

## 抄 録

## —製 鉄—

直接製鉄プロセスにおける  $\text{CH}_4$  と  $\text{CO}$  の分解による炭素析出

(H. W. GUDENAU, et al.: Arch. Eisenhüttenw., 51 (1980) 12, pp. 493~500)

高還元率で予備還元した Itabira ペレットを高温で、 $\text{CH}_4$  と  $\text{CO}$  の分解によつて炭素析出実験を行った。雰囲気は、 $\text{CH}_4\text{-H}_2$ 、 $\text{CO-H}_2$  の二種混合ガスと  $\text{CH}_4\text{-CO-H}_2$  の三種混合ガスを用いた。650~750°C では、炭素析出速度は、 $\text{CH}_4$  分解によるものと  $\text{CO}$  分解によるものとは、ほぼ等しい。750°C 以上では、 $\text{CH}_4$  の方が速度が大きく、650°C 以下では、 $\text{CO}$  の方が大きい。

$\text{CH}_4$  の場合、見かけの炭素析出反応速度定数は、

1. 反応初期では

$$K_0 = 6\,600 \exp(-54.43 \times 10^3/RT) \text{ mg-C/g-Fe} \cdot \text{min} \cdot \text{bar}^{0.438}$$

2. 等速領域では

$$K = 27\,900 \exp(-69.80 \times 10^3/RT) \text{ mg-C/g-Fe} \cdot \text{min} \cdot \text{bar}^{0.623}$$

また、 $\text{CO}$  の場合、見かけの反応速度定数は

1. 低  $\text{CO}$  分圧では

$$K_1 = 6.71 \times 10^{-4} \exp(75.6 \times 10^3/RT) \text{ mg-C/g-Fe} \cdot \text{min} \cdot \text{bar}$$

2. 高  $\text{CO}$  分圧では

$$K_2 = 1.67 \times 10^{-3} \exp(63.5 \times 10^3/RT) \text{ mg-C/g-Fe} \cdot \text{min} \cdot \text{bar}^{0.398}$$

$\text{CH}_4\text{-CO-H}_2$  混合ガスによる炭素析出速度は、 $\text{CH}_4$  によるものと、 $\text{CO}$  によるものとの和として求められる。炭素析出の機構は次の4つに分類できる。

1.  $\text{CH}_4$  分解によるペレット内部の気孔内壁への炭素析出

2.  $\text{CH}_4$  分解による膨張したペレットへの浸炭・析出速度と反応表面積は減少する。

3.  $\text{CH}_4$  分解による一定速度の浸炭・炭素析出量は増加する。

4. 高温、高メタン濃度での炭素析出： $\text{CH}_4$  と  $\text{CO}$  の分解により、ペレット表面付近のガス相から、ペレット表面上に層を作りながら炭素が析出する。

(小松周作)

## ACCAR システムと直接製鉄

(J. A. LEPINSKI: Iron Steel Eng., 57 (1980) 12, pp. 25~31)

ACCAR システムの特徴は、種々の原料を使用できることである。

鉄鉱石は、塊鉱・ペレット・塊状化鉱石・粉鉱のいずれも使用できる。また、鉱石の性質についても幅広く、硫黄を含むものも使用できる。装入する鉱石の大きさは、塊鉱で 6~40 mm、ペレットで 6~20 mm、粉鉱で 75  $\mu\text{m}$ ~6 mm である。経済性を考えると、最小粒径は最大粒径の 1/2 でなければならない。

燃料は、天然ガス・石油・石炭ガス・石炭が単独でも

いくつかの組み合わせとしても使用できる。そのため、1つの燃料源に頼ることがなく、安定した還元鉄の価格を保つことができる。石炭を使つた最も効率的な方法は、石炭を主燃料とし、ガス又は石油を副燃料として、排出端から吹き込む方法である。この場合、

① ガス又は石油を吹き込めば、還元最終段階に必要な過剰石炭を省くことができる。そのため、総燃料消費量は、還元鉄 1 t 当たり、石炭 1.0 t から、石炭 0.5 t + 石油 50 kg に減少した。

② 装入物中における燃料体積が減るので、鉄鉱石の処理量が増え、生産性が上がった。

③ 石炭から還元鉄に入る硫黄の量が減るため、還元鉄の質が向上した。

などの利点がある。

また、燃料を改質、ガス化する必要がないので、設備投資が小さい。

ACCAR 鉄は、再酸化によるロスが少なく、貯蔵、輸送に適している。また、ACCAR 鉄を使用すれば、スクラップの価格上昇にも対応でき、鋼の生産性を上げ、品質を向上させることができる。(小松周作)

