

173

JOSE JOAQUIN PEREZ & CIA.
ABOGADOS

Señora Jefe
División de Nuevas Creaciones
Dra. Alix Carmenza Cespedes de Vergel
Superintendencia de Industria y Comercio
E. S. D.

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
Rad: 03-094940-00006-0000
FEC: 2007-03-21 17:28:36 LOP: 2007-03-21
FEB: 11 PATENTE
FEB: 3/11 PATENTE NACIONAL
ACT 444 RESPONSALE
FEB: 41

RADICACION 03.94.940
TRAMITE 011
EVENTO 379
ACTUACION 430
Con Anexos

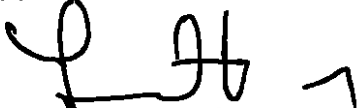
REF: Expediente No 03.094.940 Solicitud de Registro de Patente de Invención
"SISTEMA de COMBUSTION DE OXIGENO COMBUSTIBLE Y USOS PARA EL" a
nombre de la sociedad JUPITER OXYGEN CORPORATION

EL suscrito vecino de Bogotá D. C., abogado titulado, identificado como aparece al pie de mi firma, actuando como apoderado en este asunto, me refiero al auto No 14894 proferido por ese despacho notificado por Anotación de Estado de Patentes del 29 de diciembre de 2006, y para dar respuesta a dicho requerimiento, me permito adjuntar la copia solicitada por ese Despacho, de los siguientes documentos:

- D2 "ALUMINIUM RECYCLING" 2000. Ver. Deutscher Schmelzhutten EV Dusseldorf, XP002278565
- "A novel burner retrofit used to increase productivity in an aluminium rotary furnace and reduce baghouse loading, XP002089284

Agradezco se agregue este escrito al expediente de la referencia, para que se continúe con su tramitación normal.

De la señora Jefe



Fernando Pérez Caballero
C.C. 17.173.340
T.P. 18.531

Bogotá, D.C. 21 de Marzo de 2007

2 174

Heiz- und Energietechnik

11.09.00-2000
265+298-315 32
1.346-3.241-3.441-750

Energieformen

Die Energie ist eine physikalische Größe, die in verschiedenen Erscheinungsformen auftreten kann. Allgemein sind die beiden mechanischen Energieformen

- potentielle Energie und
- kinetische Energie

bekannt sowie, dass man potentielle Energie in kinetische Energie umwandeln kann, indem man einem ruhenden Körper die Unterlage entzieht und ihn in einem Schwerfeld fallen lässt. Das vorgenannte Beispiel zeigt, dass Energie in verschiedenen Formen auftreten kann und dass man die verschiedenen Formen ineinander überführen kann.

Für die Beurteilung thermischer Prozesse in Industrieöfen sind vor allem folgende Energieformen von Interesse:

- die innere Energie. Sie ist gekennzeichnet durch die ungerichtete Bewegung von Atomen und Molekülen und stellt sich nach außen durch die Temperatur des Körpers dar;
- die strukturelle Energie. Sie ist gekennzeichnet durch innere Bindungen des Körpers und stellt sich nach außen durch den Aggregatzustand, die Kristallstruktur und die Elastizität dar;
- die chemisch gebundene Energie. Sie ist durch die Möglichkeit gekennzeichnet, dass beim Zusammentreffen verschiedener Stoffe chemische Reaktionen ablaufen können, wobei entweder Energie an die nähere Umgebung der reagierenden Stoffe abgegeben wird oder die reagierenden Stoffe zur Reaktion aus der näheren Umgebung Energie zugeführt bekommen müssen;
- die elektrische Energie. Sie ist dadurch gekennzeichnet, dass durch elektrische und/oder magnetische Felder in Körpern gerichtete Bewegungen von Elektronen oder Ionen erzeugt werden.

Energie kann nicht nur innerhalb eines Systems umgewandelt, sondern auch von einem System auf ein anderes übertragen werden. Für diesen Übertragungsvorgang kommen jedoch nur zwei Formen der Energie in Frage. Es sind dies

- Arbeit und
- Wärme.

1) Autor: Prof. Dr.-Ing. Günter Wölk, Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik im Hüttenwesen der RWTH Aachen, Aachen

ge. Hierbei wurde angenommen, dass es sich bei der Schrottmenge um reines, nicht durch organische Stoffe verunreinigtes Metall handelt. Würde man einen durch Farben, Öl oder sonstige organische Stoffe verunreinigten Schrott betrachten, so kann man diese Verunreinigungen als Zusatzbrennstoff betrachten, zu deren Verbrennung die Verbrennungsluftmenge erhöht werden müsste. Da aber die Zusammensetzung der Verunreinigungen nicht bekannt ist, kann die zugehörige Luftmenge nur geschätzt werden.

7.1.5.2 Einsatz von Erdgas-Sauerstoff-Brennern

Die Verbrennung soll im nächsten Beispiel mit technischem Sauerstoff erfolgen. Während einer Charge werden dem Ofen wie im vorigen Beispiel im Durchschnitt 600 Nm³ Gas und 1.160 Nm³ Sauerstoff zugeführt. Der Ofen hat keine Sauerstoff- oder Gasvorwärmung.

Die Werte für den Brennstoff entsprechen dem vorigen Beispiel.

Der molare Heizwert des Brennstoffes (bezogen auf 0 °C) beträgt

$$h_{u,b} = 720,7 \text{ kJ/mol} = 32,23 \text{ MJ/Nm}^3 = 8,953 \text{ kWh/Nm}^3 \quad \text{Gleichung 7.185}$$

Damit wird einer Charge eine chemisch gebundene Energie von

$$H_b = N_b \cdot h_{u,b} = 19338 \text{ MJ} = 5371,8 \text{ kWh} \quad \text{Gleichung 7.187}$$

zugeführt. Nimmt man wieder an, dass sowohl Brennstoff als auch Sauerstoff dem Prozess mit einer Temperatur von 15 °C zufließen, so bringt der Brennstoff eine Energie in Form von Enthalpie von

$$H_g = N_g \cdot h_{g,b} = 14,3 \text{ MJ} = 4,0 \text{ kWh} \quad \text{Gleichung 7.188}$$

und der Sauerstoff von

$$H_s = N_s \cdot h_{s,u} = 22,8 \text{ MJ} = 6,3 \text{ kWh} \quad \text{Gleichung 7.189}$$

mit. Aus der Summe von chemisch gebundener Energie des Brennstoffes und der Enthalpie von Brennstoff und Sauerstoff ergibt sich eine Anlieferungsenergie von:

$$E_A = 19338 \text{ MJ} + 14,3 \text{ MJ} + 22,8 \text{ MJ} = 19375 \text{ MJ} = 5382 \text{ kWh} \quad \text{Gleichung 7.190}$$

Durch die Verbrennung entsteht im Ofenraum eine Heizgasmenge:

$$N_g = 78,56 \text{ kmol} = 1694 \text{ Nm}^3 \quad \text{Gleichung 7.191}$$

Dieses Heizgas verlässt den Ofen mit etwa 900 °C:

$$E_{g, \text{Abgas}} = N_g \cdot h_g = 3047 \text{ MJ} = 846,4 \text{ kWh} \quad \text{Gleichung 7.192}$$

Die mit der Falschlufte ausgetragene Abgasverlustenergie beträgt wie im vorliegenden Beispiel

$$E_{g, \text{Falschlufte}} = 1679 \text{ MJ} = 476 \text{ kWh} \quad \text{Gleichung 7.193}$$

Die gesamte Abgasverlustenergie beträgt

$$E_g = 4726 \text{ MJ} = 1313 \text{ kWh} \quad \text{Gleichung 7.194}$$

Demnach wird an den Ofen aus dem Stoffstrom der Verbrennung die Wärme

$$\begin{aligned} Q_b &= E_A - E_g = 19375 \text{ MJ} - 4726 \text{ MJ} = 14649 \text{ MJ} \\ &= 5382 \text{ kWh} - 1313 \text{ kWh} = 4069 \text{ kWh} \end{aligned} \quad \text{Gleichung 7.195}$$

übertragen.

Der über die Chargendauer gemittelte feuerungstechnische Wirkungsgrad ergibt sich zu:

$$\begin{aligned} \eta_f &= \frac{Q_b}{E_A} = \frac{E_A - E_g}{E_A} = 1 - \frac{E_g}{E_A} \quad \text{Gleichung 7.196} \\ &= 1 - \frac{4726 \text{ MJ}}{19375 \text{ MJ}} = 1 - \frac{1313 \text{ kWh}}{5382 \text{ kWh}} = 0,7560 = 76 \% \end{aligned}$$

Dieser feuerungstechnische Wirkungsgrad ist für einen Industrieofen ein sehr guter Wert, der im Einsatz eines Sauerstoffbrenners begründet ist.

Eine weitere Steigerung des feuerungstechnischen Wirkungsgrades würde sich bei Sauerstoffvorwärmung ergeben. Würde man einen Rekuperator einbauen, der eine Sauerstoffvorwärmung auf etwa 470 °C erreichte, so könnte man den feuerungstechnischen Wirkungsgrad um etwa 5 %-Punkte auf 81 % steigern. Der finanzielle Aufwand für eine Vorwärmung des Sauerstoffes mit dem Ofenabgas würde sich im vorliegenden Falle kaum lohnen.

Der durch die Ofenwand an die Umgebung abgegebene Wandwärmestrom beträgt wie im vorigen Beispiel:

$$\dot{Q}_v = \dot{q}_v \cdot A_v = 1,47 \text{ kW/m}^2 \cdot 81,7 \text{ m}^2 = 120 \text{ kW} \quad \text{Gleichung 7}$$

Da die Berechnungen für den Drehtrommelofen sich auf eine Chargendauer von 250 min = 4,167 h beziehen, ist die Wandverlustenergie

$$Q_{\text{w}} = \dot{Q}_{\text{w}} \cdot t_{\text{charge}} = 120 \text{ kW} \cdot 4,167 \text{ h} = 502 \text{ kWh} \quad \text{Gleichung 2}$$

und die an den Ofen übertragene Wärme

$Q_0 = 14649 \text{ MJ} = 4069 \text{ kWh}$ **Gleichung 7:**

Subtrahiert man von der Ofenwärme die Wandwärme, so erhält man die Gutwärme. Es ist dies die Wärme, die im Verlauf der Charge an das Gut übertragen wird:

$$Q_{\text{ges}} = Q_{\text{e}} - Q_{\text{w}} = 14648 \text{ MJ} - 1807 \text{ MJ} = 4069 \text{ kWh} - 502 \text{ kWh} = 3567 \text{ kWh}$$

Gleichung 7.

Berechnet man hieraus den öffentlichen Wirkungsgrad, so ergibt sich:

$$\eta_p = \frac{P_{\text{el}}}{P_{\text{el}} + P_{\text{W}}} = 1 - \frac{Q_{\text{W}}}{Q_{\text{el}}} = 1 - \frac{502 \text{ kWh}}{4069 \text{ kWh}} = 0,8766 = 88 \% \quad \text{Gleichung 7.2}$$

Bestimmt man noch den thermischen, d. h. wärmetechnischen Wirkungsgrad, so ergibt sich ein Wert für die Güte des Ofens von

$$\eta_{\text{TP}} = \eta_{\text{T}} \cdot \eta_{\text{p}} = 0,7560 \cdot 0,8746 = 0,6623 = 66 \% \quad \text{Gleichung 7.1}$$

Der berechnete Drehtrommelofen kann somit nach dem heutigen Stand der Technik als ein guter Ofen angesehen werden.

Wie im vorigen Beispiel errechnet sich die erforderliche Gutwärme zu:

$$\begin{aligned} Q_{\text{gesamt}} &= 14100 \text{ kg Al} \cdot 1215 \text{ kJ/kg Al} \\ &+ 2700 \text{ kg Salz} \cdot 1100 \text{ kJ/kg Salz} \\ &= 17132 \text{ MJ} + 2970 \text{ MJ} = 20102 \text{ MJ} = 5584 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Die wirkliche Gutwärme ist jedoch nur:

$$Q_{\text{netto}} = 4069 \text{ kWh} - 502 \text{ kWh} = 3567 \text{ kWh} \quad \text{Gleichung 7.2}$$

6 178

Damit ergibt sich ein Fehlbetrag von:

$$Q_g = Q_{g, \text{erh.}} - Q_{g, \text{erf.}} = 12842 \text{ MJ} - 20102 \text{ MJ} = -7260 \text{ MJ} \quad \text{Gleichung 7.205}$$

$$= 3567 \text{ kWh} - 5584 \text{ kWh} = -2017 \text{ kWh}$$

Die wirkliche Gutwärmemenge ist somit nur 64 % der erforderlichen Gutwärmemenge.

Nimmt man wie beim vorigen Beispiel an, dass der Fehlbetrag an Gutwärme durch eine Aluminiumverbrennung gedeckt wird, so berechnet sich die verbrannte Aluminiummasse zu

$$M_{\text{Al}} = \frac{Q_g}{h_{\text{uAl}}} = \frac{7260 \text{ MJ}}{31,05 \text{ MJ/kg}} = 234 \text{ kg} \quad \text{Gleichung 7.206}$$

entsprechend einem Abbrand von 1,7 %. Um die Aluminiummasse von 234 kg zu oxidieren, sind zusätzlich 146 Nm³ Sauerstoff erforderlich.

Auch bei einer stöchiometrischen Verbrennung kann die Oxidation des Aluminiums nicht verhindert werden, da Aluminium bei den im Drahttrommelofen herrschenden Temperaturen eine so hohe Affinität zum Sauerstoff hat, dass zuerst das Aluminium und dann erst der Brennstoff oxidiert (vgl. 7.1.2.1.6).

