

## 抄 録

## — 製 鉄 —

## 高炉炉床部の熱状態評価とこの技術の羽口破損解析への適用

(V. M. PARSHAKOV, et al.: Steel in the USSR, 10 (1980) 3, pp. 111~115)

クリボイログ製鉄所 5 000 m<sup>3</sup> 高炉の炉床部熱状態と羽口破損原因の関係を解明するために、羽口破損の多発した特徴的な2ヵ月(1977年3月, 6月)を対象にして、解析を行つた結果を述べている。

まず最初に上記2ヵ月の日別平均操業データを用い統計数学手法により主要な操業パラメータと羽口破損頻度との関係を重相関回帰によりもとめている。この結果、羽口破損頻度  $n$  (本/月) は、炉内圧損 ( $\Delta P$ )、銑中 Si、酸素富化率等の上昇とともに増大し、天然ガス吹き込み比、出銑量、コークス比の上昇とともに減少することを示している。

一方羽口前燃焼帯でのガス挙動、熱交換、物質交換等を考慮した数式モデルにより、理論燃焼温度、燃焼帯に入る溶解物の温度、燃焼帯から出ていく溶解物温度等を算定し、炉熱部熱状態を知るためのパラメータにしている。本稿では数式モデルの内容詳細説明はないが、これらのパラメータのうち、羽口破損頻度については、燃焼帯から出ていく溶解物の温度が最も大きな相関を持つていることを指摘している。また羽口破損頻度との単相関係数も従来操業要因の倍以上と精度の高いことを指摘している。高炉々床部の熱状態が燃焼帯から出ていく溶解物の温度で 300°C 程度も変動しており、当数学モデルによる炉床熱状態の把握が実操業上炉床熱制御に有効であることを示唆するとともに、従来の操業パラメータ変化(たとえば、銑中 Si、炉内圧損等)だけで熱状態を判断することは問題があることを強調している。

(寺田雄一)

## 高炉スラグおよび銑鉄の造粒

(M. A. SHARANOV, et al.: Steel in the USSR, 10 (1980) 3, pp. 115~117)

ALL-UNION RESEARCH INSTITUTE において研究されたスラグ造粒技術は、クリボイログ高炉等での工業実験を経て、ノボリペツク製鉄所の 3 200 m<sup>3</sup> 高炉に設置した圧空を使用した装置により、工業設備として完成した。

スラグ造粒設備の概略フローは次のとおりである。

種により装置に送られた高炉スラグは、落ち口下から噴射された高圧水により造粒され、ホッパー内を落下しながら水(循環している)により冷却され、さらにホッパー下部に設置してあるグリッドにより粒度調整されて装置下部のピットに集積される。この造粒されたスラグは、ピット底部に装入された空気ノズルから噴出する空気により、同様に装入された上昇ノズルを通してセパレーターまで上昇する。その後、回転式の脱水装置に送られ、脱水後、スラグは乾燥ホッパーへ(下部から空気が吹き込まれる)、そして水は元のホッパーへ送り込まれる。

る。なお、造粒および乾燥過程で発生する蒸気は回収される。

このプロセスの特徴は、圧空を使用することにより、ポンプを使う場合と比べて ①設備的に簡易であり、②高温水による種々の悪影響(たとえば、硫化水素の発生・造粒スラグ密度低下)を回避できる点にある。

また、このプロセスを合金鉄、非鉄金属等への適用も可能である。たとえば、銑鉄の造粒設備としては、下部がホッパー内の水に浸漬した回転物により落下溶解に水を噴射して造粒することを考えている。ただし、造粒された鉄は、ピット下部からコンベアーで運び出され、保有熱で乾燥する。このプロセスは、設備・ランニングコストが安価であるというメリットがあり、現在、工業的規模での試験を進めている。(斎藤武雄)

## 多元系スラグ中の FeO の活量

(E. KHEIKINKHEIMO, et al. Steel in the USSR, 10 (1980) 3, pp. 120~123)