## CODIR-還元鉄の製造での Krupp プロセス

(K. H. UIRICH: Iron Steel Eng., 57 (1980) 12, pp. 56~59)

鉄鉱石とスクラップは、鉄鋼生産において、鉄を含む原料として利用されている。1974年の世界の粗鋼生産は709百万tであつた。高炉-転炉法が、709百万tの74%を占めて、残りの26%が、スクラップの直接溶解で得られている。一方、直接還元プラントによる還元鉄は、1974年~1978年では、世界の生産高の約2%を占めるようになってきた。

スクラップの需給状況は、EECや日本で、2~3百万t/yだけ不足しており、合衆国では、過剰気味である。このため、EECや日本は、新たな直接還元プラントを建設してスクラップの不足を補う必要がある。一方、合衆国は、電気製鉄能力や連鑄の比率を高めることで、スクラップの需給バランスを保つことが大切である。合衆国では、安価で、しかも高品質の瀝青炭が利用できるので、ロータリーキルンを用いた還元プロセスが有効である。

KRUPPは、長年にわたり、ロータリーキルンの分野で活躍してきた。この間、今日まで40以上のプラントを建設してきた。とりわけ、CODIRは、固体燃料を用いており、高品質の塊鉱石やペレットから、金属鉄を製造できるプロセスである。

CODIRの商用一号機は、南アフリカのDunswart社に提供された。Dunswart社のCODIRは、年間、12~15万tの還元鉄製造能力がある。1974年の還元鉄は、7万t製造され1979年には、11万tに増加した。一方、金属化率は、1975年から1979年を平均すると、92%であつた。

1975年から1976年には、10万tの還元鉄が、南アフリカから、ヨーロッパに、船で運搬された。この実績

は、CODIR で製造された還元鉄が、輸送性及び品質の安定性に優れていることを物語っており、強調しておきたい点である。

(小林一彦)

#### 高炉炉床でのイオウの分配

(D. J. YOUNG and C. J. C. CLARK: Ironmaking and Steelmaking, 7 (1980) 5, pp. 209~214)

製品中の低イオウの要求が増大しており、そのためには高炉の脱硫能をさらに利用する必要がある。メタルスラグ間のイオウの分配が重要であり、熱力学的に平衡に達しているかが問題となる。

高炉中のイオウの分配に関しては多くの研究が報告されており、平衡への到達について、種々の結論に達している。イオウのゆらぎが平衡分配の変化によるものか、平衡からのずれによるものかは明らかでない。

そこでメタルスラグ間のイオウ分配について BHP の高炉で試験を行い [S] の実測値と平衡値の比較を行った。低粘度のスラグで操業した場合にはイオウは平衡に達していた。また [S] の変動に対しては、スラグのサルファイドキャパシティ、温度、酸素の活量の変動が寄与する。またイオウの変動に影響するものとして炉床での  $P_{CO}$  の変動があるが、 $P_{CO}$  の有効値は測定されていないので評価は難しい。簡単のため炉床の  $P_{CO}$  が送風圧に線型に変化すると仮定して、各炉についての平均データを用いて線型回帰を試みた。その結果、BHP の高炉については  $P_{CO} = 0.91 (\pm 0.19) P_B + 210 (\pm 40) \text{ kPa}$  ( $P_B$  は送風圧) の回帰式が成立した。しかし、川崎製鉄の高炉のデータに適用したがモデルとは合わなかつた。

このモデルからイオウの分配比を予想するために

$$R = (S) / [S] = FC_s \{ \exp(0.935[Si] - 2425/T) / (P_B - P_C/k) \}$$

を用いることができ、その有効性を実操業炉により試験を行った。

(月橋文孝)

### — 製 鋼 —

#### 電気炉における直接還元鉄の使用

(S. F. TURCOTTE, et al.: Iron and Steelmaker, 7 (1980) 11, pp. 16~27)

近年、直接還元鉄 (Direct Reduced Iron: 以下 DRI と略す) が工業規格で生産されるに伴い、電気炉製鋼原料として DRI が用いられるようになった。電気炉製鋼において原料として重要な DRI の性質と、操業および製品品質におよぼす DRI の影響について従来の知見を整理して記した。

