

抄 録

—燃料および熱—

コークスのガス化に対するソーダの影響

(M. MOHAMMED, et al.: Arch. Eisenhüttenw., 52 (1981) 1, pp. 1~6)

空気によるコークスのガス化に対するソーダの触媒的効果を実験と理論により研究した。

コークス (90% C, 1~2 mm) にソーダを 0~9.1% 混ぜ、反応管に高さ 50~400 mm になるように充填する。充填率は 0.58 である。コークスの固定層に十分乾燥した空気を流して、900~1200°C の等温でガス化させる。生成したガスは連続的に分析し、ガス中の CO 濃度を固定層の高さに対して求めた。

同時に CO 濃度を理論的に計算した。コークスの粒度が小さいこと、ガス速度が比較的大きいことを考えると、おおよその推測どおり、境界層反応だけが、反応速度を決定する因子である。

化学反応速度定数は、計算値を実験値と比較して、決定した。速度定数 k についての ARRHENIUS の方程式

$$k = f \exp(-A/RT)$$

に従って、速度定数を絶対温度の逆数に対してプロットした。その結果、活性化エネルギー A はソーダの含有量に依存せず一定で、

$$A = 109 \text{ kJ/mol}$$

である。頻度因子 f は、

$$f = 1.75 \times 10^5 (1 + 0.2w)$$

ここで、 w はコークスのソーダ含有量 (%ソーダ) である。この式からわかるように、ソーダを含まない場合、

$$f = 1.75 \times 10^5 \text{ S}^{-1}$$

であるのに対し、ソーダを約 5% 含む場合、

$$f = 3.50 \times 10^5 \text{ S}^{-1}$$

と 2 倍になる。したがって、ソーダは、ガス化の反応を促進する働きをもつ。

(小松周作)

—製 鉄—

直接製鉄法に未来はあるか

(W. T. HOGAN: Iron and Steel Eng., 58 (1981) 2, pp. 57~58)

直接製鉄法の未来は 2 つの面から考えねばならない。1 つは生産物である海綿鉄の需要があるか、次に電気炉操業に十分な大量の海綿鉄を経済的に生産できるか、という 2 点である。

まず米国の電気炉生産量は 1960 年の 840 万 t から、1979 年には 3400 万 t になり、5 年後には 4500~4700 万 t が予想されているが、それには適切な電力価格と装入原料が条件である。現在及び将来において電気炉は高品位鋼板などの製造に用いられ、そのための良質なスクラップが必要であるが、スクラップの品質悪化などで原料の不足が予想されている。付加物として海綿鉄が考えられる。現在では海綿鉄はスクラップより高価だが、装入物品位の向上のために海綿鉄を用いることになるだろう。また米国からの輸入スクラップに依存する工業国の多くは、他の原料を考えるべきである。以上から海綿鉄

の需要はふえるだろう。

次に経済性の問題である。現在世界の海綿鉄生産の 90~95% は天然ガスが還元剤である。HyL や Midrex 法は技術的に立証されているが、天然ガスの安価な地域に発展は限定される。米国、日本、西ヨーロッパは、天然ガスが経済的に十分使用できず、しかも将来海綿鉄の需要が大きくなる地域である。これらの工業国の希望は、還元剤に何らかの形で石炭をベースにしたプロセスにかかっている。石炭ベースプロセスの海綿鉄は 1979 年に 40 万 t で世界の 5.4% であり、プロセスの多くは小規模で実験段階である。しかしエネルギー庁は 1985 年に 100 万 Btu あたりの価格が天然ガスは \$7.45、石炭は \$1.75 と予測している。石炭ベースプロセスは熱量を多く必要とするが、コストを比べると、天然ガスプロセスの約 1/2 になるだろう。このプロセスの発展は多くのなすべきことがあるが、海綿鉄と電気炉の将来はこの発展にかかっている。

(須山真一)

Armco 社 Houston の直接還元炉

(R. R. ALLEN: Iron and Steel Eng., 58 (1981) 2, pp. 70~72)

