

## 抄 録

## —製 鋼—

## パイロットプラントの運営方策

(B. BERG and T. LEHNER: Scand. J. Met., 10 (1981) 3, pp. 99~107)

パイロットプラント、以下 P.P. と略す) の効率の高い運営方法について、著者が属す MEFOS での製鉄プロセスの研究開発体制を紹介しながら示した。

一企業に属さず独立している P.P. は、以下の観点から運営されねばならない。(1) 人員: 研究員の企業への流出によるレベル低下を回避するに十分な人数が必要。組織は融通性を持ち、組織内での情報交流やコンタクトは形式にとらわれてはならない。(2) 設備: 実操業の条件とこれから外れる範囲の条件との両方をシミュレートできる柔軟な設備仕様が必要。P.P. の設置場所は、主副原料の調達の有利さから製鉄所の近くが望ましい。(3) 経営: 可能な限り多数の企業・機関が利用できる組織・設備を持ち、プロジェクトの稼働率を高くする。(4) 企業との関係: かなりの程度まで独立した機関であることが必要。(5) 技術の移行: P.P. の研究員は実験室的研究と現場操業との両方に精通し「理論」と「生産」の橋渡し役となる必要がある。

MEFOS の組織・設備の概略は以下のとおりである。

(a) 人員: 研究員 32 名, 作業長 3 名, 作業員 21 名, 事務員 9 名。(b) 予算: 複数の企業の依頼による共通研究  $2.25 \times 10^8$  ¥/y. 単一企業との契約による秘密研究  $2.10 \times 10^8$  ¥/y. 研究プロジェクトの稼働時間比率が 80% を超えないと純利益が生じない。(c) 組織: 精錬研究・金属加工研究・操業担当・建設保守担当・事務の 5 部門に分かれる。(d) 設備: 精錬部門—10 t 電気炉 (5 MVA), 6 t 多目的転炉 (回転・振動機能), 6 t 真空誘導炉 (876 kW,  $10^{-4}$  Torr), 高炉ホットモデル, 3 t 粉体吹き込み装置, 小型溶解炉各種, 金属加工部門—ウォーキングビーム式加熱炉 (3 t/h), 鍛造用圧延機 (5 MN), 反転式圧延機 (熱間・冷間共用), 連続圧延機 (線材・棒鋼・鋼板用) 等。

最後に、研究目的に従って選択すべき実験規模は異なるが、P.P. では化学平衡の研究も技術的問題やプロセスの最適化の検討もできる点で優位であることを示した。(竹内秀次)

## 粉鉱石を用いた溶融還元法による溶銑・溶鋼の製造

(R. THIELMANN and R. STEFFEN: Stahl u. Eisen, 101 (1981) 13/14, pp. 71~81)

溶鉄製造法として、高炉法・直接還元法の外に、近年溶融還元法の開発が進められている。溶融還元法は、鉱石または予備還元鉱石を大部分溶融状態で溶鉄または溶融合金鉄とするもので、高温・高エネルギー密度により小反応容器で迅速な反応が達成され、特に液相内の対流・拡散による迅速な物質移動が最終還元段階で有効に働く。そのため粉鉱石等を直接処理でき、低品位炭を使用できるという利点があり、方法によつては直接製鋼の可能性もある。また最終還元段階の排ガスは CO 含有

量が高く、溶融還元法の経済性はこのガスの有効利用にかかっている。溶融還元法の最大の欠点は溶融酸化鉄による耐火物損傷である。Fe-C-O 系状態図によると、 $1600^\circ\text{C}$ ・大気圧下では Fe-FeO<sub>x</sub>-C の安定平衡は不可能であり、二相平衡 Fe-CO/CO<sub>2</sub> により分断された二つの三相平衡 Fe-FeO<sub>x</sub>-CO/CO<sub>2</sub>, Fe-C-CO/CO<sub>2</sub> が存在する。したがって FeO<sub>x</sub> と C の直接接触により還元反応は促進され、生成溶鉄の組成はどの部分平衡において生成鉄が系から分離されるかによる。物質収支によると生成ガス量が多く、従来の反応容器では到達反応速度に限界がある。今日議論あるいは試験されている溶融還元法は大別して、回転炉法、二段階電気炉法、プラズマ法、インジェクション法の 4 つがある。回転炉法は鉄浴・スラグ間の物質移動に適しておらず、実炉規模での回転が非現実的であり、二段階電気炉法はエネルギー消費という点で化石燃料から電気エネルギーへの変換効率が低く、また各ユニットの調整が困難であるという欠点がある。プラズマ法は高性能プラズマトーチの開発が必要であり、電力消費量も高いが、生産能力が高く、特に高温の維持が必要とされる場合に有効である。インジェクション法によれば一次エネルギーだけで操業が可能になり、鉄浴内に粉鉱石を石炭・酸素と共に吹き込むことによつて耐火物問題も回避できるであろう。

