

抄 録

—原 料—

成形コークス

(J. DARTNELL: Iron and Steel Intern., 51 (1978) 3, pp. 155~162)

20年以上にわたり開発され、試験を重ねてきた今、成形コークス製造プロセスは鉄鋼業において商業規模での実績をあげるときである。成形コークスのプロセス技術者がプラントを売るためにやるべきことはもはやあまりなく、成形コークスの将来は今や製鉄技術者の側に委ねられている。

成形コークス製造のパイロットプラントは数多く作られてきたが、高炉試験を行なえるだけの規模をもったプラントは、次の六つに限られる。

1. Lurgi-BBF
2. Ancitt
3. FMC
4. DKS
5. HBNPC
6. Sapozhnikov

本報では、上記6種のプラントによつて作られた成形コークスの性質およびそれらを用いた高炉試験の操業結果について述べられている。

成形コークスの化学組成は、揮発成分を除き主に使用石炭によつて決まり、揮発成分は従来のコークスよりも多い傾向がある。また成形コークスは、粒度範囲が非常に狭いという長所がある。コークスの物理的強度の測定については大いに議論のあるところであるが、DIによれば、成形コークスは従来のコークスよりも一般に優れている。しかし、酸化性雰囲気における温度上昇時のコークスの性状に強い関心が持たれるようになり、日本では高温性状を反応性および反応後強度によつて表わしている。これによると成形コークスは従来のコークスよりも一般に劣っている。

炉床径 5~9.5m, 内容積 570~3 000m³ にわたる高炉による試験では、100% 成形コークスを用いても、生産性の低下、燃料消費の増大を起こさなかつた例が多い。ただし、生産性維持のために、一般的に送風圧力を増大させた。また 3 000~5 000 t/d の出鉄能力を持つ中型高炉で、成形コークス 25% を用い、出鉄比 2.0 t/m³·d を越える成績を一ヶ月以上続けた例も数多い。

(高本 泰)

—製 鉄—

鉍石の水力輸送に関する特性値の実験的検証

(H-H. HEINE: Arch. Eisenhüttenw., 49 (1978) 8, pp. 379~384)

鉍石の消費者である製鉄所では、種々の鉍石を使用しなければならぬという点で鉍石の水力輸送が重要視されてきた。本研究の目的は、管長(L)、体積流量(\dot{V})、管内抵抗(λ)、輸送速度(v)、管直径(D)、水中の鉍石濃度(k)、鉍石密度(ρ_p)と水の密度(ρ_F)を用いて、所要動力(P)を推算することである。実験装置は、全長 260m のU字管と水槽から成り、鉍石と水の混合物がロータリーポンプによつて管中を循環する構造をとっている。臨界速度(v_{krit})は管底に鉍石が堆積を開始する時

の流速として定義されこれを肉眼による観察から決定した。鉍石として、マグネタイト含有率の高い Kursk、ヘマタイト含有率の高い Tubarão、リモナイト含有率の高い Nimba の三種類が使用された。実験結果として、臨界速度と鉍石濃度との関係が調べられた。 $k > 0.05$ では、 v_{krit} は k の増加に伴い減少し、 $0.15 \leq k \leq 0.2$ では、最小値をとり再び増加している。特に Kursk の場合 $k \geq 0.2$ で著しくこの傾向を示している。臨界速度に及ぼす粒度の影響は、次のようにまとめられている。1) 20 μm 以下の粒子が多い程、輸送能力は改善され、 v_{krit} も低下する。2) 約 40% の微粒子を含む場合、 $0.05 \leq k \leq 0.2$ で v_{krit} は k に少し依存するだけである。3) 約 20% の微粒子を含む場合、 k の増加に伴い v_{krit} は減少し $k = 0.2$ で最小値をとる。管内抵抗と Re 数との関係が調べられた。Re 数の増加に伴い λ の存在領域は減少し、純水系で得られている曲線に接近している。一方 Re 数の減少に伴い、これは曲線の下部に移動している。 λ と k との関係は、Tubarão の場合 k の増加に伴い λ は低下して最小値をとり再び増加しているが Kursk の場合は、 k の依存性を示していない。(小林一彦)

精錬用鉄を製錬する際の熱風の酸素富化の効率について

(V. A. ULAKHOVICH, et al.: Stal, (1978) 8, pp. 697~700)

高炉の熱風に酸素を富化し、天然ガスを吹込む複合送風の効率をいろいろな熱風温度について理論的に解析した。これまでに提案されている理論式を用い、チェレボベッキー冶金工場の高炉の操業実績を基準として解析した。

