

抄 録

—製 鉄—

レドカー高炉設計の考え方

(A. H. DIXON, et al.: Ironmaking and Steelmaking, 8 (1981) 4, pp. 145~152)

Redcar 高炉は炉床径 14 m, 内容積 4 572 m³ である。この高炉の設計上の特長, 問題点について論じている。

1. 1 000 t/d 出鉄時で原料配合は焼結鉱 60~40%, ベレット 40~60%, コークス比 450 kg/t をベースとして, 貯鉱能力はコークス 12 h, 鉱石 16 h である。装入装置はベルレストップであるが設計段階ではこのサイズのベルレス高炉は稼働しておらず, 共同研究により西独のベルレス高炉の経験とリグテスト結果から操業上, 保全上の技術を確立した。特に Redcar では 20 000 t/d の原料を扱うため, 摩耗が大きな問題であったが, ギャボックス内の原料流調整と旋回シュート内への効果的なストーンボックスの設置によりシュート寿命は 2 倍に延長した。

2. 高炉鉄皮は 4 本柱檜内にあり, フリースタンドである。鉄皮設計にあたり, ステーククーラーパイプの穴配置を有限要素法, アルミ使用による応力テストにより研究した結果, 応力は穴の上下に集中, 又数値は穴の形状, 穴の接近度によることが判明した。炉命には耐火物の品質より効果的な冷却システムの方が重要であり, 鉄皮は炉床からシャフト高さの 70% までステーク冷却にした。コスト面よりも過熱の場合の即応性とより良い冷却コントロールを行うため, 強制水冷却方式を採用した。鋳床は全く同一の 2 面で, 斜路によつて車の出入りが可能である。移動機械による作業ができるよう階段を避け, 又計画的な種修理ができるようクレーンサービスエリアを拡大した。

3. 高温熱風炉の応力腐食割れ対策として, 断熱レンガと耐火レンガ間, 更に鉄皮の内側にアルミ箔を張つたが稼働後の観察では十分な効果を有している。ガス清浄設備では Bishoff のコーンシャフトの摩耗対策として, コーンの向きを変える改造を行つた結果, 激しい振動が発生し, 高炉生産量は 65~70% 以上にあげられなかつた。これはガス流れに起因することが判明し, ガス流の中心化をはかるよう改造することで, 激しい振動を除去した。(飯野文吾)

画像処理による高品位焼結鉱の還元粉化の解析

(D. JEULIN: Rev. Mét., 78 (1981) 6, pp. 481~499)

試験鍋あるいは実焼結機で製造された原料および組成の異なる 34 種類の高品位焼結鉱を用いて, 画像処理装置による鉱物組織の調査を行い, 還元による脆化(いわゆる還元粉化)の原因について検討した。

鉱物組織を定量的に表示するパラメータとしては, 各鉱物相の体積比 (V_{vi}), 平均直径 (\bar{L}_i), 比接触表面積 (単位マトリックス体積あたりの 2 相間の接触界面積) (S_{vi}) およびその比などを用いた。

その結果, 原料が一定あるいはそれに近い条件で製造

された焼結鉱の間で比較すれば, ヘマタイトの体積比 V_{vH} あるいは平均直径 \bar{L}_H の増加と還元粉化率とは比例しているが, 原料が異なる焼結鉱間で比較した場合, 必ずしもこの関係は成立しない。調査したすべての焼結鉱について, その還元粉化性を比較的良く説明できるパラメータは, S_{vi} あるいは次式で表される接触指数 I_c であることが判明した。

$$I_{cij} = (S_{vij}/S_{vi}) (S_v/S_{vj})$$

ここで, S_{vi} : i 相の比接触表面積 S_{vij} : i - j 相間の比接触表面積 S_v : 全相の比接触表面積の和 ($= \sum_i S_{vi}$) i, j : H (ヘマタイト), M (マグネタイト), F (カルシウムフェライト), G (スラグ), P (気孔) すなわち, 還元粉化率は, S_{vHP} , S_{vFG} あるいは I_{CFG} の増加とともに上昇し, S_{vM} , S_{vG} , I_{CMG} あるいは I_{CHP} の増加とともに減少する。従つて, 多孔質の残留ヘマタイトを含む組織はより還元粉化しやすく, マグネタイトとスラグが交絡している酸性型組織は粉化しにくい。