10 年前、Armco は Houston において 1000t/d の直接還元プラント建設の決定をした。設計は 50t/d のパイロットプラントの結果を基礎に行い、還元ガスは水蒸気で改質した天然ガスを用いた。

操業開始以来、シャフト炉に関して幾つかの問題が生じた。シャフト上部から装入されるペレットの降下速度のむらに起因するチャンネルングとそれに伴う金属化率の低下と製品ペレット (DRI ペレット) の再酸化による発火性とその主なものであつた。パイロットプラントではその点に問題がないことから、1974 年に再設計が開始された。途中、スクラップの市場との兼ね合いから中断を余儀なくされたが、1977 年春完成した。新しいシャフト炉の主な特徴は、還元ガスの導入方式と、ペレットの降下とガス流れを最適化する内部断面形状を実現したことである。

試験操業の結果、DRI ペレットの金属化率は 90~94% の間で安定しており、再酸化に関しては 450°F 以下で安定である。そのため、製品は無蓋貨車で輸送できる。平均生産速度は 6.5 t/d/sq. ft., 天然ガス消費量は 3.1 Gal/t である。屋外でのパイル貯蔵でもパイル表面層のわずかな酸化が認められるだけで不動態化処理の必要がないことが確認された。再酸化安定性は Armco が開発した試験機で 2h ごとに、また製品の組成は一日単位で分析する。

製品の DRI ペレットは Armco 社内での Houston と Kansas City の溶解工場への供給が主なものであるが、大量の屋外での貯蔵が可能なことから、柔軟な操業と出荷が可能になった。このように、再設計の炉の成功により、Houston の直接還元プラントは市場の状況の好機を逃がさず利用できるようになった。

(山本裕正)

高炉の融着帯の形状の測定と最適化

(H. W. GUDENAU, et al.: Stahl u. Eisen, 101 (1981) 3, pp. 39~44)

融着帯の形状は、高炉内の全通気抵抗、ライニングの熱負荷、溶融性、炉操業の安定性に影響する。融着帯の形状の測定と最適化について研究するために、モデル実験を行い圧損の測定を行った。

融着帯の最適化形状は、軟化から溶融までの温度幅がせまく高い温度であるような形状である。基本的に、融着帯の形状と位置についての最適化の条件は、下部融着帯スリットを通るガス量が増加し、塊状帯での滞在時間を長くしガス利用率をよくすること、ライニングを高い熱負荷から保護するためにポッシュ部でのスリット通過ガス量は一定値を越えないこと、全通気抵抗を小さくすることである。融着帯の溶融温度の変動は、軟化温度の変動に比べてガスの一様性に大きく影響し、下部融着帯のガス通過量が多くなりガス利用率が上昇する。

また、炉体冷却水に運ばれる熱量から融着帯位置の決定は可能となる。圧力損失については融着帯形状の高さの低下と炉心側へのずれにより、全圧力損失は低下する。融着帯位置が炉中心から離れると、塊状帯と滴下帯の通気抵抗比が上がりガスは炉心を通れるようになる。電導紙モデルも塊状帯と滴下帯で異なる抵抗を用いた。モデルでも高い通気抵抗比では上部のスリットを通つて多くのガスが流れ、そこでは通気抵抗は小さくなる。電導紙モデルから、炉壁の圧力を測定することにより融着帯の高さを決めることが可能となり、それにとともなうガス利用率、生産性、コークス比などの予想が可能となる。実際の高炉での鉍石の低温崩壊を考慮したモデルでは、高炉の炉壁での圧力測定の結果とよく一致した。

(月橋文孝)

—製 鋼—

電子ビーム溶解および他の真空精錬で金属を精錬する時の不純物除去の物理化学的機構

(V. E. EFIMOV: *Izv. Akad. Nauk SSSR, Metally* (1981) 1, pp. 23~32)

