

抄 録

—製 鉄—

微粒子の影響は小さくない

(C. M. NICHIE: Blast Furn. & Steel Plant, 52 (1964) 4, p. 331~333)

1962年5月に Bethlehem Steel, Bethlehem 工場“B”溶鉄炉が、非常に良好な、当時としては限界と考えられるような出鉄実績を挙げたので、その他の溶鉄炉にも同様な方法を採用することにした。この転換は1962年9月に完了したが、“B”炉と同じ大きさの“D”炉は5カ月間生産量レコードを樹立、最後には1963年2月に出鉄 2903 t/day, コークス比 1158 lb/t を達成した。これ以上の向上をばむ最大の要因は送風用ガスエンジンのパワー不足による送風圧の限界であると考えられた。送風圧最高 25 psi, 送風量 120,000 scfm, で操業中にもしばしば減風を必要とする状態であった。装入ペレット中の 1/4 in 以下を除去すれば操業状況が改善されることが考えられたが、製鉄能力は不足でなかつたため、コスト上昇を生ずる篩分は実施しなかつた。

7月になりペレタイジング工場が2週間休業することになり、貯蔵ペレットを使用することになった。長期間貯蔵したため微粒子が多く、使用前に再篩分が必要であった。この篩分ペレットを装入した直後、風圧が2~3lb低下し、風量が徐々に増加して 130,000scfm に達し、出鉄量の増加が認められた。7月第4週には出鉄量のレコードは3回更新され、月間出鉄量(暦月) 93,129 t で、米国で始めて月間平均出鉄量 3000 t/day 以上に達する記録を樹立した。

ペレット篩分は翌月も継続し、出鉄量平均 3246ton/day を記録した。この“D”炉と先述の“B”炉は寸法的に同じ大きさの炉で、両者の操業状況を比較すると興味深い。コークスについては、両者の間に組成的にも粒度分布にも大差が認められない。鉄源は62年5月は65%がペレット、22.5%が焼結鉄、5%が鉄石、7.5%が平炉滓、63年8月は55%がペレット、45%が焼結鉄と少量の平炉滓であった。この両者の粒度分布を比較すると、ペレット出荷時にはほとんど差がないが、装入直前のペレット粒度にはかなりの差が認められた。焼結鉄の粒度分布も差が認められなかつた。これらの粒度分布は相当量のものを対象にしたもので信頼度はかなり高い。

操業時のデータを検討してみると flue dust 量と出鉄量についてのみ差が認められた。この差、出鉄量 9.2%の増加、はペレットからの微粒の除去によるものと結論してよいと考えられる。しかし経済性については検討が十分でない。今後の検討のための一例として報告する。(河合重徳)

STORA 直接還元製鉄法

(Å. JOSEFSSON et alii: Jernkont. Ann., 148 (1964) 3, p. 128~139)

スエーデン SKB 社では1948年より酸素吹込による鉄製造法の開発研究を行なつて来たが、それは周知の kaldo 法に関連した研究である。kaldo 法では溶鋼の10

%にあたる鉄石を冷却材として投入するが、この鉄石中の酸素が溶鋼の炭素と反応して CO を発生するので、さらに炭素源を多く加えてやると鉄石の装入量に制限はないはずである。もちろん発生する CO は吹込酸素により CO₂ に燃焼し熱の供給は連続して十分である。これが本回転製鉄炉の基本的な原理である。

操炉法は、回転炉を水平に近くして回し、初めコークス粒を数時の厚さに装入し酸素を吹込んで約 1300°C に加熱後コークス粒と鉄石を連続装入し C3~4% の溶鉄ベッドをつくる。酸素粒供給量は発生 CO を燃焼するのに必要なだけ供給しベッド上の炭素を燃やさないようにする。廃ガスは 100% CO₂ である。造滓材は CaO のみで、スラッグの組成は通常の高炉滓と等しい。全装入物は出鉄時まで連続に装入される。この製鉄法の特徴はスラッグの組成と炉内温度を自由に制御できるので必要に応じ鉄石中の P, Si, Mn などの溶鉄への溶け込みを防止できることで、とくに高燐の鉄石から低燐鉄を製造することが可能である。欠点としては、この場合高燐のスラッグは通常約4%の鉄分を有し、このため脱硫効果がないことで、溶鉄は S0.1~0.2%程度である。これは攪拌取鍋などを用いて別途脱硫され 0.010%にまで下げられる。