以上の結果および文献報告に基づいて, 焼結鉱の還元粉化性を改善するための具体策について言及した。

(山岡洋次郎)

—製 鋼—

転炉で酸素-燃料を底吹きする時のスラグ生成の特性

(G. S. KOLGANOV, et al.: Stal' (1981) 6, pp. 17~20)

10 t 試験転炉を用い, 底吹き精錬におけるスラグ生成過程を研究した。直径 22 mm のノズルを 4 本底部に設置し, 1.5~2 mm の間隙を通して天然ガスを供給し酸素ノズルを保護した。精錬しない時には空気によつてノズルを冷却した。溶銑は 0.075~0.25% の P を含み, その温度は 1 140~1 210°C の範囲に変動した。塊状 CaO 750~2 000 kg, 粉末 CaO 600~1 200 kg, CaF₂ 50~100 kg を添加し, 送酸速度を 2.5~6 m³/t·min とした。

スラグの塩基度は精錬の進当とともに増加したが, 増加率は CaO の添加法によつて異なつた。終点スラグ中の ΣFeO は CaO の使用量に比例して直線的に増加した。また終点スラグの塩基度は, CaO 使用量が溶鋼 t あたり 87 kg の時に最高の約 4 となつた。これらの結果から, CaO の最適使用量は 45~80 kg/t であることが分かつた。

溶鋼温度は CaO 使用量の増加とともに低下したが, 使用量の少ない時には送酸量の増加とともに溶鋼温度は上昇した。しかし, CaO 使用量が 150 kg/t になると送酸量に関係なく溶鋼温度はほぼ 1 600°C となつた。脱磷速度 V_p は粉末 CaO を使用した時には全精錬時間の 40~50% で極大となるが, 塊状 CaO では極大となる時間がおそくなつた。脱磷率 η_p は塩基度 2 から 2.5, ΣFeO が 8% から 16% に増加するといちじるしく増加することが明らかになつた。(郡司好喜)

製鋼における吹錬と攪拌の複合プロセス

(K. W. LANGE: Stahl u. Eisen, 101 (1981) 13/14, pp. 90~96)

塩基性酸素製鋼から「複合吹錬」への変革の理由を述べ、その長所と短所について考察したものである。酸素に加えて他のガスを鋼浴中深く吹き込む、といった吹錬と攪拌とを結びつけたプロセスは塩基性酸素製鋼のさらに発展したものであり、上吹きと底吹きを避け長所を利用しようとするものである。上吹き塩基性酸素製鋼では化学ポテンシャル、温度、メタルとスラグの流れ、に局所的、時間的な差異が見られるが、底吹転炉では底からのページガスによる強い攪拌でこのような非平衡を小さくしようとしている。この目的のためにさまざまな方法が考えられていて、Ar, N₂, O₂, CO₂, 炭化水素などが、いくつかの羽口、被覆管、ポーラスプラグを通して転炉の底または側壁から吹き込まれる。フラックスの同時吹き込みも行われているし、さらに浸漬ランスも考えられている。複合吹錬法ではランスは単に酸素供給装置であり底吹きガスによる攪拌の効果がメタル-スラグ間の酸素の分配を制御する。適度な上吹きとそれに対応した底吹きガスとによつて、少ない鉄ロスで確実な脱りんができる。攪拌によりスラグの酸化度を低くし、平衡へより近づくことで復マンガンできる。0.01~0.1 m³ Ar/t-min で鋼浴中炭素濃度は 0.05% 以上になり、0.05% 以下にするために Ar は 0.1~0.3 m³/t-min 以上必要である。しかしノズルが冷却してつまるほど吹くと吹錬は不安定になる。複合プロセスに関する今までの経験で攪拌条件の著しい改良が見られたが、スラグとメタル間の酸素分配をより確実に制御するには特に注意を払わなければならないことがわかった。(桃川秀行)

取鍋精錬の基本操作

(W. PLUSCHKELL: Stahl u. Eisen, 101 (1981) 13/14, pp. 97~103)

