

抄 録

—原 料—

ヘマタイト鉄鉱石の集合組織調査

(H. QUADE and R. WALDE: Arch. Eisenhüttenw., 53 (1982) 3, pp. 85~89)

X線および中性子線回折を用いて、ブラジル先カンブリア期鉄鉱床“Agua Claras”および“Pico de Itabirito”のさまざまな種類の鉄鉱石の集合組織を調べた。

主な結果は次のとおりである。ここに、 S_1 および l_b はそれぞれ片理面および褶曲軸方向である。

(1) ヘマタイト結晶のC軸は S_1 に垂直な方向を中心に分布し、そのまわりの揺れは l_b 方向の方が l_b に垂直な方向より大きい。

(2) ヘマタイト (10 $\bar{1}$ 4) 面についてはさまざまな回折強度の集合組織が観察された。その回折強度は、thermomechanical な変成作用による再結晶が進むほど、つまり、自形のヘマタイト結晶の増加にしたがつて、大きくなる。

(3) 変成作用によるヘマタイト結晶の変形量を求めると次のようになった。 S_1 に垂直な方向の圧縮、 l_b に平行な方向の伸び、 l_b に垂直な方向の伸びは、“Agua Claras”ではそれぞれ -67.4%、87.4%、63.7% であり、“Pico de Itabirito”では -64.9%、108.1%、36.9% であつた。これらの変形量は鉱床に特有な値を示し、鉄鉱石の種類には無関係のようである。

(4) 一部の試料で、二次マグネタイトがヘマタイト (0001) 基面に平行に優先生成しているのを認めた。これは、ヘマタイトの還元試験で得られる同様の知見を天然において確認するものである。

鉄鉱石の集合組織は、化学組成や気孔率とともに、その還元挙動を左右する一因として重要である。(3) で得た各数値を集合組織の集積度を表すパラメータとして用いることができよう。現在、これらの数値と還元挙動との関係を検討中である。(中野正則)

—製 鉄—

インレッド・プロセス—ホットメタルを生産する革新的な方法

(H. I. ELVANDER: Iron Steel Engi., 59 (1982) 4, pp. 57~60)

Inred プロセスはひとつの反応器で Flash Smelting による鉄石の予備還元と電気炉による精錬を行い、Hot Metal を生産するプロセスである。反応器の上部で石炭と酸素を用いて鉄石を Flash Smelting し、これを下部の電気炉で精錬する。このプロセスの特徴として、粉鉄石や高S分の非粘結炭が使用できること、建設費、運転費が低廉であること、小規模プラントでも製造コストが低いこと、環境汚染の心配が少ないことなどが挙げられる。この研究は1972年に開始され、現在MEFOSに建設中のデモンストレーション・プラントで第5段階に達した。

1978年の5t/hプラントの運転実績をもとに、40万

t/y (50 t/h) プラントの建設費、製造コスト、必要エネルギー、運転条件などの経済評価を行った。この40万t/yプラントを例えばYoungstownに建設すれば4000万ドルの投資が必要であり、その製造コストは136ドル/tとなる。Clevelandに建設すればこのコストは127ドル/tである。

現在建設中のデモンストレーション・プラントはFlash Smelting 部が直径1.94m、電気炉直径は6.4mであり、種々の鉄石と石炭を用いて82年7月から試運転を開始する予定である。

Inred プロセスでは粉鉄石だけでなく、ミル・スケールなども原料として使用することができる。また、このプロセスの応用として、クロム鉄鉱粉からフェロクロムの製造、ラテライトからNiの回収などを行うことが可能であり、いずれの場合にも現行のプロセスよりも低いコストで製造できる。(日比政昭)

Schwelgern 高炉における融着帯の研究(第一報: 融着帯の把握と操業への影響)

(E. SCHÜRMAN, et al.: Stahl u Eisen, 102 (1982) 6, pp. 261~266)