理論燃焼温度は 1 958~1 961°C、熱風温度は 1 000~1 400°C、熱風の酸素含有量は 28.3~40%、天然ガスの吹込み量は 110~165m³/t(鉄)の全範囲について計算した。

直接還元率は、酸素および天然ガスの増加とともに減少するが、熱風温度の低いほどその減少率が大きい。これは熱風温度の上昇によつてコークス消費が減り、還元ガスが減少するため直接還元率の減少が小さい、ということの説明できた。同じような理由により、炉頂ガス量および炉頂ガス温度と熱風中の酸素濃度の関係を説明することができた。

羽口附近で燃焼するコークスからの熱放出量は熱風中の酸素含有量の増加とともに減少し、その減少率は熱風温度の高い程大きかつた。天然ガスの熱放出量およびコークスと天然ガスの熱放出量の和は、熱風温度 1 000~1 200°C では酸素濃度の増加によつて増大し、1 300°C ではあまり変化せず、1 400°C では減少した。

高炉の生産性は、熱風の酸素濃度が 28% から 40% に増加することにより、熱風温度 1 000°C では 20%、1 400°C で 18% 増加した。熱風温度が 1 300°C 以下では酸素富化によつて経済的効果が認められたが、1 400°C では 35% 以上の酸素富化によつて経済的効果が低下した。(郡司好喜)

—製 鋼—

アーク炉における電極の浸食の要因について

(G. R. JORDAN: Ironmaking and Steelmaking, 5 (1978) 4, pp. 177~183)

アーク炉の電極先端の浸食について操業要因との関係を調べ、浸食機構はアーク熱による蒸発が主体であることを述べた。

対象としたアーク炉は、実験室炉 (1t, 3.6MVA)、および実操業炉 (17~150t, 5.5MVA~65MVA) である。浸食の測定は、実験室炉では電極の外径、重量の実測、実操業炉では 400mm 望遠レンズによる写真撮影によった。

電極先端の浸食速度 Q_t (g/s) はアーク電流 I (kA) に明瞭に依存し、1~70kA の広範囲にわたって次の関係が得られた。

$$Q_t = 0.0267 I^{1.5}$$

このような関係は、アーク炉の実操業にも、また、変圧器の設計のためにも活用されよう。

電極の寿命の観点からは、アークの安定性の許す限り小電流、大電圧の操業が有利であることになる。ただし、この場合アークが長くなるので、水冷パネルを使用しない場合には耐火物寿命との兼ね合いが問題である。

さらに、上の関係は電極の直径に無関係であった。そこで、電極先端の浸食はアーク柱からの輻射による蒸発として蒸発速度分布を計算した。蒸発速度の大きい区域は電流の増加とともに拡がるが、いずれにしてもアーク柱近傍に限られる。例えば 11kA の場合、アーク柱中心から約 40mm である。よって 230~600mm ϕ の電極では直径に無関係であることが理解される。

また、実験室炉において電極の材質の影響が明らかにされ、浸食速度は比抵抗と正の一次関係にある。

電極先端の化学的な浸食は操業条件によつて変化するが、一般に、電極全消耗の 10% までであった。

スポーリングに関しては本報告では除外しているが、明らかに重要と考えられ、今後の調査の対象とするべき問題である。(矢野修也)

LD吹錬の新しい展望-物理化学的研究とパイロットプラント試験

(G. DENIER and H. GAYE: Rev. Mét., 75 (1978) 6, pp. 415~426)

IRSID では上吹き転炉吹錬の応用範囲を拡大するために、吹錬中および吹錬後に中性ガスを吹き込むよう 4 個のポーラスプラグを底にとりつけた 6t の試験転炉を設置し、種々の実験を行なった。本論文は実験結果とその物理化学的解釈を述べたものである。

普通通りランス高さの調節 (1.2m~0.6m) によつて得た脱炭、鉄酸化など各元素の推移パターンと同じものを吹酸量 (1.5 Nm³/min) とランス高さを一定 (1.2m) にしたまま適宜中性ガスを最大 2.5 Nm³/min (全量にして 1 Nm³/t) 底吹きすることによつても得ることができた。1.8 Nm³/min の中性ガスを絶えず吹き込んだ時は、底吹き転炉と同じ吹錬パターンが得られた。すなわち脱炭が先行し、吹錬末期に (FeO) が上昇して初めて脱りんが起つた。