Brennertechnik

Aufgaben eines Brenners

Ein Brenner ist eine technische Einrichtung, dadurch gekennzeichnet, dass von ihm mindestens zwei, im Durchfluss verstellbare Stoffströme so geführt werden, dass sie in ihm oder beim Austritt aus ihm gemischt werden und für eine chemische Reaktion miteinander physikalisch und wenn nötig auch chemisch vorbereitet werden. Danach ist dieser in erster Linie eine Mischeinrichtung für fluide Stoffe, seien sie fest, flüssig oder gasförmig. Feste Stoffe sind nur fluid, wenn sie in einer Flüssigkeit oder einem Gas als Trägermittel fein verteilt sind. Auch fein verteilte Flüssigkeiten können in einem Gas in Form von Nebel transportiert werden.

Der eigentliche Zweck eines Brenners ist die Umwandlung der chemisch gebundenen Energie des Brennstoffs in die Enthalpie der Reaktionsprodukte, die dadurch eine hohe Temperatur annehmen. Damit werden die Reaktionsprodukte in die Lage versetzt, an ihre Umgebung, diese ist in der Regel ein Ofenraum, Energie in Form von Wärme abzugeben.

7 150

Chemische Reaktionen können nur ablaufen, wenn die miteinander reagierenden Atome, Moleküle oder Ionen räumlich auch zusammenkommen. Zu diesem Zweck muss die Mischung der Stoffströme sehr intensiv sein:

Will man für einen Brenner auf kurzem Weg eine gute Mischung von verschiedenen Stoffströmen erreichen, so wird man bestrebt sein, möglichst turbulente Strömungen zu erzeugen. Diese Strömungen sollten zusätzlich noch einen möglichst großen Unterschied in ihren Impulsströmen aufweisen, wobei der Impulsstrom definiert ist als

$\text{Impulsstrom} = \text{Massenstrom} \cdot \text{Geschwindigkeitsvektor}$.

Im Brennerbau werden die verschiedensten Hilfsmittel zur Erzeugung unterschiedlicher Impulsströme verwendet. So kann man den Stoffströmen, zum Beispiel einen Dreh aufprägen, der gegebenenfalls sogar gegenläufig im

Neben der mechanischen Mischung der Stoffströme hat ein Brenner die weitere Aufgabe, die Stoffströme physikalisch und gegebenenfalls auch chemisch für eine Reaktion und damit für eine Energieumwandlung vorzubereiten. Brennstoffe und Luft reagieren nicht im kalten Zustand, auch dann nicht, wenn sie ideal gemischt sind. Ein Brennstoff-Luft-Gemisch braucht eine bestimmte Temperatur, damit eine Reaktion ablaufen kann. Diese Temperatur muss nicht unbedingt im gesamten Gemisch herrschen. Es genügt, wenn in einem kleinen Bereich durch Zündung die erforderliche Temperatur erzeugt wird. Die Reaktion in dem kleinen Bereich erwärmt die Nachbarbereiche stark, dass in diesen die Reaktion ebenfalls ausgelöst wird. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer solchen Reaktion nennt man Zündgeschwindigkeit. Die Zündgeschwindigkeit ist stark vom Brennstoff abhängig. Sie beträgt zum Beispiel für ein stöchiometrisches Wasserstoff-Luft-Gemisch 2,67 m/s, für ein Methan-Luft-Gemisch dagegen nur 0,27 m/s.

Die Geschwindigkeiten der Stoffströme beim Austritt aus einem Brenner sind von den Austrittsquerschnitten und den Vordrücken abhängig. Solange die Austrittsgeschwindigkeit kleiner ist als die Zündgeschwindigkeit, wird eine Flamme am Brennermund aufsitzen. Ist jedoch die Austrittsgeschwindigkeit größer als die Zündgeschwindigkeit, dann wird die Flamme vom Brennermund abheben und instabil im Raum brennen oder verlöschen, d. h., dass man einen für Wasserstoff gebauten Brenner nicht einfach mit Methan (Erdgas) betreiben kann.

Eine weitere Größe, die die Funktionsfähigkeit eines Brenners beeinflusst, ist die Zündgrenze. Man unterscheidet hierbei eine untere und eine obere Zündgrenze. Unter der Zündgrenze versteht man den Anteil an Brennstoff in dem Brennstoff-Luft-Gemisch, bei dem das Gemisch noch gerade zündfähig ist.

So liegt zum Beispiel die untere Zündgrenze für Methan bei 5 Vol.-%, die stöchiometrische Mischung ist 8,72 Vol.-% und die obere Zündgrenze liegt bei 15 Vol.-%. Die drei Größen entsprechen einem Luftfaktor von $\lambda = 1,92$, $\lambda = 1,0$ und $\lambda = 0,64$. Das bedeutet, dass man einen Brenner, der mit kalter Luft bei einem Luftfaktor $> 1,92$ oder $< 0,64$ betrieben wird, nicht mehr zünden kann.

Wenn ein Brenner in einen freien oder geschlossenen Raum feuert, so bewirkt der Flammenstrahl, dass aus der näheren Umgebung des Strahles Materie mitgerissen wird. Es tritt damit erstens eine Sekundärströmung in der umgebenden Atmosphäre ein und zweitens wird Umgebungsatmosphäre in die Stoffströme der Verbrennung eingemischt. In einem geschlossenen Ofenraum besteht die Umgebungsatmosphäre aus dem vom Brenner gebildeten Heizgas. Der Flammenstrahl erzeugt somit um sich herum einen Toruswirbel, der durch die Ofenwände oder benachbarte Flammenstrahlen begrenzt wird. Die dadurch entstehende Heizgasumwälzung hat je nach Intensität einen nicht unbedeutenden Einfluss auf die Verbrennung selbst, auf den Wärmeübergang im Ofen und auf die Temperaturgleichmäßigkeit im Ofenraum.

Grundformen von Brennern

Brenner mit Vormischung

Der Gedanke, den Brennstoffstrom und den Luftstrom vor dem eigentlichen Reaktionsvorgang zu mischen, liegt nahe. Jedoch bewirkt ein solches Vorgehen ein gewisses Sicherheitsrisiko, da auf einer Strecke vor dem Brennermund ein zündfähiges Gemisch vorliegt, das sich im Brenner oder sogar in einer vorgeschalteten Rohrleitung entzünden kann.

Der einfachste Brenner mit Vormischung ist der Bunsenbrenner. Durch eine Gasdüse strömt der Brennstoff in ein Mischrohr. Die nötige Verbrennungsluft saugt sich der Gasstrom nach dem Prinzip der Strahlpumpe selbsttätig an. Die angesaugte Luftmenge kann durch ein Rändelrad, das die untere Rohröffnung mehr oder weniger verschließt, eingestellt werden. Eine exakte Einstellung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses ist damit nicht möglich, weil Luftdruck und Lufttemperatur einen erheblichen Einfluss auf den angesaugten Luftmengenstrom haben. Die eigentliche Flamme setzt erst am Ende des Mischrohrs auf. Das metallische Mischrohr entzieht dem Reaktionsbereich so viel Wärme, dass das Brennstoff-Luft-Gemisch nicht mehr auf Zündtemperatur aufgeheizt werden kann. Eine Rückzündung ins Mischrohr wird dadurch verhindert. Reicht die Wärmeableitung durch das Mischrohr nicht aus, so kann man zusätzliche Wärmeableitrichtungen, zum Beispiel ein Drahtnetz, am Mischrohrausstritt anbringen.

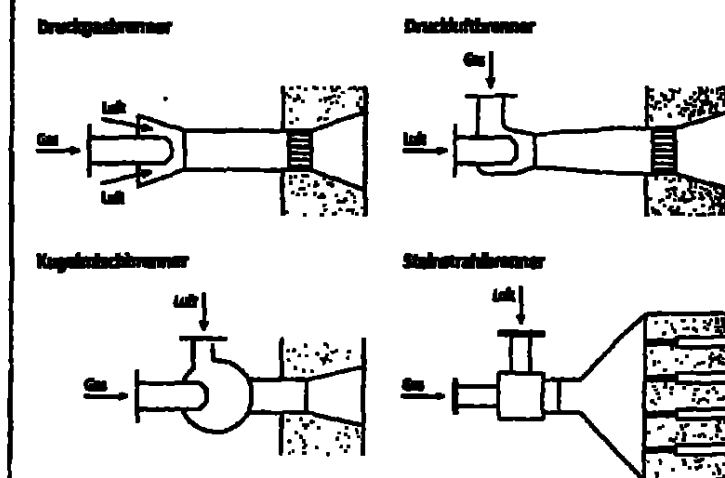
Soll ein Vormischbrenner in seiner thermischen Leistung abgeregelt werden, so kommt es leicht zu Rückzündungen und damit zu Überhitzungen der Brenneinbauten. Deshalb sollten Vormischbrenner möglichst zweipunktgeregelt, d. h. mit Ein-Aus-Regelung betrieben werden.

Ein weiterer Nachteil von Vormischbrennern ist die Tatsache, dass man keine Luftvorwärmung einsetzen kann, weil

- bei selbstanzugenden Brennern die Luft direkt aus der Atmosphäre entnommen wird und
- bei Brennern mit mechanischer Luftzuführung die vorgewärmte Luft leicht zur direkten Selbstentzündung führen würde.

Selbst anzugende Vormischbrenner (Bild 7.90) werden heute in der Industrie nur noch selten angewendet. Anwendungsgebiete sind vor allem Haushaltungen und Strahlbrenner zur Hallenbeheizung [7.67].

7.90 Grundformen der Brenner mit Vormischung



7.2.2.2

Brenner ohne Vormischung

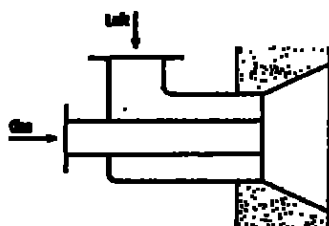
Die heute üblichen Brenner für Industrieöfen sind Brenner ohne Vormischung mit mechanischer Luftzuführung über Ventilatorluft oder Presluft (Bild 7.91).

Der Parallelstrombrenner besteht aus zwei konzentrischen Röhren, in denen innen der Brennstoff und außen Luft, mit Sauerstoff angereicherte Luft

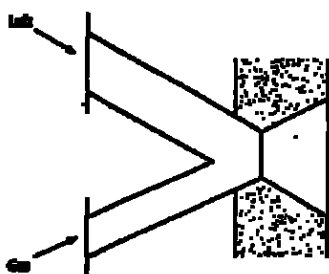
10
102

291 Grundformen der Brenner ohne Vorzöschung

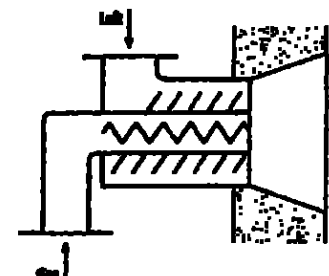
Pfeilstrahlbrenner



Kreuzstrombrenner



Wirbelstrombrenner



oder Sauerstoff fließen. Mit dem Übergang von laminarer zu turbulenter Strömung in beiden Röhren wird die Länge der Flamme immer kürzer und damit die Energieumwandlungsdichte immer höher. Gleichlaufend mit der Energieumwandlungsdichte steigt auch die maximale Temperatur in der Reaktionszone. Dieser Effekt erhöht zwar den örtlichen Wärmeübergang von der Flamme an den Ofen, was sowohl erwünscht als auch unerwünscht sein kann, aber mit höherer Temperatur wächst überproportional die Entstehung von Stickoxiden (NO_x) in der Reaktionszone.

Bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten am Brennermund, d. h. den Austrittsflächen der Stoffströme, kann es zu abhebenden und instabilen Flammen kommen. Diese Erscheinung lässt sich weitgehend vermeiden, wenn man Strömungshindernisse am Brennermund anbringt, die so beschaffen sein sollen, dass sie den Strömungswiderstand nicht zu stark erhöhen, jedoch hinter

sich kleinräumige Wirbel erzeugen. Die Mischung von Brennstoff und Luft wird hinter dem Strömungshindernis örtlich verbessert, was zu einer Begünstigung der Reaktion an diesen Stellen führt. Die Wirkung dieser künstlich erzeugten Wirbelgebiete gleicht derjenigen von Fremdzündungen.

Beim Kreuzstrombrenner wird eine verbesserte Mischung, d. h. eine Verkürzung der Flammenlänge dadurch erreicht, dass man die Stoffströme unter einem Winkel ineinander führt, was zur Verbesserung der Mischung beiträgt. Dabei ist darauf zu achten, dass nicht ein Strom den anderen zu stark am Auströmen hindert.

103

Beim Wirbelstrombrenner wird zur Verkürzung der Flamme und damit zur Erhöhung der Energieumwandlungsdichte durch den Einbau von Leitschaufeln oder Leitblechen einem oder beiden Stoffströmen eine Drehbewegung aufgeprägt, die deren Geschwindigkeit erhöht. Durch den damit verbundenen höheren Impulsstrom wird nicht nur eine bessere Mischung beider Ströme erreicht, sondern es tritt auch eine Veränderung der Flammenform ein. Beim Austritt aus dem Brenner werden die rotierenden Stoffströme durch die Zentrifugalkraft nach außen gedrückt und es bildet sich eine aufgeweitete, bis tellerförmige Flamme, die sich im Extremfall an den Brennerstein oder die Ofenwand anlegt.