高炉を安定でかつ効率よく操業するためには、特に融着帯のガス流れに対する影響を把握する必要がある。

本論文はTyssen AGのSchwelgern高炉において融着帯の位置を推定し高炉操業への影響を調査したものである。

融着帯位置の推定方法としては、炉壁における炉高方向のガス圧力分布の変曲点が融着帯頂層の位置に対応するというアーヘン工科大学のモデル実験結果を用いており、炉高方向13点・円周方向2列計26点の圧力測定端を設置した。調査の結果は以下のとおりである。

炉腹とシャフト下部で大きな圧力損失を有する圧力分布は、シャフト上部には変曲点をもたないという特徴がある。この場合ガスは融着帯下部コークススリットを優先的に流れ、ガス流は均一化する。この操業は周辺流操業であり、この結果高出鉄比、低コークス比、ガス利用率向上、炉腹・シャフト下部熱負荷増大などの現象が生じ炉況は良好である。

シャフト中部に大きな圧力損失を有し、かつ圧力分布変曲点が炉上部へシフトしている場合、融着帯頂層はシャフト中部まで上昇している。この場合ガスはシャフト中部・上部へ優先的に流れる。この操業は中心流操業であり、この結果出鉄比低下、コークス比上昇、ガス利用率低下、炉腹部熱負荷減少、シャフト下部熱負荷増大などの現象が生じ炉況的には不満足なものとなる。

以上の調査結果はモデル実験結果と非常によく一致しており、融着帯の位置は炉壁での炉高方向ガス圧力分布測定により正確に把握でき、この方法が高炉操業の解析に有効であることが確認された。(川岡浩二)

—製 鋼—

構造用鋼の介在物に対するカルシウム処理の効果

(A. D. WILSON, Met. Prog., 121 (1982) 4, pp. 41~46)

カルシウム処理 (CaT) は、介在物と S レベルの低下を導き介在物形状制御により鋼板の引張延性、Vノッチ・シャルピー、DT 衝撃靱性、 J_{IC} 破壊靱性、疲れ耐久限度、および疲れき裂伝播特性を改良することが知られており、本法により広い用途での種々のグレードの鋼板が製造されている。

本報告では、ASTM A633C (C-Mn-Cb マイクロアロイ) と A514F (高張力調質型構造用合金鋼) の 2 種類の鋼板について CaT 法と通常の製造法 (Con) について試験した。101.6 mm 厚焼ならしの AG33C 鋼板で S が CaT 法では 0.006% に対し通常の電気炉法では 0.021% であり、CaT 法の効果がみられた。一般に Con 法に比較して CaT 法は非金属介在物が低レベルにあると言われ、Con 鋼が Typ II の MnS, Al_2O_3 が多いのに対し CaT 鋼では両介在物は減少し Type III の MnS と硫化物-アルミナを變形したカルシウム複合介在物が多くを占めるが、S が低くなると Type III の MnS は認められなくなる。カルシウム複合介在物の構造は Ca, Mg のアルミネート相と Ca, Mn の硫化物相から成り、熱間圧延で變形しないので適切な介在物制御といえる。

引張試験による絞りは、CaT 法により両鋼種共に鋼板の板厚方向での改善が顕著であり、特に A514 鋼で著しい。CaT 鋼の横方向のシャルピー V ノッチ衝撃試験と DT 試験の上部棚エネルギーは、一般に広い強度範囲において多くのグレードの鋼板で、Con 鋼よりも高い。

両鋼種のシャルピー衝撃試験と DT 試験の衝撃靱性は、すべての試験方向で CaT により改善される。疲労き裂伝播特性の成長速度は、高い ΔK レベルにおいてのみ CaT 法による改善がみられ、また両鋼種ともに肉厚方向での改善がみられるが、特に高強度の A514F 鋼で顕著である。Con 鋼については肉厚方向で特に引張延性と疲労き裂伝播試験で特性の降下が認められる。

(原 隆三)

複合吹錬法とスクラップ比率増大法による底吹き転炉吹錬の改善

(L. V. BOGDANDY, et al.: Stahl u. Eisen, 102 (1982) 2, pp. 341~346)