鉄鉱石の還元プロセスにおいて、熔融スラグ中の FeO の活量の情報を得ることはきわめて重要である。

著者らは、多元系スラグ中の FeO の活量 ( $a_{\text{FeO}}$ ) を、1 400~1 650 K の温度範囲で、固体電解質 (CaO 安定化 ZrO<sub>2</sub>) を用いた起電力法により測定した。実験に用いたスラグは、6 種類の FeO-CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系合成スラグと、1 種類の現場の高炉スラグである。

測定に用いた各スラグの組成から、正則イオン溶液モデルを用いて次式から FeO の活量係数  $f_1$  を求め、 $a_{\text{FeO}}$  の算出を行つた。

$$RT \ln f_1 = \sum_{i=2}^k X_i Q_{i1} - \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k X_i X_j Q_{ij}$$

ここに  $Q_{ij}$  は、 $i-j$  2 元系より求めた  $i$  成分と  $j$  成分の混合熱、 $X$  はモル分率であり、添字 1 は FeO を表す。

また、これとは別に鱈部らによる、SiO<sub>2</sub> の重合を考慮した半経験式により、 $a_{\text{FeO}}$  を計算した。どのスラグの場合も、実測値、計算値ともに、理想溶液からは正に偏奇している。2 種類の方法で計算した  $a_{\text{FeO}}$  の値と、実測値とを比較してみると、正測溶液モデルを用いた計算結果は、比較的低い FeO 濃度 ( $\leq 20$  wt%) のスラグでは、実測値ときわめて良い一致を示している。一方、重合を考慮した式により求めた  $a_{\text{FeO}}$  の値は、実測値よりも低くなっている。

また、 $a_{\text{FeO}}$  の温度依存性を調べたところ、合成スラグの場合は、温度上昇とともに  $a_{\text{FeO}}$  は小さくなるが、高炉スラグの場合は、逆に大きくなり、 $\ln a_{\text{FeO}} = -6.258/T - 0.548$  という実験式が得られた。高炉スラグでは 1 623 K の場合、 $X_{\text{FeO}} = 0.0045$ 、 $a_{\text{FeO}} = 0.0122$  であり、活量係数は 2.71 と計算される。(伊藤公久)

## U.S. Steel 社 Fairfield 工場コークス炉における予熱炭装入の実績

(H. BECKER, et al.: Stahl u. Eisen, 101 (1981) 7, pp. 455~461)

U. S. Steel 社は 1975 年から Gary 工場に 2 塔式石

炭予熱設備を稼働させているが、Fairfield 工場では設備の簡易化のため、1塔式石炭予熱設備と装炭車装入による予熱炭装入方式を開発し、1979年より操業を開始している。

石炭予熱設備は100t/hの設備を2系列を持ち、57門のコークス炉に予熱炭を供給する。コークス炉は予熱炭装入と湿炭装入を共に出来るようにしている。今までの操業実績ではコークス炉の生産性は約50%増加し、コークス強度も明らかに向上している。

計画は水分8%の100t/hの湿炭を500°Kに予熱することであつたが、実際は水分6%の湿炭を140t/h、470°Kまで予熱することが可能となつている。

石炭予熱設備は55mの高さを持ち、塔頂部で粗粒が分離され再び塔下部の湿炭投入口の上に戻され再加熱される。予熱炭は1次分離器、2次分離器で加熱ガスより分離され、アディティブを添加する時はミキサーに入つた後、チェーンコンベアで予熱炭貯蔵槽に輸送される。貯蔵槽からは秤量ビンを経て装炭車へ供給される。装炭車への石炭の供給は密封状態で行われ、排ガスは集塵機で処理される。装炭車は下部のスクリュウコンベアでコークス炉に予熱炭を装入する。

コークス炉は炉高6.185m、炉幅457mmで有効内容積39m<sup>3</sup>のカールスチル式である。窯出本数は105本/dで総炭化時間は13hである。予熱炭設備は稼働後最初の設備として若干のトラブルはあつたが、操業を中断するようなものは起きていない。予熱炭温度は約400°Kから500°Kの間で操業し、排ガス温度は予熱炭温度470°Kでは490°Kから495°Kである。