Solche Dreibrenner werden häufig als Deckenstrahlbrenner eingesetzt. Durch die hohe Geschwindigkeit in Deckennähe verbessert sich der lokale Wärmeübergang, wodurch die Wand in Brennernähe stärker aufgeheizt wird. In Folge davon wird die Abstrahlung der Wand erhöht und die Aufheizung des Gutes gefördert.

7/2.2.2

Brenner mit Heizgasrezirkulation oder Abgasrückführung

Ein Strahl, der in einen wesentlich größeren Raum strömt, reißt Materie aus seiner Umgebung mit und vermischt sich mit dieser. Diese Erscheinung führt dazu, dass das strömende Volumen zunimmt und der Strahl sich zu einem so genannten Freistrah aufweitet. Das Einmischen von Heizgas aus dem Ofenraum in eine frei brennende Flamme wird als Heizgasrezirkulation bezeichnet.

Bei einem Parallelstrombrenner, bei dem im äußeren Rohr Luft strömt, wird sich heißes Heizgas in die Verbrennungsluft einmischen. Dieser Vorgang hat den Vorteil, dass durch das Einmischen die Verbrennungsluft vorgewärmt wird, was zu einer höheren Reaktivität des Sauerstoffes und damit zu einer höheren Energieumwandlungsdichte führt. Wird jedoch zu viel Heizgas eingemischt, sinkt die Konzentration des Sauerstoffes in diesem Gemisch. Unterschreitet die Sauerstoffkonzentration eine bestimmte, temperaturabhängige Grenze, wird die Flamme instabil und kann verlöschen, da die untere Zündgrenze unterschritten wird.

Die Abgasrückführung ist eine bautechnische Lösung, bei der aus dem Ofenraum über Rohrleitungen Abgas zurück zum Brenner geführt und dort dem Brennstoffstrom und/oder dem Luftstrom zugemischt wird. Der Hauptzweck einer Heizgasrezirkulation oder Abgasrückführung ist die Senkung der maximalen Flammentemperatur zur Minderung der Stickoxydbildung. Beide Lösungen sind den oben genannten Restriktionen bezüglich den Zündgrenzen unterworfen.

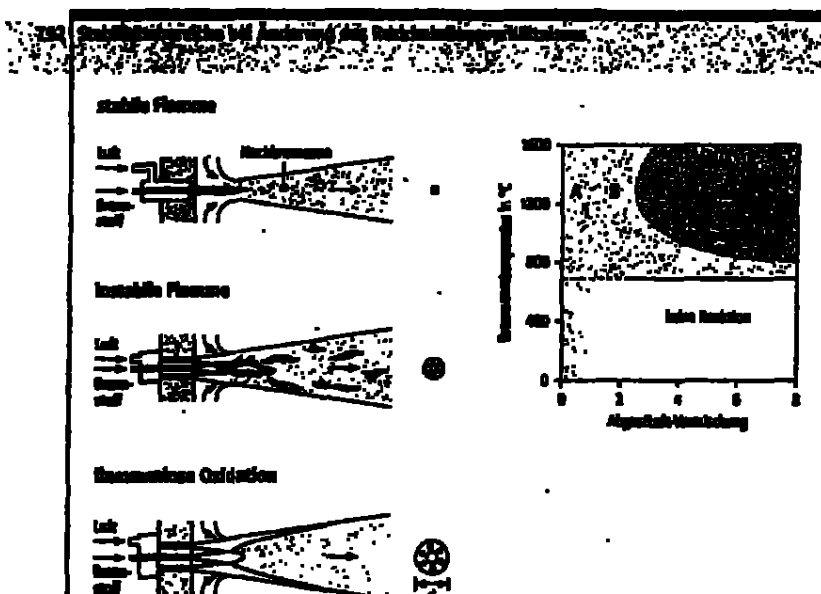
Eine besondere Form der Heizgasrezirkulation entsteht dann, wenn statt einer ringförmigen Öffnung für die Verbrennungsluftzufuhr mehrere Einzeldüsen in einem Abstand von der Brennstoffdüse kreisförmig um diese angeordnet werden [7.88]. Bei dieser Konstruktion hat nicht nur jeder einzelne Luftstrahl, sondern auch der Brennstoffstrahl die Möglichkeit, Heizgas anzusaugen. Mit der Brennstoff-Heizgas-Mischung eröffnen sich weitere verbrennungstechnische Vorteile. Durch die geringe Sauerstoffkonzentration im Heizgas und dessen hohe Temperatur bildet sich bei einer Heizgaszumischung zum Beispiel zu Methan CH_4 , Kohlenmonoxid CO und Wasserstoff H_2 . Beide Stoffe haben eine höhere Affinität zum Sauerstoff als der Ausgangsstoff Methan CH_4 . Durch die zusätzliche Brennstoffvorwärmung wird der Zündgrenzbereich erweitert und die Flamme brennt stabiler.

Definiert man ein Rezirkulationsverhältnis K_r ,

$$K_r = \frac{\dot{N}_h}{\dot{N}_b + \dot{N}_l}$$

Gleichung 7.207

wobei $\dot{N}_h$ der rezirkulierende Heizgasstrom, $\dot{N}_b$ der Brennstoffstrom und $\dot{N}_l$ der Luftstrom sind, so ist eine normale Flamme in einem kalten Ofenraum bis zu einem Rezirkulationsverhältnis von 0,3 (30 %) immer stabil (Bild 7.92, Bereich A). Erhöht man die Rezirkulation, so wird die Flamme instabil und verlöscht bei etwa 0,5 (50 %) (Bild 7.92, Bereich B).



13 105

Zur sog. flammenlosen Oxidation (Flou) gelangt man bei Ofenraumtemperaturen $> 900^\circ\text{C}$, wobei die Instabilitätserscheinungen bis etwa $K_v = 4$ auftreten. Bei einer weiteren Steigerung der Rezirkulation in den Bereich von $K_v > 5$ erlischt die Flamme, aber die Reaktion zwischen Brennstoff und Sauerstoff läuft ohne Leuchterscheinungen und Geräuschentwicklung weiter ab (Bild 7.92, Bereich C).

7/2.2.2.1

Brenner für flüssige Brennstoffe

Flüssige und feste Brennstoffe können nur an den Oberflächen „brennen“, die mit der Verbrennungsluft (allgemein Oxidator) in Berührung kommen. Da sich über einer Flüssigkeitsoberfläche entsprechend dem Dampfdruck der Flüssigkeit immer eine gasförmige Phase befindet, kann sich der Oxidator mit dem Brennstoffdampf mischen und nach Zündung reagieren. Durch diesen Vorgang wird dem flüssigen Brennstoff Wärme zugeführt, wodurch der Dampfdruck erhöht wird, was bis zum Sieden führen kann. So wäre sein kontinuierliches Abbrennen möglich. Die dabei auftretende Energieumwandlungsdichte ist jedoch sehr klein und für technische Anwendungen nicht ausreichend.

Die genannte technische Unzulänglichkeit lässt sich durch Vergrößern der Reaktionsoberfläche zwischen Brennstoff und Oxidator beheben. Hierfür werden zwei Vorgehensweisen angewendet:

- Der flüssige Brennstoff wird möglichst fein in den Oxidator zerstäubt. Es bilden sich Tröpfchen und über die ganze Tröpfchenoberfläche bildet sich ein reaktionsfähiger Brennstoffdampf.
- Der flüssige Brennstoff wird vor der Reaktion verdampft und/oder vergast.

Eine Zerstäubung des Brennstoffes geschieht in den meisten Fällen dadurch, dass man den Brennstoff mit hohem Druck durch eine feine Düse presst. Beim Austritt aus der Düse zerfällt der feine Flüssigkeitsstrahl in Tröpfchen. Durch geeignete Düsenkonstruktion lässt sich der „Brennstoffnebelstrahl“ so formen, dass er wie ein „Brennstoffgasstrahl“ wirkt. Möglich ist auch eine Brennstoffvernebelung durch Ultraschallzerstäubung und Rotationszerstäubung.

Häufig angewendet wird eine Verdampfung des bereits zerstäubten Brennstoffs, bevor dieser mit der eigentlichen Verbrennungsluft in Berührung kommt. Mischt man den Brennstoffnebelstrom zuerst mit Heizgas und anschließend mit der Verbrennungsluft, so wird der Brennstoffnebel vorgewärmt und verdampft. Bei diesem Vorgang tritt in den meisten Fällen zusätzlich eine Vergasung ein, indem die Brennstoffmoleküle mit dem Kohlendioxid und dem Wasserdampf des Heizgases zu Kohlenmonoxid und Wasserstoff reagieren. Dadurch entsteht ein sehr reaktives Brenngas.

Einer Heizölflamme ist anzusehen, ob eine direkte Verbrennung des Brennstoffnebels oder eine Verbrennung des verdampften und vergasten Brennstoffnebels vorstatten geht. Die direkte Verbrennung erzeugt eine gelb leuchtende Flamme, weil während der Reaktion fester Kohlenstoff entsteht, der seinerseits bei der Temperatur in der Flamme als Festkörper glüht. Ist der Brennstoffnebel vor seiner Oxidation jedoch chemisch umgewandelt worden, so dass in der Hauptsache Kohlenmonoxid und Wasserstoff verbrennen, hat die Flamme eine schwache hellblaue Färbung. Über die Vor- und Nachteile leuchtender und nichtleuchtender Flammen kann man keine allgemein gültigen Aussagen machen.

Mehrstoffbrenner

Bei technischen Anlagen treten häufig Fälle auf, bei denen neben einem üblichen Brennstoff noch andere brennbare Sekundärbrennstoffe oder auch in manchen Fällen nicht brennbare Prozessprodukte zum Zwecke der Energieumwandlung oder der chemischen Umwandlung zwecks Umweltverträglichkeit in so genannten Mehrstoffbrennern eingesetzt werden.

Eine allgemeine Regel, wie neben dem Primärbrennstoff und der Verbrennungsluft die Zusatzstoffe dem Mehrstoffbrenner zuzuführen sind, lässt sich nicht aufstellen. Hierbei muss immer berücksichtigt werden, wie der Zusatzstoff thermisch vorbereitet werden muss, damit die Reaktion mit der Verbrennungsluft oder die chemische Umwandlung in umweltverträgliche Bestandteile zu erfolgen hat.

Sollen z. B. die Schmelzgase aus der Einschmelzkammer eines Mehrkammerofens einer Energienutzung zugeführt werden, so lässt sich das durch eine Zwangsumwälzung durch Abgasrückführung oder durch eine freie Umwälzung aufgrund der Injektionswirkung des normalen Brennerstrahls bewirken. Es ist zu beachten, dass Feststoffpartikel aus dem Schmelgas sich nicht an strömungstechnisch wichtigen Stellen absetzen, da sonst die Gefahr eines Zuwachsens von Strömungswegen besteht.

Ein wichtiger Parameter beim Betreiben von Mehrstoffbrennern ist das Verhältnis der Volumenströme von Primär- zu Sekundärbrennstoff. Meistens hat der Sekundärbrennstoff aufgrund seines geringen Heizwertes einen größeren Volumenstrom als der Primärbrennstoff. Um eine gute Mischung zwischen den einzelnen Stoffströmen zu erreichen, dürfen die örtlichen Abstände zwischen den einzelnen Strömungszonen nicht zu groß werden. Tritt in einem Schmelzofen ein großvolumiger Schmelgastrom zwischen zwei Kammern auf, so sollte man in der Heizkammer nicht einen großen Brenner, sondern besser mehrere kleine Hochgeschwindigkeitsbrenner installieren,

15
187

weß hierdurch die Mischungswege zwischen den einzelnen Stoffströmen kleiner werden. Zusätzlich bringen Hochgeschwindigkeitsbrenner einen höheren Impuls in den Ofenraum ein als es normale Brenner gleicher Leistung tun, wodurch eine bessere Mischwirkung erreicht wird. Ein gut wirkender kleiner Mehrstoffbrenner kann für größere Volumenströme nicht einfach maßstäblich vergrößert werden, sondern im Einzelfall sind die Impulsverhältnisse sorgfältig gegeneinander abzuwägen.