近年、取鍋精錬は、製鋼プロセスの中で重要な位置を占めている。本論文は、取鍋精錬における基本操作のいくつかについて、応用工学の面から論じている。

精錬時の温度降下については、次の式が提出されている。

$$\Delta T = (\Delta T)_{1\% \cdot \%X} + [4\%X]_D \cdot K_D + [4\%X]_R \cdot K_R \quad (1)$$

ここに、%X は、添加元素Xの濃度、[4%X]_D、[4%X]_R は、脱酸および酸化物との反応により消費されるXの量、(ΔT)_{1%}、K_D、K_R は、おのおのの係数である。実際には、(1)式で計算される化学的な温度変化の他に、伝熱、放射による物理的な温度降下があり、それは、45°C 程度である。取鍋から溶鋼を注ぐ場合には、溶鋼の流出速度を常に一定に保つ必要があり、そのためには、ノズルの長さを考慮に入れなければならない。ガスバブリングを行うと浴中には通常、バブルフローが形成される。ガス吹き込み時の、浴の流れの速さを計算すると、エネルギー消費 P(Wt⁻¹) と、混合時間 τ(S)の間には、十分定量的であるとは言えないが、(2)式のような関係が成立する。

$$P \cong 800 \cdot \tau^{-0.4} \quad (2)$$

粉体吹き込みの技術は、まだ完全には確立されておらず、粉体/キャリアガスの比を増大させ、しかも安定した粉体の輸送を行うことに、努力が払われている。機械的なインジェクション法は、アルミニウム添加に応用されている。

取鍋精錬を成功させるためには、出鋼時に混入するスラグ量を少なくすることが必要であり、溶鋼残留法や、フローティングプラグ法などがあるが、その他の新しい方法が、現在開発段階にある。(伊藤久久)

酸素上吹転炉による中低炭素フェロマンガンの製造 (張惠榮, 他: 鋼鉄, 16 (1981) 5, pp. 15~20)

中低炭フェロマンガンは製鋼の脱酸に必要であり、2基の電気炉を用い、まず Mn 鉍と炭素を1台の電気炉でシリコマンガンを製造し、別の電気炉でこれと Mn 鉍により製造されていた。LD 転炉を用いて中低炭フェロマンガンを製造するのに原料としては高炭フェロマンガンを利用する。これらの反応は熱力学的には Mn, Fe, C, Si, P, S など各元素の酸化に対する自由エネルギー変化と温度との関係から計算できる。

試験は 560 kVA の電気炉で溶融高炭フェロマンガンを溶製しスラグを取り除く。これを 1300°C で 0.8 t 内容積 0.63 m³ の転炉に移し、ランスはノズル径 7.5 mm の単孔で Mn 70.3, C 5.65% の高炭フェロマンガン 1100 kg に酸素を 8 atm で 3.8~4 m³/min で吹き込み、生石灰 162 kg と冷高炭フェロマンガン塊 200 kg を入れながら温度を 1700~1850°C に制御し、最後に 12 kg の螢石を入れた。酸素 145 m³ 吹き込んで時間は 38 min かかった。酸素を止めてから、Mn 65.11%, Si 17.0% のシリコマンガンを 240 kg を入れ転炉を揺動して溶かし、1650°C で 15 min 静置し出鋼した。中炭フェロマンガンは 1240 kg で Mn 71.4%, C 1.29%, P 0.276% のものが得られた。スラグは 500 kg, Mn 回収率は 83.36% で、スラグは高炭フェロマンガン製造工程に戻される。P はやや高くなる。製品の炭素 1.2% のとき Mn 回収率 85% で高く合理的である。CaO/SiO₂ は 1.1~1.2 がよい。シリコマンガンは理論量の 130% 加えるのがよい。酸素は脱炭に 49.74%, 脱 Si に 9.24%, Mn と Fe に 41.02% 利用された。

浴温度 1960°C 以上では炭素 0.5% 以下となり、酸素使用量は 170 m³/t であり、1750°C では炭素 1.5% 以下となり、酸素使用量は 120 m³/t であり、終点温度と炭素量の相関は高かった。(相馬胤和)

一 鑄 造

鋼の連続鑄造時に用いられるフラックスの粘度

(M. D. LANYI and C. J. ROSA: Met. Trans., 12B (1981) 2, pp. 287~298)