中性ガスの底吹きが最も効果的なのは、酸素吹込後に

短時間吹く時であった。低りん中 (P 0.2~0.5%)、高炭 (C 0.5~0.8%) 鋼を作る場合 0.4 Nm³/t の中性ガスを 1 min 吹くことによつて、スラグメタル反応が促進され、スラグ鉄分はそれぞれ 4.3%、6.8% と大幅に下り、鉄の歩留りは 0.5% 上昇した。鉄分が下つても攪拌が良好なため、脱りんがさらに進むので、酸素吹錬中に蛍石を投入する必要はない。高りん鉄を使う時も 4~5 min 吹くことにより排滓せずに 10% の鉄分のスラグで 0.030% P まで下げることができた。これは攪拌によつて、スラグ・メタル反応がほとんど平衡に達したためである。

中性ガスを吹き込むことによりマンガンの酸化を抑えつつ極低炭鋼の溶製も可能である。例えば 0.3 Nm³/min \times 3.5 min の吹き込みで 0.06% から 0.02% まで脱炭し、さらに 5 min 間吹き続けると 0.007% まで低下した。この方法を応用すれば 1~2% Mn を含む低炭鋼 (0.03% C) を溶製するのに、高炭フェロマンガンが使用できる。すなわち 0.05% まで上吹き酸素吹錬、0.03% まで短時間中性ガス底吹き、排滓、石灰添加を練て、高炭フェロマンガン添加、酸素・中性ガス混合ガス (例えば 40% O₂) による底吹き吹錬を行ない、Mn 歩留まり 60% を得た。中性ガス吹き込みの時の脱炭は $C < 0.05\%$ では化学反応律速、 $C > 0.3\%$ では溶鉄中酸素の物質移動律速であるとして、実験結果を整理し、反応機構をモデル化している。(佐野信雄)

ティッセンのブルックハウゼンとルーロルト酸素製鋼工場における真空脱ガス装置の操業

(H-D. PRLIPSEN and R. A. WEBER: Stahl u. Eisen, 98 (1978) 15, pp. 747~753)

ティッセングループのすべての塩基性酸素工場では、取鍋内溶鋼の二次精錬として Ar 吹込あるいは真空処理などの設備を備えている。ここではブルックハウゼン第一製鋼工場の DH、ルーロルト第三製鋼工場、ハッチングン製鋼工場の RH 脱ガス装置の操業について述べた。

脱水素についていえば、高炭素鋼の鍛造用鋼、線材用鋼、および軌条用鋼の製造において、真空処理によつて圧延後にひび割れが生じないほどに鋼中水素を低減している。RH 処理中に加炭することによつて、簡単に 1.0 ml/100g 以下に水素を低減できる。ハッチングンの RH 処理では 1976 年 12 月~1977 年 1 月までの鍛造用鋼の水素含有量は平均値 ($n=55$) で、処理前 3.04、処理後 1.07 ml/100g であつた。

脱炭は、真空処理により極低炭素含有量に確実に調整でき、処理前 0.035% の炭素が 20 min の処理で 0.006% になる。

清浄度についていえば、軌条用鋼の製造において特に清浄度が重要となるが、第一製鋼工場における数多くの検鏡結果により、真空処理による清浄度と酸化物系介在物の組成の改善が明らかとなつた。

合金元素の調整は、第一製鋼工場の DH による電気鋼板の製造例で示されるように、酸化されやすい Al, Si などの合金元素の添加を真空装置内で行なうことによつて良い歩留り、適中率を得ている。さらに第三製鋼工場における硬鋼線の製造のように、多連鑄を行う場合には、C, Si, Mn, Al などの合金元素を同一化学組成になるように、よく制御して調整できている。

このようにティッセンにおいては、DH, RH脱ガス装置により、脱水素、脱炭、清浄度、合金元素の調整を確実かつ経済的に行なっている。(斎藤健志)

Al 線供給法による連铸用溶鋼の Al 濃度の的中

(M. HATER, et al.: Stahl u. Eisen, 98 (1978) 16, pp. 821~824)

溶鋼への Al 添加には、Al と溶鋼の密度差による混合不十分、空気、スラグ、耐火物との反応による Al ロスの推定が困難という問題がある。適切な Al 添加法として、Al 粒吹込み、Al 弾投射、Al 線供給法が開発されているが、Al 線法がその簡便さから広く用いられてきた。従来の Al 線法は高速回転するコイルの取り扱いの困難、コイル単重により供給量が限られるなどの欠点を有している。これを改良する方向で Hoesch 社では新法を考案した。即ち、コイルは静置しておき、駆動ロールにより線を上方に引き出し、ガイドを介して溶鋼に送り込む手法である。その結果、予備コイルを容易に接続でき、コイル単重の制限が解消して高速大量供給を安定して行なえる。また安全性も高い。同社には 12 mm 径の Al 線を最大 6.4 m/s の速度 (116 kg Al/min) で供給し得る装置が設置されている。