パイロットプラント実験は 5'φ×7'L, 20 rpm の3t 炉で行なわれ、原単位の一例は鉄石 (Fe 91.1%, P 0.4%) は 1710 kg/t, 石灰 125 kg/t, コークス 690 kg/t, 酸素 690 Nm³/t で、鉄歩留りは 91% であつた。また実際に近いテストとして Domnarvet 工場の 30 t kaldo 炉で行なつたが、還元速度は 4.5 t/hr, コークス 490 kg/t, 酸素 415 Nm³/t の成績が得られた。これは完全な設備、たとえば廃熱利用による装入物の予熱などを行なうと、コークス 400~450 kg/t, 酸素 300~350 Nm³/t にまで下げられると思われる。

SKB 社では商業生産設備を計画中であるが、コークス消費量は通常の高炉の 80% 以下にすることは確実であるし、建設費は酸素発生設備まで含めても高炉より安いことなど、かなり有利と考えている。(中村信夫)

パイライトよりの酸化鉄—製鉄の新原料

(S. EKETORP: Jernkont. Ann., 148 (1964) 5, p. 316~338)

よく制御された焙焼と高度の浮選技術によつて非常に純度の高い硫酸滓を得ることができる。その品位の一例を示すと、T.Fe 68% (主として Fe₂O₃), Cu 0.09%, As 0.06%, Zn 0.25%, Pb 0.05%, S 1.0%, SiO₂ 1.6%, その他 2.5% で、粒度は 0.250mm 以下100% 0.125mm 以下 94%, 0.044mm 以下 38% である。本論文はこれがいろいろの方法で製鉄、製鋼に使用できることを示したものである。

一般にこの硫酸滓はミクロ的な気孔率が大きく被還元性は高い。それにこれから得られる還元鉄粉は圧縮成型性が良好であるのも特徴である。今日この硫酸滓の大部分は通常焼結に際して他の鉄石に混合して用いられており、焼結試験では、これを10~20%配合することによ

つて焼結の生産性を増加することを認めた。ペレタイジングでも同様に生産性を増し、かつ配合率をさらに高めても差支えない。それにこれから作ったペレットは被還元性も高く、還元中の強度も高い場合がある。しかしバインダーの添加が前提条件であつて、3種類の硫酸滓に CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCl_2 , ベントナイトを添加して、湿、乾、および焙焼ペレットの性質を調べた結果 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 10.6%, CaCl_2 4%, それにベントナイト 1% などがそれぞれよく、とくに $\text{Ca}(\text{OH})_2$ がすぐれていた。

品位と応用面の関係では、Sが0.2%以下であると、高品位の乾燥体は平炉への装入鉱石として、またはKaldo法やLD法の冷却材として装入するのに適している。新しい溶解還元法(Domnarvetの回転製鉄炉)はこの酸化物を用いるのにもつとも都合である。含有するZnは廃ガスとともに持ち去られ、溶鉄中のSは次工程の銑鉄脱硫法で容易に低減することができる。Cuの問題もあるが、これは他の鉱石と一緒に用いられると、ある限界値以下には容易になしうるし、場合によつては溶鋼の真空処理によつてもある程度下げることが可能である。(中村信夫)

— 製 鋼 —

Kaldo法の経済的考察

(F. JOHANSSON, B. KALLING: Jernkont. Ann., 148 (1964) 2, p. 1~84)

