca parowa pompa strumieniowa.

Uważa się, że gdy energia kinetyczna rozprężającego się strumienia pary jest wystarczająco duża to układ ukośnych fal uderzeniowych 68 kończy się falą uderzeniową 70 przebiegającą prostopadle do osi strumienia pary w miejscu załamania 62 na ścianie przewodu mieszającego 32. Wynikiem powstania takiej prostopadle przebiegającej fali uderzeniowej jest nagła zmiana ciśnienia, która objawia się zmianą prędkości naddźwiękowej przepływu na prędkość poddźwiękową. Tak więc 50 poczynając od miejsca w przewodzie mieszającym 32 gdzie pojawia się prostopadła fala uderzeniowa 70 w kierunku do tyłu (w stronę dyszy parowej) będą występowały ponaddźwiękowe prędkości przepływu.

Na skutek tego, że ukośne i prostopadłe fale uderzeniowe świadczą o gwałtownej zmianie ciśnienia to powstaje silnie burzliwy przepływ wraz z towarzyszącym mu intensywnym mieszaniami w 60 obszarze występowania fal uderzeniowych ukośnych i prostopadłych.

Na fig. 4, 5 i 6 pokazano wtryskiwacz wody 52 i jego dysze 54. Na fig. 4 pokazano rozbieżną część dyszy 46 ejektora parowego i sąsiadujący z nią wtryskiwacz wody 52. Wtryskiwacz ma zasad-

niczo kształt elementu pierścieniowego 53, mającego gwint wewnętrzny 72 pasujący do gwintu zewnętrznego 74 na dyszy 46 oraz posiadającego pierścieniową wnękę 76 łączącą się króćcami 78 z przewodami dla wody oznaczonymi przez 56. Pierścieniowa wnęką 76 jest zamknięta opaską 55 przyspawaną na zewnętrznym obwodzie elementu pierścieniowego 53. Na czołowej powierzchni 80 elementu pierścieniowego 53 znajdują się gwintowane otwory 82 do wkręcenia gwintowanych złączek 84 dysz wodnych usytuowanych pod odpowiednim kątem do osi dyszy 46. Złączki 84 połączone są z dyszami 86. Jak to widać na fig. 4 dysze 86 mają cylindryczne otwory 88 kończące się otworami stożkowymi 90. Płaska powierzchnia czołowa każdej z dysz 86 ma rowek 82 w kształcie klinowym przecinający otwór stożkowy 90, że powstaje otwór eliptyczny 94.

W wyniku takiego rozwiązania konstrukcyjnego uzyskuje się rozpylony strumień, który jest stosunkowo płaski tj. spłaszczony w kierunku mniejszej osi otworu eliptycznego 94 i rozszerzający się w kierunku dłuższej osi tego otworu. Oczywiście przez zmianę głębokości rowka klinowego 92 można uzyskać rozpylone strumienie o różnym kształcie. Na fig. 5 pokazano fragment urządzenia z fig. 4 w rzucie czołowym, z którego widać, że mniejsza oś otworu eliptycznego 94 każdej dyszy 86 jest skierowana tak, że przecina się z osią dyszy 46 ejektora parowego. Chociaż dysze dla wody pokazane na fig. 4, 5 i 6 są tak skonstruowane, że dają płaskie strumienie wody ale wiadomo, że można stosować również dysze innego typu. Tak więc możliwe jest na przykład zastosowanie dysz skonstruowanych tak aby dawały one strumienie o kształcie stożkowym, cylindrycznym lub innym.

Na fig. 7A i 7B pokazano schematycznie wzajemne położenie strumienia pary i strumienia wody przy różnym usytuowaniu dysz wodnych dających płaskie strumienie wody w stosunku do osi dyszy parowej. Dla większej przejrzystości rysunku pokazano tutaj tylko dwie dysze wtryskowe, chociaż jak to pokazano na fig. 5 z reguły tych dysz jest więcej.

Na fig. 8A i 8B, które są podobne do fig. 7A i 7B, pokazano wzajemne położenie strumienia pary i strumienia wody w przypadku dysz wodnych dających strumień stożkowy o kącie wierzchołkowym 60°. Konstrukcja dysz dających strumień stożkowy jest podobna do dysz o strumieniu płaskim za wyjątkiem tego, że mają one otwór cylindryczny i odpowiednie elementy do wytwarzania zawirowań w celu stworzenia stożkowego strumienia.

Oczywiście zarówno dysze o strumieniu płaskim i stożkowym mogą mieć otwory o różnej wielkości i różnym kącie rozwarcia zależnie od zdania konstruktora. Ponadto dysze mogą być tak konstruowane aby wytwarzały one strumienie o kształcie cylindrycznym lub zbliżnym.

Jak to już wspomniano powyżej, w celu zapewnienia maksymalnej skuteczności oddzielania cząstek stałych zanieczyszczeń, konieczne jest utworzenie bardzo dużej ilości drobnych kropelek ma-

jących maksymalną prędkość w stosunku do cząstek zawartych w gazowym nośniku zanieczyszczeń. Mając ten cel na uwadze oczywiste jest, że korzystne byłoby rozpylenie wtryskiwanej wody za pomocą środków mechanicznych na możliwie jak najmniejsze kropelki. Może to być dokonane przez zastosowanie dużej liczby niewielkich dysz przeznaczonych do tworzenia rozpylonych strumieni wody i dostosowanych do pracy przy wysokim ciśnieniu. Doświadczenia przeprowadzone przez zgłaszającego potwierdziły to, że dla stałej masy wtryskiwanej wody bardziej efektywne jest stosowanie małych dysz pracujących przy wysokim ciśnieniu niż stosunkowo dużych dysz pracujących przy niskim ciśnieniu.

Chociaż konstrukcja dysz wtryskowych i ciśnienie robocze tych dysz są podstawowymi czynnikami mającymi wpływ na stopień mechanicznego rozpylania wody i przy pomocy tych środków można uzyskać stosunkowo niewielkie kropelki rzędu 100 do 200 mikronów to jednak konieczne są inne środki dla utworzenia jeszcze mniejszych kropelek wymaganych dla oddzielenia cząstek o wielkości mniejszej od mikrona.

