

## 抄 録

## —製 銑—

## 高炉への石炭吹き込みシステム

(C. M. HEMMING, et al.: Ironmaking and Steelmaking, 8 (1981) 3, pp. 104~113)

高炉への微粉炭吹き込みに関する重要な因子と、各国で工業的規模で行われている吹き込み設備・製造設備について概要を述べた。

重要な因子としては、置換率・吹き込み比・湿分含有量・粒子径が挙げられる。置換率はアームコの操業で、石炭およびコークスの灰分の関数として得られている。吹き込み比は重油吹き込みに比較して、フレーム温度に与える影響が小さい理由から、重油よりも一般に高くすることが可能である。また、湿分含有量は円滑な輸送を確保するため 1% 以下に、粒子径は燃焼性を考慮し 200 μm 以下 80% とするのが一般的である。

吹き込み方法は、ペトロカーブ、パブコック-ウィルコックス、ソビエトおよび中国式の加圧タンク方式と、コップースの機械方式とに大別される。前者は羽口間の圧力変動の影響を受けやすく、羽口への均等吹き込みに難がある。一方、後者は機械的摩擦と脈動による燃焼性の低下に難がある。

製造設備としてはボールミルとスピンドルミルがあり、スピンドルミルは補修費でボールミルに劣るが、動力費・乾燥能力・騒音の遮断性の面ですぐれている。

防爆対策として装置内の  $O_2$  濃度は、希釈剤として  $CO_2$  および  $N_2$  使用時で、それぞれ 17% および 15.8% 以下にするのが望ましく、希釈剤の使用量は通常、吹き込み石炭あたり  $100 Nm^3/t$  程度である。吹き込みに使用される空気量は、吹き込み石炭あたり約  $50 Nm^3/t$  で、送風量の約 0.5% であり、送風温度低下に与える影響は小さい。

典型的な設備の建設費は、石炭 500 t/d を吹き込むのが可能なプラントに対し、石炭製造設備を含めて 1980 年 7 月時点で、500~600 万ポンドである。

(中村博巳)

## 高炉への石炭およびコークス粉吹き込みのための最近の技術

(H. KRETSCHMER, et al.: Neue Hütte, 26 (1981) 5, pp. 161~164)

高炉の燃料である冶金用コークスおよび重油を、今日のエネルギー状態から考えて、低価なコークス粉あるいは石炭粉に代替すること、すなわちそれらを高炉羽口へ吹き込むことは非常に重要となつている。そこで、高炉への粉炭あるいは粉コークスを吹き込む時の現状設備の問題点について整理した。すなわち、輸送システムの損耗が大きいこと、個々の羽口への連続で均一な分配が不可能なこと、個々の羽口への流量把握には莫大な設備投資が必要なこと、および機械的分配装置では連続的で安定な粉体流れを得ることが不可能なことである。そこで、各種の粉体輸送法を比較・検討し、流体輸送が最適であると著者は結論した。流体輸送に関しては、濃度と粘

性特性について知ることが必要となり、そのため実験および他の文献を引用し検討した。すなわち、粘性は作動速度内で、最小値ではないが、一定であることが明らかとなつた。さらに、高濃度輸送する場合、圧力損失の問題から加圧することが有効であることが明らかとなつた。次に、流体輸送時の測定および制御の可能性について検討を行った。実際にフライベルク燃料研究所にて、3 MPa の過圧下での粉炭実験を行い、この結果、微細粉においても、測定および制御技術的課題を解決し、さらにすべての配管での輸送特性を完全に把握することにより、1つの秤量ホッパーから 14~15 個の配管への粉炭の供給が可能であることが明らかとなつた。この流体輸送実験をふまえ、VEB マックスシュütteにおいて実操業テストを実施することとなつた。(新谷一憲)

## —製 鋼—

## 熔融酸化物から金属への水素の移動速度の研究

(A. N. VATOLIN, et al.: Izv. Akad. Nauk SSSR Metally (1981) 4, pp. 38~44)