市販連鑄フラックス 18 銘柄の 1223~1723 K における粘度を回転円筒法で測定するとともに、急冷および空冷後試料の目視と顕微鏡観察、X線回折によつて結晶相析出の有無の調査ならびに結晶成分の同定を行った。

1) 1573 K における粘性の活性化エネルギー E_η (kJ/mol) は、次式で表され、59~215 kJ/mol の範囲にある。

$$\log E_{\eta} = 0.279 \log \eta + 0.166 V' + 2.035$$

$$V' = (X_{CaO} + X_{MgO}) / X_{SiO_2}$$

ここで、η は 1573 K での粘度 (Pa·s)、X_i は成分 i のモル分率である。

2) 1573 K における粘度 η (Pa·s) は、次式で表され、SiO₂ および Al₂O₃ のモル分率に依存する。

$$\eta = 1.8 \times 10^{-3} \exp [12.2 (X_{SiO_2} + NX_{Al_2O_3})]$$

ここで、 N は Al_2O_3 の “silica equivalence factor” であり、酸化物融体中の過剰酸素イオン濃度に関係する。本実験範囲では、 $N=1.5$ が得られた。

3) $\log \eta$ vs $1/T$ の曲線に現れる折点(break-points)は、熔融フラックスの冷却時に析出する結晶相に起因する。この結晶相の析出傾向は、フラックスの粘度と塩基度 (wt%CaO/wt%SiO₂) に依存する。低粘度の場合、高塩基度の場合、低粘度で高塩基度の場合には結晶相が析出しやすい。

4) CaF_2 , $Ca_4F_2Si_2O_7$ (cuspidine), $Ca_6Si_6O_{17}(OH)_2$ (xenotlite), NaF が結晶相として同定されたが、 Al_2O_3 を 36% まで富化させた場合でも、Al を含む結晶相は認められなかった。 Al_2O_3 の添加は、フラックスのガラス化を促進すると考えられる。

5) 1部のフラックスでは、2液相分離が観察された。
(中戸 参)

一性 質

304 ステンレス鋼のクリープキャビティ生成

(I-W. CHEN and A. S. ARGON: Acta Met., 29 (1981) 7, pp. 1321~1333)

304 ステンレス鋼のキャビティ生成を調べるために二つの実験方法を用いた。一つは固溶化熱処理後、775°C で 40 h 保持して、粒界炭化物を析出させた試料を、真空中で、600°C (130~180 MPa) と 700°C (76~120 MPa) でクリープさせた後に、極低温で衝撃破壊させた。もう一つの実験方法は、クリープさせた試験片の表面を一結晶粒程度まで研磨し、再び同一条件で短時間クリープさせることにより、粒界すべりに伴ったクリープキャビティを SEM 観察したもので、約 0.2 μ m の分解能がある。この方法によれば、不均一に核生成したキャビティの成長に粒界すべりが関与していることがわかる。この粒界すべりは局所的な応力集中によつて引き起こされる。観察されたキャビティの大部分は成長過程のものであつた。双晶などの微視的変化はキャビティ生成に大きく影響する。くさび型のクラックはこれまで、粒界三重点近傍でのすべりによる分離と考えられていたが、本研究ではキャビティの成長連結によるものが大部分であつた。

粒界すべりとその結果として生ずるキャビティは、クリープ変形の開始直後から認められる。ある限界応力より上ではキャビティは時間と共に増加する。しかし、長時間になるとキャビティ生成速度は、サイトの消耗のため、減少する。本実験結果によるキャビティ生成速度の応力依存性は R_{ai} の核生成理論とは明らかに異なる傾向を示した。これは本実験で観察されたキャビティのサイズが核生成理論で考えているものより 2 桁程大きいと思われる。
(門馬義雄)

熱間静水圧加圧処理された Ni 基超合金の初期粒子界面のオージェ電子分析法による研究

(R. E. WATERS, et al.: Metals Technology, 8(1981), 5, pp. 194~200)

不活性ガスアトマイズ粉末からの粉末冶金法による Ni 基超合金部品は組織が均一で結晶粒が微細であるため、中間温度域での強度が高いという特長を持っている。しかし最近までガスアトマイズ中、粒子表面に生成

