

も見られた。しかし、ペレット全体に占める2次 magnetite の量は少ないから、FeO 分析値が3%程度の場合には、それをほとんど1次の magnetite と見なしてもよいと考える。

3. ペレットの強度とスラグ生成量

スラグが生成した hematite 殻の中でのスラグ相と分散相の量比は焼成温度で変わり、ペレットにある程度の影響をおよぼすが、それよりも、液相焼結の進行に伴う気孔率の減少の効果の方が大きい。しかし、随伴する脈石(陽起石)を積極的に利用して、強固なスラグ結合ペレットをつくることを目的とした場合でも、やはり、昇温過程での予備酸化が必要である。このことは、図(前記論文, Fig. 8)からも、容易に理解されよう。

【質問】 住金中研 工博 渡辺正次郎

1. マルコナ鉱石ペレットの1350°C焼成により二次マグネタイト中にMgOが浸入してゆくことを認められているが、このMgOの存在形態とその確認方法およびMgOのペレット性状におよぼす影響について検討された結果があればご教示願いたい。またマグネタイトのXMA分析でFeをすべて3価として Fe_2O_3 97%に換算され total を99%としておられるがこの根拠を示して欲しい。

2. 焼結鉱の結合機構についてのこれらの結果をもとにして焼結鉱性状面、特に成品強度との関係についてはどのような考え方で今後検討を進めてゆかれるのか。

【回答】

1. 含MgO magnetite の性状

MgOを含む magnetite は $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 固溶体を形成していることが、 $\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{MgO}$ 系状態図の研究で明らかにされている。本ペレットでは、顕微鏡下で magnetite と判定された粒子の相当数をXMAで分析した結果、いずれもMgが検出されたので、上述の固溶体と同定したものである。

この固溶体は、純粋な magnetite に比べて被還元性は悪いはずであり、その点でペレットの性状に影響をおよぼすと考えられる。

(XMA分析値の表で、 Fe_3O_4 を Fe_2O_3 と誤記した点については、講演の中で訂正した)

2. この質問は、解答というよりは意見を求められているのだと思うので以下に私どもの見解を述べる。

今後の研究の中で検討すべき方向としては、

i) 分散相の性状と連続相である silicate glass との関係の究明。

ii) 微視的組織をもとにした冷却過程での crack の発生機構の検討。

iii) 焼結鉱の強度をなんらかの物理的量として測定すること。

などが考えられる。なおi)については、ひとつの試みを一般講演*において発表した。

講演：焼結機構よりみたペレットの異常性状*

住金中研 工博 渡辺正次郎

理博 吉永真弓・福田充一郎

【質問】 八幡技研 石光章利

還元粉化とスウェリングは別箇の現象として扱っておられるような印象をうける。筆者らはこの両現象は非常に密接した関連があり、結果の上では粉化とスウェリングというちがつた姿で現われるが、起点は同じ機構であるという見解をもっている。

スウェリング:

還元によりヘマタイトからマグネタイトへの急速な交換の際に崩壊して細粒化する。このときの粒度が繊維状化に直面して粒度条件に入っていればスウェリングの現象となつて現われる。

(東北大不破教授は、鉄酸化物が還元を受けて繊維状化するためには、粒度範囲があることを指摘し、これではずれていれば繊維状化は起こらないという意見を示している。)

ヘマタイトからマグネタイトへの急速な変換と、その際に崩壊が起こることは、スウェリングの場合と同様であるが、崩壊後の粒度が大きく繊維状化の粒度条件からはずれているため、粉化に止まってスウェリングに至らない。

以上をまとめれば、起点となる崩壊までは同じであるが、崩壊生成物の粒度の差が左右しているという考え方である。

Aペレットのフィードは、そのまま還元しても繊維状化が現われ、試料皿上にもり上がるほどである。これはフィードの粒度がちょうど繊維状化に必要な条件内にあるためであろう。Aペレットの初期のものは、酸化鉄粒子相互の結合は貧弱で、細い架橋が見られる程度である。(これは焼成不足によるものであろう)これが還元を受けると、ヘマタイト→マグネタイト変換期に架橋が切れ、原フィードの粒子と同じ粒度の粒子の集合体の観を呈する。これが繊維状化条件内にあることがスウェリングの原因となつているものと見ている。