Al 線の溶鋼への侵入、溶解挙動についてのモデル計算は別途報告されているが、要約するならば以下になる。Al 線の侵入と同時に外周に鋼の殻が形成され、Al が溶解した後でも殻が存在することにより Al は鍋底にまで運ばれる。鍋底で溶鋼に混合してゆくことにより、Al 分の均一化は短時間のうちに完了する。

鋼中 Al 濃度の的中を期すためには迅速な分析手法も必要となる。成分許容範囲が大きい場合には、 Al_{sol} ~ 0.05% で $\pm 0.009\%$ の精度を有する酸素濃淡電池法を活用できる。要求が厳しい場合には途中で試料を採取し、5 min 内に得られる分光分析値に基づいた Al 線供給を最後に行なう。後者の手法により、深絞り用低炭素鋼の Al 的中率は 90% に達し、バラツキも小さくなる。Al 歩留りはガスバージを行なう場合でも上昇した。

(桜谷敏和)

溶融金属中の溶存酸素を電気化学的に迅速に決定するための新しい浸漬型センサー

(D. JANKE and K. SCHWERDTFEGGER: Stahl u. Eisen, 98 (1978) 16, pp. 825~829)

本研究は現在使用されている一端閉管の固体電解質方式あるいは石英管の先端に固体電解質を取付ける方式の溶鋼用酸素センサーよりも価格の安いものを開発することを目的としている。

開発したセンサーは直径 1 ないし 2 mm の Mo 電極の上に厚さ 0.1 ないし 0.3 mm の Cr と Cr_2O_3 の混合粉末を付着させ、さらにその上を厚さ 0.1 ないし 0.3 mm の安定化 ZrO_2 で被覆する。 ZrO_2 は 7%CaO, 2%あるいは 2.5% MgO にて安定化されている。Cr と Cr_2O_3 は Cr 粉末を酸化性酸素アセチレン炎中に噴射させることにより付着させる。固体電解質も同様にして付着させる。このようにして作ったセンサーを Needle センサーと呼んでいる。

このセンサーを用いて 0.00005 から 0.030 の間の酸素活量を有する純鉄の酸素活量を測定した。0.005 以下の酸素活量は Al 添加によつて得た。測定はアルミナル

ツボ中に溶解しているアルゴン雰囲気下の 1600°C の溶鉄にて行なわれた。Needle センサーで測定した酸素活量は、一端閉管方式の従来のセンサーで同時に測定した酸素活量と良く一致した。また、酸素濃度 10⁻³% 以下では従来法と同様に電子導電性の補正をする必要がある。酸素活量の変動に対するセンサーの応答速度は、従来方式よりも本方法の方が速い。

溶鉄中の Al を化学分析し酸素の活量との対応を見たところ、1~10⁻³% Al の範囲で酸素の活量は常に平衡値よりも高く出たが、本方法と従来法との差はない。

(雀部 実)

— 性 質 —

AISI 4340 の微細組織と破壊靱性に及ぼす段階焼入れの効果

(K. H. KHAN and W. E. WOOD: Met. Trans., 9A (1978) 7, pp. 899~907)

いくつかの低合金高張力鋼のオーステナイト化温度を 1473K に上げると、強度をほとんど低下させることなく、焼入れおよび焼入れ焼もどし状態の破壊靱性が向上することが知られている。この改善はマルテンサイトラス間の薄い残留オーステナイトによるとか、偏析の減少効果であるとか、炭化物の溶解によるなどの説明が従来提案されている。本報告は、これらの合金鋼組織に認められる双晶の役割に着目したものである。

用いた鋼は AISI 4340 (0.40%C-0.69%Mn-0.32%Si-0.69%Cr-1.87%Ni-0.20%Mo-0.16%Cu) で、この試料を 1473K, 1h オーステナイト化後、直接油焼入れしたもの、および 1473K から一度 1373 または 1143K に焼入れて 10 min から 1h 保持した後油焼入れしたものを 473K, 1h 焼もどして、その微細組織と靱性を調べた。

破壊靱性は中間保持温度が下がるほど、また中間保持時間が長くなるほど、低下する。組織上はこれに伴い双晶の量が増加する。二段焼入れを行なっても残留オーステナイトの量と分布にはほとんど変化が認められないので双晶量が増加すると靱性が低下し、準へき開破面を示すようになると考えた方がよい。二段焼入れによる双晶量の増加は偏析によつて説明できる。すなわち、オーステナイト化温度が低下すると偏析が起こり、偏析部分の積層欠陥エネルギーが減少し、その部分に双晶が形成される。