7.23 Molare Enthalpien von Gasen und Kohlenwasserstoffen

7.23 Molare Enthalpien von Gasen

Temperatur °C	H ₂	CH ₄	O ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	NO	NO ₂	SO ₂	Luft
°C	J/mol	J/mol	J/mol	J/mol	J/mol	J/mol	J/mol	J/mol	J/mol	J/mol
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	3804	3913	3854	3810	3810	3772	3804	3785	4077	3817
200	3914	3940	3884	3840	3840	3802	3834	3815	4100	3840
300	4042	4065	3920	3880	3880	3842	3872	3853	4123	3863
400	4179	4195	3952	3910	3910	3872	3902	3883	4146	3886
500	4326	4335	3985	3940	3940	3902	3932	3913	4169	3909
600	4482	4485	4000	3960	3960	3922	3952	3933	4192	3932
700	4647	4645	4015	3975	3975	3937	3967	3948	4215	3955
800	4821	4815	4030	3990	3990	3952	3982	3963	4238	3978
900	4995	4985	4045	4005	4005	3967	4002	3978	4261	4001
1000	5179	5165	4060	4020	4020	3982	4017	3993	4284	4024
1100	5363	5345	4075	4035	4035	3997	4032	4008	4307	4047
1200	5547	5525	4090	4050	4050	4012	4047	4023	4330	4070
1300	5731	5705	4105	4065	4065	4027	4062	4038	4353	4093
1400	5915	5885	4120	4080	4080	4042	4077	4053	4376	4116
1500	6099	6065	4135	4095	4095	4057	4092	4068	4399	4139
1600	6283	6245	4150	4110	4110	4072	4107	4083	4422	4162
1700	6467	6425	4165	4125	4125	4087	4122	4098	4445	4185
1800	6651	6605	4180	4140	4140	4102	4137	4113	4468	4208
1900	6835	6785	4195	4155	4155	4117	4152	4128	4491	4231
2000	7019	6965	4210	4170	4170	4132	4167	4143	4514	4254
2100	7203	7145	4225	4185	4185	4147	4182	4158	4537	4277
2200	7387	7325	4240	4200	4200	4162	4197	4173	4560	4300
2300	7571	7505	4255	4215	4215	4177	4212	4188	4583	4323
2400	7755	7685	4270	4230	4230	4192	4227	4203	4606	4346
2500	7939	7865	4285	4245	4245	4207	4242	4218	4629	4369
2600	8123	8045	4300	4260	4260	4222	4257	4233	4652	4392
2700	8307	8225	4315	4275	4275	4237	4272	4248	4675	4415
2800	8491	8405	4330	4290	4290	4252	4287	4263	4698	4438
2900	8675	8585	4345	4305	4305	4267	4302	4278	4721	4461
3000	8859	8765	4360	4320	4320	4282	4317	4293	4744	4484

16
100

7.95 Mittlere Enthalpien von Kohlenwasserstoffen

Temperatur	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂
°C	J/mol				
0	0	0	0	0	0
100	3020	4532	5637	7523	9409
200	7928	10116	12806	16886	21320
300	12766	16304	20715	27943	36480
400	18188	23332	28896	40040	51989
500	24119	31620	40048	55508	70800
600	30622	40464	54088	73930	91989
700	37846	49477	72637	96300	115900
800	44818	58862	95336	123530	141380
900	52448	68766	12380	155210	189470
1000	60728	79210	101800	191880	250000

3 Verfahren- und Anlagentechnik

3.1 Übersicht

Die direkte Verarbeitung der unterschiedlichen aluminiumhaltigen Vorstoffe, die in der Produktion, Weiterverarbeitung und nach Verwendung anfallen, erfolgt – wenn es sich um eigene Produktionschrotte handelt – in den Gliedern der Primärhütten, in Halbzeugwerken und Formgießereien. Marktgängige Produktionschrotte, Schrotte aus der Weiterverarbeitung und der Verwendung werden je nach Verunreinigungsgrad und Legierungsklasse durch Refiner in den Schmelzwerken zu Gusslegierungen oder durch Remelter in Umschmelzwerken zu Knetlegierungen verarbeitet (Tabelle 7.95).

Die direkte Verarbeitung von Produktionschrotten wird hier nur insoweit berücksichtigt, als die angewandte Verfahrens- oder Anlagentechnik für die Schmelz- und Umschmelzwerke von Bedeutung ist.

Die Grundoperationen bei der Herstellung von Guss- und Knetlegierungen sind im Prinzip gleich. Nach einer, wenn erforderlich, vorhergegangenen

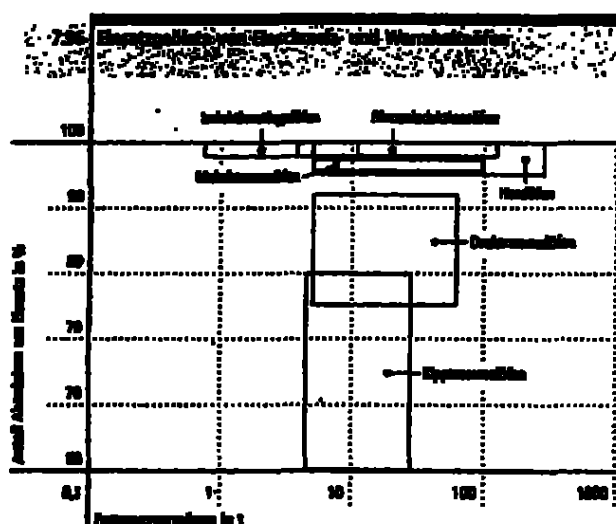
- Auf- oder Vorbereitung der Vorstoffe
- werden die Prozessschritte
- Einschmelzen

- 17

Verarbeitung unterschiedlicher staubförmiger Verstoffe

INDEXED: ~~4P~~ ~~XXXXXXXXXX~~ ~~1~~

Die angewandte Verfahrens- und Anlagentechnik der Guss- und Knetlegierungsherstellung ist naturgemäß unterschiedlich. Schmelzanlagen (Bild 7.96) sind den zu verarbeitenden Vorstoffen im Hinblick auf Verunreinigungsgrad, Stückgröße und Menge angepasst [7.69]. Während die Schmelzbehandlung bei der Gusslegierungsherstellung praktisch immer im Warmhalte- und Vergießofen vorgenommen wird und nur selten eine Schmelzfiltration erfolgt, werden diese Prozessschritte bei der Knetlegierungsherstellung in der Regel zwischen Vergießofen und Gießanlage durchgeführt. Gusslegierungen werden heute zu etwa gleichen Teilen zu Masseln verarbeitet und als Flüssigmetall ausgeliefert. Knetlegierungen werden meistens vertikal-halbkontinuierlich im Strangguss zu Walz- und Pressbarren vergossen.



In den Gießereien der Primärhütten und Halzeugwerke (Integrated remelter) erfolgt die direkte Verarbeitung von Produktionsabfällen zusammen mit Elektrolysemetall. Zur Anwendung kommen zum Einschmelzen große brennstoffbeheizte stationäre oder klippbare Herdöfen oder, wenn es sich um Späne handelt, Induktionstiegelöfen, aus denen die Schmelze in Herdöfen, in denen auch legiert wird, überführt wird. Vergossen wird aus klippbaren Herdöfen. Die Schmelzbehandlung als Spülgasbehandlung wird meist nicht in den Warmhalte- und Vergießöfen, sondern „in-line“ kombiniert mit einer Schmelzfiltration vor den Stranggussanlagen durchgeführt. Gelegentlich werden als Vergießöfen Tiegelinduktionsöfen in Form von Kurzpuhlenöfen oder auch Rinneninduktionsöfen verwendet. Die Produkte dieser Gießereien werden meistens im gleichen Unternehmen weiterverarbeitet. Es sind dies

19
191

Knetlegierungen in Form von Walz- und Pressbarren, aber auch Hüttengusslegierungen, die aus hochwertigen Knetlegierungsschrotten und Primäraluminium hergestellt werden.

In den Umschmelzwerken (Remelter), werden vorwiegend wenig verunreinigte, niedrig legierte Knetlegierungsschrotte verarbeitet. Es werden meist große Partien sortenreiner Schrotte gleicher Zusammensetzung eingesetzt. Die Verarbeitung dieser Materialien erfolgt oft im Auftrage des Schrottanlieferers gegen Schmelzlohn. Die Aufbereitung der Vorstoffe besteht nur darin, diese Materialien durch Schneiden oder gegebenenfalls Kompaktieren chargefähig zu machen. Das Einschmelzen der Schrotte erfolgt üblicherweise in brennstoffbeheizten Mehrkammeröfen, die zunehmend mit integrierten Vorwärmkammern zum Abschwelen anhaftender organischer Verunreinigungen, Schwelgas- und Sauerstoffbrennern sowie Einrichtungen zur Wärmerückgewinnung ausgestattet sind. Es werden auch Drehtrommelöfen und Tiegelinduktionsöfen, seltener Rinneninduktionsöfen eingesetzt. Die Schmelzen werden über Rinnen oder durch Pfannentransport brennstoffbeheizten Warmhalteöfen aufgegeben, die gleichzeitig auch als Vergießöfen fungieren. Die Spülgasbehandlung erfolgt wie bei den Hütten- und Halbzeugwerken entweder in den Warmhalteöfen und/oder in Anlagen, die zwischen Gießöfen und Stranggussanlage „in-line“ angeordnet sind und in denen auch filtriert wird. In den als kippbare Herdöfen ausgeführten Warmhalteöfen wird die Schmelze, falls erforderlich, fertig legiert, ggf. korngefalnt und üblicherweise im vertikalen Strangguss vergossen oder auch flüssig ausgeliefert. Produkte der Umschmelzwerke sind Knetlegierungen in Form von Walz- und Pressbarren, Pressblechen und Logs, aber auch Flüssigaluminium.

In den Schmelzhütten (Refiner) werden meist stark verunreinigte, oxidierte Vorstoffe, d. h. meist vermischte Schrotte aller Legierungsklassen sowie Krätze, Krätze- und Schlackengrößen verarbeitet. Die oft in kleinen Partien angelieferten Vorstoffe bedürfen häufig noch einer vorhergehenden Aufbereitung (vgl. Kapitel 6). Das Einschmelzen wird üblicherweise unter Schmelzsatz in brennstoffbeheizten Drehtrommelöfen vorgenommen; salzarm bzw. salzfrei arbeitende Kipptrommel- oder Herd- bzw. Mehrkammeröfen – ebenfalls brennstoffbeheizt – gewinnen an Bedeutung. Die Schmelzen werden flüssig in ebenfalls brennstoffbeheizten Warmhalteöfen überführt. Darin werden sie auch legiert, zur Reinigung und Gefügeeinstellung behandelt und schließlich vergossen oder in Flüssigtransportbehälter abgefüllt. Produkte der Schmelzhütten sind Gusslegierungen in Form von Massen oder Flüssigaluminium. Gleichfalls hergestelltes Desoxidationsaluminium kommt vorwiegend in Form von Granulen auf den Markt.

In den Formgießereien werden in der Regel nur die eigenen Produktions-schrotte in Form von Gießrichtern, Anschnitten, Speisern etc., aber auch Späne aus der Gusssteylbearbeitung verarbeitet. Man findet häufig spezielle brennstoffbeheizte Schachtöfen, über die die Gießrichtungen mit flüssigem Metall versorgt werden. Kritische Gussstücke werden fast ausschließlich – wegen der besseren Qualität der Schmelzen – aus in Induktionsöfen erschmolzenem Metall hergestellt. Produkte der Formgießereien sind Formgussstücke.

Die Entwicklung der Verfahrens- und Anlagentechnik in der Sekundäraluminiumindustrie war in den letzten Jahren allgemein bestimmt durch die Forderung nach

- erhöhtem Metallausbringen bei
- verbesserter Metallqualität,
- geringerem Energieverbrauch und
- verminderten Emissionen.

Verminderter Einsatz von Hilfsstoffen wie Schmelzsatz, verbesserte Brennertechnik, Sauerstoffeinsatz und Abwärmenutzung haben bei brennstoffbeheizten Anlagen zu großen Fortschritten geführt. Bei den elektrisch beheizten Anlagen werden heute regelbare Mittelfrequenz-Induktionsöfen während der gesamten Einschmelzphase immer mit hohem Wirkungsgrad und optimalem Energieverbrauch betrieben. Effektive Schmelzereinigungsanlagen stellen die Erfüllung der ständig zunehmenden Qualitätsanforderungen sicher. Alle Schmelzanlagen sind mit Abgasfänger- und -reinigungsanlagen ausgestattet, die die Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Emissionswerte garantieren. Neu entwickelte Abgasreinigungsverfahren insbesondere für organisch belastete Abgase haben dazu geführt, dass Fragen der PCDD/F-Emissionen praktisch der Vergangenheit angehören.

Gettierung und Materialbereitstellung

In der betrieblichen Praxis ist es Aufgabe der Unternehmen, aus den aktuell vorhandenen Vorstoffbeständen die vom Kunden in der chemischen Analyse spezifizierte oder eine am Markt verkäufliche Ziellegierung zusammenzustellen. Die chemische Zusammensetzung einer Legierung ist die Basis ihrer Qualitätsbeschreibung. Dabei sind Legierungselemente durch eine obere und untere Grenze gekennzeichnet, zulässige Beimengungen durch einen Maximalwert. Kundenwünsche liegen dabei häufig in engeren Grenzen als in den Werkstoffnormen aufgeführt.

2f
193

7/3.2.2 Anlagentechnik

7/3.2.2.1 Einschmelzöfen

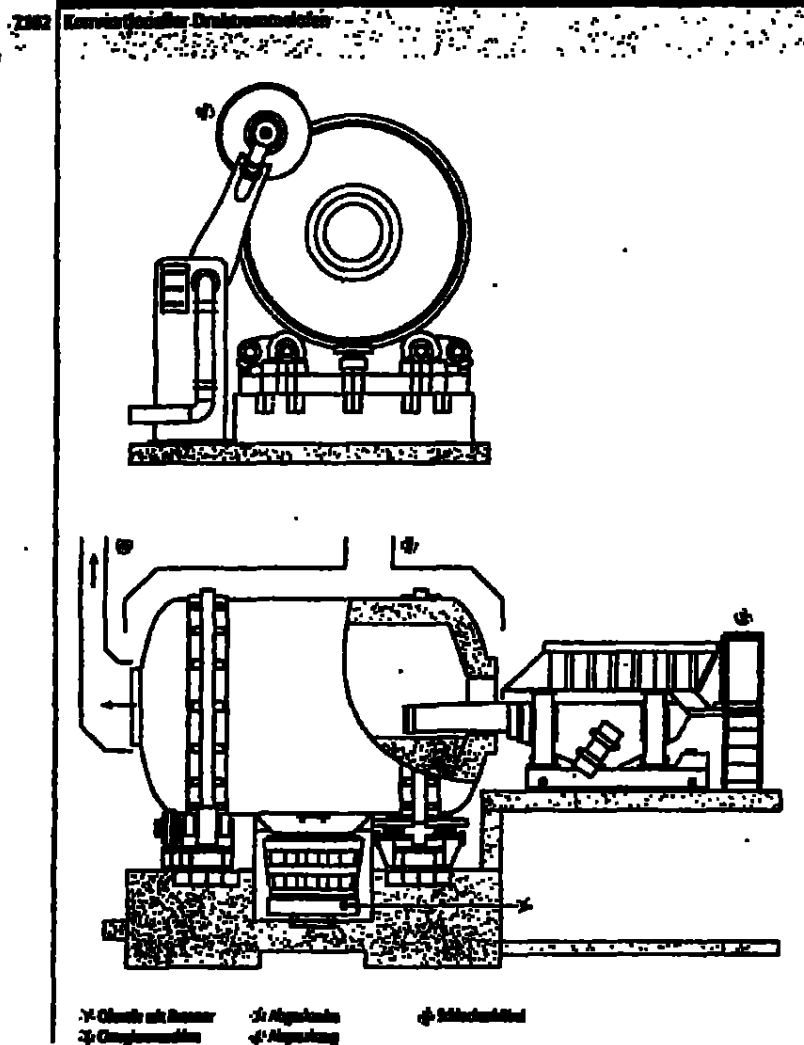
Bei der Herstellung von Gusselegierungen werden in den deutschen Schmelzwerken Drehtrommelöfen, Kipptrommelöfen sowie gelegentlich Mehrkammer- und Induktionsöfen als Einschmelzöfen eingesetzt; die früher eingesetzten Abschmelzöfen werden kaum noch verwendet.