この考え方では、スウェリングを起こすための特殊な構造の存在を考える必要はなく、ヘマタイト→マグネタイト交換の際に発生する応力に帰することができる。

また、講演者が指摘されている連晶はある時期のAペレットに認めた事例はあるが、これがスウェリングのほんはだしかつた時期を通じて普遍的な組織であるとはいえない。したがってスウェリングの全体をこの組織の存在に原因を求めることに疑問を抱かざるを得ない。

以上の見解についてご教示をお願いしたい。

【回答】

1. 還元粉化と swelling との関連について

swelling を対称とした場合、われわれも還元粉化と swelling とを別個のものとは考えていない。すなわち本文中にも述べたように、還元時連晶組織に発生する弱線、クラックは明らかに還元粉化であり、鉱粒が粗粒の

* 鉄と鋼: 55 (1969) 3, S 28

* 鉄と鋼: 55 (1969) 3, S 313~316

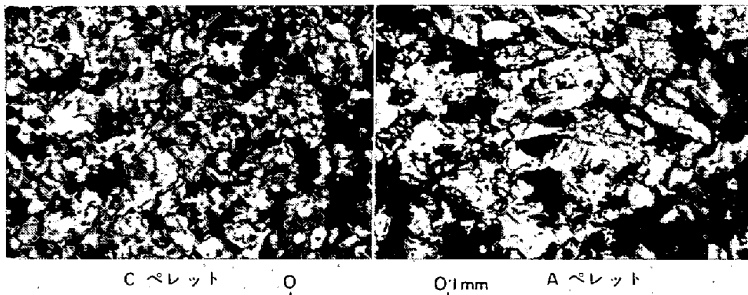


写真1 還元粉化試験後のミクロ組織 (500°C 1hr)

ままであるときに還元粉化が起こり、一方鉱粒がより微細な粒度で、還元ガスと接触すれば、swelling を起こすと考えている。写真1は還元粉化を起こすCペレットと異常膨張をするAペレットのマグネタイト安定域における還元粉化試験(還元ガス: CO 20%, CO₂ 80%, 温度 500°C)を行なった後の、ミクロ組織を示す。

Aペレットの連晶間に弱線クラックが発生して、鉱粒がより細かい粒子単位で還元していることが示され、一方Cペレットは、極端な場合には写真のようにヘマタイトの単結晶間にクラックが生ずるが、多くの場合には、粒間結合がきれて、フィードの粒度単位に崩壊する程度までにとどまっている。このように鉱粒が sub-grain の order にまで崩壊するか、原始粒度のまま、もしくはそれらが結合された状態で存在するかによつて、異常膨張が起こったり、還元粉化が起こったりする傾向が生ずるものと考えている。また同様な理由により、異常膨張は連晶だけではなく、鉱粒が極微細な単結晶、あるいは micro-twin からなっている場合にも起こるものである。

粉集合体の異常膨張について

多くの鉄鉱石は、これを微粉にすれば、還元の際してAペレットと同様な繊維鉄を生成して異常膨張を起こす。これは微粉にすることによつて、その還元速度が早くなることによるものと考えられる。ただ、この場合は、あくまで各粒が完全に分離したものであり、一方われわれ

の観察したものはペレットであれ鉄鉱石であれ、いずれも多少とも粒子が結合したものである点に大きな相違のあることを認識せねばならない。swelling は鉱粒と還元ガスとの接触によつて起こるものであるから、この接触面積が問題であり、したがって、ペレット、鉄鉱石においては、単なる粉体の集合の場合よりも、還元過程では見かけ上より微細な粒度効果を示すような性質がなければ、異常膨張を起こすに十分な接触面積をうることができない。したがってペレットフィードで、繊維鉄を生成せしめるに好適な粒度範囲があるとしても、これをそのままペレット内の鉱粒の大きさにあてはめて考えるべきではなく、鉱粒のより細かい単位への崩壊、たとえば還元過程で弱線となつて、ガス接触面積を増大せしめるような連晶組織などの存在を認めなければならないと考える。

