

抄 録

—燃料および熱—

テキサコ法石炭ガス化（ルールケミ/ルールコール式）の研究

(B. CORNILS, et al.: Stahl u. Eisen, 100 (1980) 7, pp. 388~392)

合成ガス（一酸化炭素と水素の混合物）は化学工業、発電、石油工業、製鉄業、熱管理など多方面に利用される。

石炭のガス化による合成ガス製造のためには、高圧、高温の技術、広範囲の石炭使用の技術、を新しく開発する必要がある。これらの条件を満たしかつ重質油のガス化用に確証された構成要素を用いている石炭ガス化プロセスがテキサコによつて開発され、モンテペロ（カリフォルニア）でパイロットプラントの試験がなされた。ルールケミ・ルールコールのワーキング・グループは長年の開発研究によりプロセスを改良し、工業規模のデモンストレーションプラントの試験を実施している。

オーベルハウゼン・ホルテンのプラントは部分酸化噴流式で石炭処理能力は6 t/h であり、反応容器内にて粉炭と水のサスペンションに酸素を付加し、1500°C でガス化する。1978年4月以来約4000 hの操業で1万9千 tの石炭を37万 m³の合成ガスに転換した。反応圧力は18~30 気圧、反応温度1350~1500°C、サスペンション濃度45~70%、粒度90 μm 以上14~60%、能力の20~120%（石炭処理量1.4~6.9 t/h、ガス製造量2000~12000 m³/h）で操業した。使用した石炭の種類は半無煙炭、歴青炭、亜歴青炭及び泥炭である。炭素転換率とガス化効率を反応温度、サスペンション濃度及び石炭粉砕度の関数として求めた。

現在までに得られた操業結果により、テキサコ法石炭ガス化（ルールケミ・ルールコール式）が実現の可能性のあることを示した。（鈴木喜夫）

—製 鉄—

安い鋼の製造を可能とする製鉄法

(P. COLLIN and H. STICKLER: Iron and Steel Intern., 53 (1980) 2, pp. 81~86)

転炉用溶銑を製造する Elred プロセスについて述べた。本プロセスは粉銑石を二段階に分けて還元する。

予備還元工程は加圧流動層である。石炭粉と空気を流動層に送り、石炭の部分燃焼によつて900~1000°Cの温度を得るとともに、流動化ガスを発生させ、還元を行う。ここで銑石を金属化率60~70%まで還元する。石炭は品種に制限はなく、平均粒度0.2~0.3 mm で使用する。銑石は0.1 mm 以下、鉄分65%以上が望ましく、高磷銑も利用できる。発生ガスは流動化ガスとして30~50%を用い、残りを複合発電用に利用する。予備還元プラントの主要部分は耐火物で内張りした反応室で、その高さは約25mである。

最終還元工程は1450°CのDCアーク炉である。70%の金属化率で700°Cに予熱した原料はこの段階で

700 kWh/tFeを消費する。原料は中空電極をとおして投入し、電極直下の高温プラズマ中を通過させ、溶解、加炭、還元を行う。出銑は間欠的に行い30~50%を炉内に残す。溶銑成分はC 3~4%、Si、Mn はそれぞれ0.05%であり、原料中に存在したSの半分、Pの大部分が銑中に入る。スラグは塩基度約1.2で鉄分10%を含む。通常の方法で脱Sし、Pは製鋼過程でスラグ中に回収する。銑中Siが低いのでスラグ量が少なく、高磷銑を用いた時にはスラグ中Pが高いので肥料とすることができる。

本プロセスの特長は次のとおりである。転炉で使用する溶銑を供給する。銑石は焼結しないで利用でき、高磷銑でよい。安価な石炭をコークス化しないで利用できる。二つの還元工程はいずれもすでに工業化しているものである。操業は正確に制御できる。高炉法に比べて建設費、公害対策費が安い。エネルギー源は石炭である。これらを総合したコスト比較によれば Elred-転炉法は高炉-転炉法より2割安い鋼を製造できる。

（斎藤健志）

マグネタイトの水素還元 Part. 1 化学反応速度

(M. M. AL-KAHTANY and Y. K. RAO: Ironmaking and steelmaking, 7 (1980) 2, pp. 49~58)

最近では直接製鉄法が重要となつてきて、酸化鉄の還元の反応速度を知る必要がある。本研究はマグネタイトの水素還元の化学反応速度を決めるために行われた。実験は化学反応律速となるような温度範囲で行い、気孔内拡散の影響を少なくするために大へんうすい試料を用いた。また適当な量の還元ガスを流すことにより境膜内物質移動の影響が最少となるようにした。