世界の鉄鋼の 40% はスクラップから生産されている。20 年前にはスクラップ比に自由度を有する Simens-Martin 法が存在したが、現在は効率的吹錬は可能であるがスクラップ比の小さな酸素製鋼法が普及し、スクラップは溶解費の高い電気炉で処理されている。底吹き転炉法は多くの利点を有するが、上吹き転炉法に較べて更にスクラップ比が 3% 少なく 25% である。底吹き転炉におけるスクラップ比増大を重要な問題と考え Klöckner 社では 4 年前から次の方法を検討してきた。すなわち、(1) 転炉排ガスの部分燃焼、(2) 羽口をバーナーとしたスクラップ予熱、(3) 炭材 (石炭, コークス) の鋼浴吹き込みである。本報では (1), (3) について詳述した。

(1) 排ガスの 20% を上吹き酸素で部分燃焼した際の浴への伝熱効率は 90% であり、スクラップ比を 60 kg/t 増加させ得る。また上吹き酸素比率を 20~70% としても冶金反動的には底吹き転炉法の利点を損なうこと

がない。排ガスの部分燃焼を主目的とする複合転炉が Maxhütte, Republic で稼働しているほか、冶金反応の優位性を確保した各種複合転炉が川鉄などで開発されている。部分燃焼の安定性を保つにはスロッピング防止を目的とする石灰粉吹き込み併用が望ましい。本法によりスクラップ比 32~35% が実現される。

(3) 鋼浴に吹き込まれた炭材が CO 反応により発生する有効熱は、炭材 340 kg, O_2 320Nm³ によりスクラップ 1 t を溶解できる。排ガスの部分燃焼を併用する KMS 法では有効熱は更に増大し、スクラップ比を 250 kg/t から 450 kg/t に上昇させるに必要な炭材と O_2 量は各々 37 kg, 42Nm³ となる。この場合溶解・精錬時間を大幅に延長することなく操業できる。またスクラップ比 60% までは予熱なしに操業している。本法の問題点は炭材中 S による S 上昇である。炭材中 S が 0.3% では問題は少ないが、S=0.8% の場合にはダブルスラグ法を採用してはじめて底吹き転炉法と同等の吹止 S が得られる。炭材による N 上昇も問題だが、脱炭精錬時間を 5 min 以上確保することで低 N 鋼が得られる。

(桜谷敏和)

— 性 質 —

鉄の α/γ 相の安定性に関して

(W. BENDICK and W. PEPPERHOFF: Acta. Met., 30 (1982) 3, pp. 679~684)

鉄の α/γ 相の安定性を再評価するため、現在まで報告されている鉄の磁性、電子的性質を考慮し、さらに新しい熱容量測定に基づき、鉄の α/γ 相の安定性に関する計算を行った。供試材は、99.7% と 99.4% の鉄を用いた。比熱は、断熱型熱量計を用いて測定した。測定において、一回の測定では 1 min に数度の割合で約 10 K の温度範囲にわたり、次の測定まで約 30 min の時間を置き、熱的平衡状態が変化しないようにした。

OK において 4835 J/mol だけ α 鉄が安定であることが計算された。KAUFFMAN らのこれに対応した値は 5454 J/mol であるが、かれらが無視した γ_1 状態 (二準位モデルにおける基底状態) の磁気エンタルピー (= 600 J/mol) を考慮すれば、本結果と良く一致する。

比熱の計算値は、1184 K~1665 K の温度における実験値の異常な微小傾斜を正確に表示した。

α 鉄と γ 鉄を常磁性と仮定した場合、OK で 2797 J/mol だけ γ 鉄は α 鉄より安定であった。

γ 鉄の基底状態 (γ_1 状態) と励起状態 (γ_2 状態) の磁気モーメントがそれぞれ $0.7 \mu_B$, $2.4 \mu_B$ (μ_B : ボーア磁子) と計算され、この値は他の実験結果と良く一致した。

以上の結果より、 γ 鉄の過剰比熱は、 $\Delta E/k=1300$ K (k : ボルツマン定数) のエネルギーギャップをもつた二準位モデルの熱的に励起された遷移によつて説明される。

(吉田和彦)

オーステナイトステンレス鋼の鋭敏化に関する理論的実験的検討

(D. SINIGAGLIA, et al.: Corrosion, 38 (1982) 2, pp. 92~97)