不純物の除去反応の律速段階は化学反応であるという観点から電子ビーム再溶解 (EBR)、プラズマーク再溶解 (PAR)、真空アーク再溶解 (VAR)、真空誘導溶解 (VIM) 浮遊溶解で Fe, Mo, Nb, Ta, Zr, を溶解した時の不純物の挙動を解析した。

除去される不純物分子の結合が強いほど分解し難いので吸収され難く、活性中心で占められている表面の分率が増加して除去速度は増加する。従つて、分子結合が強くなるほど不純物の限界除去圧力は増加する。この現象は分解エネルギーが H_2, O_2, N_2, CO の順序で増加することに対応し、限界圧力の増加することで確かめることができた。温度が上昇すると化学反応速度は増加するが、限界圧力は高くなるので、生産性と純度を考慮して温度を決める必要がある。

Mo, Mo-Ti, Mo-Zr, Mo-Hf, Mo-Nb の各合金を EBR で溶解し、各元素、[C] および [O] の時間変化を検討した。TiO は MoO より分解エネルギーが高いので Ti による脱酸は TiO_xC_y の生成によると考えられた。ZrO の分解エネルギーは TiO よりも大きいのでそうした脱酸は期待できないが、他の亜酸化物による蒸発か $ZrC_{0.78}O_{0.019}$ の生成による脱酸が考えられた。Nb は NbO, Nb₄O, Nb₆O の亜酸化物として脱酸に関与し、

Hf は Zr と類似な挙動を示すと考えられた。

(郡司好喜)

最小酸化度による低炭素鋼の転炉精錬

(S. D. ZINGHENKO, et al.: *Stal* (1981) 2, pp. 17~19)

140 t の上吹転炉により、0.2% までの P を含む高りん銑をダブルスラグ法で精錬した。内径 29.7 mm のノズルを傾斜 15 度で取り付けした 4 孔ランスにより、300~350 m³/min の酸素を送つた。終点において試料を採取し、スラグおよびメタルの化学組成を決定した。

[C] と [O] の関係は NILLES の平衡関係 $[C] \cdot [O] = 0.00202 / (1 + 0.85[O])$ に非常に近かつたが、[C] が 0.5% 以上では平衡値より高く、それ以下では平衡値より低いものが多かつた。メタル中の [O] に影響するスラグの性質を測定値を統計的に処理して検討した。

スラグ中の FeO と [C] の間には

$$\Sigma (\text{FeO}) (\%) = 42.32 + 0.0027/[C]^2$$

$$a_{(\text{FeO})} = 0.4806 + 0.2175 \cdot 10^{-4}/[C]^2$$

なる関係が得られた。スラグ中の全 CaO から未滓化の CaO を差し引いて求めた塩基度 $[(\text{CaO})/(\text{SiO}_2)]$ と FeO およびその活量係数 $[f_{(\text{FeO})}]$ の間に次の関係が得られた。

$$B_{\text{eff}} = 3.877 + 0.461 \cdot 10^{-3} e^{1.405(\text{FeO})}$$

$$f_{(\text{FeO})} = 1.2042 - 0.417 \cdot 10^{-4} e^{1.203 B_{\text{eff}}}$$

また温度上昇とともにメタルの酸化度の増加することも明らかになった。これらの解析結果から、最底の酸化度で操業する条件として、[C]=0.035%, $\Sigma \text{FeO}=35\%$, $B_{\text{eff}}=4.0$, $t=1610^\circ\text{C}$ を決定した。(郡司好喜)

—加 工—

スタンプ法—粉末冶金法による特殊鋼の製造

(M. GÖRANSSON, et al.: *Iron and Steel Intern.*, 54 (1981) 1, pp. 11~16)

