

抄 録

— 原 料 —

焼結鉄の性質の調査のための磁気的方法

(E. MAZANEK, et al.: Stahl u. Eisen, 99 (1979) 17, pp. 920~922)

焼結鉄の性質を調べるためには、普通、還元前後の強度と還元性が測定される。性質の評価を早くするために磁気測定法が適している。これは、焼結鉄の還元性や強度のような性質は、焼結鉄の組成、特に、マグネタイトの含有量に依存しているという前提にたっている。

磁化率の測定は、ヘルムホルツコイルよりなる磁気天秤で行われた。測定された力は試料内の磁化率に比例し、それは、焼結鉄中のマグネタイト含有量に依存している。また、カルシウムトリフェライト、カルシウムオリビンはずかしく磁化率に影響する。測定を正確に行うため、キルナ鉄、キルナ鉄とイタビラ鉄の混合物を用いて検定曲線を作成した。

一般に、2価の鉄酸化物含有量が上昇するとコークス比は上昇し、還元性は低下する。磁化指標値として測定される電圧降下 (M 値) とマグネタイト含有量との関係は、マグネタイト含有量の増加に対して M 値は増す。磁化率は、マグネタイト結晶の表面積に比例し、結晶の大きさに反比例している。また焼結鉄中の2価の鉄酸化物含有量が増加するほど、焼結鉄中のマグネタイトの含有量が増すことが示された。

これらのことから、磁化指標値と、2価の鉄酸化物含有量、崩壊強度、コークス比、還元性との関係を示すことができ、 M 値が増すほどコークス比は上昇し、還元性は低下した。

以上、焼結鉄の性質の評価のために磁化率の測定を行った。この方法は焼結鉄の特性を表わすのに適当である。(月橋文孝)

— 製 鉄 —

直接還元用回転炉内のリング形成に与える操業条件と原料の影響

(H. W. GUDENAU, et al.: Stahl u. Eisen, 99 (1979) 17, pp. 908~913)

今日、世界中の海綿鉄は、主にガス還元によって生産されている。しかし、エネルギー供給の長期的展望に立つとコークスにできない石炭を還元剤として使用することは重要な意味を持つので、これを回転炉に適用する試みが以前からあつた。装入物は、炉壁と直接接触しながら移動していくので、機械的な付着やガス空間からの塵の推積を防ぐことは困難である。本実験の目的は、操業条件及び装入物の特性がリング形成にどの程度影響するかを調査することである。Itabira ペレット、Carol-Lake ペレット、ライン産の褐炭、ブラジル炭、そして無煙炭を装入物に選んだ。これを工業装置と相似な温度プロフィールを与えた内径 800 mm、全長 820 mm の回転炉に装入した。炉内長手方向のリングを調べたところ、予備還元帯、 FeO 帯、 Fe met 帯、再酸化帯で、順に、原料

中の微粒子、 FeO 、コークス・ペレットの灰、還元鉄の再酸化が関与していた。装入物温度を、 1050°C から 1250°C に変えるとリングの厚みは、1 mm から 7 mm に増加した。装入物温度及びそれと炉壁との温度差を、それぞれ 900°C から 1200°C 、 0°C から 125°C に変化させると、前者の場合リングの厚みは、0 mm から 1.5 mm に増加し、後者の場合、0.35 mm から 0.0 mm に減少した。Itabira ペレットと褐炭を用いて、 1060°C と 1150°C で、微粒子の影響を調べた。微粒子の含有率が 10% から 40% に増加すると、リングは、0.25 mm から 2.5 mm に増加した。しかし、板状構造を有する酸性灰を 30% 以上含む石炭を用いたところ、リング形成を最小にすることができた。また、塩基性灰の含有率の低い亜炭を使用してリング形成を少なくできる事実を確認した。(小林一彦)

CO ガス中の鉄鉱石の還元機構への還元条件の影響

(H. HAAS, et al.: Stahl u. Eisen, 99 (1979) 17, pp. 914~919)

鉄鉱石の還元による金属鉄の成長は、還元ガス雰囲気中の性質によって決まるということを前報で報告した。本論文では、ウィスカーや繊維状の方向性のある鉄析出と、還元ガス雰囲気中の効果的な「活性剤」の関係が研究された。

「活性剤」とは、CO 雰囲気中で、還元プロセスに強い影響をもつ、微量のイオウ成分である。金属鉄が析出する前には、還元ガス中の 5~50 ppm の SO_2 のイオウ成分は、酸素の除去を著しく促進する。しかし、鉄の析出開始後は、イオウを含まない CO 雰囲気中での還元と比べて、酸素の除去は遅くなる。