Drehtrommelöfen sind zum Schmelzen von stark verunreinigten Schrott unter Salz das mit Abstand am häufigsten eingesetzte Aggregat (Bild 7.102). Im Aufbau besteht der Drehtrommelofen aus einem zylindrischen Stahlmantel, der liegend, drehbar auf zwei Laufringen gelagert und feuertauglich zugestalt ist. Die Zustellung besteht aus einer isolierenden Steinlage mit einer Dicke von 200 bis 300 mm, z. B. aus Feuerleichtsteinen, und einem 100 bis 150 mm dicken gemauerten oder monolithisch gespritzten Verschleißfutter aus hochaluminoxidhaltiger Schemotte mit > 60 Masse-% Al_2O_3 , das ggf. mit einer keramischen Flätschicht von 10 bis 20 mm Dicke hinterfüttert sein kann (vgl. 7.3.8.7.1).

Der elektrische Antrieb erfolgt über die Laufrollen mit 1 bis 8 Umdrehungen pro Minute, wobei die Drehzahl stufenlos geregelt werden kann. Die chargeweise betriebenen Öfen haben üblicherweise ein Fassungsvermögen von 10 bis 20 t. Mittlerweile sind Ausführungen bis zu 60 t bekannt (7.72). Angaben zur Schmelzleistung schwanken in weiten Grenzen; es sollen 6 bis 7 t/h erreicht werden.

Die Beheizung erfolgt über einen an der Stirnseite in der Ofentür angeordneten Erdgas- oder Öl-Luft-Brenner. Zum Chargieren des Ofens wird dieser Brenner abgeschaltet und nach oben oder zur Seite weggeschwenkt (Bild 7.102). Die Wärmeübertragung auf das Schmelzgut erfolgt durch Strahlung und Leitung, weniger durch Konvektion. Zur Verminderung der Aluminiumoxidation ist die Brennerflamme in flachem Winkel gegen die Ofenausmauerung und nicht direkt auf das Metallbad gerichtet. Bei der Rotationsbewegung der Ofentrommel wird die Wärme dann von der erhitzten Ausmauerung beim Eintauchen an das Metallbad abgegeben. Der wärmetechnische (= thermische) Wirkungsgrad der normalen Drehtrommelöfen liegt bei ca. 35 bis 40 %. Durch Anwendung von Sauerstoffbrennern, optimierter Ofenraumabichtung und Ofendrucküberwachung kann dieser jedoch auf über 70 % gesteigert werden (vgl. 7.2.3.5). Der spezifische Energieverbrauch hängt stark von der Art des Einsatzes ab und liegt bei 3,2 bis 3,6 GJ/t Einsatzmaterial.

Das bis zu 950 °C heiße Abgas verlässt den Ofen bei üblichen Konstruktionen auf der dem Brenner gegenüberliegenden Seite. Es enthält neben den Ver-



brennungsgasen z. T. die Verbrennungsprodukte der am Schrott anhaftenden organischen Komponenten, auch Metallpartikel, Chlor- und Fluorwasserstoff, verdampfte Alkylchloride und -fluoride, organischen Kohlenstoff u. a. m. (vgl. Kapitel 13). Der hohe Staubgehalt verhindert eine Verwendung des heißen Abgases in Abhitzekesseln oder zur Vorwärmung der Verbrennungsluft, da es an den Wärmetauscherflächen schnell zur Bildung von Ansätzen kommen würde.

23
195

Die Chargierung des Ofens wird heute üblicherweise maschinell mit speziellen Chargiermaschinen durchgeführt. Die Entleerung der Drehtrommel erfolgt über Abstichöffnungen, die auf dem Umfang des Ofenrings und/oder an der Stirnseite angeordnet sind. Dabei werden zuerst Metall und dann Schlacke getrennt abgestochen.

Der Einsatz von Schmelzsatz dient zur Verminderung der Oxidation des Ausgangsgutes durch die Ofenatmosphäre und zur Aufnahme der Verunreinigungen. Es besteht aus ca. 70 Masse-% Natriumchlorid (NaCl) und ca. 30 Masse-% Kaliumchlorid (KCl). Dem Satz sind meistens 3 bis 5 Masse-% Calciumfluorid (CaF_2 , Fluorapat) zugesetzt. Fluorapat kann durch Kryolith (Na_3AlF_6) oder andere Alkali- oder Erdalkalifluoride ersetzt werden (vgl. 7.1.5).

Diffuse Emissionen sind bei der Chargierung und beim Abstich sowie durch nicht einwandfrei abgedichtete Ofenköpfe nicht vollständig zu vermeiden. Der Einsatz von Absaughauben an der Chargiertür sowie an Metall- und Schlackenabstich ist Stand der Technik. Durch diese Maßnahmen, die sowohl der Umwelt- als auch dem Arbeitsschutz dienen, erhöht sich der Abgasvolumen erheblich. Die Abgasreinigung der mit anorganischen und organischen z. T. toxischen Bestandteilen hoch belasteten Ofenabgase erfordert aufwändige Abgasbehandlungsanlagen (vgl. 7.3.7) und einen hohen Behandlungsaufwand für die anfallenden Filterstäube (vgl. Kapitel 13).

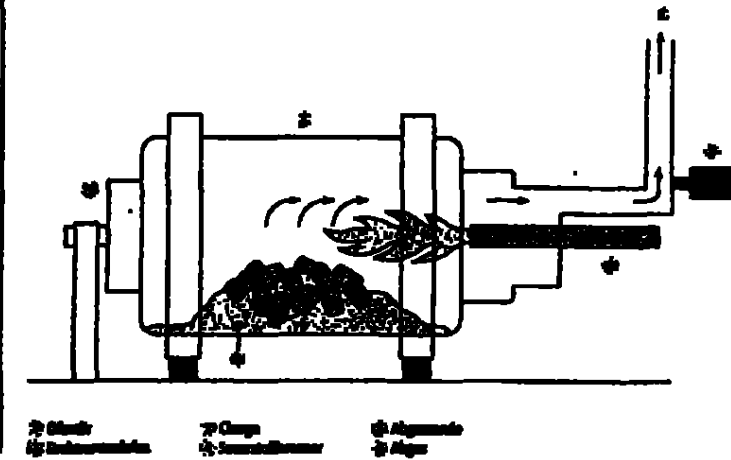
Die Weiterentwicklung des Salzbad-Trommelofenprozesses in den letzten Jahren hat zu Anlagen- bzw. Verfahrenvarianten geführt mit:

- verbessertem thermischem Wirkungsgrad,
- verringertem Abgasvolumen durch Einsatz von Sauerstoffbrennern sowie
- vermindertem Salzverbrauch bei entsprechend geringerem Schlackenanteil.

Durch Modifizierung des normalen Drehtrommelofens, indem Erdgasbrenner durch Sauerstoffbrenner ersetzt und auf der gleichen Seite wie der Rauchgasabzug angeordnet werden, wurden beim LEAM-Prozess (AIR PRODUCT) wesentliche Vorteile erzielt (Bild 7.103). LEAM steht für Low Emission Aluminium Melting.

Durch die so entstehende Umkehrflamme werden die Heizgase innerhalb des Ofens nachverbrannt. Die Chargiertür des Ofens auf der gegenüberliegenden Seite kann einfacher ausgeführt und besser abgedichtet werden. Dadurch sinkt die Abgasmenge gegenüber dem normalen Trommelofen um 70 % vermindern. Zusammen mit einer neuen Brennergestaltung und der geänderten Abgasführung soll der thermische Wirkungsgrad auf über 70 % steigen, gleichzeitig um 50 % vermindertem Energieverbrauch.

7.103 Drehtrommelofen mit Sauerstoffbrenner und Umwälzflamme (System LEAM)
Bismarck-Produkte

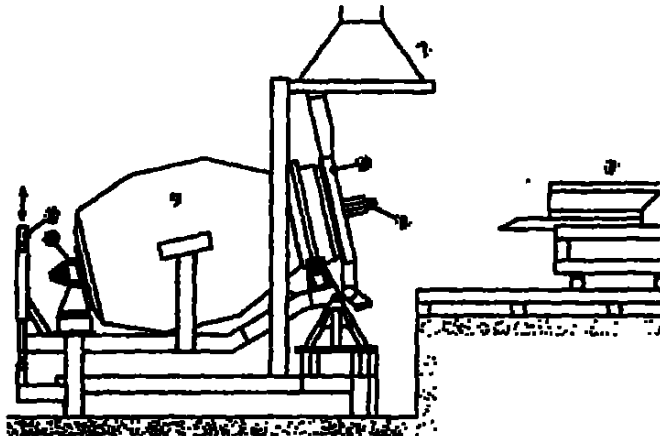


Kipptrommelöfen mit Sauerstoffbrennern (Bild 7.104) werden mit einer erheblich geringeren Salzmenge betrieben. Durch den geringen Salzzusatz fällt die Salzschlacke in Form eines rieselfähigen trockenen Salzkuchens an. Um die nicht aufgeschmolzene Salzschlacke entfernen zu können, sind diese Öfen dreh- und kipper ausgeführt. Sie eignen sich besonders für den Einsatz von stark oxydantigen Materialien wie Kritiszen. Durch eine besondere Brennerausführung und -anordnung verfügen Kipptrommelöfen u. a. über einen deutlich verminderten Energieverbrauch (2,0 bis 2,2 GJ/t Einsatzmaterial) und höheren thermischen Wirkungsgrad.

Das Einschmelzen feinteiliger Schrotte, insbesondere von Spänen, ist mit höheren Abbrandverlusten verbunden, wenn nicht besondere Vorsichtsmaßnahmen ergriffen werden. Um den Abbrand zu verringern, werden die feinen Aluminiumpartikel möglichst rasch unter die Schmelzoberfläche gedrückt, um so vor weiterem Luftzutritt geschützt geschmolzen zu werden. Dazu wird mit verschiedenen Tauchschmelzverfahren (Bild 7.105) gearbeitet, die an stationären Herdöfen oder auch Mehrkammeröfen eingesetzt werden.

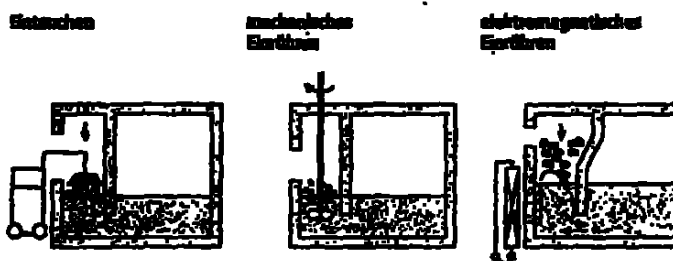
Bei Öfen mit offenem Vorherd („open-well“- oder „slide-well“-Öfen) wird das feinteilige Material im offenen Vorherd durch mechanisches Untertauchen, mechanisches oder elektromagnetisches Eindrühren eingeschmolzen und die Schmelze durch freie oder erzwungene Konvektion in den eigentlichen Schmelzherd transportiert. Bei Öfen mit Chargierherd wird im Bypass zum

2104 **Elektromotoren mit Selbstüberwacher**



- 1) **Chlorid** 2) **Ammonium** 3) **Phosphat** 4) **Hydroxid**
 5) **Nitrat** 6) **Sulfat** 7) **Carbonat** 8) **Acetat**
 9) **Chlorid** 10) **Ammonium** 11) **Phosphat** 12) **Hydroxid**

7205 - Stachanthus peruvianus Lo Hsiao-Shan



eigentlichen Haupttherd ein kleiner Einschmelztherd („charge well“) angeordnet, in dem eine intensive Zirkulationsbewegung erzeugt wird, in die Material eingetragen wird.