(菊池 実)

— 物理冶金 —

オーステナイトの分解に及ぼす変形の効果：I フェライト反応

(D. J. WALKER and R. W. K. HONEYCOMBE: Metal Science, 12 (1978) 10, pp. 445~452)

鋼の加工熱処理にはオースフォーミングと制御圧延とがあり、それらの実用化について、特に最終製品の機械的性質の最適化については、多くの研究が行なわれてきている。しかし、これら加工熱処理の組織に及ぼす影響についての基礎的な研究は少ない。本報告はオーステナイトに変形を加えると、これがその後の $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態にどのような影響を与えるかを十分注意深く制御した条件下で研究したものである。

En24 (0.36% C-1.1% Cr-0.27% Mo-1.45% Ni) 鋼をおもに用いた。この試料をオーステナイトの安定な 550°C で 10, 20, 30% 引張変形した後、600~700°C で初析フェライトおよびパーライトに変態させた。このときの変態速度測定と組織の光学および電子顕微鏡観察を行なった。

オーステナイトを塑性変形すると $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態を著しく促進する。例えば、650°C における $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態開始時間は、未加工試料では ~600 s であるが、30% 加工すると ~40 s となる。組織観察によるとフェライトの核生成速度も前加工によつて増大している。すなわち、未加工試料ではオーステナイト粒界に生成していたフェライトが前加工を施すと粒内にも生成するようになり、フェライトの結晶粒径は、未加工試料の 10 μm から 30% 加工によつて 1-2 μm に減少する。この結果、降伏応力は 430 MNm^{-2} から 660 MNm^{-2} まで 53% 増大する。フェライトの粒内核生成位置は変形によつて形成されたオーステナイト粒内の亜結晶粒界であり、生成したフェライトは変形帯に沿つて成長する傾向をもっている。

(菊池 実)

炭素鋼をクロマイジングしたときに形成される炭化物コーティング

(L. ZANCHEVA, et al.: *Mes. Trans.*, 9A (1978) 7, pp. 909~915)

炭素鋼のクロマイジングによつて炭化物の表面層が形成される様子を熔融塩法によつて調べた。クロムは、ハロゲン化クロムのガスによつて輸送され、鋼表面で分解してクロムを多量に含んだ炭化物層が形成される。本研

究の目的は、こうして生成した複合炭化物層の成長に関する詳細な解析を行ない、平衡状態図との比較検討を行なうことである。

信頼性の高い実験データを得るために、1000°C における長時間のクロマイジング処理を 0.2~1.65 wt% C の炭素鋼を用いて行なった。NaCl (40 mol%) + KCl (40 mol%) + CrCl₂ (20 mol%) の混合塩を熔融塩として用い、アルゴン雰囲気中におけるクロマイジング処理を行なった。排出されるアルゴンガス中の酸素分圧は、常に 10⁻¹⁸ atm 程度であつた。金属組織学的方法と炭化物中の Fe, Cr 量の測定とから、炭化物の種類を決定した。

0.2 wt% C 鋼では、 γ 相の外側に薄い M_7C_3 層が、さらにその外側に M_{23}C_6 の厚い炭化物層が生成する。 M_7C_3 層は、鋼中の初期炭素濃度が高くなるほど厚くなる。1.65 wt% C 鋼では、 γ と M_7C_3 との間に M_3C (セメントライト) が現われる。 M_7C_3 および M_3C の成長速度は鋼中の初期炭素濃度の増加とともに大きくなるが、 M_{23}C_6 では逆に小さくなる。炭素活量は、試料の中心で最も高く、表面に近づくほど低くなる。炭素活量とクロム濃度を両軸にとつて表わした Fe-Cr-C 三元系平衡状態図によると、初期炭素濃度の低い鋼ほど、 $\gamma + \text{M}_3\text{C}$, $\text{M}_3\text{C} + \text{M}_7\text{C}_3$ 二相領域における炭素活量は小さくなるが、 $\text{M}_7\text{C}_3 + \text{M}_{23}\text{C}_6$ 二相領域における炭素活量は大きくなる。本実験における炭化物の生成は、炭素の拡散によつて制御されると考えられる。低炭素鋼では、炭素の拡散の原因となる炭素活量差が $\text{M}_7\text{C}_3/\text{M}_{23}\text{C}_6$ 界面と M_{23}C_6 単相領域との間で大きくなり、 M_{23}C_6 の生成速度が、高炭素鋼における場合よりも大きくなる。(梶原正憲)