装置は電気天秤、反応管、ガス純化装置からなり、試量の重量減少を実験中連続的に記録した。鉄の薄膜の酸化により作成したマグネタイト試料は長さ20 mm、幅15 mm、厚さ89 μmの薄膜である。試料を天秤につるし炉中で昇温し、一定温度となつたところで水素2800 cm³/minを流して還元する。還元温度は234~620°Cの間の25点で行つた。

還元曲線はシグモイド型を示し潜伏期、加速期、衰退期に分けられ、還元率30~70%の部分から還元の反応速度定数を求めた。速度定数 k_s g-o/cm²·s·atm は234~620°Cでは $\log k_s = -0.2371 (\pm 0.1720) - 18580 (\pm 470)/2.303RT$ で表される。気孔内拡散については、気孔の大きさを走査電子顕微鏡により測定し5つの温度で計算した。気孔内拡散速度は化学反応速度の100倍であり気孔内拡散の影響はない。生成した鉄中の気孔の大きさは焼結によつて変化するが、温度が適当であつたので焼結現象は気孔の構造にあまり影響をしなかつた。境膜物質移動速度は234~450°Cで化学反応速度よりも大へん大きかつた。しかし、450~620°Cの温度範囲では境膜物質移動の影響が重要になる。（月橋文孝）

炉頂の装入物分布による Solmer 高炉操業の改良

(J. A. MICHARD, et al.: Ironmaking and steelmaking, 7 (1980) 2, pp. 59~67)

最近の高炉操業では炉内のガス分布を制御することが重要である。ガス分布に係る融着帯の形状、位置は通気性、炉壁への熱損失、還元状況に影響し操業を支配するだけでなく、炉体の寿命にも影響する。

Solmer 高炉は 1974 年に火入れされ、内容積 2175 m³、炉床径 10.1m の同じ大きさの高炉 2 基からかなり日産約 8500 t である。Solmer 高炉ではムーバブルアーマを用いてガス流れ分布を制御しており、実験は装入物分布による炉壁への熱の減少による炉壁の保護という観点から高炉操業を調査した。

中心流操業を行うため半径方向にコークス/焼結 鉱比を変え中心から炉壁へ向かつてこの値を減少させた。中心流操業になると中心のガス利用率は低下し燃料比は大きくなる。しかし炉壁からの熱損失は減少した。次にコークス/焼結 鉱比によらず中心流にする新しい装入方法を試みた。焼結 鉱を炉の中心部と周辺部とに分けて装入し、鉱石の整粒を行って中心に粗い焼結 鉱を装入することで中心流操業を行う方法である。この場合には炉中心部でのガス利用率が良くなり理想操業に近くなり、燃料比は 480 kg/t 鉄から 460 kg/t 鉄へと低下した。また炉壁への熱損失も低くすることができた。中心流装業はコークス/焼結 鉱比を変えるだけでなく、焼結 鉱を整粒し分布をつけることによって行うことができた。

これらの実験は IRSID の数学モデルと組み合わせ、プロセスコンピュータによる測定データ、操業条件の解析により行うことができた。(月橋文孝)

Shell-Koppers 法の製鉄・製鋼業への利用

(M. JOHANNES, et al.: Stahl u. Eisen, 100 (1980) 7, pp. 380~382)

Shell-Koppers 法は、あらゆる種類の石炭から、灰分 40%、硫黄 8% を含む石油コークスまで、各種の固体燃料のガス化を可能とする加圧型ガス化プロセスである。

石炭は、乾燥・粉碎して、粒径 < 90 μm となつたものを酸素、水蒸気とともに、反応器に吹き込み、ガス化させる。反応器の排気口の温度は通常 1400~1500°C で、圧力は約 30 bar である。

製造したガスは、H₂O と CO₂ が少ないことから、直接製鉄への利用や、ガス/水蒸気タービンを回して発電への利用などが考えられる。ガスの利用法は CO と H₂ と CH₄ の割合を変えることによって、さらに広がる。

石炭から、SNG (Synthetic Natural Gas) を作る場合と合成ガスを作る場合の経済性を比較すれば、合成ガスの方が有利で、天然ガスが手に入らないという事態でも起こらない限り、石炭から SNG を製造する事は割に合わない。したがって、石炭からのガスを利用する場合、まず合成ガスを使うべきである。

現在、1 日 150 t の石炭処理能力を持つ実験プラントが Hamburg-Harburg で操業中で、1 日 1000 t を処理できる大型実験プラントの設計と建設のために必要なデータを集めている。1983/84 年に運転開始予定のこのプラントは、完全な生産プラントとなるであろう。2000~2500 t の大型プラントであれば、より高い経済性が見込まれ、1990 年までには、商業ベースにのるものと思われる。(小松周作)

Saarberg/Otto 石炭ガス化法

(M. ROSSBACH, et al.: Stahl u. Eisen, 100 (1980) 7,

pp. 383~387)