取鍋中で合成スラグにより溶鋼を処理する時のスラグによる脱酸およびスラグから溶鋼への水素の移動機構を研究した。

合成スラグ (51%  $Al_2O_3$ , 42%  $CaO$ , 6%  $MgO$ ) から液体金属 (Fe, Ni) への H の移動速度をポテンショメトリ法によつて測定した。20~30 g の金属と  $H_2O$  を飽和させたスラグの接触面積を 6~10  $cm^2$  とし、濃度分極による電位の変化を 1550~1600°C の間で測定し、過電圧  $\Delta\phi$  および  $Z = \ln[\exp(2F\Delta\phi/RT) - 1]$  の経時変化を検討した。

$\exp[2F\Delta\phi/RT] = C_{Fe^{2+}}^s / C_{Fe^{2+}}^p$  (ここで  $C_{Fe^{2+}}^s$  および  $C_{Fe^{2+}}^p$  はスラグ境界層中の  $Fe^{2+}$  の実際および平衡濃度) を関係するイオン濃度および移動速度から検討し、測定値と計算値のよく一致することを明らかにした。

これらの結果から、次のような結論を得た。(1) 水素は  $Fe^{2+}$  およびスラグ中の  $OH^-$  の相互反応によつて溶鉄中に移動し、同時にスラグによつて溶鉄の脱酸が起こる。(2) スラグと溶鉄の水素の分配係数は小さく、平衡状態ではスラグはほとんど水を含まない。(3) スラグから溶鉄への水素の移動はスラグ中の  $OH^-$  の拡散によつて律速される。(郡司好喜)

## 酸化物系介在物の可塑性に関する研究

(G. BERNARD, et al.: Rev. Met., 78 (1981) 5, pp. 421~433)

一般に鋼中介在物については、その絶対量を低下させることに努力が払われるが、強度の加工をあたえるケースでは介在物の物理的性質を金属加工を阻害しないように変える方が有利なときもある。著者らはこのような観点から介在物の可塑性が金属の可塑性と両立するための介在物組成の研究を実施した。介在物としては代表的  $CaO-Al_2O_3-SiO_2$  系と、 $MnO-Al_2O_3-SiO_2$  系を対象とし、前記三元系の広範囲な組成領域について合成サン

プルを製造し粘度測定に供した。粘度測定は液体状態と加熱クリープ試験によつて 700~1500°C の領域について実施した。液体状態の粘度推定式として

$$\mu = \frac{T}{1.17 \times 10^6} \exp \left[ \left( \frac{1000}{T} - 0.27 \right) \cdot B \right]$$

(B: 粘性パラメータ実験データ)

を得、またクリープ測定値からの粘度推定式としては

$$\mu = \frac{\sigma}{3\dot{\epsilon}} \quad (\mu: \text{粘度}, \sigma: \text{応力}, \dot{\epsilon}: \text{変形速度})$$

を使用した。一方鋼の見掛け粘度は、 $\mu_a = \frac{\sigma}{\dot{\epsilon}}$  より求め、前述の各種介在物組成における介在物粘度  $\mu$ 、と鋼の見掛け粘度  $\mu_a$  を相対比較することによつて三元状態図上に介在物の物理的性質を以下の3つの領域に分類することができた。

(1) 介在物に変形するには粘度が高すぎる。(2) 介在物は再結晶しやすく、また変形不可能になりやすい。(3) 介在物は鋼よりさらに変形可能で、変形方向に伸びることができる。

以上の測定データにもとづき、変形しやすい介在物組成とするための脱酸剤の種類、量、添加量、添加順序、を選定することが可能である。(竹村洋三)

取鍋中への窒素の吹き込みによる金属の品質の改善 (V. S. ZHIVCHENKO, et al.: *Stal* (1981) 4, pp. 45~47)