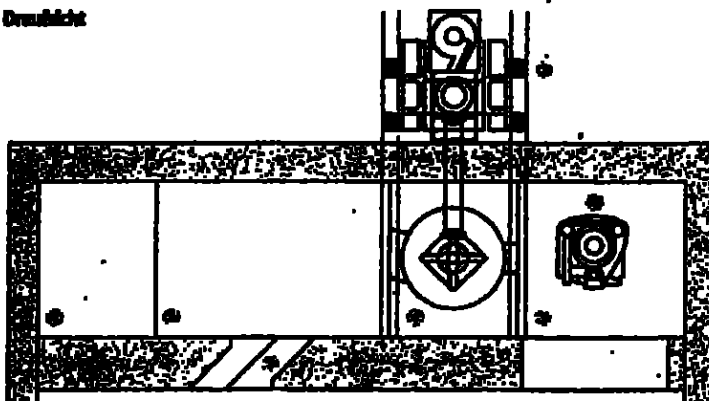
Mechanisches Einrauchen mit Hilfe eines an einem Flurförderfahrzeug montierten Manipulators ist das einfachste, aber auch unwirkksamste Verfahr
Das Einrühren mit mechanischen Pumpen ist die gebräuchlichste Metho
um durch Erhöhung der Konvektion in der Schmelze das Einschmelzen fe
teilliger Schrotte zu verbessern. So werden z. B. zum Einschmelzen von Spär

26 198

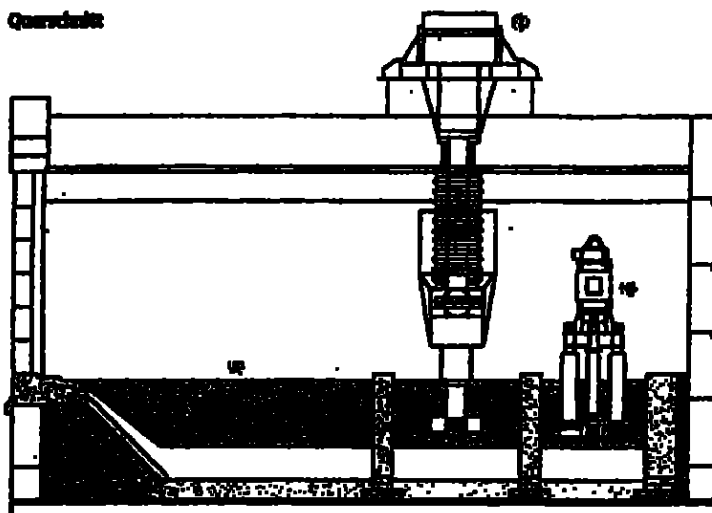
Rührer mit offenen Blattimpellern eingesetzt, die speziell für das Einnühren ausgelegt sind. Sie bilden eine starke Rührtrombe im Pumpensumpf aus, wodurch feinteiliges Material schnell eingerührt und eingeschmolzen wird. In Kombination mit einer Zirkulationspumpe (vgl. 7.3.5) ergibt sich ein komplettes System (SAMS: Scrap Aluminium Melting System/METALLICS) zum Einschmelzen feinteiliger Schrotte für Vorheizöfen (Bild 7.106).

Bild 7.106: SAMS: Scrap Aluminium Melting System/METALLICS

Draufsicht



Querschnitt



- | | | | |
|-----------------|---------------|---------------------|-----------------|
| ① schräger Rand | ③ Unterdeck | ⑤ Pumpenkammer | ⑦ Mischschicht |
| ② Mischkammer | ④ Obergußdeck | ⑥ Zirkulationspumpe | ⑧ Metallspiegel |

27
199

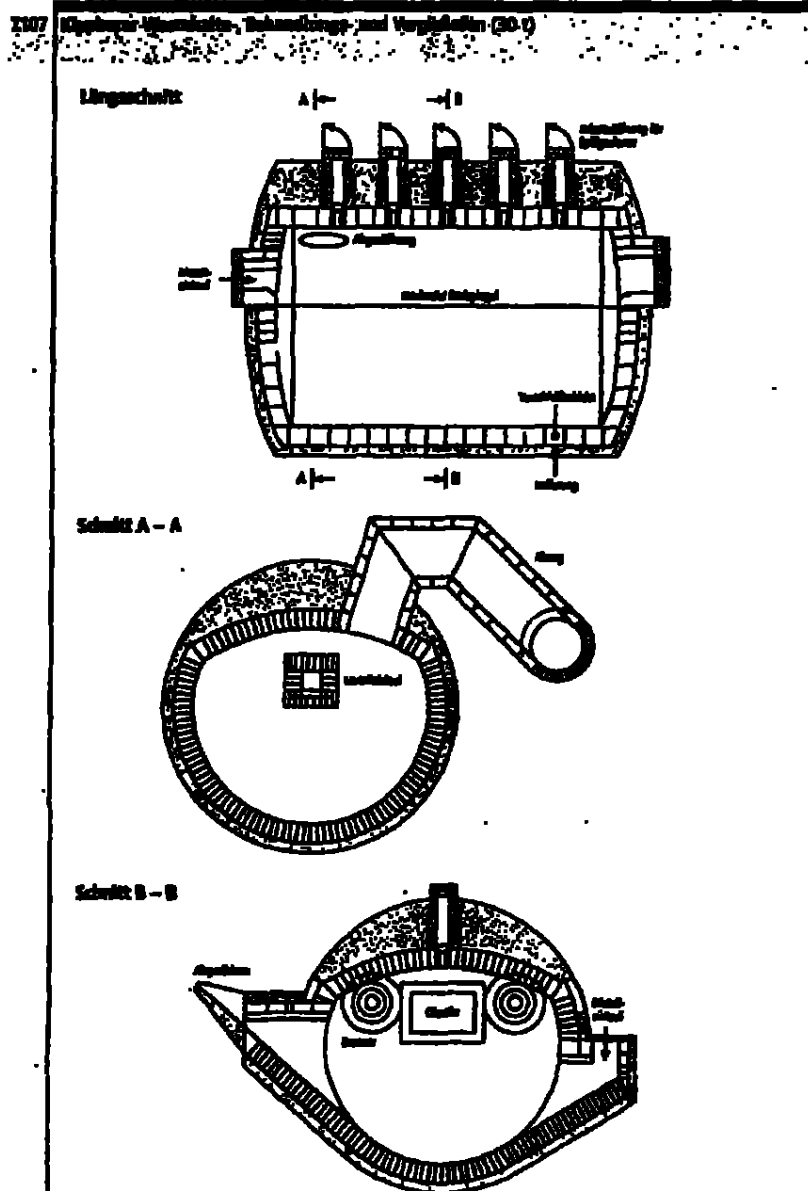
Über die Zirkulationspumpe wird Schmelze aus dem Ofen in den Einschmelzherd gefördert, in dem der Rührer angeordnet ist. Über entsprechende Fördereinrichtungen wird bis zu 15 t/h feinteiliges Material, das bis zu 2 Masse-% Organik enthalten darf, in die sich ausbildende Rührtrombe transportiert, eingeührt und eingeschmolzen. In der nachgeschalteten Absatzkammer setzt sich die Krätze ab und kann über einen schrägen Herd entnommen werden. Die Schmelze fließt über einen Untertritt in den Herdofen zurück [7.73]. Ein Einrühren mit elektromagnetischen Pumpen (vgl. 7.3.5) kann in gleicher Weise erfolgen (vgl. Bild 7.117). Auch durch das Einleiten von Spülgas über in den Ofenboden eingebaute Spülsteine können die Strömungsverhältnisse der Schmelze in Herdöfen und das Einschmelzverhalten verbessert werden (vgl. Bild 7.120, Tabelle 7.121).

Behandlungs-, Warmhalte- und Vergießöfen

In den Schmelzhütten kommen fast ausschließlich brennstoffbeheizte, klippbare Herdöfen zum Einsatz. Sie werden allgemein als Warmhalteöfen bezeichnet. In diesen Öfen wird in der Regel auch eine Raffinationsbehandlung vorgenommen. Historisch bedingt ist für die Behandlungsöfen in den Schmelzhütten immer noch der Ausdruck Konverter gebräuchlich. Dieser Name rührt daher, dass in den 30er Jahren diese Anlagen um mehr als 80° drehbar ausgeführt wurden, um – ähnlich wie beim Kupferkonverter – die seitlich angebrachten nacheinander mit Stickstoff, Chlor und wieder Stickstoff beaufschlagten Gasleitungsrohre in das Schmelzbad drehen zu können. Diese Öfen werden wegen ihrer speziellen Form (Bild 7.107) auch als Warmhalteöfen bezeichnet. Sie haben Fassungsvermögen von 20 bis zu 50 t.

Für die Chargierung, d. h. das Eingießen der Schmelze, hat der Ofen auf der Rückseite einen größeren und auf der Schmalseite einen kleineren Metalleinlauf. Über die ebenfalls auf der Schmalseite angeordnete Ofentür werden Legierungsmetalle zugesetzt, ggf. zur Bedrührung eine zusätzliche Spülgaslanze oder ein mechanischer Manipulator eingefahren, Proben entnommen und ggf. Krätze entfernt. Die Beheizung des Ofens erfolgt über zwei neben der Ofentür angebrachte Hochgeschwindigkeitsbrenner. Der spezifische Energieverbrauch liegt bei etwa 1,8 bis 2,6 GJ/t Metall und hängt ab von den jeweils durchgeführten Arbeiten. Die Zustellung besteht üblicherweise aus einem Dauerfutter aus isolierenden Feuerleichtsteinen und einem Verschleißfutter aus hochwertiger Schamotte (> 80 Masse-%) oder einem entsprechenden Feuerbeton (vgl. 7.3.8.7.2).

Für die im Warmhalteofen durchzuführende Spülgasbehandlung mit Inertgas (N_2 , Ar) oder reaktiven Gasgemischen (N_2-Cl_2 , Ar- Cl_2) können über verschließ-



bare Öffnungen in der Ofendecke oder auch von der Seite durch die Ofenür entsprechende Lärzen aus Graphit oder geschützten Eisenrohren automatisch oder von Hand in das Schmelzbed eingetaucht werden.

29
29/

Netz- bzw. Niederfrequenz-Rinnenöfen müssen mit Sumpf, Netz- bzw. Niederfrequenz-Tiegelöfen können zur Verbesserung der Schmelzleistung mit Sumpf betrieben werden.

Bei kleineren Anlagen erfolgt die Chargierung meist von Hand und diskontinuierlich. Beim Einsatz von großen Induktionsofenanlagen kann die Beschickung z. B. mit Spänen über Schwingförderinnen kontinuierlich erfolgen. Legierungsarbeit und Schmelzbehandlung und Einstellung der Legierung ist direkt im Induktionsofen möglich, so dass daraus auch der Abguss in die gewünschte Produktform möglich ist.

Nach dem Einschmelzen werden Proben genommen und analysiert. Eine abschließende Korrektur der Legierungszusammensetzung ist leicht durchzuführen, da die gleichmäßige Verteilung der Legierungszugaben durch die Badbewegung zu einer völlig homogenen Schmelze führt.

Zum Abbrätzen können die Öfen ggf. leicht nach hinten gekippt werden. Allerdings entstehen während des Schmelzprozesses nur geringe Mengen an Krätze. Nach dem Abbrätzen wird vor dem Abguss die Temperatur der Schmelze überprüft, gegebenenfalls wird kurzzeitig überhitzt. Neben der gezielten Temperaturführung ist im Induktionsofen eine Analysentreffsicherheit möglich, die bei brennstoffbeheizten Öfen nicht erreicht wird. Zum Abgießen wird der Ofen nach vorne gekippt, um eine entsprechende Schmelzmenge in einen Warmhalteofen zu übergeben oder auch direkt zu vergießen. Der Sumpfteil beträgt ca. 10 bis 15 %.

Problematisch beim Betrieb von Tiegelinduktionsöfen sind die sich an der Tiegelwand bildenden Al_2O_3 -haltigen Ansätze. Diese sind schwer entfernbar und führen zu hohem Personal- und Zeitaufwand für die in regelmäßigen Abständen wiederkehrenden Reinigungsarbeiten.

Anlagentechnik

1 Brennstoffbeheizte Einschmelz-, Warmhalte- und Vergießöfen

Geschlossene Herdöfen (Einkammeröfen) werden in der Regel als stationäre Schmelzöfen für saubere Produktionschritte vor allem in Hütten und Halbzugwerken und gelegentlich auch noch zum Schmelzen von gering verunreinigten Schrotten in Umschmelzwerken eingesetzt. Auch kippbare Einheiten sind bekannt. Ausgeführt werden sie mit rechteckigem oder rundem Herd. Über viele Jahre war der rechteckige, stationäre, seltenchargierte Warmhalteofen ein Standardaggregat in den Umschmelzwerken. Von dieser Bauart sind nach wie vor eine Anzahl von Öfen in Betrieb. Zur Steigerung der Wirtschaft-

30 22

lichkeit erfolgt heute der Einsatz von speziellen Chargiermaschinen, eine Abwärmenutzung, Sauerstoffeinsatz, Verbesserung der Konvektion im Schmelzbad und eine optimierte Prozesskontrolle. Die größten, als Rundöfen ausgeführten Herdöfen fassen bis zu 130 t und sind in Hüttengießereien oder großen Halbzeugwerken anzutreffen. Übliche Anlagen in Umschmelzwerken liegen bei 30 t.