この現象を理解するには、浸炭挙動の理解が心要である。還元ガス中の微量のイオウが鉄表面に吸着するまで浸炭はさまたげられ、このような場合、たとえば繊維状の方向性のある鉄析出がいつもおこる。しかし、イオウを含まない CO 中で鉄が浸炭されると、トポケミカルに鉄は析出する。

方向性のある鉄の成長は、CO ガスにイオウを微量加えることによつておきる。しかし、 α -鉄を生成する条件下で還元を行うとき、鉄への浸炭がおこらないことは熱力学的に可能なので、イオウを含まないガスでもウィスカタイプの鉄成長がおこる。

以上のことから、酸化鉄の還元において析出した鉄の形状は、ガス雰囲気により鉄への浸炭があるかないかにより決まる。このことから、CO による酸化鉄の還元機構についての考え方が再検討される。(月橋文孝)

— 製 鋼 —

凝固しつつある金属内での気孔の形成

(J. PÖTSCHKE: Arch. Eisenhüttenw., 50 (1979) 7, pp. 277~282)

アーヘン工大核燃料冶金および理論冶金学教室で行われた、凝固時のガス析出に関する研究に基づき、既に公表されている諸家の論文の結果をも考慮に入れ、凝固し

つつある金属内での気孔の形成について、詳細な検討を加えた。

まず、四塩化炭素、ベンゾール、水-空気、窒素、アルゴン、炭酸ガス、酸素、水素の種々の組み合わせによる、透明な系でのモデル実験の結果について述べ、次いでAg-O、Cu-SO₂、Fe-N、Fe-CO系における、金属内での気孔の形成の実験結果について述べた。

これらの結果は、金属の凝固時の気孔形成を理論的に考察する場合、次のような項目に分けて論ずることが適切であることを明らかにした。その項目とは、気孔の核生成、成長、析出ガスの総量、ガス析出の結果起こるマクロ偏析、ミクロ偏析と組織の変化および気孔率である。最後に、これらの項目ごとに考察を加えた。

総括的な結論としては、個々の研究結果の豊富さと、提出された二、三の理論にもかかわらず、先に挙げた項目のどの一つに対しても、現在の時点では、定量的な予測は不可能であるということである。

透明な物質の系によるモデル実験は、金属のより高いガス溶解度、密度、デンドライト状の凝固、化学反応などの違いが、気孔生成過程に決定的な影響を与えることを十分認識している限りは、非常に有用な結果をもたらす。また、ある金属-ガス系で得られた結果の、他の系への適用は定性的には可能であるが、理論的な関係が明らかにされていないから、定量的な結論は、当該系での実験によつて改めて確かめなければならない。

(檀 武弘)

有限要素法による連铸スラブのクリープから生ずるバルジング解析

(A. GRILL and K. SCHWERDTFEGGER: Ironmaking and Steelmaking, 6 (1979) 3, pp. 131~135)

宮沢ら (Ironmaking and Steelmaking 6 (1979) 2, p. 68) の解析モデルと同様の解析を有限要素法を用いて行つた。

スラブ広面中央の縦断面を铸込方向に長さ l の要素に分割し、 $t_1 < t < t_1 + t_2$ ($t_2 = l/u$, u : 铸込速度) の時間内でスラブは定常状態にあるとし、1) 溶鋼静圧によつて生じる弾性変位、弾性応力、弾性歪を(1)式、

$$[K](\delta) = (R) \dots \dots \dots (1)$$

($[K]$: 剛性マトリックス, (δ) : 変位ベクトル, (R) : 荷重ベクトル) を解いて求める。2) 次いで、適当な時間増分, Δt を定め、(2)式、

$$(\Delta \delta_{Cr})_n = [K]^{-1}(\Delta R_{Cr})_n \dots \dots \dots (2)$$

(($\Delta \delta_{Cr}$): クリープによる変位増分ベクトル, (ΔR_{Cr}) : クリープによる荷重増分ベクトル, n : Δt の増分のステップを表わす数) を解いて、($\Delta \delta_{Cr})_n$ を求め、全変位、全応力および全歪を修正する。 Δt の増分が t_2 に達するまでは2)の修正計算を繰返した。さらに Δt の増分が t_2 に達すると、クリープ変形とクリープ応力のみが蓄積された状態で解析面を铸込方向へ1要素分だけ移動し、新しい位置での弾性変位、弾性応力および弾性歪を用い、新たに2)の修正計算を継続した。以上の繰返し計算を $t_1 = 0$ から $t_1 = t_{tot}$ (t_{tot} : 铸片が1ロール間隔移動する時間) まで行つた。

