

粉鑛處理の研究に就て

(大正十四年十月十八日 日本鐵鋼協會第十週年紀念大會講演)

製鐵所技師 工學士 平 川 良 彦

粉鑛處理と云ふ問題は理論としては極めて簡單でありますが實際の作業上には種々の困難を伴ふので何れも獨特の方法を考察して特許を有して居るのであります。地方的状況によりまして種々の方法が行はれて居ますけれども現今最も普通に行はるゝ方法は燒結法でありまして鍋焙燒、グレンダル、ドワイトロイド、廻轉窯燒結法等の方法であります。此内鍋焙燒原始的で既に過去の方法に屬し唯今では鍋焙燒の變形なるグレンダル、ドワイトロイドの兩方法と廻轉窯燒結法 (Agglomeration process) とが最も廣く行はれて居る様であります。私の研究して居る方法は廻轉窯燒結法に屬するものでありましてセメント製造に用ふる廻轉式窯を改造したものであります。私は 1913 年から 1914 年にかけて滿 11 ヶ月間獨逸の南部即ち彼の有名なる Essen と Duisburg の中間にあります鐵の都 Oberhausen の Gutehoffnungs Hutte に鑛鑪の見學をさせて頂いたのであります。其當時獨逸では漸次鑛鑪の作業が急速操業になり高熱高壓で作業さるゝ様になりましたから従つて鑛鑪瓦斯中の煙塵が非常に多く而も鐵分に富んだものが出來ますので其の利用法として考察研究されたのが此廻轉窯燒結法の起りであります。彼歐洲戰亂開始の直ぐ前即ち大正四年の七月に歸朝したのであります。其當時製鐵所では北海道産虻田の粉鑛を鍋焙燒で固めて居たのであります。御承知の通り鍋焙燒では大きな塊が出來再び之を碎かねばならぬので非常に手数を要するのみならず朝鮮の段票鐵山も其山元では非常に粉鑛が出來越後の赤谷鐵山も同様鑛石の大部が粉末状態に産出するので是等を燒結する目的で上司の命を受け大正五年の末に設計したのであります。何しろ其當時獨逸でも未だ研究時代の事で作業を見る事でさへ心良く許されなかつた様なわけでありますから設計に關する何等の材料も持つて歸る事は出來なかつたのであります。其で辭退しましたけれども是非との事で記憶をたどり設計しましたのが次に示す附圖であります。大正七年末建設を終りまして丁度乾燥を始め様とする時鞍山製鐵所に轉任したのであります。其後製鐵所で試験して下さつたそうですが機械的故障と燒結不可能との爲め其まゝになつて居たのであります。大正十年末再び八幡に歸任しましたので上司の命を受け直に修繕に着手し大正拾壹年四月初旬より鑛鑪作業のかたわら研究に着手したのであります。現今廻轉窯燒結法は獨逸に限られて居る様であります従つて此方法は他の國では殆んど研究されて居ない様であります。之は地方的状況の爲めであるか又は作業上の關係であるか明かでありませぬけれども今尙ほ獨逸殊に鐵工業の中心とも云ふべきルール地方に最も盛んに行はるゝと云ふ事は誠に興味ある問題で私は非常の興味を持つて此方法の研究を今尙ほ續けて居るのであります。時間の都合もありますから主として私の體驗した作業上の研究に就て御話したい積りであります。

設備の大様

焼結に用ふる装置は附圖に示せる通り長さ 15 米、小徑 1.52 米、大徑 2.1 米の圓筒形回轉式焼結爐であります、爐體の外部は鐵板を以て圍み内壁は耐火煉瓦を以つて裏つけしてあります、ポケット部がありまして焼結さるべき粉鑛は比較的長時間此部に停滯し未だ焼結せざる粉鑛は爐壁の底部に接觸しつゝ回轉輸送され其爲め焼結物は上部に押上げられオーバフローとなりて爐口の小徑部から送り出されるのであります、此間に珪酸鹽の反應作用還元作用酸化作用等を受けるのは勿論であります、爐體の頂部は煙道と連結せる除塵室の煉瓦壁に固定されず之は爐體の膨脹及び廻轉を自由ならしむる爲めであります、排棄瓦斯中の微粉は除塵室の下部に設けらる口より掻き出されて再び装入さるゝのであります、装入物の装入装置としては直立バスケット式捲揚機を有して居ます、加熱用としては鑛鑪の排棄瓦斯を導き冷風と混同して瓦斯バーナーより燃焼せしむるのであります、送風装置としては扇風機式送風機を有し徑約 1 米回轉數毎分時 1000 回であります、此瓦斯及空氣を加減するには加減瓣を設け除塵室と煙道とを連結せる所には通風瓣を設けてあります、瓦斯の發熱補助として上部の微粉炭槽より螺旋運搬機にて自動的に送炭し得る様になつて居ます、其他の要項を擧ぐれば次の通りであります。