Saarberg-Dr. Otto 研究会は、1976 年の創設以来、高温噴流床ガス化法の実験プラントを Völklingen で運転している。この Saarberg/Otto 石炭ガス化法では、粒径 3 mm 以下の粉炭が用いられ、1~25 bar の圧力で、スラグ床の上に水蒸気と酸素とともに吹き込まれ、H₂ と CO に転化される。その際、スラグの表面に向いた 4 つのノズルから空気が吹き込まれ、スラグ床は回転し、スラグがある量を越えるとあふれ出し、粒状に処理される。11 t/h の石炭処理能力を持つ実験プラントでは、22000 m³/h のガスが製造できる。

その他の高温ガス化法と同様に、このガス化法は H₂ と CO を主に含んだ粗ガスの製造に適している。この粗ガスは精製前にすでに、80~90% の H₂ と CO を含み、好ましくない副産物や、汚染物質などは、含まない。そのため、需要者の要求に応じて、H₂ と CO の割合を減らして、必要な組成のガスを得ることができる。

製造したガスの利用法は主に次の 3 つが挙げられる。

- ① 発電所への利用：ガスタービン、水蒸気タービンによる発電。
- ② 直接製鉄への利用：H₂、又は、H₂/CO 混合ガスを用いた鉄鉱石の直接還元。
- ③ 化学産業への利用：SNG (Synthetic Natural Gas) や、アンモニアの合成。

また、このプラントで、石炭供給システム (coal feeding and dosing system) がテストされたことは、注目に値する。(小松周作)

融着帯の有無に伴う高炉内のガス流れに関するモデルを用いた考察

(H. W. GUDENAU: Stahl u. Eisen, 100 (1980) 9, pp. 488~494)

高炉は、向流型反応装置である。炉内反応は、ガス分布や装入物分布に影響される。ガスの分布は、炉の上部では装入物分布に、また炉の下部では融着帯の位置に影響される。一方、レースウェイの深さや溶融帯の高さが重要な因子である。高炉内のガス流れは、種々の研究者により、数値解が得られている。本研究では、境界条件の設定の容易さから、2次元ポテンシャルフローのガス流れを解くにあたり、電気アナログを使用した。流れ場は導電性の銀箔を使用した。融着帯は、銀箔を切り抜いて設定した。使用した電圧は、10 V ± 0.2 mV を選んだ。

装入物の傾斜角のガス流れに及ぼす影響を調べた。傾斜角を 5° ずつ変化させると、ガスの流線は、炉の中心に曲げられる。ガスの流線が曲げられる位置として、半径 R_t と炉頂からの距離 D_o を選び、装入物の傾斜角を θ とした時、

$$D_o/R_t = 2.3 \times 10^{-2} \theta$$

なる関係がある。

炉の半径方向のガスの流速分布を調べた。炉の中心から、無次元半径が 0.2 までは、ガス流速が、急激に減少する。無次元半径が 0.2 を越えると、ガス流速は、徐々に減少し、壁面では、ガスは、ほぼ静止する。

融着帯のガス流れに及ぼす影響を調べた。融着帯のプロフィールは、広畑 1 高炉に合わせた。ガスは、融着帯が存在する場合、根部により大きく中心流に変えられる

傾向がある。

レースウェイの深さは、ガスの運動エネルギーによつて決定される。また、空隙率や装入物の粒径分布、燃焼温度、送風圧、そして高炉の直径や風量にも影響される。

(小林一彦)

—製 鋼—

一方向凝固した Fe-MnS 共晶に関する二、三の観察

(N. El MAHALLAWY and K. SCHWERTFEGGER: Arch. Eisenhüttenw., 51 (1980) 4, pp. 137~142)

状態図がよく知られており、かつ組成が単純で、凝固時の挙動、とくに硫化物晶出に付随する現象を把握しやすい鋼として、Fe-Mn-S 合金を選び、Fe-MnS 共晶の形成機構を観察した。

合金の組成は、 δ 鉄および (Mn, Fe)S 固溶体晶出の液相面の交線の最高温度付近のもの 7 種 (1.60~3.98 wt% Mn, 0.32~0.80 wt% S) を準備した。試片の大きさは直径 14 mm, 長さ 200 mm で、アルミナ管内で一定の成長速度で一方向凝固させた。成長速度は 5~120 mm/h, 温度勾配は 40~70°C/cm であった。凝固試料の中央部分が切り出されて、化学分析と顕微鏡観察に供された。

Mn 含有量が 3% 以下では、凝固速度の小さい場合、MnS 相が整然と並んだ繊維状の、完全な共晶組織が得られる。ただ、このロッド状の MnS は球状化しやすく、結晶粒界などでは、しばしばくびれや球状化が観察される。