1次および2次クリープについての既存のデータを用いロール間の最大たわみ量を求めた結果、本解析結果は宮沢らの解析解による結果と非常に良く一致した。ま

た、反町ら(鉄と鋼, 63(1977), p.1297)の弾塑性変形による最大たわみ量と比較すると、弾塑性バルジングは、ロール間隔が大きい場合、クリープバルジングより小さく、ゆえに、ロール間隔が大きい場合にはクリープがバルジングを起こす支配的変形機構となる。(木下勝雄)

溶鉄の電気化学的脱酸

(D. Ya. POVOLOTSKII, et al.: Izv. Akad. Nauk SSSR, Metally, (1979) 4, pp. 9~13)

固体電解質を利用し、溶鉄の電解脱酸の過程を研究した。450 g の純鉄を黒鉛抵抗炉によりアルミナるつぼ中に溶融し、タングステン線を用いて溶鉄に直流を流した。

固体電解質として、1 mol% Y₂O₃ あるいは 12 mol% CaO を含む ZrO₂、1 mol% TiO₂ および 6 mol% CaO を含む Al₂O₃ を用いた。陽極には、純粋な黒鉛粉末、金属及びその酸化物の混合粉末 (Mo, MoO₂ あるいは Cr, Cr₂O₄)、溶銅と接触している黒鉛棒、空気と接触する白金の4種類を用いた。これら異なる固体電解質及び陽極を組合せ、0.25~3.0 A (電流密度 0.025~0.300 A/cm²) の電流を1~14 V の電圧で流した。

鉄の溶融はアルゴン気流中で行つたが、蓋を用いた場合は $P_{O_2} = 10^{-6} \text{at}$ 、蓋のない場合には $P_{O_2} = 10^{-4} \text{at}$ の酸素分圧となつた。どの測定でも脱酸初期では、ファラデーの法則から計算される理論値にほぼ等しい酸素量が除去された。電解時間が増加すると効率は低下し、理論値の85~41% となつた。

脱酸効率は溶鉄上の酸素分圧が低いほど高くなり、電流3 Aでは $33.5 \times 10^{-4} \% \text{min}$ の速度で0.002~0.003% (約95%) まで脱酸できたが、酸素分圧が高い場合には78~80% までしか脱酸できなかった。

$P_{O_2} = 10^{-4} \text{at}$ の場合には低電流密度 (0.05 A/cm² 以下) では脱酸できなかったが、これは電解による脱酸速度が $0.56 \times 10^{-4} \% \text{min}$ と低くて雰囲気からの酸素供給に及ばないためである。また陽極が粉末の場合には焼結によつて接触表面が小さくなり、電圧が上昇するため分極が起こり脱酸効率の低下することがわかつた。

(郡司好喜)

連続铸造スラブの面中央縦割れ生成について

(T. K. BRIMACOMBE, et al.: Met. Trans., 10B (1979) 2, pp. 279~292)

薄板材、厚板材連铸スラブの広面中央縦割れサンプルについて凝固組織観察、X線分析、高温引張り試験と凝固伝熱計算に基づいて割れ生成機構を考察した。

縦割れはデンドライト樹間の割れであり、同方向の凹みを伴つていた。凹み幅は割れ深さと正比例し、しかも凹みが深ければ割れの幅が広がつた。ノズルの噴流によつて生じるホワイトラインが見られた薄板材は表面と表層下の割れが共にホワイトラインを越えず、表層下の割れはホワイトライン近傍から始まつていた。また割れ部にはパウダーが検出された。更に高温引張り試験の結果として、低延性領域が固相温度から50°Cと1200°C以下に認められた。

以上の知見から薄板材の縦割れはメニスカス近傍か溶銅噴流衝突位置で生じることが示唆された。すなわちメニスカス近傍では急速に冷却されたシェルの収縮により生じた引張り歪がパウダーの不均一流入や局所的空隙に