スタンプ法とはガスアトマイズ高合金鋼粉末を用い、鍛造、圧延用ピレットおよび最終製品に近い形状を製造する工法で ASEA と Surahammars Bruks によつて共同開発された。工程の概略は①高周波溶解②水平式ガスアトマイズ③鋼製カプセルへの粉末の充填④カプセルの溶接密閉および脱ガス⑤加熱⑥クインタスプレスである。この工法の特徴は同じくガスアトマイズ粉末を利用した ASEA—STORA 法に比べ、アトマイズ方式が水平型であるため、特別の建屋を必要とせず、また手持ちの溶解炉に容易に組み合わせができることである。さらにプレスの生産性が非常に高いことで 1 サイクル 5 min 以下である。

スタンプ法により次の 4 種の製品を試作し、その性能を従来溶製法による製品と比較した。

(1) 低合金鋼 (AISI 4150) による鉄道用車輪

(2) 高速度鋼 (1.3C · 4Cr · 5Mo · 6.5W · 8.5Co · 3V) の圧延材

(3) 12 クロム鋼 (AISI 322) のガスまたは蒸気タービン用ディスクおよびリング

(4) 2 相ステンレス (AISI 329) の遠心分離機用リングとボディ

いずれの試作品においても空孔は認められず、組織は均一微細でマクロ偏析は認められない。そのため、溶製

材ではしばしば問題となる高速度鋼, 2相ステンレス鋼の熱間加工時のクラックも発生しなかつた。機械的特性は, ESR 材とはほぼ同等であるが, より等方的であり, 試料の採取方向に影響されない。またスタンプ法による高速度鋼は組織, 特性の点からは ASEA-STORA 材と差異はない。

スタンプ法の将来的可能性としては, 溶製材では熱間加工の問題から考えられなかつたような合金組成の開発および異種材料混合による複合材の開発などが挙げられる。(徳山幸夫)

ロールの事故と発生した時の対策

(S. J. MANGANELLO and D. R. CHURBA: Iron and Steelmaker, 7 (1980) 12, pp. 26~34)

鉄鋼圧延用のロールは, 熱間や冷間の使用条件, ロールの品質などの要因により, 種々の事故を発生する。この原因については, ロールの使用者と製造者と意見を異にすることが多い。本論文は, ロール事故が発生した時に, どのように処置し, どのように研究を進めていくかの手引について述べ, 特に冶金学的研究に重点を置き, 二三の典型的な事故について明らかにしている。

(1) ファイアー・クラックおよびバンディング

ファイアー・クラックは, 熱疲労現象とみられる。この欠陥は, 高温部や曲げ応力の加わる部分または残留応力の高い部分に発生しやすい。一般的には熱間圧延では避けられない。したがって防止対策は, ロール表面に溝加工を行ったり, 水冷却を強化する。ただし, 絞り込みなどの局所的な過熱の時は, 水冷却を押しさえ, 被圧延材との接触時間を短くする。ロール成分を選定し, なるべく低硬度で, 網状の炭化物の発生を防止し, 球状化するのが良い。低炭素鋼の方が高炭素鋼より, ファイアー・クラックが浅くなる。バンディングは熱間仕上げ圧延の前段に見られ, 微細なファイアー・クラックと黒光りした酸化層で構成された部分が剝離し, 使用に耐えなくなる現象である。バンディングを発生したロールは再研削する。

(2) スポーリング

本事故は疲労破壊の典型であり, ロール表面より大きな破片が剝離する場合と, 局所的に片状に脱落する場合がある。前者の発生原因は, 過荷重, 水素など 12 の要因を列挙した。後者は, バック・アップ・ロールに見られ, 加工硬化などの要因があり, ロールの研削ごとに硬度測定か, 渦電流探傷器による検査が望ましい。

(3) その他のロール破壊

この他の大根割れなどの事故について, 一般的に観察される 7 つの形態的な分類を行い, 可能性のある原因を述べ参考情報を提供した。

以上のような事故が発生した時に, 使用者と製造者が事故の解析を行うために, ①あらゆる記録の検討②破面の保存③破面や近傍の写真④硬度の測定⑤製造者への連絡⑥研究者への供試材の提供⑦両者の十分な協議が重要となる。(望月俊男)

一 性 質

低合金 V および高 Mn・Nb 鋼における動的析出と固溶硬化

(M. G. AKBEN, et al.: Acta Met., 29 (1981) 1, pp.