また、成長速度の増大とともに、これらの組織はセル組織に移行する。セルの中央部では、小さな球状の MnS が存在し、周辺部に近づくに従つて直径の増すロッド状の MnS が観察される。なお、これら中央部に存在する球状の MnS も、最初はロッド状に晶出し、しだいに球状に変化したものであることが明らかにされた。Mn 含有量が 3.5% 以上の場合、セル組織は存在せず、大部分の MnS は球状化し、マトリックス中に均一に分布している。

初晶の MnS がデンドライト状をしていることから、ロッド状 MnS も固体として晶出していることが明らかである。

更に、硫化物晶出の機構におよぼす成長速度の影響を、模式図を用いて定性的に説明した。(檀 武弘)

熔融金属脱硫剤-CaD の北アメリカでの経験

(H. A. CORVER and W. GMOHLING: Iron Steel Eng., 57 (1980) 3, pp. 53~55)

西ドイツの SKW 社で開発されヨーロッパや日本で使用されている脱硫剤 CaD の北アメリカの製鋼工場でのランス吹き込み法による実験結果を報告している。

一般にランス吹き込み法で使用されている脱硫剤は、67.5%wt の市販カルシウムカーバイド (80%CaC₂), 29%wt の石灰石そして、3.5%wt C の混合物である。ところが、60%wt の市販カルシウムカーバイドと 40%wt の diamide lime の混合物が、Thyssen 法において、カルシウムカーバイドのより有効な使用方法であることがわかった。これが CaD である。

この CaD は、水素シアナミドを製造する時の副産物として得られる diamide lime を混合しており、これ

は、85%wt のカルシウムカーボネートと 11%wt C を含んでいるので、CaD 試剤が、15%wt CO₂ と 5%wt 自由炭素の平衡物を含んでいる。

この diamide lime は、吹き込みの際にガス発生を即座に起こし、炭素を均一に分散するため、CaD 試剤が、人造試剤に比較して、気泡の均一な流れを形成し、気泡の上昇もゆつくりで、熔融金属との接触時間が増加して脱硫反応が促進されている。

脱硫反応は、取鍋形状、スラグ状態、熔融金属温度などによつて影響されるが、最も影響が大きいのは、ランス深さと、熔融金属の重量である。そこで 140 t 以上の実験結果のみを考えると、硫黄を 0.05%wt から 0.015%wt まで減少する場合の、脱硫効率、CaD を使用すると、従来より約 5% 上昇し、カルシウムカーバイドの使用量が、1 t 当たり約 5.216 となり 13% の減少になる。このため、脱硫剤使用量が減少し、価格利益が得られる。(虎岩 清)

エレクトロスラグ再溶解法によるロール製造

(J. D. BAIRD, et al.: Ironmaking and Steelmaking, 7 (1980) 2, pp. 82~88)

本論文は、従来鍛造鋼でつくられていた冷間圧延機のロールを、エレクトロスラグ再溶解 (ESR) 法によつて溶製する方法について述べたものである。

ESR 装置は R. B. Tennent LTD 所有のもので銅るつば移動式、インゴットの最大高さ 6m, 最大重量 35 t まで製造できる。電気接続は単相交流式、消費電力は 3.3 MVA である。消耗電極として電気炉で溶製した鋼塊とスクラップのロールの 2 種類が使われ、スラグは CaO-Al₂O₃-CaF₂ 系である。

ESR 法による S の組成変化は溶製前が 0.02~0.03% であるのに対し、溶製後はボトム部で 0.002~0.006%, トップ部で 0.006~0.010% となる。酸素についても溶製後は約半分に減少して 20~27 ppm となる。また水素の吸収は 1 ppm 以下である。Si は溶製前が 0.33~0.35% であるが、溶製後はボトム部が 0.29~0.32%, トップ部が 0.30~0.33% とわずかに低下する。なお、ロールの他の化学組成は 0.8%C, 1.8%Cr, そして Mo, V が少量である。

溶製されたインゴットはロールに適した物理的及び機械的強度を得るために所定の熱処理が施され、ロールの形状に成型される。2 周波誘導加熱炉で硬化された後、-80°C の雰囲気中を通してオーステナイト相をさらに減少させ、最後に 150°C~200°C で焼きなましする。

本方法によつて製造された冷間圧延機のロールは鍛造のそれに比べてコスト的に引き合うことが立証された。しかし、熱間圧延機のロールやクラッドロールについては、ESR 装置の銅モールドのストックを多くしなければならぬことや ESR 法では熱間圧延期のロールのみぞが製造できないことなどの理由により鍛造ロールの方が本方法より経済的であると結論づけられる。

(加藤嘉英)

任意の細粒炭を用いる直接還元と組み合わせ可能な溶解法の開発

(J. HARTWIG, et al.: Stahl u. Eisen, 100 (1980) 10, pp. 535~543)