Do tego celu wyjątkowo dobrze nadaje się strumień pary o prędkości ponaddźwiękowej, zwłaszcza gdy mechanicznie rozpylone kropelki wody są wprowadzane do tego strumienia tak, że proces dzielenia tych kropelek i dalszego ich rozpylania może zachodzić w pobliżu wylotu dyszy parowej gdzie możliwe jest maksymalnie długie oddziaływanie tym strumieniem na kropelki wody. Chociaż ważne jest poddanie kropelek wody działaniu strumienia pary o dużej energii kinetycznej to nie mniej ważne jest to, żeby następowały niepożądane zakłócenia w strumieniu pary aby zmniejszyć do minimum straty mocy pompowania strumienia pary.

Kompromis pomiędzy tymi dwoma sprzecznymi w zasadzie wymaganiami można najlepiej osiągnąć przez wtryskiwanie wody do strumienia pary pod stosunkowo dużym kątem i na możliwie jak największą część strumienia pary, jednakże bez przenikania wody do środka rdzenia strumienia pary, który ma prędkość ponaddźwiękową, przez co może nastąpić osłabienie działania strumienia pary i tym samym wpłynąć na zdolność ścisłego przyswierania strumienia pary do ścianek przewodu mieszającego co w efekcie wpływa szkodliwie na skuteczność działania pompującego strumienia.

Chociaż dysze rozpylające wytwarzające strumienie stożkowe wody i wyposażone w elementy do wytwarzania zawirowań w celu uzyskania pełnego stożkowego strumienia rozpylonej wody, są skutecznie działającymi przy rozpylaniu mechanicznym wody i kierują rozpylone kropelki w stronę strumienia pary to jednak mogą one ulec łatwo zatankaniu cząstkami stałymi lub innymi zanieczyszczeniami zawartymi w nieuzdatnianej wodzie, stosowanej do tego celu. Z drugiej strony dysze wytwarzające strumienie płaskie, wachlarzowe, gdy są odpowiednio dobrane dla pełnego wykorzystania zdolności rozdzielania kropelek przez strumień

pary, skutecznie zapewniają właściwe rozpylenie początkowego i ułatwiają skutecznie przebieg wtórnego rozpylania przez strumień pary.

Gdy w urządzeniu zastosowano dysze parowe o kącie rozbieżności 12° to maksymalny stopień rozpylenia wtórnego można osiągnąć przez usytuowanie dysz wtryskowych pod kątem 84° w stosunku do osi strumienia pary. Mniejsze kąty takie jak 45° dają również efektywne wyniki chociaż wtórne rozpylenie poprzez podział kropelek jest nieco mniejsze. Kiedy kąt wtryskiwania zostaje zmniejszony do 15° , wtedy wtryskiwana woda ma skłonności do odbijania się od strumienia pary i to wtórne rozpylenie jest poważnie utrudnione. Oczywiście takie same wyniki uzyskuje się jeśli zastosowane zostaną dysze o strumieniach stożkowych przy niewielkim kącie nachylenia do osi strumienia, jak pokazano na fig. 8A, ponieważ znaczna część strumienia wody nie styka się w ogóle ze strumieniem pary.

Innym rodzajem dyszy rozpylającej jaką można zastosować jest tak zwana dysza „olówkowa”, której strumień może być łatwo skierowany precyzyjnie w kierunku strumienia pary. Jednakże tego rodzaju dysze dają stosunkowo niewielkie rozpy-

ma średnicę około 50 cm i długość około 5,5 m, oraz jest połączony z dwoma cyklonami 38, z których każdy ma średnicę około 0,37 m i wysokość około 3,65 m. Wstawka cyklonu ma średnicę 65 cm i wysokość około 3 m, przy czym sięga na około 1,2 m ponad pokrywę cyklonu.

Cztery dysze parowe, według przykładu wykonania pracujące w połączeniu z przewodem mieszającym i cyklonem przy różnych ciśnieniach pary, mają wymiary dla dysz oznaczonych liczbami od 1 do 4, podane w Tablicy 1.

Tablica 1

Numer dyszy	Średnica gardzieli mm	Kąt rozbieżności ($^\circ$)	Ciśnienie maksymalne kg/m^2	Zakres ciśnień roboczych kg/m^2
1.	13	12°	38,6	38,6—22
2.	21	12°	22,0	22,0—13,3
3.	29	12°	13,3	13,3—7,0
4.	37	12°	7,0	7,0—4,5

Dane odnośnie pracy dysz od 1 do 3 są podane w tablicy 2 poniżej i naniesione na wykresie przedstawionym na fig. 9.

Z fig. 9 widać wyraźnie, że właściwe pompowa-

Tablica 2

Dysza 1		Dysza 2		Dysza 3	
Przepływ gazu kg/min	Przepływ pary kg/min	Przepływ gazu kg/min	Przepływ pary kg/min	Przepływ gazu kg/min	Przepływ pary kg/min
53,5	465	63,5	459	73,6	458
43,0	392	49,0	372	67	405
31,7	295	37,6	319	61	356
24,9	207	37,6	286	47	312
				43	262

lenie pierwotne a strumień wody pochodzący z takiej dyszy ma skłonność do przenikania do rdzenia strumienia pary mającego prędkość ponaddwukową a to jest zwykle niepożądane.

Oczywiste jest, że wtórne rozpylenie podziałowe może być uzyskane przez wtryskiwanie rozpylonej wstępnie wody w każdym miejscu zewnętrznej powierzchni strumienia pary pomiędzy wylotem dyszy i miejscem załamania. Jednakże w celu ułatwienia odzielania cząstek stałych przez zderzenie się ich i mieszanie z wodą pożądaną jest zwiększenie do maksimum czasu, w jakim te zjawiska będą mogły zachodzić. Tak więc najlepiej jest wtryskiwać wstępnie rozpylone kropelki wody blisko wylotu dyszy gdzie również strumień pary ma maksymalną prędkość.