3. Aペレットの連晶組織と swelling との関係について

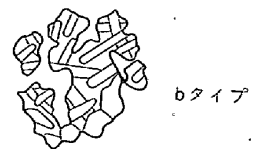
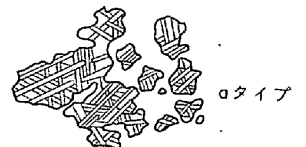
本題については、すでに本文中写真1においてその概要を述べてあるが、これを補足し、かつやや定量的に示すと表1のごとくなる。すなわちAペレットのミクロ組織を、ヘマタイト連晶の発達程度に応じて写真1(本文)と同様 a b c の3通りに分類し、おのおのの出現頻度と各試料ペレットの swelling との関係を示すもので、上の6試料は写真1(本文)の場合と同じ原地焼成試験試料また下の6試料は、極端に膨張した当社第1船試料から第6船試料まで約2年間におよぶ期間をカバーしている。同表から、焼成の良好なベッド表面では連晶はほとんど認められず、したがって swelling も小さいこと、また連晶構造から再結晶構造へ移行するにつれ、swelling も小さくなつていく期間的な推移が明りように看取される。

【質問】 神鋼中研 国井和扶

1. Aペレットの還元時の異常膨張の原因として粒間結合の不十分なことや、ペレットを構成するヘマタイト

表1 Aペレットの顕微鏡下における hematite の性状

試料番号	Grate speed m/min	採取位置	膨張率 (% Lin.) n=20	Hematite の Microstructure		
				a タイプ	b タイプ	c タイプ
1 2	1.8	ペレット平均 Top of bed	16.2 5.7	有 な	極めて多し 有	有 極めて多し
3 4	2.0	ペレット平均 Top of bed	24.4 14.7	極めて多し 稀	有 極めて多し	稀 有
5 6	2.2	ペレット平均 Top of bed	20.8 9.1	極めて多し 稀	有 多	有 多
当社入船試料		第1次 (38.9) 第2次 (39.5) 第3次 (39.12) 第4次 (40.1) 第5次 (40.4) 第6次 (40.11)	測定不能 18.3 22.9 27.4 12.1 16.9	極めて多し 多 多 多 稀 稀	有 多 多 多 極めて多し 極めて多し	な 稀 稀 稀 有 有



粒における連晶の存在が挙げられ、これらは焼成不足にもとづくものであるとされている。

ところでペレット工場側では焼成効果をあげるために海砂を添加している由であるが、この海砂がどのような機構によつてペレットの焼成を促進し、かつ還元時の異常膨張を抑制するののかという点に関して見解をうかがいたい。

2. AおよびBペレットに認められる二重構造について

磁鉄鉍を原料とするペレットを急熱した場合、焼成時に緻密なヘマタイトの外殻が形成され、これが内部への酸素の供給を抑制するために二重構造をとることはすでに近藤らによつて指摘されている。

しかし二重構造は焼成雰囲気中の酸素が十分でない場合にも起こりうる。その例を次に示す。

ペレット原料としてマルコナ磁鉄精鉍 (TFe 67.5%, FeO 25.5%, SiO₂ 2.8%, Al₂O₃ 0.5%, MgO 0.8%, S 0.60%, P 0.02%) およびパボラ磁鉄精鉍 (TFe 66.8%, FeO 26.0%, SiO₂ 0.3%, Al₂O₃ 0.2%, CaO 2.2%, MgO 2.0%, S 0.03%) を用い造粒後、電気炉によつて焼成した。室温から 1250°C まで 16 min で昇温しその温度に 20 min 保持したが一方は空気を流通せしめながら、他方は反応管の両端を開放したのみの2通りの条件をとった。その結果、後者の焼成ではいずれのペレットにおいても二重構造が認められ圧潰強度は二重構造の認められない前者の焼成条件のものに比べて非常に低下した。すなわちマルコナでは 270 kg/p から 160 kg/p、パボラの場合には 465 kg/p から 125 kg/p にそれぞれ低下していることが判明した。