Kaldo法の開発者スウェーデンSKB社研究所の前所長B. KALLING, 現所長F. JOHANSSON 両博士の論文であり、本法の生立ち、利点と欠点、経済的評価を最近のdataとともに論述している。以前SKB社Domnarvet工場では28tベッセマー転炉で高燐銑の精錬を行つていた。酸素が利用されるようになって普通の静置式の炉や取鍋への吹込みを行なつたが脱燐は十分でなく、しかも鉄分の損失も大きかつたので1948年3t回転炉を試作し、スラッグと溶鋼の接触を促進するよう考えた。その後30t炉にスケールアップして今日に到っているが、その成功にもかかわらずその後あまり発展しなかつたのは、その機構的な複雑性、炉床の寿命にあつた。しかし今日これらは概ね解決され、回転数も40rpmにまで上げられるようになり、現在稼動中および建設中のものは日本の山陽製鋼を含めて世界で11基である。精錬反応に関与するものは炉の回転速度、酸素や石灰の吹込み速度、ランスの突込み度合などがあり、Sollacの例ではC 3.65%, P 1.72%のチャージが出鋼時C 0.065%, P 0.013%であつた。熱経済上COのCO₂への燃焼発熱は重要で本法の一大特徴をなしている。全装入鉄分に対する歩留りは92%以上に達する。またその経済的な利点として主装入原料の選択範囲が広いこと、吹製可能鋼種の広く低炭素鋼、高炭素鋼、合金鋼にまでおよぶことであり、また作業上タップを遅らすことも炭素を燃焼さすことによつて容易であることも都合がよい。致命的な欠陥とされていたライニングのスラッグや冷スクラップなどによる損耗もDomnarvetでタールドロマイトを用いた場合1溶解当り5mmでドロマイト20kg/t程度で、110回はもつものと考えている。特殊なタールマグネサイト“Anker T”を使用すると272回ももつた例がある。

Kaldo炉の必要容積は0.5~0.55 m³/tでLD炉よりも良く、ライニングの寿命もこの点から見直さなければならぬ。さらに予備の炉を簡単に取替えられること、ガス清浄設備もLD炉の1/2のコストですむことなども特徴である。設備費は回転装置と、ヒートサイクルの永いため不利であるが前述の炉容積の小さいことや、建家が低くてすむこと、ガス清浄設備費の少ないこととかなりキャンセルされる。炉寸法と生産量はDomnarvetでは3.42mφ I.D.×5.3mLで25t/hr, Sollacでは5.5mφ I.D.×8.1mLで98t/hrである。同一容量の塩基性平炉にくらべて溶鋼の生産コストは平炉を100とするとKaldo炉では98.43程度で、もしもスクラップが溶銑よりも安ければKaldo法はいかなる製鋼炉よりも安くハガネを作ることができる。

さらに、本法の応用面として、回転溶銑炉や非鉄金属精錬にも適用されることを付言する。(中村信夫)

— 加 工 —

仕上鋼の表面欠陥に関係のある非金属介在物の大きさ

(R. F. KOWAL, W. M. WOJCIK: Steel Times, January, 31 (1964), p. 154~159)

本報告は、Jones & Laughlin Steel Corp. で実施している鋼質におよぼす脱酸作業や製鋼ならびに加工作業の諸因子の影響などについての総合研究の一部についてのもので、表面欠陥の発生と関係のある介在物の大きさとその存在位置について調べた結果を述べ、それについて考察を行なつたものである。熱間鍛造鋼(0.28~0.33% C, 1.00~1.30% Mn)を次の2方法でそれぞれ6種類溶製した。(1) 320t固定式平炉で屑鉄—溶銑法で溶製。27in×36in鋼塊を10in×10inの角棒に圧延。(2) 160t傾注式平炉でduplex法で溶製。24in×24in鋼塊を10in×10in角棒に圧延。これら両者の角棒はさらに調質後6in丸棒に圧延後、再加熱してpiercingを行なつた。以上の丸棒について磁粉探傷を実施し、厳密な検査を行なつた。また、丸棒から、もとの鋼塊の底部、中央部、頭部の各位置に相当する部分を圧延方向に平行に試料として切出し、介在物量および介在物の長さとその分布割合をlineal analysis法で調べた。(介在物の検査法については、附録として、文献の最後に詳述されている)介在物の長さについては0.021~0.035mm, 0.036~0.070mm, 0.071~0.140mmの3区分を対象としてその割合を求めた。そして、磁粉検査結果(マグナロ指数頻度として示している)と丸棒の表面から各深さの所に存在する介在物との関係、介在物の厚みについての考察などについて述べている。結果を要約すると、