取鍋中で低炭素合金鋼に窒素を吹き込む条件およびその結果を検討した。

溶鋼への窒素の溶解度は含有される Si, Cr, Mn, Ni および V によつて影響を受けた。150t 取鍋の試験では、Fe-Mn の使用量が溶鋼 t あたり 0.4 kg から 2.8 kg に増加すると、[N] は 0.002% から 0.007% に増加した。

溶鋼取鍋中で非金属介在物および溶解ガスを除去するのに必要なガス流量 (0.5~12 m<sup>3</sup>/min) とガスを吹き込むポーラスレンガの面積 (0.01~0.11 m<sup>2</sup>) の関係を決めるノモグラムを作成した。それにより、150t 取鍋では第1段階で 8~10 m<sup>3</sup>/min の N<sub>2</sub> 流量で溶解ガスを脱ガスし、第2段階で 6~7 m<sup>3</sup>/min の流量により非金属介在物を除去する操業法を決めた。

150t 取鍋による生産試験で、化学成分および温度の均一性が確認された。

357°C (0.35% C, 1.25% Si, 1.25% Mn), 257°C (0.25% C, 0.75% Si, 1.4% Mn) および 147°C (0.14% C, 0.3% Si, 1.4% Mn) 鋼に窒素ガスを吹き込んだ時の [N] は 0.004% 以下であるのに比し、窒素処理をしない溶鋼の [N] は [O] の増加により 0.007% から 0.005% に減少した。窒素吹き込みによる [N] の減少は窒化物のガス流による洗浄によつて説明できた。

この処理によつて鋼の機械的性質の改善および非金属介在物の減少による表面品質の改善が達成された。

(郡司好喜)

酸素底吹き転炉による含 Nb, P 鉄鉄よりの Nb の回収

(陳永定, 他: *鋼鉄*, 16 (1981) 5, pp. 10~14)

包頭の鉍石には少量の Nb が含まれ、Mn と P も高い。

選択酸化を利用して Nb を回収するために酸素底吹き転炉を利用した。

試験は高アルミナ内張りの 3 t とドロマイト内張りの 5 t の酸素底吹き転炉で行った。その他 300 kg の炉も使用した。軽油を冷却剤とし、羽口は 2~3 本で酸素の圧力は 4~6 kg/cm<sup>2</sup>、鉄鉄の温度は 1150~1210°C であった。結果は Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> が高く、FeO は低く、Nb/P の比が高い良質のスラグが得られ、それから造られた Mn-Nb-Fe 合金は Nb 14.7%, P 0.1%, Si 5.85%, Mn 38.6%, C 5.96% で Nb はあまり高くない。

転炉での反応は、Si は 2~3 min 以内で酸化し、Mn が次に酸化される。石灰を吹き込まない場合は C が低くならないかぎり P の酸化は非常に少ない。スラグ中の FeO は LD 転炉に比し低い。表 6 より底吹き法は顕著な選択酸化性があり、下記モデルの適用が可能である。

底吹き転炉の反応は 2 種類の反応が 3 つの領域で進行する。羽口前の酸素存在領域は酸素分圧が高く気液反応がその界面で直接起こる。これが第 1 種の化学反応で、熱力学と衝突理論から各元素酸化物濃度は各元素の酸化速度に比例する。

別の種類の反応は羽口前で生成したスラグの浮上過程における反応で、これが選択酸化の基礎である。スラグ中の FeO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> など不安定酸化物はメタル中の Si, Mn などにより還元される。送酸条件が同一なら温度が低いほど Nb スラグ中の FeO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> は低くなり、メタル中の残留 Nb が少なく、炭素含有量の高い半鋼が得られ、これは後工程である製鋼に有利となる。終点温度は 1360~1410°C が最もよい。ノズル径が小になると、酸素気流と上昇中のスラグとメタルの界面積が増大し、FeO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> の還元が促進され、Nb スラグ中のこれらの成分の濃度はへる。ただ極端になると Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> も還元される。メタル層厚を厚くすると良い方向に向う。