(西岡信一)

## 2000 年に向けての鉄鋼生産に関する考察

(S. EKERTORP: Stahl u. Eisen, 101 (1981) 13/14, pp. 82~89)

製鉄分野の新技术としては、予備還元、溶融還元、システム内のガス循環の組み合わせにより、①ELRED 法②還元に必要な石炭消費量の最低化、③CO ガスの製造のシステムが考えられる。 $1600^\circ\text{C}$  での水素還元も考えられるが、熱源として水素プラズマが適当と思われる。高炉では、低酸素ポテンシャルで還元されるが、溶融還元に見られる高酸素ポテンシャルでの還元も考えられる。反応速度を上昇させ、応答を速め、操業因子の測定を容易にすることによりコンピュータ制御するためには、極めて狭い領域を急熱し、周囲と熱的、化学的に非平衡なシステムが望ましく、高エネルギー密度が得られる転炉、プラズマ等が適している。また溶融還元法は、製鉄と製鋼の技術的類似を示唆している。転炉は、ベッセマー以来種々の発展をしたが、酸素源、ランス位置、攪拌、酸化順位、熱源の経済性等が真に理解されたとは言えず、今後なお検討を要するであろう。スクラップの溶解には、プラズマ、低周波炉、転炉の冷却剤としての使用が考えられる。 $5\text{--}50^\circ\text{C/s}$  の冷却速度では、凝固中の偏析は避けられなかったが、 $10^3\text{--}10^7^\circ\text{C/s}$  で急冷しアモルファス、粉末、ファイバー、ワイヤ等を製造することが考えられる。

現在スウェーデンでは以下の 4 項目について検討がされている。①溶融還元 ELRED 法により、 $5050\text{ kWh/t}$  の電力消費で、 $30\text{ 万 t/y}$  の棒鋼、ワイヤを生産する。②投資コストの安価な PLASMAMELT 法で①

と同様の生産をする。③急冷により、ファイバー、ワイヤ、アモルファス、粉末を生産する。④高品位ステンレス鋼を生産する。(興梶昌平)

#### とりべ中に粉末を吹き込むことによる複雑な構造用合金鋼の品質向上

(N. A. SMIRNOV, et al.: Stal (1981) 5, pp. 31~33)

複雑な構造用合金鋼を 16 t 電気炉で溶解し、酸化期に粉末を吹き込んで脱りんし、出鋼後とりべ中で CaO-CaF<sub>2</sub>(3:1) 粉を Ar ガスで吹き込み脱硫および非金属介在物を除去した。次の 5 種類の方法で溶製し、吹き込みの効果を検討した。

I—新原料を用いる普通溶製、II—新原料を溶解しとりべ中でのみ吹き込み、III—返材を溶解し炉中およびとりべ中での吹き込み、IV—返材を溶解し炉中でのみ吹き込み、V—新原料を溶解しとりべ中で Ar のみ吹き込み。

脱りん剤を炉中で吹き込むと P は 80% 除去されて 0.002~0.003% まで減少するが、還元期で復りんし 0.002~0.005% まで増加するが 0.007% を超えることはなかつた。

出鋼後の溶鋼の S は平均 0.0022% 減少する。とりべ中で、CaO-CaF<sub>2</sub> 粉末を 3.3 kg / (t·min)、Ar を 0.25m<sup>3</sup>/t の強さで 2.8~3.5 min 吹き込むことにより、0.004~0.011% まで脱硫でき、脱硫率は 29.8% に達した。