した酸化物膜が成形後もそのまま残存し、炭化物析出の核になり、靱性を劣化させるため、高い性能を要求される超合金には採用されなかつた。現在の不活ガスアトマイズ技術では、酸素量が 100 ppm 以下まで達成できるが、この粒子界面の問題が完全に解決されたわけではなく、また界面近傍の組成分析もほとんど行われていない。

本研究ではオージェ電子分析法を用い、元来の化学組成と初期粒子界面の組成の比較および、酸化物、炭化物の同定を行つた。用いた試料は真空溶解後高圧 Ar ガスアトマイズした低 C Astroloy (17Co, 15Cr, 4Al, 3.5Ti, 0.03C, Bal Ni) で、300°C で振動脱ガスし、軟鋼製容器に封入、950°C × 16 h 予熱後、1150°C, 70 MPa で 1 h HIP した。

アトマイズ時の粉末粒子表面には 5 nm 厚みの酸化皮膜が観察されたがこれは粉末製造中に生成された MoO_3 であると考えられる。結晶粒界沿いに $M_{23}C_6$ 炭化物を生成するための長時間熱処理後には 160 μ m 粉末粒子表面上に表面積全体の 55% を覆う 70-100 nm 厚さの TiC の 2 次析出が認められた。この炭化物は酸素濃度が高いところに存在しており、粉末アトマイズ時に生成した Ti 酸化物が炭化物析出の核として働いたことが分かつた。また HIP した試料のオージェ破面観察によつて初期粉末粒子表面上に酸化物が存在することが判明した。個々の粉末粒子と HIP された材料の初期粒界の正確な組成の比較はできないが、HIP 中も個々の粒子の表面層が残存しており、この表面が破壊の優先経路になつていることは明白である。
(徳山幸夫)

環境敏感破壊を測定する平面ひずみ引張試験

(R. E. STOLTZ: Met. Trans., 12A (1981) 3, pp. 543~545)

水素脆化や応力腐食割れのような環境脆化感受性を、平滑または切り欠き付き丸棒試験片を用いて雰囲気中で引張試験し、伸びまたは絞りといった破壊延性の低下を指標にして評価することが行われている。しかし、この方法のみでは必ずしも環境脆化の感受性を正確に評価しているとは限らず、さらに検討することが必要である。本研究は、水素雰囲気中における引張延性の低下に及ぼす試験片形状の影響について調べたものである。

A 516 鋼 (C: 0.12%, Mn: 1.04%, Si: 0.21%) を供試材とし、(a) 直径 4.9 mm, 標点間距離 25.4 mm の平滑丸棒試験片、(b) 切り欠き底における正味直径 3.8 mm, 切り欠き先端半径 0.05 mm の 60°V 切り欠き付き丸棒試験片、および (c) 20.3 × 5.0 × 1.27 mm のウェブ部を有する平面ひずみ引張試験片の 3 種類の試験片を用い、空気中と 1 atm の水素気流中で引張試験を行つた。クロスヘッド速度は、試験時間がいずれも約 30 min となるように、平滑試験片で 1.27 mm/min, 切り欠きと平面ひずみ試験片ではそれぞれ 0.5 と 0.127 mm/min とした。

空気中の絞り値に対する水素気流中の絞り値の低下の割合は、平滑試験片では 0, 切り欠き試験片では 16%, 平面ひずみ試験片では 32% であり、試験片形状の影響が大きいことが示された。走査電顕で破面を観察した結果、水素気流中で試験したすべての試験片に、表面から

約 0.1 mm の擬へき開状の水素脆化破面が認められた。それにもかかわらず、平面ひずみ試験片で延性低下が最も大きかったのは、塑性論的に平面ひずみ変形が表面欠陥に対して最も敏感であるからである。この結果から、水素脆化または応力腐食割れ感受性を引張延性の変化によつて評価しようとする場合は、平面ひずみ延性が最も正確な指標となると思われる。(青木孝夫)

Ni 合金の水素脆化におよぼす時効の影響

(R. J. COYLE, Jr. et al.: Met. Trans., 12A (1981) 4, pp. 653~658)

冷間加工し、時効させた Ni 基合金ハステロイ C-276 の水素脆化に及ぼす時効の影響について調べた。特に P の粒界への偏析および規則化の影響を区別できるように実験を構成した。