よる不均一な拔熱によつて局部的に集中するかもしれない。また溶鋼噴流衝突位置ではシェルが局部的に再溶解、再加熱され、更に多分鋳型短辺テーパー不足によつて生ずるだろう引張り歪が集中する。いずれの場合においても歪が 0.2~0.3% を越えれば、割れは最初凝固界面のホットスポットで開口し、一方表面はより低温で延性に富むため塑性変形して表面に凹みを生じる。割れは最終的に鋳型内か上部スプレイ帯で表面まで貫通する。従つてメニスカス部ではパウダーの均一流入が、鋳型下部では鋳片支持と冷却方法が割れ防止に有効である。

凹みが浅く狭い幅の縦割が見られる厚板材は薄板材より脆い破面を呈し、メニスカス近傍で割れていると考えられる。また 0.18%C 鋼は 0.13%C より凹みが小さく、二次的な割れが生じていた。(檀 林三)

— 鋳 造 —

スラブ連鋳機における垂直鋳型と彎曲鋳型の比較

(J. V. FLORCHAK: Ironmaking and Steelmaking, 6 (1979) 3, pp. 123~130)

垂直型および円弧型鋳型を有する連鋳機で鋳込んだ鋳片の内質についてその相違を明らかにした。円弧型では介在物のほとんどは円弧内側の鋳片上面層に捕捉され集積帯を形成する。捕捉される介在物量は鋳込速度に強く依存し、高速鋳込ほど顕著となる。これに対し垂直型では介在物の大半は浮上分離し鋳片厚さ中心近傍に一部捕捉され、全介在物量は円弧型の約 16% である。高品質鋼を円弧型で鋳込む際は鋳込速度を 1 m/min 以下に管理する必要があるが、垂直型では 1.5 m/min 以上の鋳込速度で同品質の鋳片が得られ、生産性の向上が計れる。

内部割れは凝固界面の引張歪がある臨界値をこえると発生する。この臨界値は鋼中 C レベルに強く影響されるが、円弧型の場合文献によると表面歪 1.25%, 内部歪 0.20% である。垂直型の操業では歪はこの臨界値以下である。垂直型ではドライブロールを意図的に機長に沿つてある間隔をもつて配置させロールと鋳片表面に生ずる摩擦を利用して鋳片を垂直方向に圧縮の状態に保ち、凝固界面に生ずる引張歪を減らすことができる。円弧型ではドライブロールをマシン下部に集中配置されるため、鋳片はロールによつて引張られ鋳型から矯正点まで常に引張の状態におかれる。過多の引張歪は過多のパルジングによつて生ずるので、高速鋳込用としてロール間隔を狭く設計した垂直型が円弧型より有利である。垂直型で鋳込まれた鋳片は介在物および内部割れの少ない健全な内部組織をもち、かつ高速鋳込においても表面品質がすぐれている。このような利点から垂直型によりラインバップ、原子力機などの高品質鋼の製造が可能となつた。

(北岡英就)

— 性 質 —

炭素鋼および高強度低合金鋼の結晶粒と亜結晶組織の調整

(A. GALIBOIS, et al.: Met. Trans., 10A (1979) 8, pp. 985~995)

エネルギー危機によつて、強度と靱性を兼ね備えた鋼の開発の必要性が高まってきた。従来、この種の開発では、強度と靱性を同時に満足する因子として有効結晶

粒を微細にすることに注意が向けられてきた。

本論文は、炭素鋼および高強度低合金鋼 (HSLA) の強度と靱性の改善方法と、その原理や機構ならびにその工業的利用限界について言及している。

炭素鋼では、フェライト領域で軽い圧下を行うことによつてポリゴン化をすすめ、微細な亜結晶粒を利用して、強度と靱性の良い組合せを生み出すことが可能である。しかし、炭素鋼では機械的性質の改善に限界があり、所望の特性を得るためには、合金化と加工熱処理の施された HSLA 鋼に頼ることになる。ある程度の強度と靱性を持つ HSLA 鋼の例として、Mn, Mo, Cb 添加によつて針状フェライト組織を呈している Climax-Ipsco 針状フェライト鋼、比較的大きな未固溶の Cb 炭窒化物により、フェライト粒の微細化を図つた Moly-corp 高 Cb 鋼、時効による Cu の析出強化と Cb の結晶粒微細化作用を利用した INCO 鋼 (IN787) をあげている。

