

—原 料—

酸性、塩基性焼結鉄の高温還元挙動に関する研究

(K. GREBE, et al.: Stahl u. Eisen, 101 (1981) 15, pp. 17~24)

近年、高炉装入物の物理的、化学的特性の把握に対するニーズが、ますます、高くなっている。そこで、還元-軟化試験を行い、さらに、統計数学的アプローチにより、焼結鉄還元軟化挙動に及ぼすスラグ成分の影響を調査した。

還元-軟化試験は塩基度 $(B = (\text{CaO} + \text{MgO}) / \text{SiO}_2, \text{MgO} \leq 0.3) 0.25 \sim 3.5$ 、粒径 $4 \sim 6.3 \text{ mm}$ の焼結鉄 1000 g をレトルトに装入し、 N_2 雰囲気中で 1100°C まで加熱した後、 1100°C 一定、荷重 0.5 kg/cm^2 の条件下で、 $\text{CO} 40\%$ 、 $\text{N}_2 60\%$ の混合ガスにより還元して行い、被還元性、圧縮率、通気性について調査した。

主な結果は次のとおりである。

(1) 被還元性は $B = 1.5 \sim 2.5$ で最大となり、低塩基度側では、特に低下する。

(2) 圧縮率は、 $B = 1.5 \sim 2.0$ で最低値を示し、他の塩基度では $2 \sim 5$ 倍の値となる。

(3) 通気性は、 $B < 1.0$ で悪くなるが、他の塩基度については、ほとんど差がない。

以上から、 $B = 1.5 \sim 2.0$ の焼結鉄は、被還元性、荷重軟化性とも良好であるが、酸性、および、 $B \geq 2.5$ の高塩基性焼結鉄は、還元の初期過程で晶出する溶融スラグが空孔を塞ぐため、特に酸性焼結鉄では、通気性を損ない、被還元性の低下することが示唆された。

また、被還元性について、全ヘマタイト量、カルシウムフェライト量、ウスタイト量、圧縮率等を独立変数として回帰分析を行い、良い関係が得られた。

今後、さらに、精度よく高炉操業に応用できる結果を得るためには、高温下での軟化-溶融試験を行う必要がある。(西村 博文)

—製 鋼—

取鍋インジェクション攪拌法における脱硫反応の数学モデル

(N. EL-KADDAH and J. SZEKELY: Ironmaking and Steelmaking, 8 (1981) 6, pp. 269~278)

取鍋インジェクション脱硫法における脱硫反応について数学モデルを誘導し、コンピュータを用いた 6 t および 40 t 規模での計算結果を実操業結果と比較している。モデルの誘導にあたっては、Navier-Stokes の式から溶鋼内の速度分布を求めること、攪拌流中の硫黄の移動速度を求めること、酸素の影響を含めた硫黄の平衡論的な扱いを行うことによりインジェクション脱硫法での脱硫挙動を流体力学の分野の面から捉えて数式化できた。固体脱硫剤 (CaO , CaCl_2) インジェクションでは3相(溶鋼、ガス、脱硫剤)共存域およびスラグ-溶鋼界面の両方で脱硫が起こるが、Al 強脱酸した 6 t 鍋と弱脱酸の 40 t 鍋では挙動が異なっており、 6 t 鍋では3相共

存域で、 40 t 鍋ではスラグ-溶鋼界面で脱硫が支配的となつている。また脱硫速度は、反応場所への硫黄の移動律速となつていた。この数式モデルは実操業におけるマクロな脱硫挙動ともよく一致した。3相共存域での脱硫

速度 n'' は $n'' = -K_p \frac{6W}{\rho_p d_p} [C_{s,b} - C_{s,eq}(Z)]$ ここで、 K_p は物質移動係、 W は脱硫剤の単位重量 $C_{s,b}$ 、 $C_{s,eq}(Z)$ はそれぞれ溶鋼バルク中の硫黄濃度、脱硫剤中の平衡硫黄濃度を示す。また物質移動係数はKolmogoroffの理論から

$$N_{sh} = \frac{K_p d_p}{D_s} = [2 + 0.4 \left(\frac{\epsilon d_p^4}{V^3} \right)^{1/4} N_{sc}^{3/4}] \phi_p$$