爐體煉瓦總重量	約 25 噸	
同 鐵皮	約 10 噸	
爐内装入物總重量	約 5 噸	
合 計	約 35 噸	
爐體回轉用電動機直流	220 ボルト	50 馬力(現在使用 30馬力)
回轉數毎分時	800	
爐體の傾斜	3.5 度	
爐體の回轉數毎分時	2.	
装入用電動機直流	220 ボルト	5 馬力(現在使用 3. 馬力)
回轉數毎分時	1000	
装入物装入速度毎分時バスケット捲揚數	114	
一晝夜の製産能力約	35 噸	

機械的故障

- 1、作業開始當時に於きましては故障續出して非常の困難に遭遇しました殊に爐頂より約 1 米位迄までに於ける内壁煉瓦は如何に注意を拂つて念入りに積みましても剝離脱落するので最初の間は一週間を保たしむる事が出来なかつたのであります、之が大問題でありましたが其後種々研究の結果漸く一ヶ月位保たしむる事が出来多少の光明を見とむる様になり煉瓦の脱落する時期は常に何かの故障があつて一時作業を中止し再び開始する時に起る事が明かになりました、シヤモツトは其特性と

して高熱にふれ或る温度以上になれば収縮を起しますから之が一つの原因では無いかと云ふ考へからして研究部の田所博士に使用煉瓦の研究を依頼しました所が當所使用のシャモット煉瓦は非常な収縮を起す事が明かになりました、加ふるに除塵室に連結せる爐先の鐵板製外皮は殆んど赤熱状態になるので従つて非常な膨脹をやりますから内壁煉瓦と鐵皮との間には或る間隙が生ずる事は免れない理けであります、然るに爐體は一定の方向に絶へず回轉しますから其爲め煉瓦は移動し従つて煉瓦に龜裂を生じ剝離して漸次力が無くなり一個にても脱落すると全週一時に脱落すると云ふ有様で之には殆んど困まつてしまひました、煉瓦の剝離脱落の原因は全く煉瓦と鐵皮との膨脹に大差ある爲めである事が明かになりましたので大正拾參年八月初旬爐先を改造し鐵皮の膨脹を防ぐと同時に煉瓦積みの方法を改良しました所が急に煉瓦の脱落全くやみ今日迄約一ケ年間を經過せしにも係らず未だ殆んど異状を見とめません此有様なれば尙ほ一ケ年位は保つだらうと思つて居ます装入するものが粉末状態でありますから煉瓦面を犯す恐れ少なく爐先より約 1.5 米以下は燒結物の薄層で恰も上藥を塗つた様でありまして煉瓦壁の壽命は豫想外に長きものと思つて居ます。

- 2、 爐口部は殆んど鎔解状態の燒結物が絶へずポケットよりオーバフローとなりて送り出されますから其鎔蝕甚しく加ふるに煉瓦止めの金物用を成さざるに至り獨逸あたりにも此點に就ては大變困まつて居ましたから附圖に示す通り輪縁にて取り代へ得る様に設計しましたがけれども三ヶ月も經過すると取り代へねばならん様な状態になりまして非常に困りました、大正拾四年三月末爐口を改造して或る裝置を施しました所が爐口部の鎔蝕全くやみ大變悦んで居る次第であります。
- 3、 爐體は附圖に示す通り爐頂部爐口部の二ヶ所にタイヤを設け左右各々二個宛つのローラーにて支へ爐頂爐口の兩部に各四個宛つ都合計八個のローラーにて回轉する事になつて居ます、唯今の設備にてはタイヤに比しローラーの徑があまり少さ過ぎる爲めにローラーの回轉數非常に多く従つて自身及びメタルの摩滅は勿論油の消費量も大であります、現時では爐頂部のローラーは一ケ年爐口部のものは六ヶ月間位の壽命でありますが若しローラーを改造して徑を大きくし其數を半減して油中を回轉せしめてローラーの面が僅かに油の面に接觸する様回轉せしむる時は油を節減し得るのみならず殆んど半永久的に使用する事が出来ると思つて居ます。
- 4、 直立バケツト式捲揚機より装入物を爐内に送入する樋は高熱にさらされますから鐵板製の羽口式冷却筒を使用して居ました、装入物中には多少の水分あるのみならず内面は高熱の爲め酸化して鐵肌を生じ漸次磨滅して保存期間僅かに數月を出でざる有様でありました、其で種々研究の結果鑄鐵製の圓筒を設け其肉を厚くし外部を耐火煉瓦にて巻きて使用しました所が其後何等の變化を見ず殆んど半永久的に使用し得ると思つて居ます、従つて樋を取り代へる必要なく冷却水をも節減する事が出来る理けであります。
- 5、 使用する原料は微粉状のものでありますから少しにても水分を含有する場合には装入物は装入漏斗の内壁に附着し装入物を一様にバケツトに送り出す事が困難となり水分の量に比例して其度を増