石炭粒度は-3mmが92から95%で、嵩密度は湿装装入の710kg/m<sup>3</sup>に対して790kg/m<sup>3</sup>に増加している。コークス強度M40は69から79に向上している。(串岡 清)

## — 製 鋼 —

### 連铸鑄片のマクロ偏析：拡散モデルによる濃度分布の計算

(K-H. TACKER, et al.: Arch. Eisenhüttenw., 52 (1981) 1, pp. 15~20)

連铸鑄片の中心偏析にはバルジングが最も影響するが、凝固進行途上の残溶鋼内の溶質拡散が影響する可能性もある。また電磁攪拌などによる溶鋼流動もマクロ偏析に影響するが、この効果は溶質の有効拡散係数を考慮して解釈できると考えられる。本報では、固液共存域の存在を考えた一次元溶質拡散方程式と伝熱方程式の結合によるモデルに基づいて、マクロ偏析を検討した。

液相率( $f_L$ )=0の固液界面における溶鋼の溶質濃度は固相の温度に対する状態図上の液相線濃度にあるとし、 $f_L=1$ の部分に向かつて拡散に基づく溶質濃度低下があるとする。伝熱方程式は $f_L$ の変化を陽に取り込める熱含量変化を表現する方程式に変換する。固相内溶質の拡散速度は凝固殻および残溶鋼内の溶質分布に関係するが、これも計算に取り込む。このモデルを0.6%C-0.6%Mn-Fe合金に適用したが、C, Mnの中心偏析度は1.01以下となり、分子拡散に基づく中心偏析は実際には重要ではないと結論された。

次に、本一次元モデルを丸ビレットの円周方向電磁攪

拌材のホワイトバンド部マクロ偏析の解析に適用した。攪拌流動により、 $f_L > 0.9$ の自由領域では半径方向に溶質の乱流拡散が生じるが、 $f_L < 0.9$ の樹枝状晶領域では分子拡散のみが起こると仮定した。渦拡散係数と渦熱伝導度の値は、磁気レイノルズ数の関数である剪断応力とNikuradseの混合距離を用いたPrandtlの混合距離理論から求められる渦粘性係数から定めた。メニスカス下1.2~2.4m間に電磁攪拌力の分布を与えた計算条件下で渦拡散係数の最大値は分子拡散係数の17000倍となり、ホワイトバンド部の負偏析度は0.8となつた。実測値と良く一致している。

複雑な三次元流動下のマクロ偏析も、溶質の対流輸送を考慮した本モデルの拡張により解析可能と考えられる。

(桜谷敏和)

### 電気炉および転炉におけるMgO-Cレンガの開発

(B. JACKSON and R. WEBSTER: Iron and Steel Interm., 54 (1981) 2, pp. 67~78)

マグネシア系レンガの特性および、その影響因子について、著者の調査を含め、各種の研究結果、操業報告を踏まえ、詳述している。

マグネシアレンガは次の4分類に大別される。焼成レンガ(セラミック結合)、タール含浸焼成レンガ、カーボン結合レンガ、黒鉛を添加したカーボン結合レンガ、この他に使用されるマグネシア原料の性状や含有されている不純物の影響も大きい。焼成マグネシアレンガでは、レンガ成品の密度、気孔率、高温強度、変形率、耐スラグ侵蝕性、耐スポール性に影響を受ける。特に不純物では、SiO<sub>2</sub>の低減(1%以下)、CaO/SiO<sub>2</sub>比(1.8~2.8が良い)、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含有量の低減(1.0%以下)、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の低減(0.05%以下)について配慮する必要がある。タール含浸レンガでは、含有カーボンの効果により、変質層が減少している。カーボン結合レンガでは、耐熱衝撃性に優れていることが、初期のQ-BOP炉底レンガの経験としてHUBBLE, FRECHにより報告されている。また焼成レンガと同様、原料マグネシアの性状やそれに含まれている不純物の影響を受ける。典型的な黒鉛添加のカーボン結合レンガでは5~20%のカーボンを含有している。このレンガは電気炉炉壁に使用され、他のレンガよりも優れていることが実証されている。著者はSHAWがCC浸漬ノズル用のアルミナ・グラファイトレンガに用いた熱衝撃テストと同じ方法で試験した。2000°Cまで加熱し、冷却するこのテストで、その優秀性を確認した。