鋼中の酸化物および硫化物系介在物の量を比較した結果、溶製法 II で得られた鋼材がもつとも良く、次いで III で得られたものが良く、その他の方法で溶製された鋼はいちじるしく劣ることが分かつた。

この方法によつて合金鉄の使用量の減少、溶解時間の 20% 短縮など経済的効果の大きいことが明らかとなつた。(郡司好喜)

#### 高りん溶銑よりニオブウム回収の実験室的研究

(林宗彩, 他: 鋼鉄, 16 (1981) 5, pp. 6~9)

包頭地区には鉄鉱石が多量に存在するが、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> が約 0.08~0.20% 含まれている。Nb を含む銑鉄からの Nb の回収には選択的酸化性を利用した。国際的に製鋼用の Fe-Nb 合金は Nb>35%, P<0.5% で Nb/P>70 の必要がある。

実験は 100 kW の高周波電気炉を改造した内容積 0.042 m<sup>3</sup> の 100 kg 酸素底吹転炉で行い、マグネシヤ内張りをを用いた。送酸ノズルは 2~3 mm のものを数本用い、酸素圧力は 0.5~1.0 kg/cm<sup>2</sup> である。C 2.89%, Si 0.69%, Mn 0.86%, P 2.52%, Nb 0.17% の銑鉄を温度 1345~1415°C で酸化を行つた。Nb の回収には全吹練期間中の温度を 1350~1400°C に制御する必要がある。始めに Si と Mn が酸化され、その後 Nb が酸化された。Si が高い時は脱 Si が効果がある。温度を更に低くすると、Fe と P の酸化が進み、1200~1250°C に保つとスラグ中の T.Fe 16.8%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> は 3.6% とかなり高くなる。

攪拌には酸素の圧と流量が関係する。中西恭二氏は鉄浴の完全混合時間は攪拌力とともに選択的酸化性が関係するとしている。水モデルで羽口を 1 本から 2 本にすることで完全攪拌時間は 5 min から 3 min に短縮された。ホットモデルでは羽口を 1 本より 2 本にしたら、T.Fe

は 13.55% から 6.45% に、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> は 2.8% から 0.18% に減少した。このように動力学的条件を選ぶと、熱力学的な選択酸化性の効果を充分発揮することができる。

酸素底吹転炉スラグを Al で還元すると Nb 14% の Fe-Nb 合金となり、国際標準を満たせない。含 Nb スラグを塩酸処理をすると MnO は 80% 浸出され、それを石灰で塩基度を高め、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を 15% まで高めると融点は 1200°C に低下する。それを Al と共に 50 kW のクリプトル炉で 1600°C で 1 h 還元すると Nb 35.2~37.3%, P<0.055%, Nb/P>640 の Fe-Nb 合金が得られ、同時に同量の金属 Mn も得られる。

(相馬胤和)

## — 鑄 造 —

### 凝固過程における振動の影響

(J. CAMPBELL: International Met. Rev., 26 (1981) 2, pp. 71~101)

金属の凝固過程における振動の影響に関する文献を f-a (振動数—振幅) 図を使用してレビューし、文献データによりいくつかの理論的モデルを評価した。溶質の拡散律速であるデンドライト二次アーム間隔や層状共晶のラメラ・スペーシングなどは、振動により拡散速度が加速され、粗大化するが、共晶セルサイズや粒径は振動により微細化する。平滑凝固あるいはセル凝固する場合の微細化機構はキャビテーション気泡による凝固前面のエロージョンと考えられ、結晶微細化の開始点と、予測されたキャビテーションしきい値は良く一致する。また、デンドライト凝固の場合、微細化はデンドライトの破碎によるものであり、その厳密な機構は、アーム根元の曲げとその増加により形成される大傾角粒界への液体の浸透によるアームの脱離であろう。アーム根元の延性剪断は適用される力が過少であることから、また、根元の再溶解は必要とされるエネルギーが過大であることから、いずれも可能性は少ない。一般的には、振動によりマイクロポロシティは減少するが、キャビテーションしきい値を越えると、マイクロポロシティが増加する危険性があり、結晶微細化に適切な振動数は、超音波域よりは 100~200 Hz 以下の低振動数側にあるだろう。凝固過程への振動適用により、①結晶微細化、②マイクロ偏析の減少にもとづく熱処理時間の短縮や耐食性の向上、③硬度、降伏強度、引張り強度、伸びなどの機械的特性向上、④鋼塊頭部の収縮孔の形状修正による歩留り向上などの利点がある。平滑凝固の場合の結晶微細化しきい値に比べ、デンドライト凝固の場合のしきい値が予測と大きく異なることを解消するため、これからの課題として、広い範囲の振動数および振幅での研究、デンドライト構造の影響の定量化、キャビテーションの検出および手法としての透明モデルの採用、さらに、小単結晶の疲労研究などを提示した。(戸村寿孝)