(相馬胤和)

## 一 性 質 一

6% および 9% Mn 低温用鋼の Mn 分配率のマイクロアナライザによる研究と焼もどしマルテンサイト中に分散して存在するオーステナイトの安定性におよぼすその影響

(D. DUCHATEAU and M. GUTTMANN: *Acta Met.*, 29 (1981) 7, pp. 1291~1297)

粒界の凝集力に及ぼす異種原子の影響を、定量的に把握するため、超高真空 (2 × 10<sup>-10</sup>) 中で 2 ヶの試片の清浄表面を接触させ、引き離し応力を測定する装置を開発した。異種原子の表面被覆率は、試料中からの拡散によつて調整し、AES で分析した。

C と N は、表面に 1 原子層が形成されるとき凝着力が最大に達し、それより被覆率が増加して多原子層が形成されるにつれ、清浄表面の凝着力より減少してゆく。S と P は、表面に 0.5~0.6 原子層が形成されるとき凝着力が最大に達し、さらに被覆率が増加して 1 原子層以上形成されるにつれ、清浄表面の凝着力より減少してゆく。それ故、1 原子層以下の C, N, S, P の表面被覆率における凝着力が清浄表面のそれより減少することはなかった。

一般に高温焼もどしの際に粒界に偏析した C, N は粒界の凝集を強化し、低温で粒内破壊を生じさせる。粒界の凝集に対する C, N の影響は凝着力の実験と一致する。しかし、S, P については、1 原子層以下の S, P が昇温時に粒界に偏析するにもかかわらず、S, P は粒界の凝集を弱め、低温で粒界のぜい性破壊を生じさせる。このように、鉄の表面の凝着と粒界の凝集に対する S, P の影響の違いは、粒界のぜい性破壊においてある特殊な影響によつて生じると考えられる。S は粒界における鉄の自己拡散を容易にすることが知られている (C, N は逆の効果をもつ)。それ故、S, P の粒界ぜい性に対する影響は、昇温時における粒界の再構成によつて説明されると考えられる。高温で粒界に偏析した S, P は、粒界に界面エネルギーの小さい低指数面を導き、この低指数面は規則化した吸着層の形成により安定する。粒界における低指数面の形成は凝集力の減少をもたらす。このように、S, P は昇温時に粒界の再構成を導き、その結果、粒界ぜい性破壊を生じさせると考えられる。

(吉田和彦)

#### 粉末冶金 Ni 基超合金 IN-100 の再結晶化過程で起こるマイクロ組織の変化

(R. G. MENZIES et al.: Metal Sci., 15 (1981) 5, pp. 217~223)

多量の合金成分を添加したいくつかの Ni 基超合金は、加工性および铸造時のマクロ偏析等の問題から、粉末冶金法によつて製造される。この方法によれば、偏析がほとんど起こらず、合金の結晶粒が微細となるために超塑性加工が可能となる。γ' 強化型 Ni 基合金では、γ および γ' 相の再結晶化挙動が合金の焼結性に重要な影響をおよぼす。本研究は、粉末冶金 IN-100 のこれらの相の再結晶化挙動を調べたものである。

0.076% C を含む IN-100 の合金粉を Ar ガス噴霧法により作成し、1348~1388 K での押し出し加工により 7 kg の成形材とした。これを 1311 K で 1.5 h 焼なましした後、同じ温度で超塑性変形させた。各処理段階の試料について、透過電顕、走査電顕および光顕による組織観察を行った。また、分析電顕による観察も行った。