Do stosowania sposobu według wynalazku służy urządzenie typu pokazanego na fig. 1 dla wydajności około 500 kg na minutę gazowego nośnika zanieczyszczeń, gdzie gazowym nośnikiem mogą być na przykład gazy odlotowe z pieca martenowskiego, zawierające zanieczyszczenia to jest cząstki substancji stałych, między innymi duże ilości cząstek tlenku żelaza przy stopniu zapylenia wynoszącym około 11,5 g/m³. Przewód mieszający

nie można uzyskać przy szerokim zakresie zmian ciśnienia pary pod warunkiem jednak, że stosuje się właściwie zaprojektowaną dyszę. W danym przypadku średnica gardzieli zaprojektowana jest dla maksymalnego ciśnienia roboczego podczas gdy średnica wylotowa dyszy ma wymiar pozwalający na pracę w wymaganym zakresie wydatków przepływu.

Na fig. 10A pokazano część wykresu Mollier'a przedstawiającą fragment odnoszący się do pary wodnej obejmujący zakres ciśnień badany w tym przypadku. Wykres Mollier'a przedstawia zależność pomiędzy entalpią lub całkowitą zawartością ciepła w parze a entropią pary i jest bardzo dogodnym wykresem do zilustrowania rozprężania się pary w dyszy. W zakresie ciśnień branych tutaj pod uwagę entalpia nasyconej pary (H_1) jest prawie stała wahając się od 719 kcal/kg przy ciśnieniu 11,2 kg/cm² do 721 kcal/kg przy ciśnieniu 39,5 kg/cm². Tak więc energia cieplna dostępna teoretycznie do przyspieszenia pary (ΔH) waha się w granicach od 111,6 kcal/kg przy ciśnieniu 11,2 kg/cm² do 153,2 kcal/kg przy ciśnieniu 39,5 kg/cm². Teoretyczne rozprężanie izentropowe jest niemożliwe dla uzyskania i rzeczywisty prze-

bieg rozprężania odbywa się według krzywych przerywanych na fig. 10B dając ilość dostępnej energii (ΔH) wahającą się od 119 kcal/kg przy ciśnieniu 11,2 kg/cm² do 143,4 kcal/kg przy ciśnieniu 39,5 kg/cm².

Porównanie dostępnej ilości energii przy stosowaniu ejektorów na wodę gorącą przy tym samym zakresie ciśnień może być dokonane przez porównanie z wykresem Mollier'a dla ciekłej wody przedstawionym na fig. 10A. Wykres ten wskazuje, że całkowita zawartość ciepła (entalpia) w wodzie przy ciśnieniu wynoszącym 39,5 kg/cm² wynosi 276,6 kcal/kg a entalpia przy ciśnieniu atmosferycznym wynosi 246 kcal/kg dając tym samym teoretyczną ilość dostępnej energii (ΔH) wynoszącą 30,6 kcal/kg a rzeczywista ilość energii jaką może dostarczyć dobrze skonstruowana dysza wynosi około 27,6 kcal/kg.

Ta niewspółmierność w ilości energii jaką daje para i woda przy takich samych ciśnieniach i temperaturach daje pogląd na powody, dla których uzyskuje się lepsze osiągi w sposobie według wynalazku przez zastosowanie pary jako źródła napędu do wytwarzania ciągu oraz jako źródła energii do wtórnego rozpylania przez podział kropelek. W wyniku dużej ilości energii, jaką dostarcza para, przepływ odbywa się ze stałą prędkością ponaddźwiękową w samym rdzeniu strumienia, rzędu 2 Mach lub nawet więcej a w częściach strumienia otaczających ten rdzeń waha się od prędkości granicznych z prędkością dźwięku do prędkości zbliżonych do rdzenia. Oczywiście w zewnętrznych warstwach strumienia pary, gdzie koncentrują się kropelki wody będzie następowało intensywne mieszanie i przepływ będzie miał charakter silnie burzliwy. Zależnie od energii i prędkości strumienia pary przy punkcie załamania lub poza nim może powstać jedna lub więcej fal uderzeniowych, które będą powodowały dodatkową burzliwość i mieszanie w przewodzie mieszającym, co z kolei będzie zwiększało szansę przechowywania cząstek stałych przez kropelki wody oraz aglomeracji tych kropelek w większe. Poza prostopadłą do osi strumienia falą uderzeniową 70 (fig. 2 i 3) przepływ będzie zasadniczo burzliwy i będzie się odbywał z prędkością ponaddźwiękową zaś obecność wtrysniętej wody będzie ułatwiała skraplanie się pary powodując tworzenie się nowych kropelek lub powiększanie się już istniejących. W tym obszarze prędkość kropelek wody będzie znowu większa niż gazu tak, że może zachodzić zarówno proces skraplania jak i zderzania i oba te czynniki mogą się przyczyniać do przechwytywania zanieczyszczeń w tym obszarze chociaż zasadniczą rolę jaką spełnia ta część przewodu mieszającego jest zwiększenie wymiarów kropelek aby umożliwić oddzielenie tych kropelek od gazu w oddzielaczu cyklonowym.

Urządzenie pokazane na fig. 1 wykorzystano z powodzeniem na przykład do oddzielania stałych zanieczyszczeń od gazów odlotowych pochodzących z pieca martenowskiego. Typowe dane odnośnie tych prób zestawiono w załączonej Tablicy 3.

Dane do tablicy wzięte są przy zastosowaniu

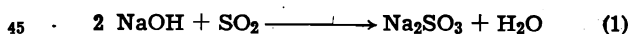
rozpylonych strumieni 16 i rozpylacza 14 ale stopień zapylenia gazu podany w tabeli dotyczy gazu na wyjściu z rozpylacza 14. Tak więc sprawność usuwania zanieczyszczeń podana w tabeli jest rzeczywistą sprawnością uzyskaną w przewodzie mieszającym 32 i cyklonie 38. Stopień zapylenia gazów na wylocie został podany w oparciu o próbki gazu pobierane z gazu zassanego poprzez typowy filtr do butelki, z której uprzednio wypompowano powietrze. Te próby były porównane z wynikami przy dużych ilościach gazu pobieranego do prób i przy zastosowaniu typowej techniki pomiaru zapylenia w celu sprawdzenia wiarygodności takiego sposobu pobierania próbek. Stopień zapylenia na wlocie był określony przez pobranie próbek szlamu wypływającego z cyklonu 38 poprzez otwór ściekowy.