レオキャストニングによる金属板の連続製造のモデル (T. MATSUMIYA and M. C. FLEMINGS: Met. Trans., 12B (1981) 3, pp. 17~31)

レオキャストニングを利用して熔融状態より直接かつ連続的に金属板を製造するモデルプロセスを作り、その数学モデルを立てた。Sn-15w/oPb 合金を試験合金とした。レオキャストニングにより半溶融合金を連続的に生

産しこれをシリコンゴム製のエンドレスベルトにのせて移動させる。この途中で2つのロールで加圧し、合金を半熔融状態で板へと成形する。板の割れ・表面性状は成形中の合金の固相率、加圧力に依存する。固相率が0.5—0.7で、加圧力が一定の大きさを超えなければ、表面性状のよい健全な板が連続的に得られた。製造速度はレオキャスターの能力により規定され、幅2cm、厚さ2mmの板が9cm/sの速度で生産された。圧下率は約70%まで得られた。固相率が0.7を超えたり、加圧力が過剰になると、板割れが生じ、固相率が0.5以下となると、ベルト表面がガス化し、板下面の表面性状が低下した。

板厚はロール反撥力・固相率・レオキャスターのローター回転速度・製造ライン速度により決まる。一定のロール反撥力の下では、固相率が増すにつれ、ローター回転速度が下るにつれ、また、ライン速度が低下するにつれて、板厚は増加する。板厚は中央より端部で薄くなる傾向にあるが、エッジャーを用いることにより改善される。板端部へ鉛が濃化し、その程度は圧下比が大きくなるほど著しくなる。ローターの回転速度が低下すると板の表面が粗くなつた。また、レオキャストしないデンドライト組織をもつた半熔融合金をこのモデルプロセスで成形したところ、デンドライト界面割れ、Pbの異常偏析部が多数見られた。

プロセス内の合金の伝熱・凝固および成形を数学的に解析した。この解析により凝固完了点、板厚がライン速度・ロール反撥力等の関数として得られるが、計測値は実験結果とよく一致した。(松宮 徹)

## 一性 質一

### 鉄界面の固着力におよぼす吸着異種原子の影響

(W. G. HARTWECK and H. J. GRABKE: Acta. Met., 29 (1981) 7, pp. 1237~1246)

6% および 9% Mn 鋼の低温用鋼をオーステナイト化処理した後空冷し、6Mn 鋼は、720°C, 1h 焼もどし後水冷し、さらに 600°C, 120h 焼もどし後水冷、9Mn 鋼は、520°C, 120h 焼もどし後水冷し、その時形成された $\alpha$ 相と $\gamma$ 相への Mn の分配を定量的に分析するため、STEM に連結した X線マイクロアナライザーを用いて実験を行った。

Mn の $\gamma$ 相への分配は分散した $\gamma$ 相のそれぞれで異なり、Fe-Mn 系状態図に示される Mn の分配よりかなり少なかった。 $\gamma \rightarrow \alpha'$ 変態での $\gamma$ 相の安定化を説明するには不十分な分配である。そこで、共存( $\alpha + \gamma$ )相領域で十分焼もどした時、 $\gamma$ 相は十分焼もどされた $\alpha$ 相中に分散させられる。この組織の形態や微細構造、また $\alpha'$ 相や $\epsilon$ 相の $\gamma$ 相中での不均一核生成と成長などを考慮すれば、十分焼もどされた $\alpha$ 相は $\gamma \rightarrow \alpha'$ 変態に伴う変形を遮蔽し、他の $\gamma$ 相へ変態の直接的伝播を阻止する。また $\alpha' \rightarrow \gamma$ 変態によつて導入された欠陥は $\gamma \rightarrow \alpha'$ 変態の連鎖的誘発作用を妨げる。それ故、微細に分散した $\gamma$ 相は10%以下の Mn の濃度でも $\gamma \rightarrow \alpha'$ 変態において安定であると考えられる。 $\gamma$ 相の Mn の濃度が10%以下では、 $\epsilon$ 相は形成されないとされているが、実験では10%以下の Mn の濃度でも $\epsilon$ 相は明確に観察された。以上のことより分散した $\gamma$ 相のそれぞれは、 $\gamma$ 相中の