すので非常に困まつたのでありますが種々研究の結果漏斗の下部に特種の装置即ち圓盤を設け之が絶へず回轉しますから装入物は漏斗の内壁に附着する事なくハンドルにて其量をも自由に加減し得る様になつて居ます、然し装入物中の水分が 10 %以上にもなる場合には除塵室の下部に落下推積せる煙灰を自動的に装入漏斗中に送り出し繰り返へし混合装入するを普通として居ます。

以上述べました 1、2、3、4、5、等の諸點は私の體驗せる最も困まつた點でありまして廻轉窯燒結法には必ず伴ふわけであり、現在に於ては幸ひ殆んど理想に近き域に達して居るものと思つて居ます。

燒 結 作 業

現今廻轉窯燒結法の最も盛んに行はるゝ所は獨逸のルール地方でありまして主として熔鑛爐から生ずる煙塵を固めて居るのであります時には瑞典より輸入さる磁鐵鑛の精粉鑛並に紫鑛の少量を加へて燒結するのが普通であります、粉鑛單味で固めて居る所は殆んど無い様であります、殊に褐鐵鑛の粉鑛に就ては研究して居ない様であります、之は原料供給の關係だらうと思ひます、大正六・七年頃の米國の雜誌と記憶して居ますがキューバ島の褐鐵鑛の粉鑛を廻轉窯燒結法で固めた所が作業上非常な困難を伴ひ作業を經續する事が出来なで逆に不成功に終つたと云ふ事が既に公表されて居ますので粉鑛の種類により燒結状態を異にし従つて作業上大に研究の豫地があるものと豫想して居つたわけであり、私の今迄に研究しました原料は次の通りであります。

粉 鑛 分 析 表

	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	S	P	Cu	TiO ₂
北海道産虻田褐鐵粉鑛	53.88	10.66	4.38	0.34	2.09	0.27	0.788	0.098	0.001	—
朝鮮産段栗褐鐵粉鑛	55.08	7.29	0.18	2.81	0.11	0.22	0.03	0.04	0.01	—
粉狀硫酸滓	56.86	11.07	0.08	0.13	0.67	0.17	2.30	0.01	0.22	—
山東産金嶺鎮磁鐵粉鑛	55.70	8.46	0.94	0.21	6.07	2.82	0.03	0.04	0.01	—
青森縣久慈砂鐵	51.20	6.98	1.88	0.42	1.26	3.85	0.025	0.04	0.057	12.58

配 合 劑 分 析 表

	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	CaCO ₃	S	P	H ₂ O	Ignit. loss	ash.
鎔鑛爐瓦斯灰	6.46	12.56	10.49	5.93	0.40	0.74	1.32	15.01	0.69	—	2.57	1.49	—
下等粉骸炭	3.56	0.12	12.71	7.18	1.21	0.31	tr	—	0.58	—	0.65	74.15	25.85
鎔鑛爐水滓	1.68	tr	31.60	18.91	41.37	2.13	1.72	—	1.86	—	—	—	—