を用いた。 ϵ は攪拌エネルギー速度、 ϕ_p は粒子の形状係数を示す。 $C_{s,eq}(Z)$ は軸方向の位置の関数で、

$$\frac{dC_s p}{dZ} = \frac{\rho}{W} \int_0^r c n' 2\pi r dr, C_s p = 0 \quad (Z = Z_0)$$

から求められる。これらの式をMITのコンピュータを用いて計算した。(越智 昭彦)

溶鋼中での流動、熱移動、物質移動を測定するための実験手法

(T. LEHNER: Scand. J. Met., 10 (1981) 4, pp. 157~162)

溶鋼中での移動現象を測定するために筆者がパイロットプラントで試みた実験手法を中心に概観し、冶金プロセス解析の研究を進める上での適当な装置規模に言及した。

取鍋精錬の分野では、溶鋼のフローパターンを知るために金、銀、スズなどのトレーサーを用いている。また、溶鋼中に浸漬したプローブに働く抗力の測定から、速度、乱流強度を知る方法を開発した。しかし、写真、熱電対、風速計などを利用した速度の測定は失敗した。

水平ジェットの到達距離は写真で判定する。 Ca_2O_3 、炭素粉などの粉体吹き込みにおける粉体の挙動調査は失敗した。しかし、溶鋼と合成スラグ、黒鉛、 CaCN_2 などの粉体がジェット領域内で反応する現象を確認した。

溶鋼中に黒鉛棒を浸漬し、その溶解速度から固-液間の物質移動を定量化した。本方法により耐火物の溶損状況、あるいはスクラップの溶解速度の研究が可能である。スラグ-メタル(液-液)間の物質移動を鉄鉱石または銅をトレーサーとして測定した。

反応機構の解析は活性化エネルギー、速度論的考察、介入物の組成を知ることによつて可能だが、それぞれ値のばらつき、活量の変化、試料採取などに問題が残る。

他の実験手法として、のぞき窓やX線による流れの可視化、IRカメラを使用するの総括熱収支の計算がある。

冶金プロセスの解析は、用途に応じて適切な規模の実験を選択し、最小単価でスケールアップ可能な結果を得るようにならなければならない。熱力学的平衡や流動の基礎的知見を得るためには実験室規模もしくはコールドモデル実験が望ましく、速度論的研究や新しい実験手法の

開発にはパイロットプラントが、またプロセスの最適化のためには実炉実験がよい。(加藤 嘉英)

アゾフスタール製鉄所での連铸タンディッシュ・ノズル寿命の改善

(A. P. NAGORNYI, et al.: Steel in USSR, 10 (1981) 9, pp. 472~474)

アゾフスタール製鉄所は 350 t BOF 2 基と連铸機 3 基を有し、プレーンカーボンおよび低合金高級鋼を製造している。

タンディッシュは 18 t で、40 mm の永久張りと 100 mm のウエアは耐火ねん土製である。ストッパーはハイアルミナ質、タンディッシュノズルは 66~70 mm 内径のジルコン質ノズル受けはムライトコランダム質、浸漬ノズルは石英質である。使用に際してガスバーナーで 1 100~1 200°C (3~4 h) 予熱される。連铸用耐火物は多連铸に耐える必要があり、タンディッシュからの安定した溶鋼供給が重要である。

連铸機稼動当初はストリッパーの止り不良に悩まされたので種々の鋼によるタンディッシュ耐火物使用テストを実施した。タンディッシュウエア部、ストッパーはともに使用後も健全であるが、ノズル受の損耗が大きかった。

ノズルとして不焼成ジルコン質を用いていたが、使用後接触部では非晶質 SiO_2 が 32.3%→40.9% に増加し、 ZrO_2 は 58.2%→49.0% と減少していた。この接触部における非晶質 SiO_2 の増加がノズル受の溶損をまねている。