さらに 552Mpa 以上の高強度と良い靱性を持つ鋼の開発において、著者らは Cb 添加によりオーステナイト結晶粒と形態の調整を行い、Mn, Ni, Mo で変態を制御し、Cu 添加により析出強化を図り、靱性と溶接性の点で炭素量を抑えることによつて成功している。開発した鋼は、制御圧延と時効によつて良い靱性をあたえ、827~965Mpa の強度を示す Cu-Cb-Ni 鋼、Cb と Ti をオーステナイト結晶粒とその形態の調整に利用している Cu-Cb-Ti 鋼の三種類である。(村上雅人)

Fe-Cu 合金鋼のオーステナイト分解における Ni の影響

(R. A. RICKS, et al.: Met. Trans., 10A (1979) 8, pp. 1049~1058)

Fe-Cu 合金鋼の $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態に影響を与える因子として、冷却速度の関数としての変態生成物、焼入れ焼もどしによる析出物が対象となる研究が行われていた。しかし、変態生成物が形成される温度範囲や、温度が下がるにつれての正確な反応などは、まだ解明されていない。本論文は、TTT 曲線を作り、同時に等温変態により形成される反応生成物を微視観察することにより、添加元素 Ni の影響を調べたものである。

用いた試料は、Fe-2Cu 合金に、0, 2, 5, 7% Ni を添加したものであり、ヘリウムガスで冷却速度 300 °C/S が得られる熱膨脹計を使用して TTT 曲線を作製した。Ni の増加に伴い、 A_{c1} 点は下がり、 $\alpha + \gamma$ 相領域が増加した。0, 2, 5% Ni においては、反応終了曲線に不連続点が現われ、Ni 増加につれて不連続点温度は下がったが、7% Ni では他と異なり、反応終了曲線は連続的な C 曲線になった。Ni 添加で、変態温度域がさがることにより、部分的に整合的な相界面が移動成長する。これにより、Ni を増量させると、等方性フェライト、ウィドマンステッテンフェライト、ベイナイトのフェライト組織が形成される。また変態温度がさがするために、過飽和 α 或いは ϵ -Cu 析出物含有の α が、 $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態中に十分に生成される。

Ni によつて、等温反応時間は増加するが、これにより、Cu が粒界面で再配列する。そして、 $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態に伴つて析出が起こる。さらに、Cu が粒内に再配列するために必要な臨界温度以下に変態温度がさがり、過飽和

α が形成される。この臨界温度が、0, 2, 5%Ni 合金鋼の反応終了曲線に示される不連続点となる。Cu の再配列が起こるのは、反応開始点と不連続点により決まる温度範囲内であるが、かなりのレッジ (ledge)核が形成されることにより、整合的な粒内析出物の形成が見られる。
(西脇健一)

沸騰 NaOH 水溶液中における 304 鋼の腐食疲労と応力腐食割れ

(A. BOATENG, et al.: Met. Trans., 10A (1979) 8, pp. 1157~1164)

304 鋼の丸棒試料を用い沸騰(140°C) 17.5M (46 wt%) の NaOH 水溶液中で、引張り-引張り、0.1Hz の正弦波状繰り返し応力を加える腐食疲労試験を行い、鋭敏化、平均応力、応力変動幅及びアノード防食が、破断繰り返し数に及ぼす影響を調べた。

鋭敏化の影響は、1093°C-2h, 水冷の溶体化処理材と、それに続く 649°C-4h, 水冷の鋭敏化処理材とを比較した。後者の場合にき裂が粒界から発生する(その後進展はやはり粒内)場合があることが認められたほか

は、有意差はなかった。この事実は、本実験条件下の開路電位(活性態域)において耐食性に最も量要な役割を果たす元素は Ni であつて、Cr 欠乏は大きな問題ではないためであると解釈した。平均応力は、124MPa, 248MPa の2種類について実験を行つた。後者の場合、繰り返し応力の全域が完全に塑性域に入るにもかかわらず、前者との間に明瞭な違いはなかった。これに対して、応力変動幅は寿命に著しい影響を及ぼした。電位は、浸漬だけの場合、ポテンシオスタットにより-420 mVSHE の不動態域に保持する場合及び 0.005MNa₂CrO₄を加えて化学的に不動態域に保持する場合の3者について比較した。これと併用して定荷重の SCC 試験も行つた。アノード的に不動態化すると、定荷重 SCC 破断寿命は明瞭に長くなるが、腐食疲労寿命に対してはまったく効果が見られなかった。寿命に応力変動幅が最も影響すること、アノード防食の効果がないことから、腐食疲労き裂は脆い不動態皮膜の破壊とすべり溶解という機構で進むものと考えている。
(辻川茂男)