粉末成形のままの試料の組織は、次の 3 つの部分から成っている。(1) 再結晶した γ-γ' 結晶粒、(2) 回復した転位下部組織を含む加工を受けた γ-γ' 結晶粒、(3) 強加工を受けた γ および γ' 相。(1) はさらに 2 つの型に分けられる。すなわち、(1-1) ほとんど γ' 相から成る結晶粒、および (1-2) 立方体状の孤立した γ' 相を含む γ 相粒である。焼なまし処理により、再結晶粒の体積率はかなり増加する。超塑性変形中も再結晶化は進行するが、その程度はわずかである。再結晶化は、どの処理段階においても、明確な輪郭をもつた界面の移動によつて進行する。再結晶粒および未再結晶粒中の γ' 相の大きさおよび体積率に差異は認められなかつた。また、移動界面をはさむ両結晶粒中における γ' 相の結晶方位は等しくない。このことは、移動界面上で γ' 相の分解が起こりながら再結晶が進行することを示唆している。

(梶原正憲)

#### Ni-Cr-Mo-V ロータ鋼の低温粒界破壊におよぼすオーステナイト結晶粒度と熱履歴の影響

(A. POLI, et al.: Metal Sci., 15 (1981) 6, pp. 278~280)

3.5Ni-Cr-Mo-V ロータ鋼の低圧力下使用時の等温脆化についての知見を得るために、オーステナイト結晶粒度および針状マイクロ組織の焼戻し脆化におよぼす影響を調べた。また特に、重要な要因として熱履歴に注目した。

供試材は、2 種の 3.5Ni-Cr-Mo-V 鋼を用いた (steel 1 と steel 2 とした)。鍛造後、応力除去焼鈍を行い試料を採取した。両者は、オーステナイト粒度が異なり、steel 1 は 80 μm で steel 2 は 30 μm である。不純物元素の濃度が多少異なり、特に Sn 濃度が steel 1 で 0.012%、steel 2 で 0.004% である。

脆化処理は、450°C で保持時間を 8200 h まで種々に変えて行つた。またステップクーリングおよび脆化回復処理 (焼戻し後水冷) も各鋼種について行つた。脆化挙動は、脆性-延性遷移温度 (Vノッチシャルピー) の移動および破壊応力 (脆化温度での引張試験) の変化で評価した。

実験の結果、すべての材料とも 450°C での保持時間とともにその破壊応力は減少し、それに対応して遷移温度は上昇した。注目すべきは、回復状態での 2 種の鋼の破壊応力が異なり、その差が針状マイクロ組織の差と一致することである。また 450°C、5000 h で完全な粒界破面が得られ、大きな P の偏析がオージェ分析で観察された。

遷移温度については、保持時間 100 h までは差は観られないが、その後は粗粒材が大きな増加を示す。逆に破壊応力の変化については大差は見られない。全般に steel 1 の回復状態から十分な脆化状態への遷移温度の移動は、steel 2 の約 2 倍である。

粒界結合力の低下を引き起こすオーステナイト粒界での偏析不純物濃度とそれに対応した遷移温度の移動に加えて、鋼の初期の靱性が脆化を支配する重要な要因であることがわかつた。また事前の熱処理 (熱履歴) が脆化に対して効果があるかもしれないことは注目すべきである。事実、再オーステナイト処理は、その脆化挙動を改良することがわかつている。

(新村哲生)

#### —物理冶金—

##### 二元系および多元系の α-Fe 合金中における P の相互拡散係数

(G. LUCKMAN, et al.: Met. Trans., 12A (1981) 2, pp. 253~259)

Ni-Cr および Cr-Mo 鋼の焼もどし脆性の原因は、粒界への不純物元素の偏析であると考えられている。P は強力な脆化元素ではないが、市販鋼中には必ず含まれている不純物元素である。したがつて、多くの場合、P が鋼の脆化に大きな影響をおよぼす。P の粒界への偏析は、粒内から粒界への P の拡散によつて進行するために、鋼の脆化速度を推定するためには鋼中の P の体積拡散係数 D に関する知見が必要である。本研究では、オージェ電子分光法 (AES) を用い、Fe および鋼中の P の