鋼中の Al 含有量もジルコンノズル溶損に強く影響を与える。Al 含有量 0.025~0.045% の時不焼成ジルコンノズルは最高寿命 (620~660 t) を示す。Al 含有量が低いとノズル受が極度に溶損し、高いとノズル閉塞を起こす。

また不焼成ジルコンノズルは機械強度も低い。

以上の経験をもとに焼成ジルコンノズルを採用することとした。しかしながら試験使用時の問題として、予熱中の割れ発生があつた。この対策としてノズルの均一な加熱が必要であるので、石英質浸漬ノズルをセットしてストッパー開放状態での予熱を採用した。

これによりノズルの均一加熱が実現でき、ノズル寿命は 6~8 ヒート (1 200~1 400 t/TD·str) を達成した。鋼中 Al 含有量の影響は 0.015~0.045% の範囲では小さい。

以上の改善の結果、平均タンディッシュ寿命は 7.2 ヒート/TD、最高 9.5 ヒート/TD となり年間 200 000 ルーブルのコスト切り下げが得られた。(手塚 誠)

一 加 工

圧延中の強制水冷による制御圧延

(P. J. HEEDMAN, et al.: Metals Technol., 8 (1981) 9, pp. 352~360)

可逆圧延機による制御圧延は従来の熱間圧延に比べてはるかに長い時間が必要である。この工程時間を短縮するため、圧延中に水冷を行う方法がある。しかし保持期間中に激しく水冷すると板の表面に非常に細かい変形フェライト組織が生ずる危険性があり、また板の内部がどのような影響を受けるかという問題もある。これらを研

究するため 4 種の冷却方法を行い、うちもつとも有望な 2 種類の方法について詳細に実験を行い、さらに生産工場でも試験を行った。4 種の冷却方法は次の A~D であり、E は普通の制御圧延である。

A: 1 回の保持期間中に 1 回強水冷を行う。E: 1 回の保持期間中に 3 回普通水冷を行う。C: 2 回の保持期間中に普通水冷を行う。D: 保持期間なしで圧延、水冷を数回繰り返す。E: 水冷なしで 1 回空冷する。

まず V 添加鋼 (0.060~0.098%V) と Nb 添加鋼 (0.017~0.025%Nb) について試験し、その結果、機械的性質はすべての方法とも、方法 E と大差ないことがわかつた。つぎに方法 A と D を選り最終圧延率、圧延終了温度、スラブ再加熱温度、板厚の変化によつて予期せぬ影響がないかどうかを調べた。方法 A、D ともに普通の制御圧延 E と同じ降伏応力であり、靱性は方法 A では若干よくなり、方法 D では若干悪くなる。再加熱温度を下げると靱性はよくなるが強度は下がる。方法 A では最終圧延率を低くすると靱性および、強度が低下する。板厚は降伏強度及び靱性に若干影響を与える。方法 D の工程時間もつとも短くなる。

生産工場ではどの方法も強度に影響はないが、靱性は若干悪くなり、工程時間は 15~20% 減少できる。生産工場で使用するに当たつて問題はないので、強制水冷は圧延機の生産率を高めるのによい方法であると考えられる。

(渡辺 久)

一 性 質

粒界移動型拡散

(P. G. SHEWMON: Acta Met., 29 (1981) 9, pp. 1567~1572)

2 元合金中のそれぞれの元素の粒界における拡散係数が異なれば、粒界の移動によつて駆動される拡散 (DDBM) は試料表面に形状変化を生じさせることが知られている。そこで薄膜の表面上でのこの形状変化は粒界における化学拡散係数 (D_b) や溶媒、溶質の粒界における拡散係数 (D_1 , D_2) を決定するために用いられることを示すために解析、及び実験を行った。実験方法は厚さ 0.05 mm のくさび状の鋼片を水分を含む H_2 ガス中で脱炭処理後炉冷し、次にこの試験片を真空に引かれたパイコール管中で 75 wt%Zn-25%Cu 合金と共に焼なましを行った。試料表面に生じた形状変化は干渉顕微鏡によつて測定した。