粒界腐食は 450~800°C の温度範囲にステンレス鋼を一

定時間保持すると、特定の腐食液中で粒界に沿って選択的に腐食が起こる現象である。この選択的腐食は、粒界上のクロム炭化物析出に伴い粒界に沿って形成されるクロム欠乏層のために起こると説明されている。

STAWSTRÖM と HILLERT は、粒界腐食感受性が開始および終了 (self-healing) する時間を、炭化物の析出速度と関係づけて、定量的に取り扱う理論 (SH 理論) を提案している。本研究は、商用のオーステナイトステンレス鋼を用いて実験を行い、SH 理論の妥当性を検討したものである。

2種類のオーステナイトステンレス鋼: 302 (18Cr-8Ni-0.07C), 304 (18Cr-9Ni-0.05C), を用いた。固溶化条件を変えて結晶粒径の異なる試料を作成し、650, 700, 750°C で 400 h まで時効した。時効試料の鋭敏化度を試験するとともに、析出炭化物を抽出し母相オーステナイト中の平均固溶炭素濃度の時効に伴う減少量を算出した。SH 理論と比較した。

炭化物の析出速度については、実験結果と SH 理論とはほぼ一致する。しかし、鋭敏化時間については、両者は必ずしも一致しない。理論では鋭敏化が起こらない温度であつても、鋭敏化が起こることがある。また、理論では鋭敏化開始時間は結晶粒径に依存しないが、実験では粒径が大きいほどこの時間が短くなる。このように理論と実験の不一致が起こる理由の一つは、理論ではクロム炭化物の核生成の潜伏期間を考慮していないことによる。SH 理論がこのような欠点を持つているため、この理論を核生成が特に重要となる低温鋭敏化の予想に用いることはできない。(菊池 実)

ロール冶金学および製造技術の最近の進歩

(J. DODD: Iron Steel Eng., 59 (1982) 3, pp. 53~58)

ロールの製造技術は、実績を比較しながら改良を積み重ねるといふ特長を持つている。このため進歩が遅くなり、他の分野の技術を参考にすることが多い。このような観点から近い将来ロールの製造技術に影響を及ぼす二三の材料について述べる。

1) 高 Cr-Mo 鋳鉄 本鋳鉄は、1932 年型鋼用の熱間仕上ロールに Kalloy (12~14%Cr, 0.5%Mo) が使用され、1960 年代耐アブレージョン性のある Climax (15%Cr, 3%Mo), Bradley & Foster (15%Cr, 1.5%Ni, 1.5%Mo) を参考にホットストリップのバンディング対策に採用された。現在 2.4~3.2%C, 12~22%Cr, ~3.5%Mo で硬度が HsC 50~98 のロールが製造されている。この種のロールはマイクロ組織は硬い炭化物とマトリックスよりなる。特に共晶の炭化物を起点にファイアー・クラックが発生するので極力炭化物が少ない方がよい。しかし冷延ロール用には硬度を確保するため一定量の炭化物が必要である。マトリックスの特性を制御するためには耐アブレージョン鋳鉄の情報適用できるが公表されたものが少ない。例えば、残留オーステナイトがスポーリングやき裂の原因となるためこれを低減させるために焼入温度、焼戻温度および保持時間が重要であり、その管理に Ferritescope が有効である。またモールドによる冷却が重要であるがマイクロ組織上からの区分が困難であり、ロールメーカーと製造方法と使用実績を対比した共同研究が必要である。

2) 球状黒鉛鋳鉄 ディゼルエンジンのパーライト鋳鉄の熱き裂防止に、Mo と Cr または Sn の組み合わせによりフェライトの島を防止し微細なパーライト組織とし、耐アブレージョン性が改善される。また 4%Ni-1.0%Mo 鋳鉄がブレーキドラムやディスクに使用され熱き裂に対して効果をあげている。

3) V-Mo 合金鋳鉄 2.5%C, 7.0%V, 5.0%Mo を主成分とする鋳鉄で、Cr-Mo 鋳鉄の共晶炭化物を分離させ、マトリックスが硬く、焼入性が良く、比較的残留応力が少ない。ピン型の摩耗試験で Cr-Mo 鋳鉄に比し摩耗量が約 40% と低く、また熱衝撃に強い。ただしコスト的に高く使用が限定されるかもしれない。