W celu określenia czy rozpylacz 14 jest istotny dla prawidłowego działania urządzenia przeprowadzono dodatkowe próby przez wyłączenie z pracy natrysków 16 w rozpylaczu. W tych warunkach w rozpylaczu została usunięta tylko niewielka ilość stałych zanieczyszczeń ale ogólne osiągi całego układu były w dalszym ciągu wysoce zadawalające. Typowe dane z tych prób zestawiono w załączonej Tablicy 4.

Ze względu na uzyskanie wysoce zadawalających wyników podczas prób usuwania zanieczyszczeń stałych przeprowadzono jeszcze jedną serię prób w celu ustalenia czy sposób według wynalazku może być zastosowany czy też nie do usuwania jednocześnie stałych zanieczyszczeń i dwutlenku siarki.

Chemiczne reakcje związane z usuwaniem dwutlenku siarki przy użyciu rozmaitych środków chemicznych są doskonale znane. Spośród tych środków za najbardziej przydatne do zastosowania na szeroką skalę przemysłową uważa się wapno, kamień wapienny, sodę kaustyczną, tlenek magnezu, amoniak, nadmanganian potasowy i inne alkalia.

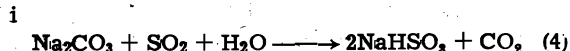
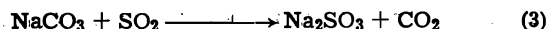
Reakcja, w której zastosowano sodę kaustyczną (wodorotlenek sodu) NaOH przebiega następująco:



Według równania (1) i w oparciu o ciężary cząsteczkowe reagentów 80 części wagowo wodorotlenku sodu reaguje z 64 częściami wagowo dwutlenku siarki. Tak więc dla usunięcia jednego kilograma SO_2 potrzeba 1,25 kg wodorotlenku sodowego. Według równania (2) 40 części wagowo wodorotlenku sodu reaguje z 64 częściami wagowo dwutlenku siarki tak, że do usunięcia jednego kilograma SO_2 potrzeba aby przereagowało z nim 0,625 kg wodorotlenku sodu. Reakcje podane w równaniach (1) i (2) zachodzą zwykle w tym samym czasie i istnieje pomiędzy nimi równowaga. Gdy niedostateczna jest ilość sody kaustycznej wtedy uprzywilejowana jest reakcja według równania (2) podczas gdy w przypadku nadmiaru sody kaustycznej uprzywilejowana jest z kolei reakcja według równania (1). Chociaż ze względów ekonomicznych

korzystniejszą mogłaby być reakcja (2), ale obecność produktu tej reakcji to jest dwusiarczanu sodowego stwarza niebezpieczeństwo korozji.

Podobnie jak w przypadku sodu kaustycznego tak samo w przypadku zastosowania węglanu sodowego zachodzą dwie reakcje z SO_2



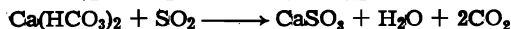
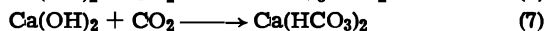
Zgodnie z równaniem (3) i w oparciu o ciężary cząsteczkowe reagentów, 106 części wagowo, węglanu sodowego reaguje z 64 częściami wagowo dwutlenku siarki. Tak więc do usunięcia 1 kilograma dwutlenku siarki potrzeba 1,66 kilograma węglanu sodowego. Zgodnie z równaniem (4) potrzeba odpowiednio 0,83 kilograma węglanu sodowego na jeden kilogram SO_2 ponieważ w tym przypadku ze 106 częściami wagowo węglanu sodowego reaguje 128 części wagowo dwutlenku siarki. Reakcje (3) i (4) występują jednocześnie i w stanie równowagi przy czym niedobór węglanu sodowego powoduje uprzywilejowanie reakcji (4) a nadmiar reakcji (3).

Reakcja z wapnem zachodzi następująco:



W tej reakcji 74 części wagowo wodorotlenku wapnia reaguje z 64 częściami wagowo SO_2 tak, że do usunięcia jednego kilograma SO_2 musi z nim przereagować 1,15 kg wodorotlenku wapnia.

Ponieważ wapno występuje zawsze w nadmiarze w związku z tym istnieje niewielkie prawdopodobieństwo aby produkty reakcji zawierały kwaśny siarczan. Wapno może być również zastosowane w postaci tlenku wapnia (CaO) który po zmieszaniu z wodą tworzy zawiesinę reagującą z wodą i powstaje wodorotlenek (Ca(OH)_2). Jednakże zanieczyszczone gazy, zwłaszcza te, które pochodzą z procesów spalania będą zwykle zawierały znaczne ilości dwutlenku węgla (CO_2). W tych warunkach będą zachodziły następujące reakcje:



Chociaż reakcja wynikowa stanowiąca sumę reakcji (6) (7) i (8) jest identyczna z reakcją (5) to jednak istnienie reakcji pośrednich, włącznie z tworzeniem się węglanu i dwuwęglanu wapnia sugeruje, że skuteczność usuwania SO_2 może się nieco zmniejszyć gdy, jak to ma miejsce tutaj, czas reakcji jest ograniczony przez dynamikę urządzenia zastosowanego do procesu oczyszczania gazów.

Z równań (7) i (8) można wnioskować, że kamień wapienny (węglan wapnia) byłby lepszy od wapna gaszonego (wodorotlenek wapnia) jako reagent w przypadku obecności dwutlenku węgla, szczególnie ze względu na niski koszt i łatwą dostępność kamienia wapiennego. Jednakże węglan wapnia powstały według równania (6), który następnie re-

aguje według równania (7), będzie w takiej postaci, w której będzie on zdolny do szybkiej reakcji chemicznej. Z drugiej strony kamień wapienny jest dostępny w handlu jedynie jako grube kruszywo i nawet po zmieleniu do ziarnistości odpowiadającej numerowi 325 sita lub mniejszej nie jest wystarczająco drobnoziarnisty aby był zdolny do szybkiej reakcji.