最初の研究に朝鮮産の段栗褐鐵粉鑛を撰みましたのは同鑛山は其山元で採鑛の過半が粉鑛状態に産出するのみならず製鐵所の在庫品が多量にあつたからであります、配合劑としては最初鎔鑛爐の瓦斯灰を使用し次に下等粉骸炭を混用しました、爐況により各々 5%—10%を使用しよく段栗粉鑛に混合し附圖に示せる D にて捲揚げ I を經て A に装入されポケットに比較的長時間停滯燒結し未だ燒結せざる粉狀のものはポケット内の燒結物と爐壁の間に回轉輸送されて燒結物を押上げ従つて燒結物はオーパフローとなりて B より其床下にある鑛車に受け水にて冷却する様になつて居ます、加熱装置

としては E より一時間約 2000 立方メートルの熔鑛爐瓦斯を送り F より G にて冷風を送り E、F には加減瓣を設けて適宜に混合し瓦斯バーナーより燃焼せしめ除塵室と煙道との連結部に通風瓣を設けて熱の加減を行ふわけであり、尙ほ加熱補助用としては H を設け之より微粉炭を自動的螺旋運搬機にて F 管に送る様になつて居ますけれども目下微粉炭を有せないで使用しては居ません、前述の通り装入物の配合を加減し通風瓣並に E、F 等の加減瓣を加減して出来るだけ熱を高める事に努力しましたけれどもどうしても装入物をポケット内で焼結せしむる事が出来ませんでした、装入物を少くすると多少熱は上ります其で装入を殆んど中止する位にして熱を上げますと A の小徑部即ちポケットの上端より約 4—5 米上部の内壁に焼結物は恰も管狀に附着して遂には装入物が全くポケット部に輸送されない様になつたのであります、之は全く熱が爐内に蓄積されずして其大部分が除塵室並に煙道を経て煙突の方に逃げるからであります、除塵室内の熱度が 1000°C にも達する事から考へても明かであります、通風瓣等を如何に加減しましても此缺點を防ぐ事否緩和する事さへ困難でありましたから種々研究しまして遂に爐先に或る装置を設け、爐口よりは装入物中の粉骸を完全に燃焼せしむる爲めに別に過剰の冷風を送入する装置を設けました所がポケット内の熱は急激に上昇し装入量さへ少くすれば僅かに 2—3 % の粉骸を加へても殆んど鎔解状態に焼結せしむる事が出来る様になりました、其で熱の上昇には成功したわけですが一方には重大なる困難に遭遇したのであります、バーナーの研究により爐内に附着する管狀の焼結物を漸次輪狀堤の状態に變ぜしめ遂に附圖に示す通りポケットの直ぐ上部に生ぜしむる事が出来る様になつたのであります、然るに作業中漸次輪狀堤の高さを増し其表面は急に還元されて海綿鐵となり d. の上部に第二のポケットを生じ本來のポケット部には装入物輸送されずポケット内の物は漸次鎔解して表面沈下し急に還元の度を増して全く海綿鐵の大塊となり外徑 500—600 耗位の大塊さへ出来爐口から出す事も出来ない様な状態となり實に想像も及ばざる困難に遭遇したのであります、褐鐵鑛粉は其焼結に最も必要なるネバリ即ち私は之を sticky length と名づけて居ますが此 length が非常に短かく熱を下げると焼結せず其かと云つて少し熱を上げると急に鎔解しまして恰も鑄鐵の如き鎔解状態を呈します、其で例へ焼結物を鎔解状態にして出しましてもすぐ小塊狀に碎けて適宜の製品を出す事が出来ませんでした、結局褐鐵鑛の粉を焼結する場合には急激な還元を防ぎ sticky length を適當ならしむる何等かの方法が必要である事を發見したわけであり、前述の配合に金嶺鎮の磁鐵鑛粉を約 30 % 加へて焼結しました所が急に鎔解する事もなく従つて sticky length も稍や良くなつて可なりの製品を出す事が出来る様になりました、然るに尙ほ輪狀堤部の還元を防ぐ事が出来ず海綿鐵となり突き落す事も鎔去する事も出来ず作業上非常の困難を伴いますので配合剤として石灰石白雲石等を加へて試験しましたけれども焼結物は水にて冷却する際風化してかへつて惡結果をもたらす事が明かになりました、私は大正七年の夏各種の鐵鑛粉末に鎔鑛爐滓を加へて團鑛を造り焼いて固めた事があります、鞍山の磁鐵鑛の精鑛でも同様に好結果を得ました之は主として硅酸鹽の反應作用であります如斯考へからでは無く鎔鑛爐滓は高熱ならざる場合即ち粘