Im Aufbau bestehen diese Öfen aus einem flachen Herd mit großer Oberfläche. Die Badtiefe beträgt selten mehr als 1 m. Charakteristisch bei rechteckigen Herdöfen sind die großen Chargier- und Arbeitstüren, da bevorzugt großstückige Materialien wie Sows, Masseln, Fehlgargen und massiver Bearbeitungsschrott eingesetzt werden. Durch die großen Arbeitstüren wird auch das Abrätzen deutlich erleichtert. Das Chargieren durch die geöffneten Türen ist zeit-, personal- und damit kostenintensiv. Die Öffnung der Ofentüren führt zu erheblichen Energieverlusten. Aus diesem Grund geht in letzter Zeit der Trend verstärkt zu runden, von oben mit Hilfe von Chargierkörben chargierbaren (top-charged) Öfen. Hierdurch wird die Chargierzeit deutlich verkürzt und Energie eingespart. Die Entleerung des Ofens erfolgt, indem ein seitlich oder auf dem Umfang angebrachter Abstich geöffnet, flüssiges Metall abgepumpt oder der Ofen gelppt wird. Aufgrund ihrer oftmals großen Sumpfmenge von bis zu 50 % ist ein Legierungswechsel nur schwierig durchzuführen. Daher werden diese Öfen mit möglichst gleichmäßig zusammengesetztem Einsatzmaterial betrieben. Vereinzelt haben Umschmelzwerke Sonderformen entwickelt, die einen schnellen Legierungswechsel auch bei größeren Ofenvolumina erheblich leichter durchführen lassen. Das Einschmelzen erfolgt üblicherweise ohne Seiz, was den einsetzbaren Anteil an oxidhaltigem Material in der Charge begrenzt, den Krätzeanfall und den Magnesiumabbrand jedoch verringert.

Die Beheizung der Öfen erfolgt mit Öl- oder Gasbrennern direkt über die Flamme und einen hohen Strahlungsanteil von der niedrigen Decke. Bei einem thermischen Wirkungsgrad von bis zu 30 % sind nur geringe Schmelzleistungen erzielbar. Je nach Einsatz liegt der spezifische Energieverbrauch beim Einschmelzen bei 3,5 bis 4,1 GJ/t Einsatzmaterial.

In den letzten Jahren wurden deutliche Verbesserungen hinsichtlich einer Senkung des spezifischen Brennstoffverbrauchs und damit einer Erhöhung des thermischen Wirkungsgrads erzielt durch:

- Begrenzung der Ofenraumtemperatur auf 925 bis 950 °C,
- Einsatz von Hochgeschwindigkeits- und Sauerstoffbrennern,
- Abwärmenutzung durch Rekuperatoren, Regeneratoren bzw. entsprechende Brennerkonstruktionen (Regeneratorbrenner),

31 223

- automatische Ofenraumdruck- und Brennerregelung und
- Einsatz von elektromagnetischen Röhren bzw. Röhreinrichtungen oder mechanischen Umwälzpumpen.

Die Brenner werden mit geringem Luftüberschuss in allen Lastbereichen betrieben. Dabei wird jeder Brenner innerhalb seiner Regelfähigkeit optimal gesteuert, wobei durch automatische Ofenraumdruckregelung und elektronische Regelung des Luftverhältnisses der thermische Wirkungsgrad um bis zu 5 % verbessert werden kann. Die Abgaswärmenutzung durch Wärmetauscher führt zu einer Brennstoffersparnis bei gleich bleibender Schmelzleistung oder einer Steigerung der Schmelzleistung bei gleichem Brennstoffverbrauch [7.74]. Vorteile bringt auch die Anwendung von Sauerstoffbrennern, da sich die durchgesetzten Gasmengen vermindern, die Abgasbehandlungsanlagen kleiner dimensioniert werden können und der Stickstoffanteil der Luft nicht mit erwärmt werden muss. Der Vorteil der Erhöhung des thermischen Wirkungsgrades und der Senkung des spezifischen Energieverbrauchs muss jedoch erkauft werden mit Nachteilen hinsichtlich verminderter Einschmelzleistung oder erhöhter Abbrandverluste, so dass sich der einzugehende Kompromiss immer nach den Bedingungen der einzelnen Betriebe zu richten hat.

Weitere Maßnahmen zur Erhöhung des konvektiven Stoff- und Wärmetransports durch mechanische, elektromagnetische oder sonstige Röhreinrichtungen haben nicht nur einen positiven Einfluss auf die Einschmelzgeschwindigkeit, den thermischen Wirkungsgrad, Energieverbrauch und Krätzeanfall, sondern auch auf die Homogenität der Schmelze hinsichtlich Zusammensetzung und Temperaturverteilung. Erhöhter Abbrandverluste beim Einsatz von Sauerstoffbrennern können durch Regeneratorbrenner vermieden werden.

7.114 Möglichkeiten zur Erhöhung des thermischen Wirkungsgrades und zur Senkung des spezifischen Energieverbrauchs bei Einkammer-Handfließen

Betriebsweise	thermischer Wirkungsgrad η %	relativer Brennstoffverbrauch (kg)
Handfließen	25 - 27	1
Brenner mit Heizgasen	25 - 27	0,71
Brenner mit Regeneratoren	25 - 27	0,5

Wesentliche Vorteile bei der Wärmerückgewinnung aus Abgasen hat die Entwicklung des Drehbett-Regenerators (System EcoReg® Bauart JASPER) gebracht (Tabelle 7.114) [7.75], mit dem eine Verbrennungsluftvorwärmung bis auf 1000 °C möglich ist. Derartig hohe Verbrennungslufttemperaturen können allerdings nur mit speziellen Brennern bewältigt werden. Bei diesem Drehregenerator (Bilder 7.115, 7.116) werden Abgas und Verbrennungsluft

32
22

kontinuierlich über einen sich drehenden Keramikkörper geleitet. Die Luft erwärmt sich dabei bis auf etwa 1000 °C, das Abgas kühlt auf unter 200 °C ab, bevor es über eine Abgasreinigung in die Atmosphäre entlassen wird. Da diese Abkühlung in Zeiten < 1 sec erfolgt, wird eine de-novo-Synthese von PCDD/F-Verbindungen weitgehend vermieden.

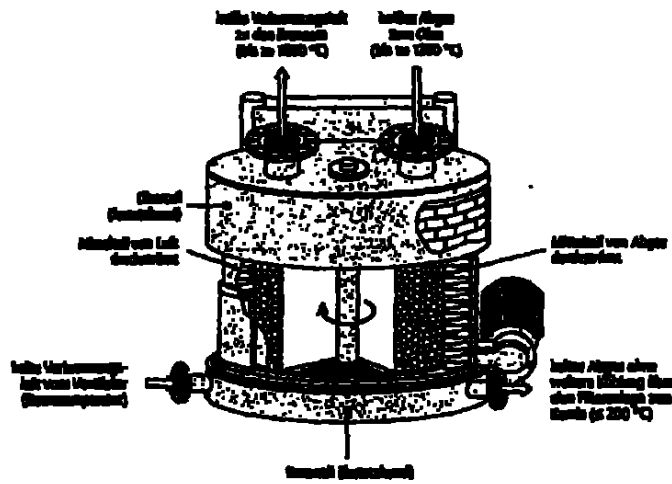
In Umschmelzwerken und Schmelzhütten können sowohl klassische Herdöfen (Wannenöfen) als auch Mehrkammer- und Schachtöfen mit diesem neu entwickelten Regenerator ausgestattet werden. Ein Vorteil gegenüber Regeneratorbrennern, wie sie z. B. beim R-Ofenbauart VAW eingesetzt werden, liegt darin, dass diese immer nur paarweise eingesetzt werden können, d. h. jeder Brenner, der je nach Schaltmodus Brenner oder Regenerator ist, muss für dieselbe Verbrennungsleistung und für denselben Abgasstrom ausgelegt werden [7.76]. Demgegenüber können auf einen Drehregenerator mehrere Brenner geschaltet werden, die immer nur als Brenner arbeiten müssen.

Stationäre Mehrkammeröfen werden zunehmend zum Einschmelzen sortenreiner, wenig verunreinigter Knetlegierungsschrotte, Folienreste der 2. Verarbeitungstufe, Dosenschrott (LBC-Schrott) u. ä. eingesetzt. Bei diesen Ofenkonstruktionen ist ein Vorherd zum Einschmelzen der Schrotte mit einem Herdofen verbunden. Der Vorherd befindet sich in einer geschlossenen Ofenkammer, in die der Schrott ggf. nach Vorwärmung auf das Schmelzbad chargiert wird. Das aufgeschmolzene Aluminium fließt durch einen Durchtritt in der Ofenwand vom Vorherd in den Hauptherd. Zur Erhöhung der Schmelzleistung kann durch eine mechanische oder elektromagnetische Pumpe, die sich in einem Bypass oder einer separaten Kammer befindet, Aluminium vom Hauptherd in den Vorherd gepumpt werden. Von dort fließt es mit abgeschmolzenem Metall in den Hauptherd zurück. In den von der Pumpe erzeugten Wirbel kann bei einzelnen Bauarten feinteiliges Material chargiert und effektiv eingeschmolzen werden. Die beim Abschmelzen von organischen Bestandteilen in der Vorkammer entstehenden Gase werden mit speziellen Schwelgasbrennern in der Hauptkammer verbrannt. Zusätzlich können Einrichtungen zur Verbrennungsluftvorwärmung durch Abwärmenutzung vorgesehen werden, was zur Senkung des üblicherweise bei 3 bis 4 GJ/t Einsatzmaterial liegenden spezifischen Energieverbrauchs beiträgt.

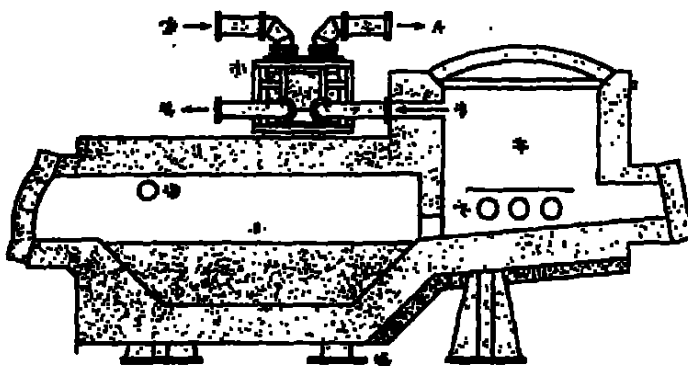
Ein moderner Zweikammer-Schmelzofen (SCHMITZ + APELT LOO) hat ein Fassungsvermögen von ca. 60 t und besteht im Wesentlichen aus einem Vorherd als Schrottschmelzkammer und einer Heizkammer [7.77]. Beide Kammern (Herde) sind über Türen, die über die gesamte Breite des Ofens gehen, zugänglich. Durch die Türen wird chargiert und das Schmelzbad abgekrätzt (Bild 7.117).

33 25

2715 Prinzip der Drehtemperatur, System Erding®/Bücher JASPER



2716 Prinzip einer Drehtemperatur mit einem Schmelzschmelzverfahren



226
34

**A NOVEL BURNER RETROFIT USED TO INCREASE PRODUCTIVITY IN AN ALUMINUM
ROTARY FURNACE AND REDUCE BAGHOUSE LOADING**

Michael M. Paget, President
Rossborough
128, boul. Comeau
Baie-Comeau, QC G4Z 2L6

James F. Heffron, Program Manager
Air Products and Chemicals, Inc.
7201 Hamilton Boulevard
Allentown, PA 18195-1501

Marc Lefebvre, President
Recyclage D'Aluminium Quebec
128, boul. Comeau, C.P. 204
Baie-Comeau (Quebec) G4Z 2L6

Claude Bazinet, General Director
Recyclage D'Aluminium Quebec
695, rue Duford
Becancour (Quebec) G0X 1B0

ABSTRACT

Quebec Aluminum Recycle, Inc., Becancour, Quebec is a recycler of primary and secondary aluminum drosses and skimmings. They needed to increase their furnace throughput without overloading their baghouse. In July 1989, they retrofitted the dual fuel burner on their rotary furnace to enable them to fire both air-fuel and oxygen-fuel. The combination air/oxygen/fuel burner reduced their meltdown time by 50% and flue gas volume by 49%. Average furnace output increased by 65%, depending upon the type of feed material. Baghouse temperatures were reduced from 250°F to 230°F. Reduced furnace flue gas volumes allowed for more suction draft on fume collection hoods located over the furnace charging and dross cooling tables, thereby improving shop environment. Specific fuel consumption per pound of output was reduced by 28%. To date, no change in refractory wear or metal loss has been noted.

Second International Symposium -
Recycling of Metals and Engineered Materials
Edited by Jon H. L. van Linder,
Donald L. Stewart, Jr., and Theodore Sabel
The Minerals, Metals & Materials Society, 1990

35 207

INTRODUCTION

Quebec Aluminum Recycle's dross reclamation plant located in Becancour, Quebec, Canada was commissioned in April 1989. They are in close proximity to several primary aluminum reduction plants and secondary drosses can be trucked in from Montreal and Quebec City. A sister plant located at Baie-Comeau, Quebec Province has been operating since 1983. Both plants handle drosses and skimmings which are toll smelted for the original owners.

The aluminum drosses plus salt are charged into rotary furnaces where the material is melted and cast into sow molds. The dross material includes pieces as large as sows down to -70 mesh in size. Residue from the furnaces is fed to a dross cooling table and crusher where further metallic values are extracted and returned to the rotary furnace for smelting.

PLANT START-UP

The Quebec Aluminum, Becancour plant operates a 25,000 pound rotary furnace fired by a North American 6514-9 dual fuel burner. This burner is capable of firing up to 20 million BTU's/hr with 24 OSI of air pressure at the burner. The rotary furnace flue exhaust is ducted to a dust collection system that includes two cyclones in parallel and a three chamber conventional baghouse powered by a 45,000 cfm exhaust fan. The dross crusher and cooling table are also connected to the same baghouse. In total there are six dust and fume collection points connected to the baghouse.

The dross is stored indoors in bins that are segregated by supplier. The dross with a 10% salt addition is charged into the burner end of the furnace. At the start of the week when the furnace is cold, the burner can be fired at 14 million BTU's/hr while still keeping baghouse temperatures below 250°F. On Tuesday as the furnace becomes hotter, the firing rate has to be reduced to 9.5 million BTU's/hr in order to maintain baghouse temperatures below 250°F. This firing rate is then maintained for the remainder of the week.