Przy próbach usuwania dwutlenku siarki użyto wapna w postaci wodorotlenku wapnia (Ca(OH)_2), mieszaniny wapna i wodorotlenku sodowego (NaOH) oraz samego wodorotlenku sodowego. Wyniki prób wykazały, że gdy substancje reagujące chemicznie były wprowadzane w postaci zawiesiny lub roztworu wraz z nieuzdatnioną wodą wtryskiwaną poprzez wtryskiwacz 52 wody to uzyskano zadawalające wyniki odnośnie usuwania dwutlenku siarki. Gdy na przykład zastosowano samo wapno wtryskiwane wraz z wodą to usunięte zostało do 90% SO_2 podczas gdy przy zastosowaniu wodorotlenku sodowego uzyskano prawie pełne usunięcie tego zanieczyszczenia.

Przy mieszaninach wapna i wodorotlenku sodowego wtryskiwanych wraz z wodą skuteczność usuwania SO_2 była pośrednia pomiędzy wynikami uzyskanymi przy użyciu samego wapna i samego wodorotlenku sodowego. W przypadku gdy gazowy nośnik zawiera substancję organiczną wydzielającą nieprzyjemne zapachy to wtedy można do wtryskiwanej wody dodać środka utleniającego takiego jak nadmanganian potasowy. Silnie burzliwe strefy mieszania powstające w sposób według wynalazku skutecznie działać będą w kierunku ułatwienia usunięcia nieprzyjemnych zapachów pochodzenia organicznego. Trzeba również powiedzieć, że warunki skraplania panujące w przewodzie mieszania za miejscem 62 załamania licząc w kierunku przepływu będą ułatwiały skraplanie jakichkolwiek par mogących ulec skropleniu, obecnych w mieszaninie burzliwej gazu, pary wodnej i wody.

Typowe dane odnośnie prób usuwania tlenku siarki zostały podane w załączonej Tablicy 5 i przedstawione graficznie na fig. 11.

Na fig. 11 skuteczność usuwania SO_2 jest wyrażona i naniesiona na wykresie na oś pionowej jako stosunek ogólnej sprawności podzielony przez stosunek równoważnikowy a to w celu uwzględnienia różnic w ilości SO_2 wprowadzonych do układu. Na osi poziomej wykresu z fig. 11 podano zawartość procentową reagentów w celu uwzględnienia rozpuszczalności wapna zawartego w zawiesinie. Ilość wapna dostępnego do reakcji obliczono w oparciu o założenia, że rozpuszcza się ono w wodzie w ilości 0,17%.

Jak to widać wyraźnie z danych tutaj przedstawionych sposób według niniejszego wynalazku jest wysoce skuteczny przy usuwaniu stałych zanieczyszczeń oraz zanieczyszczeń gazowych takich jak gazy kwasowe zawierające dwutlenek siarki. Wybrany przykład wykonania urządzenia do stosowania sposobu według wynalazku stanowi urządzenie zaprojektowane do oczyszczania około 500 kilogramów gazu na minutę. Należy wnioskować,

że dowolna ilość takich modułów podstawowych może pracować równolegle w celu dostosowania do dużych ilości oczyszczanych gazów. Oczywistym jest także na podstawie ujawnionych tutaj danych, że przez urządzenie przeznaczona zasadniczo na wydajność 500 kg/min gazu można przepuszczać również znacznie przekraczające ilości bez istotnego wpływu na skuteczność procesu usuwania zanieczyszczeń.

Także oczywistym jest, że urządzenie opisane w przedmiotowym zgłoszeniu przykładowo może być zwiększane lub zmniejszane do odpowiednich rozmiarów zależnie od potrzeby według dobrze znanych zasad. Na przykład średnica przewodu mieszającego oraz jego długość do miejsca „załamania” są funkcją pierwiastka kwadratowego ze stosunku wymaganego wydatku przepływu do maksymalnego przepływu nominalnego według założeń projektowych dla tego przykładu. Podobnie średnica cyklonu jest funkcją prędkości wylotowej kropelek wydostających się z przewodu mieszającego za punktem załamania. Ponieważ wydajność cyklonu zależy od jego średnicy to można dobierać odpowiednią liczbę cyklonów przy ustalonej ich średnicy. Podobne zasady dotyczą wymiarów i wielkości pozostałych części urządzenia. Możliwe jest również inne ukształtowanie urządzenia w ramach tego wynalazku. Na przykład ejektor parowy i przewód mieszający mogą być usytuowane pionowo a wstępne oddzielanie wody może się odbywać za pomocą zakrzywionych łopatek lub innych oddzielaczy tego typu. Pionowe ustawienie może być porządane wtedy gdy ze względu na duże rozmiary urządzenia przewód mieszający jest stosunkowo długi lub w przypadku gdy istnieją ograniczenia odnośnie miejsca dostępnego na zainstalowanie urządzenia. Pionowe usytuowanie może być również przydatne w przypadku niewielkich urządzeń przenośnych.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób oczyszczania gazów przemysłowych, polegający na tym, że gaz ze źródła jego powstawania wprowadza się do wydłużonej rury mieszalnikowej do której doprowadza się poprzez dyszę mieszaninę pary i rozpylonych kropelek cieczy, w której to wydłużonej rurze mieszalnikowej para i kropelki cieczy mieszają się z gazem, przy

czym niesione przez gaz cząstki stałe są wytapywane przez kropelki cieczy, **znamienny tym**, że zanieczyszczone gazy przetłacza się przez wydłużoną, cylindryczną rurę za pomocą strumienia pary o prędkości ponaddźwiękowej w celu utworzenia burzliwego strumienia mieszaniny pary, zanieczyszczonych gazów i rozpylonej wody, przy czym wodę doprowadza się w pierwszym stopniu rozpylenia za pomocą układu rozpylonych strumieni względnie zimnej wody rozmieszczonych wokół obwodu strumienia pary przy jego wylocie z nadźwiękową prędkością z dyszy, a następny stopień rozpylenia uzyskuje się kierując rozpylone strumienie wody do zewnętrznej strefy strumienia pary, reguluje się przepływ burzliwego strumienia mieszaniny przez przestrzeń mieszania tak aby zapewnić tworzenie się kropelek wody zawierających oddzielone od gazu zanieczyszczenia, a następnie oddziela się zawierające zanieczyszczenia kropelki od gazu.