Mn, C の濃度や転位密度と $\gamma$ 相の大きさによつて決まる $M_s$ と $E_s$ ( $\gamma \rightarrow \epsilon$ 変態の開始温度)をもつことが推定される。よつて分散した $\gamma$ 相では、 $\alpha$ 相は前述した効果をもつので $\alpha'$ 、 $\epsilon$ 相は同時にあるいは独立に形成される。しかしバルク $\gamma$ 相では、 $\gamma \rightarrow \alpha'$ 変態が $\gamma \rightarrow \epsilon$ 変態を少なくとも妨げるという仮定に基づくならば、以下の2つの状態が考えられる。1)  $M_s > E_s$ . 大きな体積割合の $\alpha'$ 相が先に生じ、これに伴う変形のため $\gamma \rightarrow \epsilon$ 変態は生じない。2)  $E_s > M_s$ ,  $\epsilon$ 相が先に生じ、 $M_s$ に達すると $\alpha'$ 相が形成され、それに伴う変形のため進行中の $\gamma \rightarrow \epsilon$ 変態は停止する。 $\epsilon \rightarrow \alpha'$ 変態は可能である。

(吉田和彦)

### 粒界キャビティの成長 (レビュー)

(L. E. SVENSSON and G. L. DUNLOP: International Met. Rev., 26(1981) 2, pp. 109~131)

高温クリープ中に生ずる粒界キャビティの成長に関する理論と実験の現状を総説している。キャビティの成長モデルと密集測定、クリープ破断時間、サイズ測定などのデータの比較が試みられた。実験データは $\alpha$ 鉄、銅、 $\alpha$ 黄銅及び銀に関するものである。キャビティの成長モデルには空孔の凝集によるものとキャビティ周囲の変形によるボイド成長とに大別され、更にクリープ変形により成長が促進されるものと抑制されるものがある。理論とデータの対比から、次の6種類のキャビティ成長モードが確認される。1) 粒界拡散による成長、2) 変形により促進される拡散成長、3) 塑性変形による連続的な空洞成長、4) 表面拡散によるクラック状の拡散成長、5) 粒界面における不安定な指状拡散成長、6) 変形速度または空孔の供給速度に依存する拡散成長。これらの中で実用材料のキャビティ成長を支配している可能性のあるのは2)及び6)である。純金属や固溶合金では1)が最も普通であるが、ごく低応力では6)、高応力では3)が支配的であると考えられる。各モデルの正当性を確認する上で特に不足しているデータは、ひずみの関数としてのキャビティサイズである。光顕では約0.5 $\mu$ mまでのキャビティ検出が可能であり、密度測定より2桁程、感度が良い。

ASHBY らによつて供唱された変形機構領域図の拡張として、キャビティ成長機構領域図を提案する。短時間データから長時間強度を予測する上で、実用上、有益な情報を与えよう。前記の有効なキャビティ成長モデルにより構成された $\alpha$ 鉄のキャビティ成長機構領域図の実例が示されている。(門馬義雄)

### 高温における René 80 の低サイクル疲労挙動

(S. D. ANTOLOVICH, et al.: Met. Trans., 12A (1981) 3, 473~481)

タービンブレード用 Ni 基超合金 René 80 の 871, 982°C における低サイクル疲労挙動を調べた。材料は微細な $\gamma'$ 球状粒子と、大きな塊状の $\gamma'$ 相を有する組織状態で試験に供した。疲労試験は軸ひずみ制御でひずみ比0.05で行い、ひずみ速度は0.5と50 pct/min とし、一部の試験では最大ひずみ時で90sひずみを保持した。