(1) 丸棒表面下0~1/2inに存在する0.036~0.070mmおよび0.071~0.140mmの長さの介在物とマグナロ指数頻度の間には、2つの溶製法でつくつた試料の両者共、関係が認められた。

(2) 丸棒の表面下1/2~1inに存在する介在物の中で、0.071~0.140mmの長さのものは試料の両組共マグナロ指数頻度と関係があつたが、0.036~0.070mm長さのものは両組の試料とも関係は認められなかつた。

(3) (2)の結果で、表面下1/2~1inに存在する介在物が表面欠陥に寄与することが示されたが、一寸と考

えるところの結果は不適切に思われる。しかし piercing process における金属の変形を考えると妥当と考えてもよいだろう。(この piercing process における金属の変形の考え方は Holmquest の研究を引用している。)

(4) 溶製法によつて、介在物の長さとマグナロ指数頻度の関係の相関性にやや相違があつたが、これは両溶製法の間にピレット段階での圧延の程度に相違があり、それによつて介在物の伸ばされ方が異なり、介在物の厚みに差があつたことに帰せられよう。従つて、一定条件を経てきた介在物の長さは、piercing した丸棒の品質を示す1つの因子として用いることが出来よう。さらに、この processing condition の調節によつて、品質を変えられるかもしれないと考えられることは注目に値しよう。(齊藤鉄哉)

一性 質一

若干の鉄合金の粒界における硫化物の形成

(I. S. BRAMMAR, R. W. K. HONEYCOMBE, J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 202 (1964) 4, p. 335~342)

スウェーデン鉄を基本原料とし、それに S および Mn, Cr, Ni を加えて Fe-S (S 0.011~0.98%), Fe-S-Mn (S 0.131~0.093%, Mn 0.006~0.80%), Fe-S-Cr (S 0.133~0.131%, Cr 0.02~1.62%), Fe-S-Mn-Cr (S 0.15~0.16%, Mn 0.04~0.24%, Cr 1.60~1.47%) および Fe-S-Ni (S 0.139~0.131%, Ni 0.10~4.51%) の各合金を高周波炉で溶製(各約 440g), 存在する粒界硫化物の種類, 形態およびそれらの鉄合金の室温衝撃特性におよぼす影響を調べた。衝撃破面に対しては、カーボン抽出レプリカをとり、その破面状況を観察すると共に、粒界および粒内の介在物の観察と電子回折によるその同定を行ない、出来るだけスキニング X 線マイクロアナライザーでその同定を行なつた。また、破面を含む顕微鏡試料断面について観察し、破壊状況の観察を行なつた。結果を要約すると次のごとくである。

(1) 硫化物の析出は、 α または γ 領域からの冷却過程の相違によつて異なる。

(2) Fe-S 合金の α 粒界の脆化 (α 領域の 850°C から急冷した時) は、硫化物の存在によるもので、硫化物が 850°C で固溶し、その後 S が粒界に偏析するためである。

(3) 0.14% S-Fe 合金に 0.01% 以上の Mn を加えると α intergranular brittleness (粒界脆性) は完全に失われる。この場合、MnS はもとの γ 粒界に選択的に見られるが、この範囲内では brittle fracture (脆性破壊) を生ずる傾向はなかつた。

(4) α -intergranular (粒界) 脆性を示す Fe-S 合金に 1.62% Cr を加えると、クロム硫化物をもとの γ 粒界に生じ、その脆化を生ずる。

(5) Fe-S 合金の α 粒界脆性を完全になくすに十分な Mn 量を Fe-S 合金と同量の S を含む Fe-Cr-S 合金に加えてもその高温 δ 粒界脆性はなくなる。