(望月俊男)

2種類の粉末冶金製超合金の疲労き裂の発生に及ぼす欠陥の影響 (I) 疲労の起点

(J. M. HYZAK and I. M. BERNSTEIN: Met. Trans., 13A (1982) 1, pp. 33~43)

疲労き裂の発生にマイクロ組織上の欠陥が影響することが知られている。欠陥の寸法、形状および集団について研究するために AF-115 (0.16%C-10.2%Cr-2.6%Mo-15.0%Co-3.9%Ti-3.9%Al-1.6%Cb-5.6%W-2.0%Hf) と AF2-1DA (0.31%C-12.2%Cr-3.0%Mo-10.1%Co-2.9%Ti-4.7%Al-1.9%Ta-5.7%W) の高強度の Ni 基の粉末冶金製品にあらかじめ、空孔と非金属介在物を内在させ、起点の発生と疲労の進展につき 2 報に分けて、論じた。

供試材は、アルゴン・ガス・アトマイズ粉を用い、AF115 合金は、HIP 処理および HIP 処理+鍛造後、各々溶体化、時効した。また AF2-1DA 合金は、焼結、押出、鍛造処理後溶体化、時効した。実験は高温低サイクル疲労試験機で、ひずみ波形は三角波形を用い、各 20 cpm, 0.2 cpm の周期で 760°C, 649°C および 22°C で行い、破面を SEM などで観察した。

AF-115 合金では、破損寿命に及ぼす全ひずみ範囲は、直線であり、AF2-1DA 合金では $6\sim 7 \times 10^3$ 回を境に勾配が異なる直線関係にある。両者を重ね合わせると常温強度の低い AF2-1DA 合金の方が寿命が長く、このことは、内在する欠陥が影響していることを示唆している。

AF-115 合金の高ひずみ域で疲労き裂は、表面または表面直下 $10\sim 20\mu$ の位置に発生し大部分はアルゴンによる空孔に起点がある。そのほか外来性の介在物や HfO_2 の粒子から発生している。低ひずみ域で内部の HfO_2 を起点としている。また AF2-1DA の高ひずみ域では軸方向と 45° の方向に粒内破壊を起こし特定の起点は見られない。低ひずみ域では、内部の大きな非金属介在物の近傍のスリップバンドに沿って第 I 段階のき裂が入り、次いで第 II 段階のき裂が伝播する。

一方、室温では両合金とも、き裂は、表面または表面直下では第 I 段階のき裂が支配的である。これは変形挙動が異なることと、試験片の表面の酸化の有無が重要な役割をしていると思われる。(望月俊男)

2種類の粉末冶金製超合金の疲労き裂の発生に及ぼす欠陥の影響 (II) き裂発生点の遷移

(J. M. HYZAK and I. M. BERNSTEIN: Met. Trans., 13A (1982) 1, pp. 45~52)

第 1 報で疲労の発生について論じたが、本報では AF-115 と AF2-1DA 合金について欠陥の性質によつて疲労の発生が表面から表面直下に遷移する現象(以下 SST)の発生理由について考察を加えた。

高温低サイクル疲労試験で、SST が一定のひずみ域で SEM により観察され、AF-115 合金で $0.60 \sim 0.70 \% \Delta \epsilon_t$, AF2-1DA 合金で $0.64 \% \Delta \epsilon_t$ の時に発生し、欠陥の集合はかなり差がある。したがつて欠陥の集合の影響を見るために、より欠陥の少ない AF-115LD を溶製し空孔率を 0.42% から 0.16% に減少させ、かつ HfO_2 の少ない供試料を準備した。その結果 $760^\circ\text{C} \cdot 20 \text{ cpm}$ の疲労寿命は AF-115 に比べて $2 \sim 5$ 倍長くなり、AF2-1DA と同じような欠陥のため、破壊の発生モードが類似している。