本供試材は繰返しひずみの初期に急速に軟化し、その後ゆるやかな軟化挙動を示した。繰返し応力ひずみ曲線では、温度が高く、ひずみ速度が遅くなると応力振幅は減少した。塑性ひずみ範囲とき裂発生寿命の関係におい

て、両温度とも、低ひずみ速度試験、ひずみ保持試験での寿命は早い速度の連続試験に比べ延びた。透過電顕観察によると、微細な  $\gamma'$  相は消滅し、大きな  $\gamma'$  相が粗大化していた。界面には刃状転位の配列が見られたが、母相における転位密度は非常に小さく、転位密度の増加に関連した損傷は考えにくかった。断面の光顕観察によると、表面から内部に酸化物でおおわれた粒界があり、そこがき裂発生の起点になっていた。ひずみ保持試験片では、内部の粒界にポイドも観察されたが、寿命はそれに対応して低下することもなく、表面からの粒界き裂発生が寿命を支配していた。

き裂発生時の粒界酸化物の深さを  $l_i$  とし、それまで

の時間を  $t_i$  とすると  $l_i = \alpha \sqrt{Dt_i}$  となる。ここで  $D$ ,  $\alpha$  は定数である。一方、き裂発生の条件を  $\sigma_i^{\max} \cdot l_i^p = C_0$  とすることができた。ここで  $\sigma_i^{\max}$  はき裂発生時の最大応力、 $P$ ,  $C_0$  は定数である。なお、 $\sigma_i^{\max}$  と計算による  $l_i$  との間には  $p$  をほぼ  $1/4$  としてこの関係が成り立つことが確認された。これより、低ひずみ速度試験やひずみ保持試験で寿命が延びるのは、 $\gamma'$  相がより粗大化して変形応力が低下し、き裂発生条件を満たす酸化物は深くなり、そのような酸化物が形成されるに要する時間が長くなるためであるとして理解された。

(金澤健二)

### 編集後記

▶1982年を迎え、まず会員諸氏のご健康とご活躍をお祈りいたします。鉄鋼協会の和文会誌分科会も総員43名の委員によつて編集を進めており、とくに小委員会においては依頼すべき解説やトピックスの選択に大わらわの活躍をしている。お蔭様で自画自賛になるが、興味ある解説と貴重な論文の二つの性格によつて、会報と会誌を密接に結合した形の「鉄と鋼」ができ上がり、会員の皆様からも好評をいただいている。

しかしながら、この二つの性格を一冊にまとめるべく行くために、どうしても論文の掲載がおくれる傾向が出て来た。とくに最近の研究発表の増加は日本鉄鋼技術の発展とともに飛躍的に進んでおり、まざまざとそのパワーの大きさを痛感している。この現状をうまく処理し、投稿論文をできるだけ早く出版して行くために、論文の書き方についてご協力をお願いしたい。それは、冗長な序文などはなるべく短くし、研究結果を適確にコンパクトにまとめていただきたいということで、この点、無理を承知であえて一筆する次第である。それから、もう一つ、春秋の講演大会を金属学会と

協力して開催しているが、講演数の増加とともに会場確保がだんだん困難になつて来たことである。先日はある会議の席上で、各学協会が大同団結すれば、100人程度入場できる会議室を30から40有するコンベンション・ビルができるのではないかという話まで出ていた。会員諸氏のご意見がうかがいたいところである。

最近一つの夢を見た。それはイスラムの先祖が石油だけでなく、鉄もアラビアにたくさん埋めておけばよかつたと後悔している姿である。世界の資源がどのように分布しているかということは古い問題であるとともに極めて新しい問題である。幸いに鉄は鉱石と石炭と石灰石で生産できる。しかも、鉄鉱石は比較的政情の安定したところに出ている。また、石炭はエネルギー源と同時に化学反応に使われる。これら誠に簡単な鉄の公式を考えてみても石油依存の強い産業に比して、何か鉄鋼の強さを感じるのであるが、一個人の偏見であろうか。1982年が80年代のよき先駆けの年になることを祈りたい。(K. K.)