質の状態では自身の還元は勿論之と混合する粉鑛の還元をも防ぐ事が出来加ふるに 1000°C 位から既に粘質状を呈し著しき sticky length を有する事も兼て鑛鑛爐作業に見る所でありますから配合劑として鑛鑛爐の水滓を試用して見る氣になつたのであります、前述の配合劑即ち鑛鑛爐灰、粉骸各 5% の外に尙ほ水滓 5% を加へて試験しました所が輪狀堤部の還元を防ぐ事が出来 sticky length も理想的となり従つて製品も自由に製出する事が出来る様になりました、例へ作業中輪狀堤部が高くなりましても急に還元されませんから装入物を一時中止し粉骸のみ少量装入して急激に熱を高め徑 2 吋位の金棒を爐口より押し入れ輪狀堤の表面に載せますと爐體の回轉につれ其表面は金棒にて摩擦され數時間を出でずして殆んど洗はれた様に除去する事が出来ます廻轉窯燒結法に配合劑として水滓を使用する事は實に貴重なる発見にして何れの場合にも必要でありますが殊に褐鐵鑛粉に對しては緊要缺ぐべからざるものであります、之は全く褐鐵鑛粉で研究を始めた御蔭であります、如何に有效なものでも手近に而も廉價に得らるゝもので無ければ工業上殆んど價值の無い場合が多いのであります幸ひにも水滓は鑛鑛爐より流出する鑛滓を流水の上に落して水と一所に箱又は池に放射せしむるだけでよいので砂状を成し海綿狀の氣泡を有して居まして粉鑛との混合上理想的状態にあると云ふ事は實に望外の幸ひであります、水滓を加へますと製品の鐵分は多少少なくなるわけですがけれども鑛鑛爐原料としてはかへつて有効であります。

附圖に示す燒結物の附着状態は何れの場合も夫々粉鑛に鑛鑛爐灰並に粉骸を加へて試験した結果であります、今迄の研究によりまして附圖に示すが如く輪狀堤の爐壁に附着する部分即ち其 length には粉鑛の種類により大差ある事を発見したのであります、私は之を前述の如く kleben länge 又は sticky length と名づけて居ます此 sticky length は還元の困難な粉鑛ほど長いものである事を発見しました、前にも述べました通り廻轉窯燒結法に於きましては何れの場合でも適當なる sticky length が必要でありまして sticky length の加減は全く水滓の混合量によりて成し得る事を発見したわけであります、普通廻轉窯燒結法の缺點と稱せらるゝ點即ち作業中燒結物が爐の内壁に附着すると云ふ事は種々研究の結果全く爐内に於ける熱の分布状態による事を確めましたからなるべく爐口部に近き殊種部に熱を集注して急激に燒結せしめ爐頂より装入さるゝ装入物は粉狀のままポケット内に輸送せしむる事が出来さへすれば燒結物の附着は完全に除去する事が出来るだらうと考へましてバーナーの研究に全力を盡したわけであります、大正十四年二月初旬前述の考へを基礎としてバーナーを改造しました所が爐況一變して爐内燒結物の附着全く止み製品の質も理想的となり唯熱の加減にて其大きさをも自由にする事が出来る様になつたのであります、殊種部にのみ熱を集注せしめる爲め熱の上昇烈しく燃料をも節減する事が出来従つて製産量 30 噸に達せざりしものが急に 37—38 噸に達し、粉鑛の大きさが一定であれば 40 噸位の製産は難事ではありません。