DRI の性質としては、粒度、金属化度 (= 金属鉄分/全鉄分)、炭素含有率、脈石含有率、不純物含有率が重要である。粒度は、シャフト炉等で還元されたままの粒状品で  $\phi 5 \text{ mm}$  以上、粉または粒状品を高温成形したブリケットで  $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 15 \text{ mm} \sim 100 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$  の大きさである。金属化度は、パッチ式直接還元プロセスで 85~90%、キルンまたはシャフト炉では 90~95% である。炭素含有率は、固体還元剤を用いる場合は制御不能で 0.5% 以下であるが、気体還元剤を用いる場合は、DRI 中の残存酸化鉄分を製鋼工程で還元するに必要な量に制御することができ、その値は 1~3% である。脈石含有率は、鉄鉱石中の脈石分がそのまま DRI 中に残存するために、通常で 8% 以上 ( $\text{SiO}_2$ : 1.0~5.0

%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 0.5~3.0%,  $\text{CaO}$ : 0.1~2.0%,  $\text{MgO}$ : 0.1~1.0%) 含まれる。Cu, Zn, Pb, Sn, As, Cr, Ni, Mo 等の不純金属元素は trace であり、P は 0.01% 以下、S は 0.01~0.04% が普通である。

操業におよぼす影響としては、(1) 粒同志が凝着しやすく、スティッキング等のトラブルが生じやすいこと、(2) 脈石分が多いため、スラグの塩基度調整に留意する必要があること、(3) 脈石含有率が高いほど電力原単位が増すこと、(4) DRI 中の残存酸化鉄と炭素との反応により適度のポイリングが生じるため、脱リン等の精錬反応が促進される一方、吸空量が、スクラップ 100% 操業に比べて小さいことが挙げられる。

DRI を原料とした鋼の性質としては、スクラップ起因の不純物ならびに窒素の含有率が低いという特徴が得られている。

(大沼啓明)

#### 上吹き転炉浴のガス攪拌

(R. BAKER, et al.: Ironmaking and Steelmaking, 7 (1980) 5, pp. 227~238)

BSC 社において、上吹き転炉に不活性ガスを底吹きした場合の操業結果を示した。

まず、1.25 t 上吹き試験転炉に a) 単管、b) 単一配管からの 2 本羽口 (銅製、内径 4 mm  $\phi$ )、c) 2 重管羽口 (内管内径 8 mm  $\phi$ 、外管内径 10 mm  $\phi$ ) の 3 種類の羽口を用意し、いずれか 1 本を取りつけた。上吹き  $\text{O}_2 \text{ Nm}^3/\text{min/t}$  は 3.0~6.25、底吹き不活性ガス (Air,  $\text{N}_2$  または Ar)  $\text{Nm}^3/\text{min/t}$  は 0.4~0.9 とした。主な操業結果を上吹きのみの場合と比較すれば、

- 1) 最大脱炭速度への到達時間が短い。
- 2) 同一吹止 P 濃度に対し、スラグ中の酸化鉄濃度が低い。
- 3) 脱硫率は同程度、また Mn の酸化は少ない。
- 4) 鉄歩留りが 2~3% 高くなる。
- 5) スクラップの溶解速度が速くなる。
- 6) 過度の鉄酸化をせず、低炭域まで脱炭できる。
- 7) スロッピングがないので、高 Si 溶銑の吹錬ができる。

3 t 上吹き試験転炉についても、同様の実験をおこない、不活性ガスによる攪拌の効果を確認した。

上記試験結果をもとに、120 t 上吹き転炉に 2 本の底吹き羽口を取りつけて操業した。結果は試験転炉と大略同じで、以下のようである。

- 1) スロッピングとスラグ中の酸化鉄濃度が減少するので、鉄歩留りが 1% 向上した。また、溶銑 Si が 1.7% でも吹錬可能となつた。

Mn の酸化損失が少ないので、合金鉄を 10% 節減できる。

- 3) 不活性ガスによつて溶鋼が冷却されるので、冷材使用量が少なくなる。

これらの結果は、羽口設置によるコスト高を相殺し、 $\$1/\text{t}$  のオーダのコスト削減になる。

(加藤嘉英)

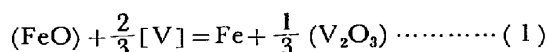
#### いろいろなけい素含有量のバナジウム鉄を精錬する時のバナジウムの挙動の熱力学