この優れた特性は他のレンガの3~4倍という高い熱伝導度や、マクロ、ミクロの組織の差によるもので、レンガマトリックスのクラック・アレスター性によるものとするHUBBLEの見解も考え得る。黒鉛添加のカーボン結合レンガの損耗機構については、レンガ稼働面での脱炭層の発生が主因で、スラグ、炉内雰囲気中の酸素源による酸化とMgO+C→Mg+Oの反応が得られる。また熱天秤による調査結果で、電極用カーボンを用いたレンガの良さを確認した。今後、このレンガは電気炉天井や、日本のようにQ-BOP、転炉への適用のように用途が拡大するだろう。

(越智昭彦)

### 鋼の連続製造における発展

(H. SCHREWE: Ironmaking and Steelmaking, 8 (1981) 2, pp. 85~90)

鋼の連続製造設備技術に関する最近の発展と将来の展望について述べている。

1964年 BISRA の W. E. DUCKWORTH の予測および、1975年 I. I. S. I. の調査のとおり、連続製造法の適用は拡大されつつある。I. I. S. I. の調査によると、1985年には自由世界粗鋼生産量7億 t/y のうち41%の2億9千万 t/y が連続製造法によつて製造されることになる。現状の平均的連続製造機生産能力では、1985年までにさらに1500基、新鋭連铸機が現状の3倍の生産能力としてもさらに500基の連铸機が増設されることとなる。この連続製造法の拡大において重要なことは、生産性および製品品質の向上である。このため操業、設備技術上多くの改善がなされてきた。溶鋼中Sレベルの低減、無酸化注入装置による非金属介在物低減、噴霧冷却法、ロールチェッカー、パウダー自動散布機、鑄造中鑄型幅変更法、ダミーバー上方挿入法、マルチロール駆動、多点矯正などである。

今後さらに検討を要する課題として、1.内部割れ、表面割れ防止のための適正ロール設計、圧縮鑄造法、2.表面割れ防止のための噴霧冷却法(従来のスプレー冷却法では鑄片表面温度変動が約200°Kあり、これが表面割れの原因となるが、噴霧冷却ではロール間の均一な冷却、大幅な鑄造速度変動への追従が可能)、3.耐食性、耐熱性材料、4.ブレードアウト予知装置、5.全自動鑄造法、6.介在物減少およびノズル閉塞防止のための無酸化鑄造法、7.電磁攪拌法(低温鑄造法の操業トラブル回避のために有効)、8.ジャンボキャスターとスラブ縦切り法による高生産性達成(250mm厚×2200幅以上の大断面単一サイズ鑄造により高生産性達成。スラブ縦切りコスト、切断面の問題については、生産性向上を特に必要とする薄板では問題でなく、むしろロール群の調整の容易さ、安定性において優れている)、9.水平連铸法(現状では小サイズピレットにのみ適用されているが、将来小容量炉の製鉄所での大単重スラブ鑄造への適用など興味を惹かれる)などが実例をあげて紹介されている。

(手塚 誠)

以下の抄録は2253ページへ続く

### 編集後記

▶本号は今春の講演大会での特別講演「鉄鋼材料の研究開発における進歩発展」を巻頭に配し、従来以上に豊富な内容になつていゝと思ひます。いよいよ秋の講演大会も近づきました。今回は講演件数が今までの最高の741件を数え、会場の都合もあつて、講演時間を今回限り18分間(14分間発表、4分間質問)に短縮せざるを得なくなりました。我が国鉄鋼技術の隆盛を反映して喜ばしいことですが、講演が質的にもますます充実することを願うものです。