エネルギー担体として、任意の種類の細粒炭、とくに揮

発分含有量の低・中位炭を使用し、屑鉄、海綿鉄のいずれにも適した、新しい溶解法を紹介する。

クルップ社の開発した本溶解法は、資源エネルギー状況の深刻化とともに、その埋蔵量の大きさ故に、将来大きなフレキシビリティを持つであろう石炭、とくに非粘結炭を燃料として用い、酸素とともにメルト中に下方より吹き込むことにより不完全燃焼させ、その熱により屑鉄あるいは海綿鉄を溶解するものである。

電力への変換なしに、燃料を直接燃焼させるので熱効率も良好で、生成する還元性排ガスは、工場内で高炉吹き込みガスや、自家消費のため使用できるばかりでなく、鉄鉱石の直接還元にも利用することができる。

3 t 規模の試験炉での操業で得られた $1 \text{ t}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ 以上の比溶解効率は、現在最も効率の良い電気炉のそれに匹敵するものであり、しかも電気炉とは異なり、高負荷の電力供給システムを必要としない利点がある。

本報告では、溶解速度・最大ガス通過量の決定、溶解効率・ダスト発生量・ガス組成および比石炭消費量におよぼす炭種の影響、メルト・スラグ・ダストおよびガスへの S の分配などについて詳述するとともに、メルトの後処理・精錬、本溶解法の連続操業化、発生するガスの直接還元への適応性について述べる。

最後に、直接還元法との組み合わせについて、二つのモデルを提案している。

その組み合わせは、全く新しい製鋼プロセスの誕生を意味し、エネルギー効率のよさ、生産効率の高さ、燃料に対する高いフレキシビリティの故に、将来の発展が期待される。

(檀 武弘)

一 加 工

Hallefors の SKF Steel 製の棒鋼圧延機-棒鋼製造のための新しい工具

(J. BACKMAN, et al.: Iron Steel Eng., 57 (1980) 5, pp. 45~52)

Hallefors 工場は SKF の全工場に軸受鋼の粗材を供給する基地であるが、最近、棒鋼の圧延機をリプレースして最新型の設備を導入した。本圧延機は、棒鋼に要求される特性、1) 脱炭が少ないこと、2) 寸法精度がよい、3) コイル重量が大きいことなどを狙い、1975 年 6 月にプロジェクト・チームを発足させて計画された。1977 年 8 月に試作品を完成させ、続いて、1978 年 3 月に線材の製造もできるようにした。

製造能力は、棒鋼 20~65 mm 径×3~12m 長、線材 12~32 mm 径、コイル外径 1350 mm、同内径 850 mm、同重量 1250 kg である。工場の概要は、16800 m² の建屋面積で、全長 296m の建物に全連続式圧延機を直線に配置した。主要設備の特長を以下別記する。

- 1) ビレット-120 mm 角×12m (最大) 自動表面検査実施。
- 2) 加熱炉-ウォーキング・ビーム 750°C (油)、1150°C LP ガスの 2 段加熱、炉の加熱容量 60 t/h。
- 3) 粗圧延機-2 基、第 2 番目の圧延機は Schloemann-Siemag のプラネタリーミルを採用し、70%/回の高圧下を行う。圧延工程の短縮と温度の低下が少ないのが利点。
- 4) 仕上げ圧延機-14 基の 2 段圧延機を堅、水平ロールを交互に並べ、各圧延機は軽量、単純化させているが、

水準、ロール・ギャップの調整が可能とした。ロール交換は、圧延機をユニットごとと交換し 1h 以内で交換可能。5) 冷間シアリング-冷却ベッドで 200°C 以下にした棒鋼を冷間でシアリング可能とし曲りは 1 mm/1m 以内。切断数は 30 本/min。結束工程は 2 ラインあり、自動化されている。

6) 環境管理-騒音、換気、採光、水の再処理 (97%) に注意を払っている。

人員構成は、10 人、線材のために 2 人、ロール・ショップなどのサービス部門に 5 人である。ただし直接機械を担当するもので、1 シフトあたりの人員を示す。

(望月俊男)

直接還元のための鉄鉱石ペレット

(G. MATHISSON: Stahl u. Eisen, 100 (1980) 7, pp. 393~399)

本論文では、スウェーデン・LKAB 社のマグネタイト鉱石の選鉱性状を述べた後、これを原料として製造した直接還元用ペレットの還元性状-被還元性、還元強度および粘着挙動-について報告している。

さらに、この直接還元用ペレットを Midrex 法および HyL 法にて還元し、海綿鉄ペレットとする場合における LKAB 独自の装入物試験法を確立し、両プロセスに対応した試験パラメータについてそれぞれ詳述した。