(L. A. SMIRNOV, et al.: Izv. Akad. Nauk SSSR Metall., (1980) 6, pp. 49~55)

V を含む溶銑を上吹き転炉で精錬する時の V の挙動を熱力学的に解析した。

## —加工 工—

銑鉄中のVはスラグ中のFeOにより次式で酸化される。



この反応の平衡恒数は

$$K_p^{1/2} = \frac{N^{1/2} V_2O_3 \cdot \gamma^{1/2} V_2O_3}{\gamma_V N_V \gamma^{3/2} FeO \cdot N^{3/2} FeO} \dots\dots\dots (2)$$

となる。ここでNはモル分率、 $\gamma$ は活量係数を示す。スラグ中の活量係数は、実際の操業データを利用し、C及びSi含有量に従って決定した。また溶銑中のVの活量係数は、溶銑中のC、O、NとVとの相互作用を考慮して決め、 $K_p$ は報告されている他の研究者の値を用いた。

Siの初期濃度0.3%と0.2%の溶銑を酸素精錬する過程でのVの挙動を計算した結果、Vは最小値0.002~0.005%から1.0~1.5%Cにおける最大値0.01~0.07%まで単調に増加した。その後の脱炭の進行とともに0.005~0.022%まで減少するが、Vの最大値は溶銑の温度、溶銑の組成及びスラグの酸化度によつて決まった。

溶銑中のV濃度はSi初期濃度の増加とともに増加し、スラグの過熱度の上昇とともに増加した。また、スラグ中のスピネルのVの移動率 $\alpha$ (80~95%)の増加とともに溶銑中のVは減少した。(郡司好喜)

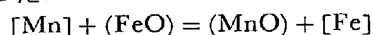
#### 取鍋中の酸化性スラグの下にある低炭素溶鋼の攪拌中におけるアルミの酸化損失に関する動力学

(E. SCHÜRMAN, et al.: Stahl u. Eisen, 100(1980)

24, pp. 1450~1457)

実験は185tの鋼を入れた鑄造用鍋で行つた。攪拌は吹込面積が約1m<sup>2</sup>である吹込口から750l/minのアルゴン吹き込むことにより行つた。吹込時間は3~15minである。通常スラグ量の試験では、転炉から取鍋中に持ち込まれるスラグの量は約1300kgであり、スラグ量を少なくするように配慮した場合のその量は200~400kgである。スラグ中の全鉄は、前者では6~18%、後者では3~8%である。

攪拌中の溶鋼中のAlの損失速度は、スラグ量の少ない場合 $1.30 \times 10^{-3}\%$ /min、多い場合には $3.8 \times 10^{-3}\%$ /minであつた。



の反応の平衡定数 $(\% \text{MnO}) [\% \text{Fe}] / (\% \text{FeO}) [\% \text{Mn}] = 411$ であり、この反応はほぼ平衡に達していた。溶鋼中の[O]と[Al]の関係は、JANKEらの提唱している平衡値とJACQUEMOTらの提唱している平衡値の間であり、この関係もほぼ平衡近くにあると見なせる。

以上のように、スラグ/溶鋼間および溶鋼中にはいずれも平衡に近い状況にあるので、アルミの損失反応はスラグ/溶鋼界面付近のスラグ側の境膜内の酸素の拡散律速として解析を行い次の結果を得た。

$$\{d[\% \bar{\text{Al}}]/dt\} \times 10^3 = -0.77 + 0.308 (\% \bar{\text{Fe}}) \times \{1 + 115 [\% \bar{\text{Al}}] / (\% \bar{\text{Fe}})\} \pm 0.58$$

この解析結果は実測値と非常によく一致を示したので、律速段階の推定は正しいと考える。また、NERUSTの酸素分配比Kは、 $K = [\% \text{O}]^i / (\% \text{O})^i = 2.21 \times 10^{-2}$ となつた。物質移動定数kは $k = 0.22 \text{ cm/s}$ となつた。

(雀部 実)

#### ホット・ストリップ・ミル用ワーク・ロールのbandingの機構

(J. J. DEBARBADILLO and C. J. TROZZI: Iron Steel Eng., 58 (1981) 1, pp. 63~72)

bandingは、ホット・ストリップミルの前段のワーク・ロールの表面悪化の主要原因である。これは、微細なファイアー・クラックの生成を特長とし、黒光のした黒色酸化物を形成し、ついで、これが剥離され、ロールの表面粗度を劣化する現象である。本論文は、AISEのRMI(ロール製造業組合)の提案により、ロール材料とbandingの発生の機構の解明を行つたものである。