2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w przypadku, w którym zanieczyszczone gazy zawierają gazowy dwutlenek siarki, do wody dodaje się zasadowy odczynnik wybrany, z grupy zawierającej tlenek wapnia, wodorotlenek wapnia lub wodorotlenek sodu, przy czym przepływ burzliwego strumienia mieszaniny reguluje się tak, aby zapewnić czas wystarczający do zajścia reakcji pomiędzy dwutlenkiem siarki i zasadowym odczynnikiem.

3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w przypadku, w którym zanieczyszczone gazy zawierają zapachy organiczne, do wody dodaje się utleniacz taki jak nadmanganian potasu, przy czym przepływ burzliwego strumienia mieszaniny reguluje się tak aby zapewnić czas wystarczający do utlenienia zapachów organicznych przez nadmanganian potasu.

4. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że nie poddaną obróbce wodę wprowadza się pod ciśnieniem do wodnych dysz wtryskowych.

5. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że rozpylone strumienie zimnej wody wytwarza się w pobliżu wylotu strumienia pary z dyszy ejektora parowego i ustala się je pod kątem co najmniej 15° względem osi strumienia pary w celu uniknięcia wnikania rozpylonych strumieni wody do strumienia pary zanim osiągną one środkową strefę strumienia pary.

Tabela 3

Typowe dane odnośnie usuwania zanieczyszczeń stałych (płuczka wyłączona wstępna)

Nr próby	Wlotowa prędkość gazu (kg/min)	Nr dyszy parowej	Ciśnienie pary	Prędkość przepływu pary	Stosunek pary do gazu	Wtryskiwana woda płuczająca	Zawartość stałych zanieczyszczeń		Skuteczność usuwania zanieczyszczeń %
							a. gaz doprowadzany g/m ³	b. gaz odprowadzany g/m ³	
502-2	455	3	12,8	73,5	.161	43,5	1,886	0,023	99,1
520-4	456	3	13,3	74,5	.162	101	1,886	0,023	99,1
521-7	403	3	11,2	64,5	.154	88	1,564	0,0023	99,9
522-2	399	3	10,2	56,5	.158	55	2,208	0,0069	99,7
523-2	353	3	8,4	46,5	.152	81,5	5,52	0,046	99,2
523-5	258	3	8,0	40,8	.157	105	3,703	0,069	98,2
525-4	458	2	22,4	63,5	.132	99,5	4,83	0,0115	99,8
526-1	312	2	14,0	39,4	.126	60	1,196	0,0023	99,8
527-4	371	2	17,1	48,9	.132	95	6,67	0,0575	99,0
527-6	379	2	17,5	49,3	.131	55	6,555	0,115	98,2
528-3	292	2	13,3	37,6	.129	96,5	6,9	0,069	99,0
529-3	464	1	37,9	53,4	.115	97,5	3,91	0,023	99,4
530-2	392	1	30,4	43,0	.110	149	3,588	0,0345	99,0
530-7	391,5	1	30,9	43,5	.111	147	2,783	0,069	97,5
531-2	291	1	22,8	31,7	.110	149	4,807	0,069	98,6
531-3	292	1	22,8	31,7	.109	122	3,381	0,092	97,3
532-1	204	1	18,2	24,9	.120	127	3,381	0,0575	99,0

Tabela 4

Typowe dane odnośnie usuwania stałych zanieczyszczeń (płuczka wodna wstępna (rozpylacz) wyłączona)

Nr próby	Wlotowa prędkość gazu (kg/min)	Nr dyszy parowej	Ciśnienie pary	Prędkość przepływu pary	Stosunek pary do gazu	Wtryskiwana woda płuczająca	Zawartość stałych zanieczyszczeń		Skuteczność usuwania zanieczyszczeń %
							a. gaz doprowadzany g/cm ³	b. gaz odprowadzany g/m ³	
527-7	381	2	19,3	46,2	.127	54,5	0,897	0,0115	98,8
527-8	394	2	19,3	46,2	.124	95,2	6,463	0,023	96,4
527-10	411	2	19,4	46,3	.120	136	8,165	0,069	99,2
527-11	446	2	19,3	46,2	.118	167	7,475	0,069	99,1
530-5	403	1	30,9	43,5	.121	79	3,45	0,069	98,0
530-6	379	1	30,5	43,1	.114	115	5,014	0,046	99,1
530-7	391	1	30,9	43,5	.111	147	2,783	0,069	97,5
530-8	449	1	30,9	43,5	.097	179	3,128	0,0575	98,2
537-1	544	1	37,9	54,4	.100	201	7,061	0,0575	99,2
537-2	533	1	37,9	54,4	.106	133	5,152	0,0575	98,9
544-1	521	3	13,3	73,1	.147	197	4,738	0,0345	99,3
544-2	529	3	13,5	74,1	.147	209	3,795	0,0345	99,1
544-3	491	3	13,3	73,1	.151	128	5,221	0,0345	99,3
544-4	447	3	13,3	73,1	.167	97	3,381	0,115	97,1
544-5	530	3	13,3	73,1	.159	101	4,301	0,115	97,3
544-6	501	3	13,3	73,1	.149	131	4,6	0,0575	98,7