残留応力は、低ひずみ域での塑性ひずみのためにき裂の発生を遅らせるが、き裂のモードまでは影響しない。

環境の影響は、同一のひずみ条件では大気中と真空中では、き裂発生モードとは関係がない。

SST を分析するためにその他のパラメータとして垂

直応力域 ($d\sigma/\sigma_{y.s}$) で解析すると、SST 点で AF2-1DA, AF-115 および AF-115LD で各々 ($d\sigma/\sigma_{y.s}$) は 1.24 , $1.7 \sim 0.95$ および $1.29 \sim 1.17$ となり、AF2-1DA と AF-115-LD は同じようなき裂発生モードであり、欠陥の集合が近似している。またこのパラメータも同じような値にあることは注目に値する。表面から表面直下にき裂の発生が遷移するのは、限界塑性歪みと関係するかも知れない。HARKEGARD が提案する式 $N_i = (D/d\epsilon_p)^2$ ただし D : 繰返し塑性ひずみに抵抗する材料の定数、 $d\epsilon_p$: 塑性ひずみ域 ($d\sigma/\sigma_{y.s}$) に等しい。この $d\epsilon_p$ と $\log N_i$ の間には S-N 曲線に類似した曲線がえがけ、空孔(球状)、介在物(だ円状)とは耐久限度が介在物の方が低いために低ひずみ域でき裂が内部で発生する理由であろう。

き裂の生長はき裂先端の応力レベルと環境が影響する。き裂の長さが内外同一の場合、表面の方が早い。したがつて、き裂の発生と生長の管理のためには、欠陥の寸法形状および集合状態、ならびに塑性ひずみの集中が特に重要である。
(望月俊男)

(2602 ページより続く)

見学会・婦人見学会

工場見学会は 9 月 30 日金属学会と合同で、また婦人見学会は 9 月 28 日それぞれ次の通り開催された。

(工場見学会)

第 1 班 清水製鋼(株) 苫小牧工場、日本軽金属(株) 苫小

牧工場、王子製紙(株) 苫小牧工場

第 2 班 新日本製鉄(株) 室蘭製鉄所、(株) 日本製鋼所 室蘭製作所、函館ドック(株) 室蘭製作所

(婦人コース)

札幌近郊の観光

編集後記

▶本誌で装いを新たに会報記事(論文以外の技術資料解説、随想等を指す)を大幅に掲載するようになって二年経過した。本年を例にとれば論文と会報記事のページ割合は $6:4$ である。このような本誌の現状について会員各位がどのように考えておられるかを伺い、その御意見を編集方針に反映するために会員の約 $1/5$ の方々に無作為抽出でアンケートをお願いすることになった。その内容は 1. 本誌の中でよく読まれている記事 2. 上述の記事構成比の是非 3. 論文の内容、質、利用度 4. 今後拡充を希望する記事 5. 会誌の発行形態(例えば会報と会誌(論文中心)に分ける、専門別に分ける等)についてであるが、この他に年 2 回の講演大会の運営についても 8 項目の設問が加えられている。上述の趣旨を御理解いただき是非御協力いただきたいと思う。

さて本誌には各位の熱意により毎月約 20 件の投稿があり、ほぼ同数の論文が年 2 回の特集号を除き、年 10 回毎月掲載されている。このため現状では投稿か

ら掲載まで平均 1 年を要して、投稿者には迷惑をかけている。この事態を改善するために、来年は特集号の発行を 1 回に留めることにした。著者の方々にはもう少々の御辛抱をお願いしたい。

編集委員を比較的長く務めさせていただき、任期終了近くになったので、最後に一言感想を述べさせていただきたい。最近外国を旅行すると日本とはあまりつき合いのない国でも翻訳等を通して本誌がよく読まれている、大変鼻が高くいい気持である。事実日本の鉄鋼業は技術的に世界最高であることは自他ともに認める所であろう。しかし編集委員会で投稿論文にクレームのつく割合は統計こそないが、最近少々ふえているのではないかという感じがする。編集委員が入れ変わるうちに偶然その目が厳しくなつて全体として質が向上しているならば幸いである。前述のアンケートで客観的な御判断を伺いたい。

昭和 58 年の各位の御発展をお祈りして、本年最後の本号をお届けする。
(N.S.)