調査は、3種類のミル、14本の廃棄ロールから25.4~50.8mm長さ×12.7mm幅×12.7mm深さの試験片を採取した。供試材はねずみ鑄鉄、グレイン鑄鉄、球状黒鉛鑄鉄および高クロム鑄鉄である。表面と横断面のミクロ組織、酸化物の分析、SEM、EPMAによる観察を行つた。

観察の結果、bandingは、ロール材にかかわらず、次の5つのステップで発生する。

(I)ロールの表面に圧縮の残留応力があり、加熱・冷却の繰り返しで引張りの残留応力に変わつて行く。

(II)ミクロ組織上、マトリックスと炭化物では、熱膨脹係数が異なるため、脆い炭化物に割れを生ずる。

(III)横方向の割れが、連結し、その部分が酸化され、マトリックスへの熱伝導率を低下し、このためロール表面が過熱して、ストリップが固着してくる。

(IV)ロール表面が、ストリップより固着した黒光した酸化物で覆われる。この酸化物は、強度的に弱く、マトリックスの割れが伝播され、次第に磨り減つてくる。

(V)表面の酸化物が、外力により剥離する。剥離は、局部的なピット状と全面に現出するbandingに区分される。

これらの割れを軽減するために、1つには、ロール材の耐ヒート・クラック性の向上を計ることが、大切であるが、ミル条件の改善も重要である。たとえば、ロールのピーク温度を減ずることが肝要、特にロール材は約540°C以上で耐力が低下する。このために、水冷、油潤滑またはミル・スタンドの数を多くするなどの対策が必要。ロール表面の酸化物は、圧下工程では、さほどの働きをしないが、bandingの防止に対しては有効である。

(望月俊男)

## —性質 質—

#### ラインパイプ鋼の硫化物環境中における水素誘起ブリスター割れに及ぼす介在物の役割に関する二、三の観察

(B. E. WILDE, et al.: Corrosion, 36 (1980) 11, pp. 625~632)

サワーガス輸送用ラインパイプ鋼の水素誘起ブリスター割れ(HIBC)の感受性は、いわゆるPB試験によつて評価されてきた。しかしこの方法では、破面の微視的様相や割れと微視的組織との関係を明らかにすることは困難である。そこで、ブリスター割れ面が顕微鏡的に観察できるような実験方法を考案し、HIBC感受性の異なる

るいくつかのラインパイプ鋼について割れの微視的観察を行った。

供試材として、PB試験における割れ感受性指数(CSR)が0~146にわたる9鋼種を用いた。H<sub>2</sub>Sを飽和した人工海水中(PB溶液)に試料を96h浸せきしたのち、断面の割れを顕微鏡観察してCSR値を求めた。ついで、この試験片の一部を切り取り、割れと垂直方向に引張ることができるように部材を溶接し、-196°Cの温度で衝撃的に破壊してプリスター面を露出し、その破面をSEMで観察した。また、実際の操業状態における環境に対応するようなH<sub>2</sub>S濃度、PB試験の約5%に当たる114ppmの溶液中に30日間浸せきする実験も行った。得られた主な結果は次のとおりである。

(1) HIBCは従来からいわれているように、細長く伸びたMnS系介在物を起点として発生していたが、ガラス状のけい酸系介在物や粗大なN<sub>b</sub>炭窒化物も条件によつては発生サイトになることが認められた。

(2) HIBCの発生は腐食環境中のH<sub>2</sub>Sの濃度に依存した。電気化学的水素透過率の測定結果から求めた割れ発生に対する水素のfugacityの下限界値は、10<sup>4</sup>~10<sup>5</sup>気圧のオーダーであつた。

(3) 割れの発生した介在物のまわりには羽毛状破面が観察され、割れの伝播は水素助長割れによつて起きると考えられた。

(4) 介在物の位置と分散状態によつては、割れの伝播は水素助長割れ機構によつて階段上に板厚方向にも生じた。(青木孝夫)

#### 鍛鋼焼入れロールの使用実績に及ぼす要因

(J. M. CHILTON and M. J. ROBERTS: Iron Steel Eng., 58 (1981) 1, pp. 77~82)