このように二重構造の出現する理由には急熱焼成のほかに焼成雰囲気中に供給される酸素量の不足を挙げることができるが、このA、Bペレットに認められる二重構造の原因はペレット工場の操業条件から上記いずれにあると推察できるか、発生原因のいかんによつて二重構造の防止対策もおおのずと異なってくるものと考えられるがこれらの点について見解をうかがいたい。

3. Cペレットに認められた還元粉化について 2, 3 質問したい。

(1) 高炉炉況におよぼすペレットの還元粉化について

従来からペレットの還元後強度、還元膨張、などの還元性状は高炉炉況に影響をおよぼすといわれているが還元粉化は炉況に対して実際にどのような影響が認められているか、うかがいたい。

(2) ペレットの還元粉化の原因は焼成不足に帰せられているがペレット以外のペレットでも焼成不足の著しい場合には還元粉化が認められるか尋ねたい。

【回答】

1. 砂添加の効果について、砂がスラグ中に溶込めばスラグ結合の数が増し、鉍粒表面がスラグで被覆される case が多くなり、したがって粒の還元速度が遅くなるため異常膨張を抑えることが可能となる。またスラグメルトの適量の存在は液相焼結を進行させ、鉍粒の球状化を促進させる結果、粒間結合の強化がはかられるものとする。したがって添加した砂が果たしてスラグ中に溶

解するか否かが問題となるが、この砂は SiO₂ 65~70%, 残部は大部分 Al₂O₃ であるが、ほかに著量のアルカリを長石の形で含有しており、これが融点の降下に有効に働いているように考えられる。ミクロ観察からも、砂の残存はほとんど認められていない。

2. ペレットの二重構造が、焼成雰囲気中の酸素量不足によつて生ずることに異論はない。しかしながら、焼成雰囲気については、この二重構造問題とは別個に、Aペレットの FeO% とその還元後の圧潰強度が逆相関を示すことが、八幡技研から提示され、FeO含量を減少せしめるようなヒートパターンおよび焼成雰囲気の改善の必要がすでに報告されている。(鉄と鋼, 52(1966), p. 242) したがってA鉍山側も雰囲気の影響は十分認識した上での、上記S根元説であろうと考える。またAペレット工場の操業条件、二重構造の防止対策などの詳細については、遺憾ながらわれわれに代弁の自由が与えられていないので紹介できない。ただ、本年2月のAIMEのSME Meetingで現地側から発表されている由なのでそれをご参照願いたい。またBペレットは実際の工場成品では二重構造は生じていない。

(1) 現在、Cペレットは最高 10% 程度まで配合しているが、還元粉化に基因するような悪影響は認められていない。

(2) 一般的に、ペレットの還元粉化の原因はCペレットにみられるような焼成不足のほかに、スラグボンドの不足、あるいは造粒焼成時のクラックなどの諸欠陥が考えられる。したがって焼成が不足であつても、内部欠陥がなく、かつ著量の造滓成分を含有しておれば、還元粉化は起こらないのではないかと考える。

講演：ペレットの結合機構と焼結速度について

神鋼中研 国井 和扶・西田礼次郎
小泉 秀雄・金本 勝

【質問】 鋼管技研 安藤 遼

10年ほど前米国に出張したとき、アリス・チャーア社でグレート・キルン式のパイロット・プラントを見学する機会を得た。ちょうどそのとき自溶性ペレット製造の試験を行なつており、その方法は日本の特許公告にも出ている「二重ペレット」式のものであつた。当時ペレットを製造する場合、多銘柄品種を混合して用いることは困難であり、特に自溶性にするため石灰石などを添加することは非常にむずかしいという考えが一般的であつたと記憶している。「二重ペレット」のような考え方も多分にこのような思想が根底にあつたものと思われる。

神鋼におかれては多銘柄混合の問題を解決し、さらに世界に先がけて石灰石を添加し自溶性ペレット製造の技術を確立されたことは、今日の報告を含めて、多事にわたる一連の研究の成果であると心から敬意を表するとともに、私どもでは現在酸性ペレットを使用中であるが、製造に関する研究の経験もなく、神鋼で行なわれている研究報告に学ぶところが多い次第である。

* 鉄と鋼: 55(1969) 3, S317~320