解析結果: 厚い試料において溶媒、溶質の流束の差によつて生じる応力勾配は、拡散の遅い方の流束を増加させ、拡散の速い方の流束を減少させるように作用し、 $D_2 \gg D_1$ において D_b を減少させる。形状変化 (試料表面の高さの変化) Δy に関して、 $D_2 \gg D_1$ のとき、もとの粒界の位置で $\Delta y \approx 0$ 、粒界が移動するにつれて Δy が増加し、粒界の停止位置で Δy は有限な値になり、また逆に $D_2 \ll D_1$ のとき、もとの粒界の位置で有限な Δy が存在し、粒界の移動につれて Δy が減少することが導かれた。

実験結果: 試料表面上に DDBM によつて生じた形状変化が認められ、これはもとの粒界の位置で $\Delta y = 3 \mu\text{m}$ 、粒界の移動 (20 μm) につれて Δy の減少が観測された。

すなわち、 $D'_{Fe} \ll D'_{Zn}$ (D'_{Fe} , D'_{Zn} はそれぞれ Fe, Zn の粒界における拡散係数) であることが明らかである。

以上のことより、薄膜中での DDBM によつて生じる形状変化は、 D'_1 , D'_2 に関する情報を与えてくれることが明らかである。しかしながら、 D'_1 , D'_2 を正確に測定するための実験は、不均一な粒界の移動によつて生じる応力の問題を処理しなくてはならない。(吉田 和彦)

12%Cr 鋼の微細組織と性質

(A. BALL and J. P. HOFFMAN: Metals Technol., 8 (1981) 9, pp. 329~338)

すぐれた耐食抵抗を持つフェライト系ステンレス鋼が開発され、耐食性以外の強度、延性、靱性、成形性、溶接性などにもすぐれている。本研究は結晶粒の細粒化と C, N などの侵入型元素を低減することにより、すぐれた鋼を開発している。すなわち AISI 409 鋼 (0.08 C max-10.5~11.75 Cr-0.5 Ni max) を基本として 10 種類の 12%Cr 鋼について組織観察、硬さ測定、引張試験、シャルピー試験、エリクセン試験などを行い、その結果 SX 3 CR 12 鋼 (0.025 C-11.5 Cr-0.6 Ni-0.02 N-0.2 Ti) を得ている。

フェライト係数が 8~12 になるように成分調整を行うと、高温でフェライトとオーステナイトの二相になり、変態による細粒化効果が期待でき、強度、靱性、成形性などがさらに良くなる。

侵入型元素を少なくするとともに細粒組織にすれば、すぐれた機械的性質を持つようになる。例えば SX 3 CR 12 鋼は引張強さ 455 MNm⁻², 0.2% 耐力 340 MNm⁻², 伸び 30%, 硬さ 157 HV であり、またシャルピー衝撃値は 20°C で 85 J, 0°C で 65 J, 遷移温度は -20°C であり、AISI 409 鋼の 20 J, 10 J, 40°C に比して著しく改善される。また溶接部の衝撃値は 20°C で 50 J, 0°C で 35 J の高い値を有している。さらに溶接性も改善され、成形性も十分で軟鋼と同等である。

11%Cr 含有により、すぐれた腐食抵抗および耐応力腐食割れ性を有し、さらに前述のすぐれた特性を持つため、この鋼の応用範囲はさらに拡大されるだろう。特に金および石炭鉱山においてよく経験する腐食条件下の磨耗抵抗に対してもすぐれた特性を有するものと考えられる。(土山 友博)

0.06C-2.0Mn-0.14V 鋼の機械的性質と微視組織

(E. A. ALMOND and R. S. IRANI: Metals Technol., 8 (1981) 9, pp. 339~351)

制御圧延下において V の結晶粒微細化と析出強化に最適な組成として合金設計した 0.06 C-2.0 Mn-0.14 V 鋼について、均熱温度を 1000°C から 1300°C まで、仕上圧延温度を 660°C から 800°C まで、圧下率を 63, 74, 80% にそれぞれ変化させ圧延を行つた時の機械的性質と微視組織を調べた。