鍛鋼焼入れロールは主として、冷間圧延用のワーク・ロールとして使用される。ロールは、0.8%Cr、Mo、Vなどの炭化物形成元素を添加し、水焼入れ・低温焼もどしされ、表面のかたさは、ショアーC型で100以上に達するものもある。このために表面は靱性にとぼしく、早期破壊を発生しやすい。早期破壊の主なものは、スポーリングで、ロールの表層部が剝離する現象で損失が大きい。

本研究では、実体ロールより試験片を切り出しマイクロ組織の調査、実験室的な転動疲労、残留応力の測定および圧延用ロールの履歴調査を行い、原因を究明した。

実体ロールはThumbnail crack-arrest marksが観察され、ロール表面か、近傍から斜めに割れが進行し、その後ロール表面の曲線に沿つて内部に進行している。マイクロ組織上、表層の損傷は2つの型があり、1つは、局部的に過荷重のために、ライト・エッチングで白色のリング状が観察される。この発生原因は、未解決であるが、局部的な変形か、高歪み速度の変形で見られる断熱的な剪断バンドに似ている。この現象はHertzの最大剪断応力の位置よりも浅く、金づちで叩いても割れを伴つた白色のリングが再現できる。もう1つの表面損傷の例として、板がロールに焼着き、局部的に焼入れされ、基地かたさより硬化するが、その直下は軟化され、その熱ショックで割れを伴うことがある。

転動疲労試験でHertz応力56.2~112.5 kg/mm<sup>2</sup>を実体に合わせて試験し、さらに281.2 kg/mm<sup>2</sup>まで増加

させても破損しなかつた。したがつて、Hertz応力は1要因ではあるが主要因ではない。

ロール研磨記録では、多数のロールがスポーリングのため廃棄になつている。多くの場合疵取りが不十分であり、ロール組込前の腐食試験や非破壊検査が必要である。

残留応力は、表面から17.4mmまで56.2 kg/mm<sup>2</sup>と一定値であるが、これより内部へと急激に低下している。この圧縮応力は、割れの伝播の防止に対して有効である。しかし、ロール表面が損傷を受けると、部分的に引張りの応力が残留し割れやすくなる。ロールは1度使用されると圧縮応力が、0.25mmまで付加されるが、有害である。(望月俊男)

#### 急速凝固速度プロセスとタービンエンジン材料への応用

(R. J. PATTERSON II, et al.: J. Metals, 32(1980) 9, pp. 34~39)

本論文は、Ni基超合金粉末の製造法としてプラットアンドホイットニ社のRSRプロセスを取り上げ、その粉末及び成形体の微細組織、クリープ強度、耐酸化性等について述べている。また、そのガスタービンエンジンへの利用についてもふれている。

RSRプロセスは、高速で回転する円盤(普通は400回/min)の上に溶湯を滴下して霧化した後、ヘリウムによつて急冷し粉末を製造する方法である。

RSRプロセスで製造したNi基合金MAR-200, B1950, Monoloy 444のマイクロ組織を調べた。二次デンライトアームスペーシングは、C量に反比例し、粒径に比例する。MAR-200の場合、粒径が7 μm × 10<sup>-1</sup>のときデンライトアームスペーシングは7 μm × 10である。また、プラットアンドホイットニ社で製造した粉末には、2つの異つた微細組織がみられる。一つは、典型的なデンライト組織であるが、もう一つは、微細結晶質というべきものである。これらの構造の生成は、化学成分と冷却速度(粒径)に依存する。微細結晶質は、粒径が小さいほど生じやすく、Monoloy 444の場合に著しく、粒径が20 μmの時に全体の66.4%を占める。

RSRプロセスの合金は、通常の鑄造のものに比して溶解開始温度が75~100°C高く、固相溶解度線以上わずかに高温で、zone annealingして結晶を並列に成長させることが可能である。クリープ試験及び耐酸化試験は、析出硬化型の高γ合金(Ni-Al-Cr-W)及びNi-Al-Mo合金のzone annealingしたものについて行つた。試験温度760~1100°C、荷重690 MPa~93 MPaである。

高γ合金は、MAR-200と同程度のクリープ強度を示した(1037°C, 99 MPaで約180hの時の変形は約10%)。しかし耐酸化性はMAR-200の10倍程度である。

Ni-Al-Mo合金のクリープ強度の水準は、40~80°C現在の材料(MAR-200+Hf)の使用温度より高くできる。Ni-7%Al-14%Mo-6%Wの組成のものが最高の強度を示した。この強さは、安定したγ-γ'-NixMoの隔壁状組織と分散相によるものである。(新村哲生)