T a b l i c a 5

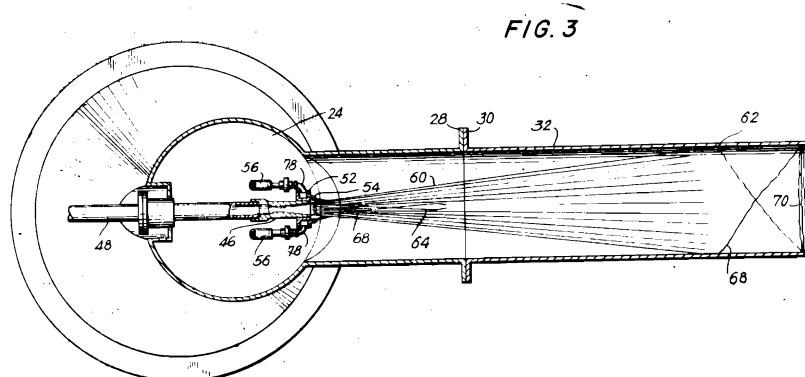
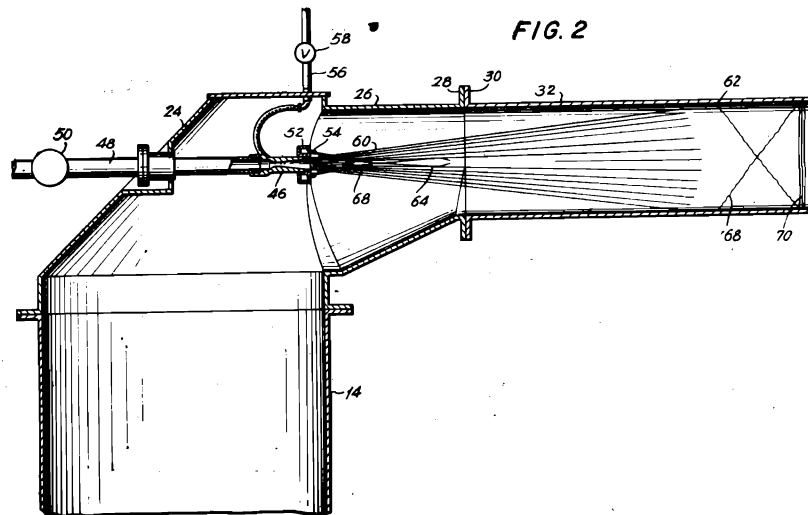
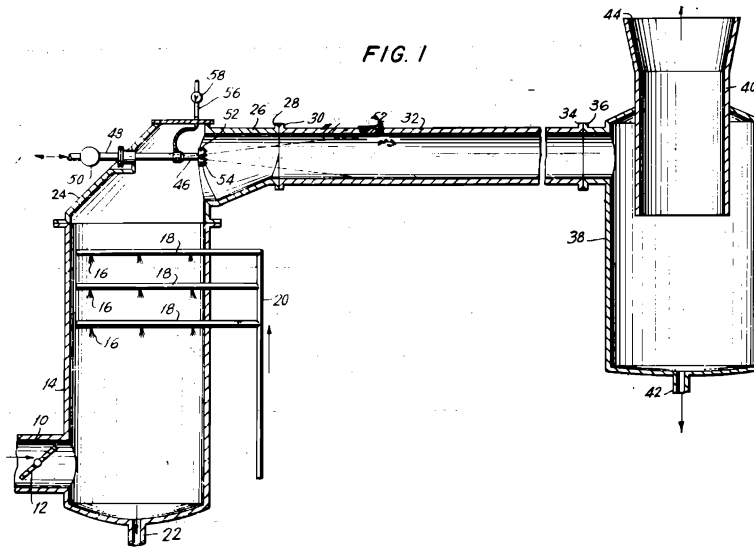
Nr próby	Przepływ gazu kg/min	Para			Ilość doprowadzanego SO ₂ (kg/min)	Zawartość SO ₂ (części na milion)	Substancja chemiczna		Pozostały SO ₂		Stosunek równoważnikowy	Skuteczność usuwania SO ₂ %	Roztwór wodny wyryskiwany	
		a. prędkość przepływu	b. ciśnienie	c. stosunek wagowy pary do gazu			a. rodzaj	b. ilość doprowadzana w jedn. czasu	ilość odprowadzonego SO ₂ wraz z oczyszczonym gazem (kg/min)	zawartość SO ₂			a. kg/min	b. stosunek wody do gazu
558-2	484	75,7	13,35	.178	0,456	445	(1)	0,553	0,099	94	.995	78,9	72,5	.152
558-3	477	73,9	15,40	.176	0,455	445	(1)	0,553	0,081	78	1,011	82,5	95,3	.205
558-4	477	74,8	15,40	.176	0,455	445	(1)	0,553	0,054	53	1,011	91,5	140,8	.296
559-2	447,6	70,3	14,30	.167	0,955	1000	(1)	0,226	0,28	291	1,090	70,9	104	.236
559-3	447,6	70,3	14,30	.167	0,924	938	(1)	1,226	0,24	249	1,161	73,5	127	.235
560-2	447,6	70,7	14,30	.167	1,142	1160	(1)	1,882	0,54	520	1,422	55,2	193	.254
563-3	447,6	71,6	14,37	.168	1,142	1160	(1)	1,882	0,29	302	1,422	74,0	167	.382
561-2	452,1	69,4	14,44	.169	0,727	757	(2)	0,653	0,09	10	.699	98,7	117	.264
561-3	445,4	68,9	14,16	.166	0,726	757	(2)	0,653	0,04	4	.710	99,5	195	.445
562-2	455	69,4	11,90	.169	1,201	1102	(3)	1,29	0,18	184	.921	83,3	99,7	.223
562-3	455	66,6	11,90	.169	1,201	1102	(3)	1,29	0,18	147	.921	86,7	159	.358
563-2	447,6	65,3	14,30	.167	1,476	1500	(1)	2,444	0,49	530	1,431	64,7	191	.428
563-3	447,6	65,3	14,30	.167	1,416	1437	(1)	2,444	0,45	479	1,493	66,7	191	.428
563-4	447,6	65,3	14,30	.167	1,335	1358	(1)	2,444	0,42	429	1,608	68,4	191	.428
563-5	447,6	65,3	14,30	.167	1,272	1300	(1)	2,444	0,37	382	1,649	70,5	191	.428
563-6	447,6	65,3	14,30	.167	1,207	1225	(1)	2,444	0,30	322	1,750	73,7	191	.428

Uwagi:

(1) Wapno — zawiesina

(2) Wodorotlenek sodowy — roztwór

(3) Zawiesina



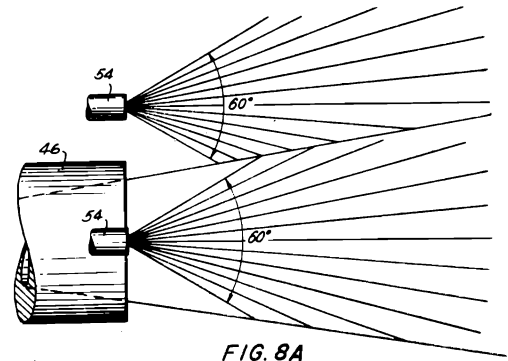
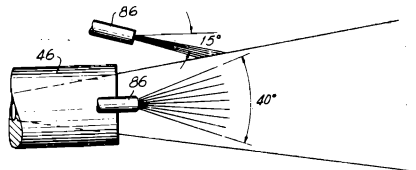
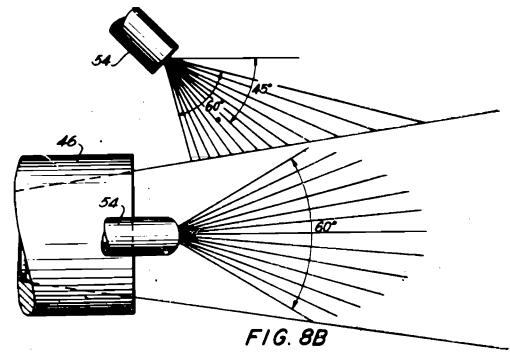
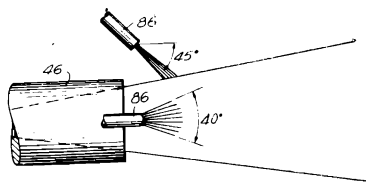
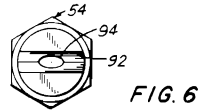
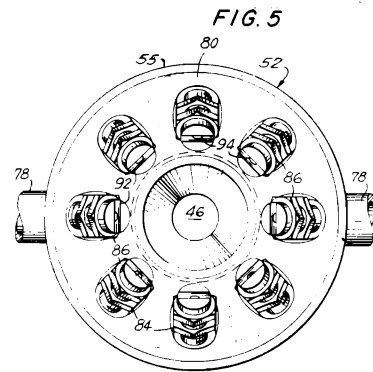
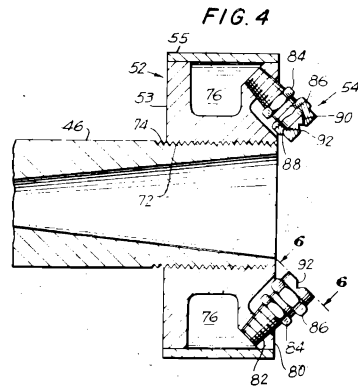


FIG. 9

1 (Δ) 550-580°
2 (■) 580-700°
3 (○) 700-750°

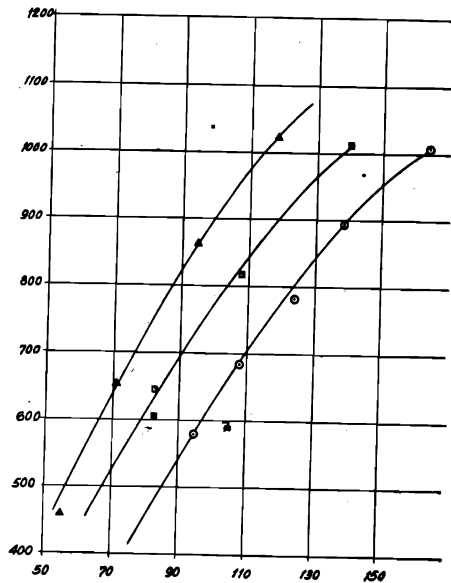


FIG. 10A

T	H1	H2	ΔH	ΔH ₀
550	477	461	4/3	43
450	456	437	3/4	36

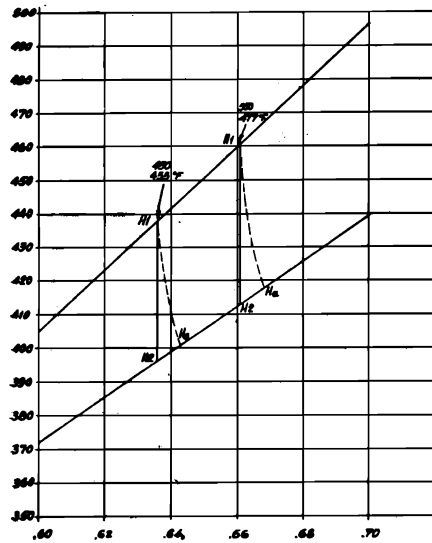


FIG. 10B

T	H1	H2	ΔH	ΔH ₀
550	477	461	4/3	43
450	456	437	3/4	36

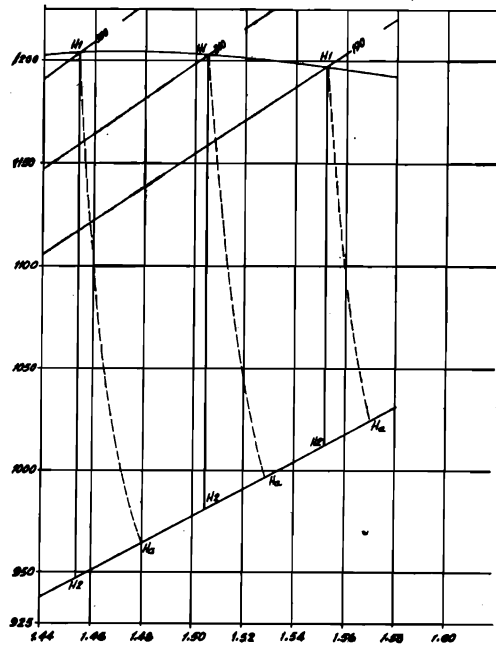


FIG. 11

● (Ca(OH)₂)
▲ (NaOH)
■ 80% NaOH & 80% Ca(OH)₂