微視組織は 2 つの大別され、その 1 つは均熱温度 1100°C, 仕上圧延温度 660°C 及び 750°C, 圧下率 74% 及び 80% で圧延した場合の組織で、再結晶しないフェライトを主とするもので、衝撃試験片の破面にはスプリット (split) を含み、引張試験における応力-ひずみ曲線は連続的である。ほかの 1 つは、均熱温度 1000°C, 仕上圧延温度 660°C~800°C, 圧下率 63% 及び、仕上圧延温度 800°C, 圧下率 74% で圧延した場合の組織

で、等方性フェライトを主とするもので、衝撃試験片の破面にはほとんどスプリットが観察されない。均熱温度が 1200°C 及び 1300°C に上昇しても 1100°C のときと同様の微視組織が観察されるが、結晶粒径は粗大化する。

降伏応力の強化機構は、均熱温度が低い場合は結晶粒微細化が主になり、均熱温度が高い場合は析出強化が主になる。その結果、V が強化と結晶粒微細化にどれだけ寄与するかは圧延前の均熱温度によつて主に決定され、1100°C の均熱温度、仕上圧延温度 660°C で圧延したとき、結晶粒微細化と析出強化が最適に組み合わせられ、最もすぐれたものになると考えられる。その降伏応力は、63% の圧下率で約 500 MNm⁻², 74% で約 670 MNm⁻² になる。(岸本 康夫)

HSLA 鋼の加工熱処理中の微視組織変化

(L. J. CUDDY: Met. Trans., 12A (1981) 7, pp. 1313~1320)

0.05 Nb-0.017 N 鋼を中心に数種類の高強度低合金鋼を用い、制御圧延での変形温度、ひずみ速度、圧延スケジュールなどが微視組織変化におよぼす影響について検討したもので、圧延条件は平面ひずみ状態の圧縮で、実際の鋼片から鋼板に圧延する時の冷却速度と同じ条件になるように制御した。

完全に再結晶が生じる領域では、異なる初期粒径の鋼を、ある一定条件の多パス圧延を行うと、ほぼ同一の最終結晶粒径に収束し、その最終粒径は圧下率、ひずみ速度が増加するにつれて減少し、完全再結晶域内では温度が低下するほど減少する。これらのパラメータはすべて圧延中の最大変形応力 σ (MPa) の関数であり、最終粒径 d は次式で表される。

$$d = (A/\sigma)^{2.9} \quad (A \text{ は定数}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

一部再結晶を生じる温度域では、オーステナイト粒が混粒となり、以後の圧延パスでもこれを消去できなくなるため、この温度域での圧延は避けるべきである。

再結晶温度以下で圧延を行うと、繰り返し再結晶により、微細化したオーステナイト粒がひき伸ばされ、そのオーステナイト粒高さ (圧縮軸に平行な高さ) は全圧下率 R と再結晶により得られた粒径 d との関数で以下のよう表される。

$$h = (1.17 - R)d \quad \dots\dots\dots (2)$$

このひき伸ばされたオーステナイト粒が変態して得られるフェライト粒の核生成サイトは主にオーステナイト粒界であるため、最終フェライト粒径 d_f は次式で表される。

$$d_f = 1/2 h \quad \dots\dots\dots (3)$$

以上から最終フェライト粒径は、高温変形中の変形応力 σ と全圧下率 R との関数で表され、0.05 Nb-0.017 N 鋼で得られた結果は (1)~(3) より次のとおりである。

$$d_f \approx 1/2(1.17 - R)(623/\sigma)^{2.9}$$

(名村 夏樹)

—物理冶金—

二相鋼の二相域加熱中のオーステナイトの生成

(G. R. REICH, et al.: Met. Trans., 12A (1981) 8, pp. 1419~1428)

二相鋼は低C鋼をフェライト (α)/オーステナイト (γ) 二相域に加熱し、組織を α と γ の二相にした後急速冷却して α とマルテンサイト (α') の二相組織にすることによって造られている。この鋼の強度および延性は、主として α' 相の量、分布、C量に依存しており、二相域での γ の生成、成長過程を調べることは重要である。