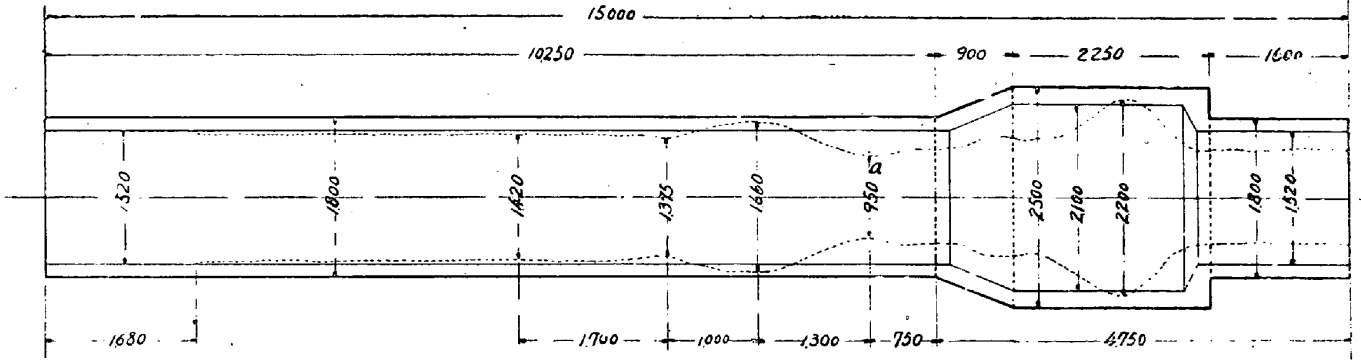
附圖に示す如くポケットより爐口に至る小徑部にも爐況により多少の附着物を生ずる事がありますけれども之はハンドルにて進退し固定せる支柱に取りつけし特種の鐵棒を時々爐内に押入しますと爐

爐内燒結物附着狀態

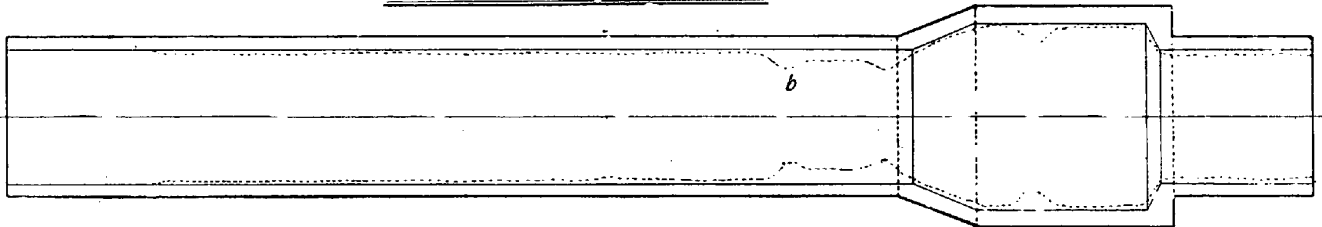
(點線は附着物の状態を示す)

尺度 m. m.