(6) 純粋な合金中でも Mn-Cr 硫化物は観察される。Cr を含む市販鋼中の Mn 硫化物は実際には Mn-Cr 硫化物であるようだ。

(7) 少量の Ni を 0.15% S を含む鑄造 Fe-S 合金に加えても、その α 粒界脆性に影響は与えないが、大量

に加えると、室温衝撃脆性は除かれる。その際、 γ 粒界に FeS の薄膜が生成した。(内山 郁)

非金属介在物の鋼板の機械的性質におよぼす影響
Hanns arnt VOGELS & Fritz BRIINING: Archiv für das Eisenhüttenwesen, 35 (1964) Heft 2, p.115~127)

Si および Al で脱酸した実用炭素鋼 (0.2% C) に 0.01~0.1% の範囲の S を添加していろいろの実験試料をつくり、それをいろいろの圧延を加えて薄板とした。圧延は一方向の場合、それに直角方向に更に圧延を施した場合の各種採用した。そして、圧延の程度および硫化物と鋼板の機械的性質特に切欠衝撃強さとの関係を調べ破壊現象について考察した。さらに、鋼組織の偏析と機械的性質の関連についても調べた。その結果は次の通りである。

(1) 圧延方向に直角方向にとつた試料の切欠衝撃強さは、圧延方向の変形量の増加と共に低下し、圧延方向に平行にとつた試料のそれは更に施したそれに直角方向の変形量の増加と共に低下する。しかし、その低下の程度は変形量の増加と共に減少した。最初の圧延方向に平行にとつた試料の切欠衝撃強さにおよぼす最初の圧延変形の影響およびそれに直角方向にとつた試料の切欠衝撃強さにおよぼす最初の圧延に直角方向に施した圧延の変形の影響は認められなかつた。

(2) 圧延方向にとつた試料およびそれに直角方向にとつた試料の切欠衝撃強さは S 含有量の増加と共に低下するが、その程度は S 含有量の増加と共に減少した。

(3) 変形量および S 含有量の切欠衝撃強さへの影響は、衝撃試験温度の低下と共に小さくなり、脆性破面率が 100% の場合には、切欠衝撃強さへの変形量および S 含有量の影響は認められなかつた。以上のことから、切欠衝撃強さの方向依存性は、粘性的に線状に伸ばされた介在物によるものと考えられ、変形破壊 (Verformungsbruch) の際に介在物に沿つて優先的に破壊が生じていることが観察された。脆性破壊と線状介在物との関係ははつきり認められなかつた。

(4) 試験温度の低下に伴う切欠衝撃強さの急激な減少は、変形量および S 含有量の増加と共に低温側に移動した。これから、線状介在物は脆性破壊を阻止する作用をもつと考えられる。

(5) 抗張力、降伏点および伸びと変形量および S 含有量の間の関係は認められなかつたが、絞りは切欠衝撃強さと同様な傾向を示した。

(6) 偏析と切欠衝撃強さの関係は認められなかつた。(角田方衛)

一物理冶金一

800~1000°C 間引張試験における脆性現象

(G. C. CARLSSON, Jernkont. Ann., 148 (1964) 3, p. 152~180)

特殊な目的で高温引張テストを行なうとき、同一鋼種でもある溶解は極端に低い靱性(破断面積比で表現)を示すことがある。本研究はその原因をあらゆる角度から究明したものである。この現象はとくに低迷の引張りの際におこるもので抗張力、伸びは余り変わらず、絞りが正常のものに比べ 50% にもなることである。これは明ら