本論文は、炭素量が 0.06, 0.12, 0.20% の三種の 1.5 Mn 鋼において 740~900°C の範囲の二相域に 15 s から 24 h 加熱した場合の γ の生成過程を調べている。二相域加熱前の組織は、900°C で 1 h 溶体化処理後 500°C で 2 h 等温時効を行ってフェライト・パーライト組織とした。 γ の生成量は、熱膨張測定および組織観察から求めた。

γ の生成過程は大きく三段階に分かれている。まず、

フェライト・パーライト界面で γ が核生成し、パーライト中へ急速に成長していく、すなわちパーライトが分解する段階がある。その後 850°C~900°C の高温側では、C拡散に、740°C~780°C の低温側では Mn 拡散によって γ が α 中へ成長していく。最後に γ 中で、かなりゆつくりと Mn が拡散しながら α と γ の平衡状態に達してゆく最終段階へと至る。

これら各段階に対応する拡散の数式モデルを示し、その計算結果と実験結果との比較を行っている。また、供試鋼のひとつである 0.12 C-1.5 Mn 鋼のオーステナイト生成線図を作成し、二相域加熱の際の γ 生成の制御方法が図式的に把握できるようにしている。

(村上 雅人)

コ ラ ム

曲がりやすい鉄と鋼

マザー・グースの中にロンドン・ブリッジという唄がある。いろいろと橋の材料を変えてもロンドン・ブリッジが落ちるのはなぜか、子供達が遊戯しながら唄うこの唄はいろいろな意味で気にかかる唄である。版によつて内容が少しずつ異なっているが、つぎのは最も親しまれているものである。繰り返し部分は第 2 節以降省略してある。

London Bridge is broken down,
Broken down, broken down,
London Bridge is broken down,
My fair lady.
Build it up with wood and clay,

Wood and clay will wash away,

Build it up with bricks and mortar,

Bricks and mortar will not stay,

Build it up with iron and steel,

Iron and steel will bend and bow,

Build it up with silver and gold,

Silver and gold will be stolen away,

Set a man to watch all night,

Suppose the man should fall asleep,

Give him a pipe to smoke all night,
Smoke all night, smoke all night,
Give him a pipe to smoke all night,
My fair lady.

木と粘土で作れば橋は洗い流され、れんがとモルタルで作れば橋は崩れ落ち、つぎに鉄と鋼で作れば橋はすぐに曲がってしまいそうだ、結局金と銀で作るのがよいけれども、盗まれるおそれがあるので不寝番を立て、寝てしまうと困るので一晩中パイプ煙草を与えておけばよいということで難問を解決している。

マザー・グースの唄には辻褄の合わない、謎めいた、神秘的な感じのものが多く、この唄もその内の一つである。ここで番人とは昔橋梁建設工事のときの人柱を意味するとか、マイ・フェア・レディーとは誰のことかとか、金と銀は工事における収賄を意味するとか、いろいろとこの唄に関して詮索されているようである。このような歴史的な詮索とは別に“鉄と鋼”の読者としては鉄と鋼の橋が曲がりやすいというのはどうも気になる話である。金や銀の方がはるかに軟らかいのだし、金と銀の合金にして固溶体強化や加工硬化によつて強くしてもたいしたことにはならない。れんがやモルタルでも、木と粘土でも橋は十分作れる。いろいろと材料を変えてもこんなに橋が駄目になるのはどうも天災や材料のためではないように思える。人災であつたというのが私の新しい説である。手抜工事のために材料をいろいろと変えても駄目で、工事が完了するまでに金と銀で作るぐらい多くの費用がかかったことを唄にしたのではないだろうか。こんな余計な詮索をするよりも楽しくこの唄を唄っていればよいのだが、それにしても鉄と鋼が曲がりやすいというのは気に入らないことである。

(東京工業大学精密工学研究所 鈴木朝夫)