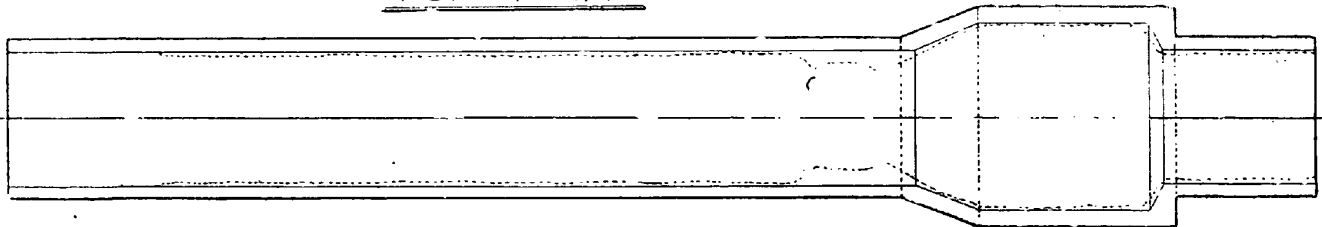
砂鉄、場合



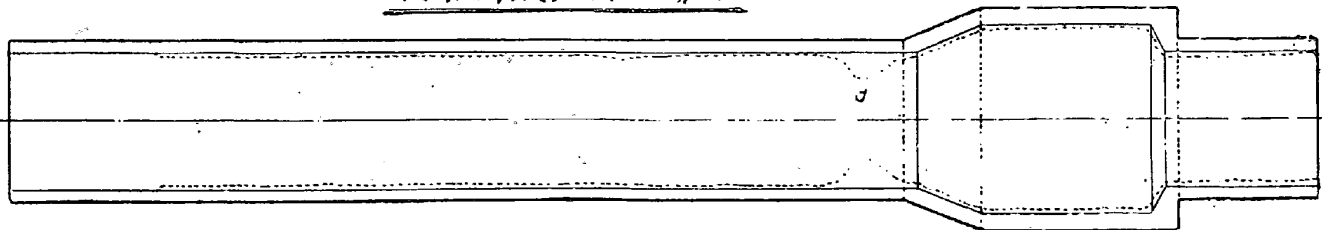
金嶺鎮磁鉄鉍粉、場合



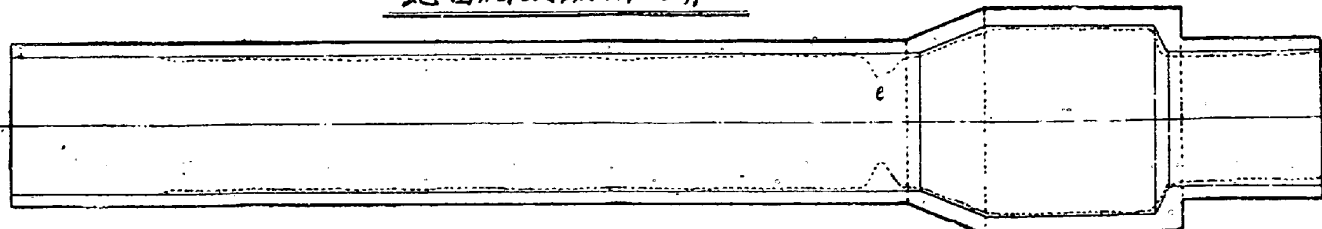
硫酸滓、場合



般栗褐鉄鉍粉、場合



虻田褐鉄鉍粉、場合



體の回轉につれて附着物は漸次搔き落されて作業上何等の心配もありません。現時に於ては褐鐵鑛粉の焼結は製品の質に於ても又作業状態に於ても理想の域に達して居るものと思つて居ます、硫酸滓金嶺鎮等の粉鑛の場合でも製産量には多少の差がありますが最近考案しましたバーナーと爐先に設けし装置との加減により褐鐵鑛粉の場合と同一状態に作業する事が出来る様になりました、砂鐵の試験は大正十三年八月下旬より十月中旬迄にやりました約 500 噸の砂鐵を焼結しました、砂鐵は TiO_2 の爲めでありまして他の場合に比し焼結温度が非常に高く従つて其當時の設備では裝入量を激減せざれば焼結不可能でしたから段栗粉鑛並に水滓を配合して焼結せしめ製品約 800 噸を得ました、然し爐況が未だ現時の状態に達して居なかつた爲め製産量は其當時の段栗粉鑛の場合の半額にも達せなかつたのであります、然し現時の爐況にて試験すれば好結果を擧げ得るものと信じて居ます。

結 論

廻轉窯焼結法に於ては何れの場合でも適當なる Sticky length が必要でありまして之は鑛鑛爐水滓の混合量により容易に加減する事が出来るのみならず一般に廻轉窯焼結法の缺點と稱せらるゝ爐内に附着する焼結物より起る作業上の困難は私の最近考案しました爐先の装置とバーナーとの加減により爐口に近き特種部に熱を集注する時は全く除去する事が出来るのであります、之は實に廻轉窯焼結法の一進歩であると思つて居ます、現在の設備では鑛鑛爐瓦斯を 1 時間約 2000 立方米使用しますから鑛鑛爐瓦斯 1 立方メートルの發熱量を 850 カロリーとし、1 噸 9.20 圓灰分 20% の切り込み炭を汽罐に使用するものとして計算する時は鑛鑛爐瓦斯 1 立方メートルは 1 厘に相當しますから製品 1 噸は對し瓦斯代が約 1.40 圓になります、瓦斯代を見なければ現在の設備でも 1 噸に對する製産費は 1.50 圓もあれば充分であります、鑛鑛爐瓦斯に餘有ある場合には製産費は問題ではありませんが鑛鑛爐瓦斯は將來汽罐平爐等で有効に使用せらるべきものでありますから製産量を増加して製産費を下げねばなりません、私の經驗から押して鑛鑛爐の瓦斯量は増加せずには爐體の長さを現在の二倍即ち 30 米位にし、冷風の代りに除塵室の熱を利用して熱風を使用し送風量を自由に増加し得る様に設計する時は製産量を現在の二倍以上にする事は難事では無いと考へて居ます、斯くなれば製産費は現在の二分の一以下となり若し二基にて作業するものとするれば製産費の主體なる人件費を尙ほ節減する事が出来ます、製産 100 噸に對する設備費として 5 萬圓もあればよいと考へて居ます其で廻轉窯焼結法は地方的狀況によりましては最も優秀なる焼結法の一つであると確信して居ます。