ところで、編集委員を勤めていて感じることは、投稿されてくる論文原稿に、論旨不明、前後の関連性が分かりにくいなど、推敲不十分のものがあることです。これはもちろん「鉄と鋼」に限つたことではありませんが、特に若い人にこのような傾向が強いように思われます。主語と述語の関係が乱れた、カンマで長く続く文章などは、一、二度読んでも何を言いたいかよく分からないことがあります。例えば、「引張強さはA鋼はB鋼より優れている」、「引張強さが高いほ

ど、ぜい性破壊を起こしやすくなる」などの文章を見受けませんが、前者には主語が二つあり、後者には主語がありません。英語に直訳してみると構文の誤りがすぐ分かります。短文の場合には、どうか文意は汲めませんが、こんな調子で長々と記述すると冗長で読みにくい論文ができ上がります。また、実験結果や考察などは前後の関連性がすつきりするように、順序立てて記述することが望まれます。さらに、もう一つ重要なことは、書き終わつたあと十分に読み直さないため、誤字・脱字が多かつたり、図・表とこれらを説明した本文の記述との整合性が悪かつたりすることがあります。このような初歩的なミスは、読み直しさえすれば容易に修正し得ることです。何度も読み直して十分に推敲することによつて、簡潔で論旨の明快な、読者に対して親切な論文を投稿し、貴重な紙面をなるべく活用して下さるよう、会員各位のご協力をお願い申し上げます。

(O.M.)

れる。

最後に Sims の分類 I 型に該当する孤立分布の球状硫化物に言及すると、その生成挙動は II 型や III 型とは異なつて、最初酸化物として晶出後硫化物に変成したものと

想像されるが、今話題としているキルド鋼中に観察される例は希であり、酸素含有量の多い鋼に存在するとした従来の説は妥当なものといえよう。

抄録 2256 ページより

### —加工—

#### 研削割れと鋼の研削面の組織変化

(S. O. A. EL-HELIEBY and G. W. ROWE: Metals Technology, 8 (1981) 2, pp. 58~66)

研削加工は、焼入れされた鋼、浸炭鋼または超硬材などの加工に適用されるが、研削面に、割れなどの損傷が発生する場合がある。この原因は、研削加工中に工作物と砥石間に発生する熱により、研削面に残留応力を生じため、この応力が鋼の材力を越えると割れを生ずる。本研究では、En 31 軸受鋼を例にとり、研削割れ、顕微鏡組織の変化、ミクロ的な硬さの変化と研削条件との関係を明らかにした。

供試材は、熱間圧延材から採取し、850°C 油焼入れ 200°C 焼戻しで、HRC 60~62 とした。研削面は、残留応力の残らないように注意を払い 4×18×106 mm に加工した。研削は、Jones and Shipman 540AP 平研削盤で行った。顕微鏡組織は、2% の硝酸溶液で行い、硬度はヌープ式硬度計 (50~100 gr) を用いた。

研削条件は、①砥石の切り込み深さ (12.5, 25, 50 μm/回)、②砥石速度 (10.2, 20.3, 30.5 ms<sup>-1</sup>)、③砥石硬度 (L, K, H, O)、④ドレッシング速度 (250, 400, 700 mm/min) である。これらの条件を単独、または組み合わせで損傷程度が、激しい時、普通、軽いを代表する条件を選定した。機械的および金属工学的な損傷は、三つの形態で示される。すなわち、目視不可能な網状の割れ、組織的な変化および研削面直下の硬度の変化が起こる。これらは研削プロセスで熱が発生し、高い引張りの残留応力の発生原因となる。これらの観察された効果は、単純な熱の発生モデルと、En 31 鋼の焼戻し特性により説明され、以下のような結論を得た。