拡散係数  $D$  を 783~923 K の温度範囲で測定した。

試料として、0.05P, 0.3P, 3.5Ni-1.7Cr-0.06P, 2.25Cr-0.5Mo-0.04Mn-0.04P および 3.5Ni-1.7Cr-0.4C-0.06P 鋼の 5 種類を用いた。試験片は直径 5 mm 厚さ 0.3~0.75 mm の大きさに整えた。試験片を AES 装置の超高真空試料室中で各温度に直接加熱し、試料表面の P (120 eV) および Fe (703 eV) のピーク値の時間変化を測定した。試料の自由表面における各ピーク値の時間変化から、試料内部から表面へ向う P の拡散係数  $D$  を計算した。

Fe (703 eV) のピーク値に対する P (120 eV) のピーク値の比 (PHR) の飽和値 ( $\text{PHR}_{\text{sat}}$ ) は同一組成試料では温度に依存せず一定である。また、P の偏析過程の

初期においては  $\text{PHR}/\text{PHR}_{\text{sat}} \propto t^{2/3}$  が成り立つ。PHR が試料表面における P の濃度に比例すると仮定すると、この結果は、P の試料表面への偏析速度は P の体積拡散によつて律速されていることを示唆している。偏析速度より、拡散モデルを用いて P の体積拡散係数  $D$  を計算した。 $D = D_0 \exp(-Q/RT)$  とすると、炭素無添加の 4 種類の鋼では 783~923 K の温度範囲で  $D_0 = 8 \times 10^5$  [ $\text{cm}^2/\text{s}$ ],  $Q = 314 \pm 30$  [ $\text{kJ}/\text{mol}$ ] である。本研究の  $Q$  の値は、高温域 (1000~1450 K) において報告されている従来値 ( $Q = 230$  [ $\text{kJ}/\text{mol}$ ]) よりも大きい。また、炭素添加鋼の  $D$  の値は炭素無添加鋼よりも大きく、炭素が P の偏析を促進することを示唆している。

(梶原正憲)

## 編集後記

▶ 第 2 号をおとどけします。論文・技術報告を合わせて 12 件のほか、技術資料・解説など多彩な内容となつております。粗鋼年産の大枠が固まりつつある中で将来の技術展開の分野として“新しい材料 (超耐熱合金)”の開発が注目されます。二国間シンポジウムもすつかり定着しましたが、日本とスウェーデンの若い冶金技術者の熱気あふれる報告をおとどけします。

▶ 第 102 回講演大会 (京都大会) は盛況のうちに無事終了しました。記念講演 3 件、一般講演 741 論文 (これまでの最高)、討論会講演 28 論文 (5 テーマ) で、約 1300 名の参加者を数えました。会場ロビーの窓外にしぐれの雨をたてぬぎにした晩秋の古都の情景にひとときのやすらぎを求めながら、連日最終論文まで熱心な講演と討議が行われました。大会実行委員会の委員各位と関係の方々の大変な御苦勞を厚く感謝いたします。プログラム編成時には十分注意をはらっている

のですが、聴講者が溢れる会場がありました。予測がなかなか難しいのですが、第 100 回以降のテーマ別、会場別の推移表を作成して今後の編成に役立てようとしております。講演論文の前刷りの図面・表と講演のスライドの説明には英文を使用されるよう案内しておりますが、まだ日本語のケースが約 30% あります。ジュニア・パーティーには 180 名の参加がありました。講演会とは一味違つた論議もはずみ、技術者・学者を問わず一層のつながり、親近さが深まるよい機会と活用されております。私見によれば、“ジュニア”の定義は“鉄鋼技術の研究・開発の最先端現役にかかわること”で年齢にはまったく関係がありませんので、幅広い方面の方々の参加が呼びかけられております。次回の講演大会は東工大のキャンパスをお借りすることになり、講演論文の募集も始まりました。大岡山名物の桜の下でまたお会いいたしましょう。(K.K.)