実験は、マイクロ組織の特性化、水素チャージの研究、硬度の測定、水素雰囲気中および大気中での機械的試験 (Uhlig 遅れ破壊試験と引張試験)、そしてすべり線の観察から成る。

供試材は、1 mm 厚の C-276 の冷間圧延材を用いた。化学組成は、55Ni-16Cr-16Mo-5Fe-4W-2Co である。各試験は、68% 冷間加工した試料とその後時効させた試料について行つた。時効は、大気中において 500°C で行い、その後空冷した。

遅れ破壊試験は、あらかじめ C 形に曲げて 7~9% の

歪みを加えた試料を硫酸中で負電圧を印加し H チャージしながら行い、破壊に至る時間で評価した。また時効させた試料は、時効時間を 1, 100, 1000, 2000 h とした。引張試験は、あらかじめ 4 h の水素チャージを行い、試験中もチャージを続行して行つた。時効時間は、100 h のみとした。また、試験は歪み速度 (2.5~125 $\mu\text{m/s}$) の関数として行つた。

遅れ破壊試験の結果と破面解析から、時効による脆化は、短時間および長時間の二つのプロセスを含むことが判明した。前者は、P の粒界偏析あるいは短距離範囲の Planar slip による。硬さ試験が 500°C では非常に急速に規則化が起こることを確かめている。後者は、長距離範囲の planar slip によつて生じる。planar slip は、粒界での応力集中を増大し、あるいは表面のすべりによるステップでのき裂発生を助長する役割を果たすと考えられる。

引張試験は、試験中に H の加速的な移動が起こることを示した。可動性転位による H の運搬の機構が考えられる。またすべり線の観察は、時効した試料は planar を呈し、非時効試料は波状であることを示した。その結果、時効試料では planar slip が生じ、転位の長距離自由経路を提供したこととなり、それはまた結果的に転位の雰囲気である H にも同様なこととなる。

(新村哲生)

編集後記

▶ 梅も盛りとなり、春の進む足どりもいよいよ確かなものとなつて来たようです。春が来てまた夏になりそして秋・冬を迎えるのが一年の季節の巡りということとは申すまでもありませんが、春から夏へ、いよいよ盛んになつて行く時、いずれ盛りとなつた夏の後、下り坂の秋・冬が訪れるということをおぼえて、身を引き締め、秋・冬の低調な時には、いずれ春が巡つて来ることを信じて望みを失わないという、人生に対する処し方をこの季節の巡りは教えてくれているようです。

そう言えば、日本の鉄鋼の季節は、今や夏至に達したところでしょうか、いや、まだ八十八夜の種まき時だとおつしやる方もおられるかも知れません。また、中秋の名月で、これまでの実りを前に満たされた心の片隅に、すでに秋を告げる虫の声が聞えているよとおつしやる方もおられるかも知れません。

技術の研究の立場からは、まだまだ鉄鋼技術の進歩のためにやるべきことがたくさんあるとおつしやる方

も大ぜいおられ、まだまだ八十八夜だという声が強いかも知れません。しかし、国際市場の情勢などを考える立場の方は、もう中秋の名月の気分でおられるかも知れません。そうこう考えると、いよいよ夏至だと覚えておくのがよいのかも知れません。

ヨーロッパ、中でも西ドイツでは、鉄鋼技術の開発研究や基礎研究のための経済が大へんひつ迫して来たようです。同じような傾向はすでに我が国でも始まりつつあるように思います。投稿原稿の長さの制限その他のことを私達の協会でもしなければならぬ状況になつて参りました。来るべき冬の時代? 来るかも知れない冬の時代?? へ向けて、どのように私達の研究開発の活力を保存し、その時をいかに耐え抜くか、少々構造的に考えなければならぬのではないかと思います。

ともかく、今は、例えば「圧延の国際会議報告」に見ますように、私達はその活動の真盛りにいるのだということは確かかと思ひます。(J. K.)

▶ 鉄と鋼会告にて数回にわたりご案内いたしてまいりましたが、今 3 月 1 日より投稿の論文は原則として刷り上り 8 ページ以内となりましたのでご注意ください。