1) 工作物の熱影響は、表面直下の組織変化と硬度分布で示される。2) 研削中の工作物に流入する熱は、主に発生した高い表面温度と工作物と砥粒との接触時間に依存する。3) 切り込み深さが深く、単位砥石面積当たりの砥粒が多い時には熱の発生が高く、温度低下が遅い。一方砥石速度が遅く、化学的に活性な油を用いると表面温度が低い。4) 研削表面直下の温度分布を知り、損傷の恐れのない最大許容応力を推定できる。5) 時間と温度の影響は、研削条件から損傷の説明・予測ができる。

(広松秀則)

### —性質—

#### α鉄の高温クリープに関する有効応力と転位の運動論

(R. H. GEORGY and J. CADEK: Met. Trans., 12A (1981) 2, pp. 147~153)

純度約 99.5% の α 鉄を用いて、温度 773~923 K、応力 24.5~220.5 MPa の範囲内で遷移及び定常クリープに関する転位の運動論を研究した。可動転位密度は有

効応力にだけ依存するという仮定の下に、歪み緩和試験結果を PAHUTOVÁ らの手法により解析した。σ=24.5~196 MPa の範囲では定常クリープ速度の応力指数 m' は負荷応力の増加と共に増した。一方、定常クリープ速度に関する見かけの活性化エネルギーは応力と共に直線的に減少し、σ=98 MPa で Q=89 kcal/mol から σ=147 MPa で Q=81 kcal/mol へ変化した。

歪み緩和試験法により決められた有効応力 σ\* は、比 σ\*/σ が負荷応力に対して依存性を持つという、非線型性を示した。有効応力に関する応力指数 m'\* は m' より小さかつた。しかし、見かけの活性化エネルギーについては、Q\*=Q であつた。色々な温度・応力に対応する有効応力と遷移クリープ速度との関係を応力変化法により求めたが、定常クリープの場合と同様にクリープ速度の応力指数は直線的に増加した。しかし、一定の温度及び内部応力に対応する遷移クリープ速度の応力指数 m'\* は定常クリープの場合より小さくなつた。遷移クリープ域での変形は、転位の運動速度と可動転位密度の両方に依存し、従つて、有効応力に関係するパラメータも変化する。定常クリープの場合とは、かなり違つた全転位密度と可動転位密度の関係を仮定しなければならないと思われる。(門馬義雄)

#### 空泡による損傷とクリープ割れの成長

(R. PILKINGTON, et al.: Met. Trans., 12A (1981) 2, pp. 173~181)

1/2Cr-1/2Mo-1/4V 鋼の 823K (550°C) におけるクリープ割れの伝播を破壊力学により解析した。939K で 0.26 及び 0.58% の塑性歪みと疲労クラックを与えた試験材を切り欠き試験片に加工し真空中で 3 点曲げ試験により、COD を測定した。修正 J 分積 C\*(J) と応力拡大係数 K をクラック伝播速度 da/dt と関係づけるために、これまでに提案された微視的モデルの中から 5 種類を選び検討した。

予歪みにより損傷を与えた試験片では処女材と比べて 60% も破断寿命が減少した。巨視的には、空泡による損傷は表面拡散や粒界拡散というよりむしろ割れ先端の変形によつて支配される。クリープ割れの成長速度 da/dt は K よりも C\* とより良い関連づけが可能であつた。すなわち da/dt ∝ K<sup>n</sup> において 3 > n > 14 であり、n を一定とするモデルは明らかに実験事実と合わない。実験結果の K 値は実用域 (多分 K ≈ 4 MPa) と比べて、かなり高い範囲にあり、従つて実機での空泡成長速度はずつと遅いとも考えられる。本実験での供試材は脆化の著しい領域で、しかも予歪みを与えてあるので、長時間使用後の実用材を支配的な機構とみなされる。割れ成長の初期には拡散過程が支配的であろうが、本研究で明らかのように、損傷を含むコンポーネントの破断寿命はかなり短くなり得るということを強調したい。(門馬義雄)