#### 溶接したHY 130鋼の組織と応力腐食破壊の関係

(C. CHEN, et al.: Met. Trans., 11A (1980) 10, pp. 1723~1730)

中・高強度鋼の応力腐食割れ (SCC) の感受性に影響する要因のうちでも組織は最も重要な因子の一つである。また、多層盛溶接では溶接サイクルによつて溶着金属や熱影響部が多層組織となつている。そこで多層盛溶接した HY 130 鋼の溶接金属部分の組織と SCC 破面の関係をプラトーエッチング法で詳細に調べた。

CB 試験片は X 開先によるガス・メタルアーク溶接 (GMA) および、ガス・タングステンアーク溶接 (GTA) した供試材から加工した。WOL 試験片は V 開先による GMA 溶接の供試材から加工した。

SCC 試験として、CB 試験片は 3.5% NaCl 水溶液中で Zn を犠牲陽極として 500 h、WOL 試験片は海水中で Zn を犠牲陽極としたものと外部電源によつて  $-1500_mV_{(Ag/AgCl)}$  の電気防食環境でそれぞれ最大 2500 h まで実験を行った。

GMA 溶接で粗いビードを置いて溶接した試験片はその多くが粗大な柱状組織であり、次のビードによつて焼もどされていない (わずかに焼もどされた) マルテンサイトが多く、一部焼もどされたマルテンサイト・ベイナイト組織が混在していた。このような組織は SCC に対して弱く、 $K_{ISCC}/\sigma_y$  の比は  $0.09\sqrt{m}$  であつた。破面は脆性的であり、粗大な焼もどされていないマルテンサイト組織は粒界および擬へき開破面であつた。それに対し、GTA 溶接で細かいビードを置いて溶接した試験片は微細なベイナイトとフェライトの混合組織であるが、最終ビードの部分は焼もどされないので粗大な柱状のマルテンサイト組織であつた。この組織は  $\sigma_y$  が前者の溶接に比べて高いにもかかわらず  $K_{ISCC}/\sigma_y$  の比は  $0.11\sqrt{m}$  であつた。SCC による脆性破面は少なく試験片の両サイドでき裂が進行し、逆サムネイルの形を示した。破面は試験片の両サイドで擬へき開であつたがその多くはポイドタイプであつた。WOL 試験片の破面は本質的には CB 試験片と変わらない。防食電位による差は脆性破面の割合に現れた。

(中野恵司)

### 773K の液体 Li 中における $2\frac{1}{4}\text{Cr-1Mo}$ 鋼の疲れき裂伝ば特性

(R. E. SPENCER, et al.: Met. Trans., 11A (1980) 10, pp. 1758~1761)

将来のエネルギー生成システムにおける液体 Li の重要性にかんがみ、種々の材料の工学的性質に及ぼす液体 Li の効果、とくに腐食過程が調べられている。この研究では CT 試験片を用いて、 $2\frac{1}{4}\text{Cr-1Mo}$  鋼の液体 Li 中の疲れき裂伝ば特性を、Ar 中の場合と比較して調べた。

試験したすべての周波数 (0.067~20 Hz) で、Li 中では Ar 中より疲れき裂伝ば速度は大であつた。また、Ar 中では 1 サイクル当たりのき裂の成長は、周波数の増加とともに減少したが、Li 中では 0.67 Hz において最低を示した。

低周波数の場合に、Ar 中ではき裂はおもに粒内を伝ばしたが、液体 Li 中ではおもに粒界であつた。高周波数の場合では、Ar 中では低周波数の場合と類似の粒内であつたが、液体 Li 中では破面上に高密度のへき開フェセットが観察され、Li が破壊様式を変えることが示された。Li 中で周波数の増加とともにき裂伝ば速度が増大するのは、破面上でへき開破壊した結晶粒の密度の増加と対応があつた。

液体 Li の存在は、低周波数の場合は粒界き裂伝ばを促進することで、高周波数の場合は粒内へき開破壊を促進することで、疲れき裂伝ば速度を早めるが、この液体 Li の疲れに対する効果は次のように説明される。すなわち、低周波数の場合は、き裂先端での有効ひずみ速度が遅いことと関連して、応力が助長する Li の粒界侵食が強められる。高周波数の場合は、き裂先端の高いひずみ速度による流動応力の上昇のため、液体金属ぜい化が促進されへき開破壊が生ずる。

(金尾正雄)