Based on the above scenario, the average tap to tap time is 3-4 hours per heat. Baghouse temperatures had to be constantly monitored to prevent burning of bags. When the dross reclamation unit was used at the same time the furnace was on-line, fume collection efficiency was reduced and fugitive emissions became a problem. During the first 5 weeks of operation, average metal production was 193,563 lbs/wk. Natural gas consumption was 19,200 m³ (677,760 cf) per week. Average gas consumption per ton of metal produced was 198.39 m³ or 7000 cf/ton. Overall furnace efficiency was 13.57%.

ADDRESSING PLANT START-UP PROBLEMS

Because of the draft limitations on the baghouse, the melt furnace firing rate had to be maintained at a reduced rate which limited metal output. This in turn caused a build-up of feed stock material and overburdened plant storage space. Time constraints and economics precluded Quebec Aluminum from trying to upgrade the baghouse system to accommodate the

C
r

T
t
A
o
s
p
o

Q
u
a
l
i
f
y

T
h
e
d
e
p
a
r
t
m
e
n
t

T
h
e
d
e
v
e
l
o
p
m
e
n
t

T
h
e
d
e
v
e
l
o
p
m
e
n
t

T
h
e
d
e
v
e
l
o
p
m
e
n
t

226
36

combined dust and fume loads from the melting furnace and dross reclamation systems.

The most logical approach was to address the melt furnace which generated the largest amount of hot gases and fines processed by the baghouse. Air Products proposed that Quebec Aluminum Recycle investigate the use of oxygen-assisted combustion to alleviate their baghouse problems while simultaneously increasing furnace productivity. By substituting air with pure oxygen, flue gas output from the furnace would be reduced and combustion efficiency would increase.

BACKGROUND OXYGEN-ASSISTED COMBUSTION

Combustion is a chemical reaction between fuel and oxygen that leads to the generation of heat. Air contains 20.9% oxygen, the rest being mostly nitrogen and a small amount of argon. When the oxygen concentration is raised above the normal 20.9%, the air is said to be oxygen-enriched. Increasing the oxygen content of air reduces the amount of inert gases flowing through the combustion process. Reducing the amount of heat absorbing inerts increases the thermal efficiency of the process.

There are a variety of techniques for practicing oxygen enrichment. Oxygen may be mixed with the combustion air stream, or may be injected through a lance on the underside of the flame, or may be used in burners designed especially for high oxygen concentrations. The choice of a particular technique can have significant impact on furnace operation and the magnitude of cost savings. The choice generally depends upon the type and the size of the furnace, the operating benefits desired, and capital cost considerations. Installing burners that are designed to use oxygen instead of air generally results in the greatest operating cost savings. However, the capital costs related to new burner systems are higher than those for the other simpler techniques of using oxygen.

The use of oxygen enrichment to achieve high flame temperature is well documented. Figure 1 shows the calculated adiabatic flame temperatures for stoichiometric combustion of natural gas with cold air containing varying concentrations of oxygen. The calculations show that the adiabatic flame temperature increases from 3550°F with air to over 5000°F with pure oxygen. Higher adiabatic flame temperatures are a direct result of eliminating substantial quantities of nitrogen and other gases inert to the combustion process. It should be pointed out that calculated adiabatic flame temperatures are rarely ever achieved in practice, with typical flame temperatures around 3200°F for air and 4200°F-4500°F for oxy-fuel.

EFFECT OF OXYGEN ENRICHMENT ON FLAME TEMPERATURE

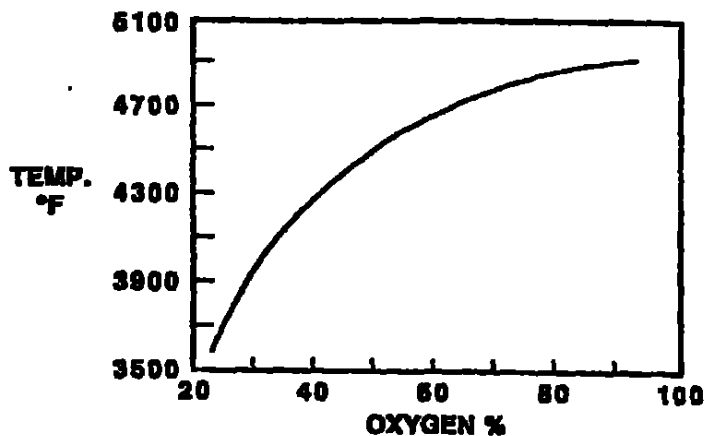


Figure 1

Eliminating nitrogen serves to reduce the energy escaping in the flue gases and to increase the heat available to the process. Therefore the thermal efficiency is increased. Figure 2 shows the improvement in thermal efficiency due solely to nitrogen elimination, at several levels of oxygen enrichment. The figure generally understates what can be achieved in practice. The effects of oxygen enrichment are better calculated by taking into account the type and the size of the furnace, the gas flow patterns, the type of burner, the characteristics of the product, the excess air levels, the composition of the flue gases, etc. in addition to the elimination of nitrogen.

FUEL SAVINGS WITH OXYGEN ENRICHMENT

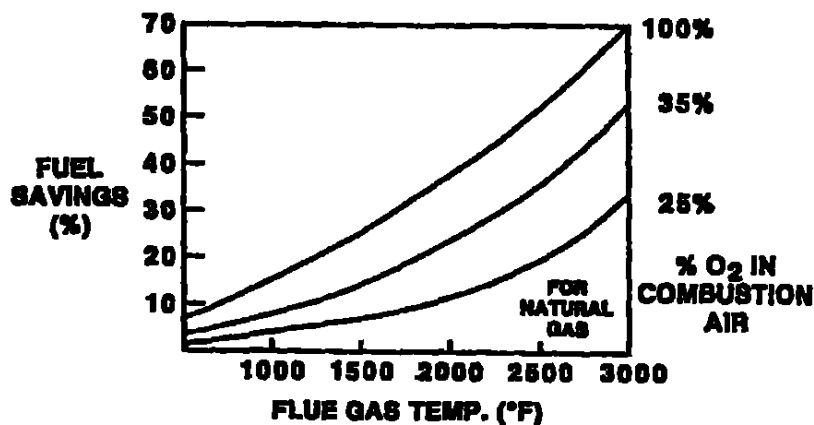


Figure 2

210
38

The use of oxygen reduces the volume of flue gases by up to 80%. Not only is the amount of fuel necessary to achieve the desired production rate reduced, but so is the volume of flue gases per unit of fuel. Reductions in flue gas volumes resulting from high oxygen enrichment levels require careful analysis of convective heat transfer, furnace temperature uniformity, load penetration, etc. As the flue gas volume is reduced, substantial reduction can be achieved in costs associated with flue gas treatment equipment and induced draft fans.

ROTARY FURNACE BURNER RETROFIT

The rotary furnace lends itself very well to the use of oxygen-assisted combustion. Radiation and convection from the hot combustion products are transferred to both the furnace walls and the charge materials. The heat in the furnace wall is then transferred to the charge material as the furnace rotates on its horizontal axis. The reduced flue gas volume also provides for a longer residence time of the hot combustion gases in the furnace thus allowing more heat to be transferred to the charge material. Also, because of the reduced flue gas velocity, less fines are carried into the dust collection system.

There has always been a concern in the aluminum industry about using oxygen-enriched combustion air or oxygen-fuel burners for melting because of the propensity of aluminum to oxidize. This is especially true for light gauge scrap and high magnesium alloys. Some unpleasant memories still linger from experiences using oxygen-assisted combustion for aluminum melting in the late 1960's and 70's. Most of these experiences occurred when oxy-fuel burners were installed in direct charge and open well reverberatory furnaces.

Air Products proposed to Quebec Aluminum Recycle a novel burner retrofit that allows the use of oxygen to increase melting efficiency and alleviate baghouse problems while addressing the concerns of aluminum oxidation. This burner retrofit can be performed on most conventional air/fuel burners with a minimum of downtime. Normally, a half-hour or less is required for retrofitting and usually this is done during casting or between heats and does not interfere with production.

At Quebec Aluminum Recycle the oil tube/atomizer section was removed from a North American 6514-9 dual fuel burner and an Air Products K-tech oxygen-fuel burner was inserted in its place. See Figure 3 for a burner retrofit overview. The burner retrofit package including the natural gas and oxygen flow control trains were prefabricated to simplify on-site assembly and prevent furnace downtime. The oxygen-fuel flow controls and safety switches were interlocked to the conventional air-fuel controls thus creating a hybrid air/oxygen/fuel combustion system.



Figure 3

North American Burner 6514-9 Retrofitted with
Air Products KT-3 Oxy-Fuel Burner

The concept of using an oxygen-fuel burner within an air-fuel burner provides the aluminum melter with the flexibility of using either burner or a combination of both burners. During meltdown the oxygen-fuel burner is used along with the air-fuel burner to provide maximum melt rates and minimum flue gas volumes, while during holding and casting the air-fuel burner is used. For melting of aluminum a combination of air/oxygen/fuel combustion provides the best results. The outer air-fuel flame envelope provides a shielding effect for the hot oxygen-fuel inner flame. By firing the oxygen-fuel inner burner on a gas rich mixture, flame luminosity is increased as combustion radicals and gas particles are heated to incandescence by the hot oxy-fuel flame. This in turn improves the radiative heat transfer of the flame to the charge material and furnace wall while preventing excess oxygen from contacting the load and causing excess metal oxidation. See Figure 4 for the conceptual drawing of Air Products' hybrid air/oxygen/fuel burner installed in a rotary furnace.

The
15
ach
fir
at
13
hou

Ten
sho
con
con
Ove
215
68,
pyn

Aft
Rec
exc
the

212
40

OXYGEN-FUEL ASSISTED MELTING IN ALUMINUM ROTARY FURNACE

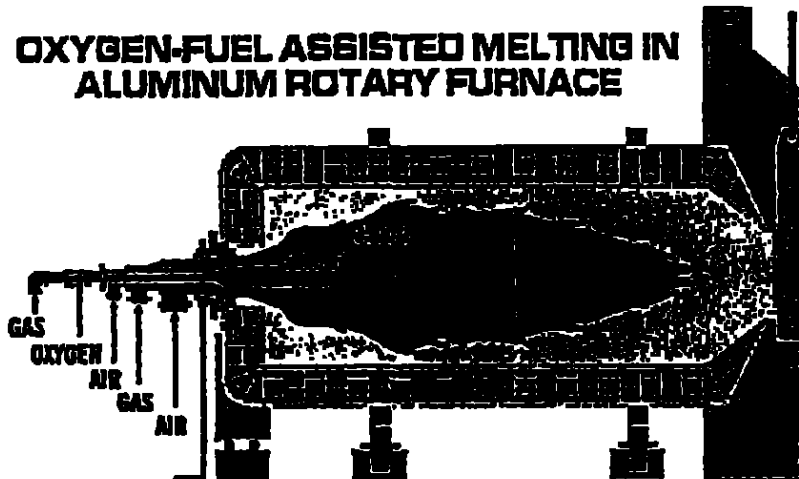


Figure 4

BURNER RETROFIT RESULTS

The oxygen-fuel portion of the burner retrofit is designed to fire up to 15 million BTU's/hr in the oxy-fuel mode. However, the best results are achieved when a combination of air/oxygen/fuel combustion is used. By firing the oxy-fuel burner at 9 million BTU's/hr and the air-fuel burner at 4 million BTU's/hr, the combined air/oxygen/fuel input of 13 million BTU's/hr provided a meltdown reduction of 50-65% from 3 to 4 hours per heat to 1 to 2 hours per heat, depending upon charge material.

Ten weeks (5 days/week) of operation with the air/oxygen/fuel system showed an average weekly production of 319,497 lbs. Average gas consumption per week was 22,690 m³ (800,957 cf). The average gas consumed per ton of metal produced was 142.03 m³ or 5013 cf/ton. Overall furnace efficiency was 18.95%. Baghouse temperatures ranged from 215°F to 230°F during high fire. Furnace exhaust gases to the flue were 68,500 cfh. Inside refractory temperature as measured by optical pyrometer never exceeded 2100°F.

CONCLUSIONS

After ten months of operation at the Becancour plant, Quebec Aluminum Recycle continues to operate the air/oxygen/fuel combustion system with excellent results. The following table shows the comparative results of the conventional air/fuel and retrofitted air/oxygen/fuel systems.

213
 41

	<u>Combustion Systems</u>	
	<u>Air/Fuel</u>	<u>Air/O₂/Fuel</u>
Firing Rate (MM BTU/hr)	9.5 - 14.0	12.0 - 14.0
Heat Cycle (hrs, tap to tap)	3-4	1-2
Average Production (lbs, 5 days/wk)	193,563	319,497
Production Increase (%)	—	65.0
Average Gas Consumption (cf/ton)	7,000	5,013
Gas Savings (%)	—	28.4
Average Baghouse Temperature (°F)	250°-270°	215°-230°
Flue Gas Volume (cfh)	132,000	67,500
Flue Gas Reduction (%)	—	49.0
Furnace Efficiency (%)	13.57	18.95

To date, there has been no adverse affect on refractory life and metal yield appears to remain unchanged. The retrofitted air/oxygen/fuel burner has proven to be a cost effective and economic method of increasing productivity from a rotary furnace while reducing flue gas volume and baghouse temperature.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to acknowledge the assistance of Bart Bartetto and John Oldham of Air Products and Chemicals, Inc. and Serge Bernier of Quebec Aluminum Recycle for their contributions in making this program a success.