かに赤熱脆性とは異つた現象である。試験に用いた鋼種は C 0.11~0.27%, Cr 0~1.16%, Mo 0~0.19% の炭素鋼, Cr-Mo 鋼計 4 種で塩基性および酸性の平炉鋼と塩基性電気炉鋼である。そして実験計画にしたがいインゴットに Al を 0~800 g/t, シヤン化カルシウムを 0~1000 g/t 投入して Al と N の含有量を変化せしめた。結果を要約すると, 主要化学成分はとくに異常脆性と関係ないが不純物はかなり影響がある。たとえば, Cr-Mo 鋼では Al の添加量と大きな関係があり, それが多いと靱性は下るし, N の量も関係し, 0.01% あれば脆性を生じ 0.004% では差支えないのであるが, 炭素鋼では 0.004% でも脆性がでる。とくに N の多目である塩基性電気炉鋼はこのチャンスが多い。ただ Al の量だけが問題でなく, 可溶性 Al の多いものは靱性が低い。これは Cr-Mo 鋼にのみ成立つもので炭素鋼では現われなかつた。S や P も関係はするが, その程度はわずかである。

温度の影響は 900~950°C に靱性の谷間があつて, その前後は回復に向つている。引張り速度は 40mm/min まで上げてみたが異常脆性は低速引張りの場合に顕著に現われることは確実である。Cr-Mo 鋼の場合ラプチャーテストと同様の結果が得られた。小荷重をかけての長時間加熱も異常現象に決定的な役割を果すことを知つた。

引張破壊中途のものを急冷して亀裂の顕微鏡的観察を行なつたが, 亀裂は主としてオーステナイト粒界に引張り方向と直角に現われる。炭素鋼ではこの粒界にフェライトの析出が見られた。いずれにしても, 亀裂は粒界に起源を有するが, 一般にオーステナイト粒度は Al の添加によつて変わるので, 前述の Al 量と脆性の関係は間接的なものと考えられるかも知れないが, 本テストでは結晶粒度と靱性との関係はとくに顕著とはいへなかつた。ただ介在物として Al₂O₃ を多く有するものは全面的に靱性を示した。さらに, この試験温度では再結晶や粒界移動は当然おこり, これが靱性と関係している。

(中村信夫)

一分 析

コークス中水分の中性子分析

(Jack G. CRUMP, Blast Furn. & Steel Plant, 52 (1964) 4, p. 325~327)

溶鋳炉へ装入するコークスの水分は操業状況, コスト

溶湯成分などに影響を与えるものとして関心をひいていゝる。最近コークスの水分分析に中性子分析が応用され, 良好な結果を得ており, 本稿はこの状況について述べたものである。コークスは空隙の大きい物質で, 水分%を出すために容積密度 (bulk density) と水分密度の比を求める。

容積密度は, 一定断面積を通過する際の γ 線の減衰より算出する。セシウム 137 を線源とし, 電離箱を用いて γ 線強度を検出, 出力電流を増巾してメータ上に lb/ft³ で表示する。

水分含有量 (lb water/ft³ coke) は, 高速中性子を利用して測定する。高速中性子は, 水素との相互作用により急激にそのエネルギーを失うので, 水分含有量と中性子の減衰状況の関係を求めておけば分析可能である。

装入前コークスの場合, 水素源は冷却水と考えてよい。コークス化の程度により揮発性物質に付随する水素が残留し, 誤差の原因になるが, 一般にはその量はわずかであつて, ほぼ一定である。測定には高速中性子源と, 水素原子との衝突でエネルギーを失つた低速中性子の数を求める電離箱を用い, その信号を γ 線の場合同様に増巾して表示する。

一方, γ 線検出信号, 低速中性子検出信号は簡単なアナログ計算機へ入力され, 両者の比として水分含有量が求められる。

水分分析装置の位置は, スキップカー上の秤量ホッパー上部がよい。これにより溶鋳炉装入直前のコークス中水分が求められ, 乾燥ベースでのコークス量が求められる。コークス温度, 抵抗, 誘電率などの因子は測定に影響なく, 測定精度は 0.5% 以上である。

測定位置は放射線障害防止にも都合がよく, 漏洩放射線量は十分許容しうる範囲にあり, また装入物が汚染されることもない。

この方法を採用した効果は溶湯湿度, 溶鋳成分の安定化などで明確に認められ, かつ炉操業を最適化するため必要なコークス量の添加, コークス品質管理なども行ないうるため, コスト低減にも役立つている。

(河合重徳)