最後に、製造した海綿鉄ペレットの溶融性状について言及している。

LKAB 社のマグネタイト鉱石は鉄分 48% であるが、選鉱後、焼成して 1.2%SiO₂, 68.1%Fe の MPR ペレットを製造している。直接還元時にペレットの被還元性をよくして、高い金属化率を得るために、焼成時におけるマグネタイトの酸化を促進させることに留意している。そのために、粒径を 14 mm 以下、焼成温度を 1275~1290°C に制御し、2 価の鉄量を 0.4% 以下に抑えている。かつ、圧潰強度は 250 kg 以上に保っている。また、ドロマイト等の溶剤を添加してスラグ塩基度を上げて、酸化速度の上昇を図っている。この溶剤添加ペレットは、スラグ量が増加して結合が強固になることにより、粘着防止に効果がある。

Midrex 法による直接還元の際の装入物の試験項目には、被還元性、還元強度および粘着性状があり、HyL 法の場合は、ふくれと被還元性の試験がある。

海綿鉄ペレット中の脈石を除去するためには、溶融時に溶剤を添加する必要があるが、ドロマイトを添加した MPD ペレットを使用した場合は、酸性ペレットである MPR ペレットを使用した場合よりも石灰石消費量が少なくなり、溶融時間が短くなるので製造コストの低減につながる。

(長野誠規)

一 性 質

BCC Fe-Cr 合金 (7~9.4wt%Cr) の水素トラッピングのマイクロオートラジオグラフィによる研究-炭素・水素相互作用の寄与-水素割れへの影響

(C. P. de OLIVEIRA, et al.: Corrosion, 36 (1980) 2, pp. 53~59)

金属中の H の挙動に対するトラッピング現象の影響は非常に大きく、水素割れに対しても重要な役割を果たす

といわれている。トラップサイトとなる格子欠陥とHの相互作用を論ずる場合、同様な効果を持つCの分布状態も考慮に入れなければならない。本論文は、Fe-Cr合金のHのトラッピング挙動に及ぼす微量C (50 ppm) の分布状態の影響を、トリチウムを用いたマイクロオートラジオグラフィによって調べたものである。

熱処理により、再結晶等軸フェライト、焼入れラスマルテンサイト、及び Cr_2N と Cr_{23}C_6 が析出した徐冷フェライトの3種類の試料を調整した。Hは、トリチウムの入った $1\text{NH}_2\text{SO}_4$ 溶液 (1.5 Ci/cm^3) 中で電解チャージすることによって導入した。

水素トラップの形態と挙動は、試料の熱履歴、すなわち組織によって大きな変化を示し、Cの析出と偏析状態に強く依存した。Hのトラップサイトは、再結晶フェライトでは結晶粒界、マルテンサイト組織ではそのラス境界、徐冷試料では炭化物であり、窒化物はトラップサイトにならないことが観察された。室温でのHの放出実験から、トラッピングエネルギーは、Cを含む粒界においては 59 kJ/mol 、炭化物が析出した粒界では 67 kJ/mol と計算された。水素割れに対する影響も同様に熱処理によって影響された。Cは結晶粒界を強化する効果を有すると同時に、Hの有効なトラップサイトになつて内部マイクロクラックの発生を促進させるという相反する効果を持っている。き裂発生に要する臨界電流密度は、局部的機械的性質と不純物偏析の複雑な関係によって変化し、単純に評価することはできなかった。実験した3種類の試料の水素割れ感受性の比較はつぎのとおりである。

再結晶 > 徐冷 > 焼入れ (青木孝夫)

切り欠き付 1018 鋼の海中における疲れ限度の上昇-試験片寸法と周波数効果

(W. H. HARTT and W. C. HOOPER: Corrosion, 36 (1980) 3, pp. 107~112)

著者らの以前の報告で、切り欠きを付した 1018 鋼の自然海中の疲れ限度が、陰分極下において、対応する大気中の値より約 100% 増加することが分かった。この報告では、引き続いて、この腐食疲れをやわらげる陰分極の有効性に及ぼす試験片寸法と試験周波数の影響を明らかにし、かつ、この現象の機構をよりよく理解することを試みた。

試験は、定電位下の繰り返し曲げ疲れ試験を厚さを3段階に変えた鋭い切り欠き付試験片に対し、31Hz と 3.3Hz の試験速度で行った。その結果、試験片の厚さが薄いほど、そして、試験速度の遅い方が疲れ限度は上昇した。

破断しなかつた試料に存在する停留き裂の長さは電位と一定の関係にあつたが、き裂の伝ばが阻止されるのはき裂内の石灰質の沈積に関係する。このことは、主として疲れ限度の上昇が海水中で生じるが、3%NaCl 水溶液(蒸留水使用)中で生じなかつたということから判断される。印加された陰極電流によって疲れき裂内に優先的に生じる石灰質の沈積が疲れ限度を上昇させる機構として、二つのことが考えられる。一つは石灰質の表面フィルムによる強化であり、他の一つは沈着物のくさび効果に基づく有効応力拡大係数範囲の減少によるという考えである。

き裂の開閉の繰り返しの間の、き裂内とバルクの水溶

液の混合の程度が、pH や沈積物の性質に及ぼす重要性に鑑み、疲れ限度の上昇が生じる傾向を電流密度と混合によって特徴づける関数 $f(i, \text{mix})$ を提案した。初期において、疲れき裂の成長に伴い、 $f(i, \text{mix})$ の値は増加する。ある臨界値 $f(i, \text{mix})_{\text{crit.}}$ に達すると、き裂は停止し、停留き裂となる。もし、 $f(i, \text{mix})$ が $f(i, \text{mix})_{\text{crit.}}$ にあわない条件では、き裂は破断するまで成長する。

このようなき裂内の電解質の化学的变化を支配する混合は、水素ぜい性にも影響を与える。(金尾正雄)

フェライト

(R. W. K. HONEYCOMBE: Metal Sci., 14 (1980) 6, pp. 201~214)

この報文は第 29 回 Hatfield 記念講演を印刷したものであり、著者らの研究成果を中心に低合金高張力鋼の背景である組織変化について、現在の理解を概観している。

まず「オーステナイト-フェライト変態」では、変態温度が低下するにつれて、等軸晶から Widmanstätten に変化し、半整合な界面にあるレッジの移動に伴いフェライトが成長すると説明されている。つぎに「フェライト粒度」では、低合金鋼を制御圧延することによって微細なフェライト粒が得られる機構が合金炭化物による再結晶開始変形量の増加と大きな変形後における再結晶粒核生成速度の増大によると説明されている。さらに「変態速度に及ぼす合金元素の効果」では、置換型合金元素添加による変態速度の減少が界面における「溶質のひきずり」によって起こる場合の実験的証拠をあげている。「変態に伴う炭化物析出」では、平面状界面析出、曲面状界面析出、炭化物繊維成長および過飽和フェライトからの析出のそれぞれについて述べている。すなわち、 γ/α 界面は合金炭化物の優先核生成位置となる。このことは界面が平面であつても曲面であつても変わらない。平面の場合は、その分布は平面の積み重なりとなり、その面間隔はレッジの高さである。一方、大傾角境界面は曲がつた炭化物分布をもたらす。ある特定の γ/α 界面では繊維状の炭化物分布となる。冷却速度が速くなると過飽和フェライトが形成されるが、この場合は炭化物は転位上に生成する。「フェライト中の炭化物分散の安定性」では、炭化物分散の粗大化に転位が重要な役割を果たしていることを明らかにしている。「 γ/α 界面の直接観察」では、2相鋼における γ/α 界面の最近の観察結果を示している。最後に「マイクロアロイド鋼の組織」で、炭化物分散の形成と成長を性質と関係づけて論じている。同様な概説が同じ筆者によって幾度かなされているが、今回の概説にも従来には触れられていなかった新しい知見が述べられている。(菊池 実)

蒸気タービン用鋼の応力緩和に及ぼすクリープの回復の効果

(A. D. BATTE, et al.: Metals Technology, 7 (1980) 3, pp. 89~94)

蒸気タービン用材料のように、高温で不均一な応力下で稼動する構造物に用いられる部材は局所的なクリープ変形を生じるため、時間とともに応力の分布状態が変化する。筆者らは以前、Cr-Mo-V 鋼を用いたタービンローター材ではクリープの回復を考慮すると、クリープ緩

和曲線の正確な予測が可能となることを見出した。

本研究では緩和応力条件下でのクリープ挙動を予測する上で、クリープの回復の影響が重要と考え、1Cr-1Mo-0.3V ローター材について、500°C、200N/mm²でクリープ試験し、応力 154~15N/mm² まで減ずる stress decrement test を行い、応力除荷に対するクリープの回復の程度を定量化するとともに、得られた回復のデータをもとにして、クリープデータから緩和挙動を予測することが可能かどうかを検討した。

除荷の際の回復による歪みは弾性歪みの変化と関連しており、これと応力、温度及び時間とによつて、回復歪み量が推定できることを明らかにした。この回復の歪み量を考慮すると、strain-hardening 法で実験的に決定されたクリープ挙動に対するクリープ緩和挙動をかなり正確に予測できる。同様に、回復に対して補正した life-fraction 法を用いても、クリープ緩和挙動を正確に予測できる。また、本研究で得られたクリープの回復のデータは、これまでの文献で得られた他の鋼の広い温度領域にわたつたデータとよく対応していること、及び今後、回復量に及ぼす組成、微細組織及びクリープ破断延性の効果などを検討することが重要であると示唆している。

(近藤義宏)

オーステナイトの再結晶

(L. J. CUDDY, et al.: Met. Trans., 11A (1980) 3, pp. 381~386)

高張力鋼板の制御圧延において 950°C 以上での圧延中に起こるオーステナイト組織の変化は、変態温度でオーステナイト結晶粒度を細かくするという点から重要な問題である。著者などは新しく開発した MTS 試験機により、冷却速度を制御し、実操業を再現した加工を加えてオーステナイト組織の変化を調べ、さらにオーステナイトの再結晶挙動に及ぼす加工方法および化学成分の影響について調査した。

供試材は 1.40%Mn を含む低炭素鋼を基本とし、さらに炭化物および/または窒化物形成元素を加えた Al-N 鋼、低 V-N 鋼、高 V-N 鋼および Nb-N 鋼の 5 種類である。10mmφ×19mm の試料を 1150°C あるいは 1260°C に加熱し、冷却速度を制御しながら、途中圧縮加工を加えた。4 回の圧縮で 71% の加工を加えたものと、12 回の圧縮で 55% の加工を加えた試料を加工の各段階でぬき取り、結晶粒の体積と伸長度を測定して加工中のオーステナイトの再結晶の度合いを示す指標とした。本実験により得られた結果はつぎのとおりである。

(1) 炭化物や窒化物が析出し始める温度より高温で 10% 以下の軽い加工を加えると結晶粒は粗大化する。そのような条件で加工しなければならない時は、炭化物および/または窒化物形成元素の濃度を高くして、臨界析出温度を加工温度より高くする必要がある。一般に再結晶

によるオーステナイトの微細化は溶解度積から計算される臨界析出温度よりいくらか高温から起こる。

(2) 結晶粒の伸長度で示される内部歪みの集積は臨界析出温度以下でのみ起こる。しかし、Nb-N 鋼以外は歪みの集積が少ない段階で再結晶を起こし、細かい等軸晶となる。

(3) 実験室的に高加工率をとることによつて少ない加工回数で得られたオーステナイト組織の変化から、実際の制御圧延の圧延条件である軽加工率でパス回数の多い場合の組織変化を推定しようとするときあやまつた結果を得やすい。

(高崎惣一)

52 100 軸受鋼の熱処理による残留応力の調整

(C. A. STICKELS and A. M. JANOTIK: Met. Trans., 11A (1980) 3, pp. 467~473)

軸受鋼は、AISI 52 100 鋼 (1C-1.5Cr) を焼入れ、焼もどすか、低炭素の合金鋼 (AISI 8 620, 4 118 など) を浸炭焼入れして使用されている。この両者の選択はコストと使用実績を考慮して決められる。一般的に 52 100 鋼は低炭素の合金鋼に比較して清浄度が良い。一方浸炭された部品は表面に圧縮の残留応力を生じ、この応力のために、曲げ疲労および接触疲労に有効に作用する。

本稿では、52 100 鋼に浸炭処理を行うことにより品質の改善を試みた結果につき報告している。実験は、1.27 cm 径の丸棒を 0.5 cm 厚の平板に圧延し、焼なましの上面研削をして試験に供された。浸炭はリンド・バークのガス浸炭炉を用い、浸炭温度 (815°C~850°C)、保持時間 (1~2 h)、焼入れの方法 (油冷または油冷+液体窒素によるサブゼロ) を組み合わせて、焼戻し温度は 150°C で処理された。試験片は片側より、化学的に除去しながら歪みを測定し、残留応力の計算を行つた。(式は APPENDIX に付記)

実験の結果、残留応力は表面下 0.2~0.4 mm に分布し、70~135 MPa (10~20K_{SI}) で、明らかに炭素の拡散深さと関係がある。たとえば、拡散係数 $D=10^{-7}\text{cm}^2/\text{s}$ の時 $(Dt)^{1/2}=0.2\text{mm}$ ($t=1\text{h}$)、および 0.27mm ($t=2\text{h}$) となり、残留応力の分布が変化する点と一致している。結局、圧縮の残留応力は次の条件の時高くなる。すなわち 1) 油焼入れのみよりサブゼロ処理を加える。2) 焼入れ温度が低く、短時間の時。3) 焼入れ前の組織が細かい炭化物 (パーライトやベーナイト) より、球状炭化物の時。浸炭では残留応力以外にも硬度が HRC 2~4 高くなり摺動摩耗に効果がある。

0.973 cm×8 cm の試験片を 815°C×2 h で浸炭して 175°C で焼もどして Polymet Model RCF-1 の転動試験器で試験を行つた。この時の Hz の接触応力は、503 Mpa で、ワイプールの確率紙で浸炭材は 50% の寿命が延長した。残留応力は 60 MPa の圧縮応力で深さは 0.31 mm であつた。

(望月俊男)