111~121)

低炭素鋼 (0.05C), Mn 量を 1.25%, 1.90% と変えた低炭素 Nb 鋼 (0.035Nb), 低炭素 V 鋼 (0.115V) の 4 鋼種を用い, 定歪み熱間圧縮試験での歪みの極大値を測定した。この結果から, Nb (CN) の動的析出挙動におよぼす Mn 量の影響, VN の動的析出速度, 動的再結晶の遅滞におよぼす固溶 V の効果について検討した。また, Nb, V, Mn 添加による変形応力の増加についても比較検討した。

試料はあらかじめ溶体化処理し, 改良型インストロン試験機を用い, 875, 900, 925°C の各温度で定歪み圧縮試験を行った。

先に実験を行つている Mn 量が 0.42% の Nb 鋼の結果と本実験結果を比較すると, Nb 鋼の Mn 量を 0.42% から 1.9% に増加することにより, Nb (CN) の動的析出速度は 1 桁以上遅れる。また, Mn 量が 1.20% の V 鋼での VN の動的析出度は, Mn 量が 1.25% の Nb (CN) の動的析出速度とほぼ等しい。一方, 固溶 Nb0.035% にくらべ, 固溶 V0.115% のオーステナイト再結晶遅滞効果はかなり少ない。この現象は, Fe との電子構造の差異が Nb の方が V より大きいことによるものと解釈できる。また, 原子半径の Fe との差異も Nb の方が大きい。従つて, 制御圧延時の平板状オーステナイト生成に対する V の効果は, Nb にくらべ小さいものとなる。つぎに, オーステナイトの降伏応力におよぼす固溶 Mn, V, Nb の影響をみると, 固溶原子 0.1 at% あたりそれぞれ 1.3, 7, 70% 増加する。この現象も, Fe との電子構造の差異の大小が主因で, 二次的要因として原子半径の差異の大小があげられる。このことから, 粗圧延の場合, 圧延中に各鋼種とも再結晶が終了すれば圧延荷重は固溶元素量に直接依存する。しかし, 仕上げ圧延の場合には, 圧延荷重の差は各鋼種の再結晶挙動に依存するものとなる。(古君 修)

低合金強度鋼の延性破壊に及ぼす焼もどし脆化熱処理の影響

(J. E. KING and J. F. KNOTT: Metal Science, 15 (1981) 1, pp. 1~6)

En30A 鋼 (0.3C, 1.4Cr, 3.96Ni, 0.53Mn, 0.23Si, 0.04Mo, 0.08Al, 0.12Cu, 0.015S, 0.020P, 0.016Sn) を用いて, 低合金鋼の延性破壊に及ぼす焼もどし脆化熱処理の影響を調べた。脆化処理材 (E 材) [950°C, 1 h 油冷, 610°C, 1 h 水冷, 480°C, 18 h 水冷] および非脆化処理材 (UE 材) [950°C, 1 h 油冷, 480°C, 18 h 水冷, 610°C, 1 h 水冷] に, 切り欠き衝撃試験, COD 試験および引張試験を施して延性を評価した。

UE 材, E 材の微視組織は共に微細な焼もどしマルテンサイトであり, 炭化物の形態・分布にも両者の間に差異は認められない。しかし, ピクリン酸腐食すると E 材の方が, 前γ粒界腐食が顕著になる。

衝撃試験によると E 材の方が UE 材に比して遷移温度が高く, 上部棚エネルギーはやや低くなる。引張試験において完全に延性破壊する室温および 250°C の 0.2% 耐力は, UE 材と E 材の間でほとんど差はないが, 断面収縮率は E 材の方が約 15% 小さい。250°C での限界 COD 値は, UE 材で 0.075 mm, E 材で 0.03 mm となり, 脆化処理の影響が顕著に現れる。

このように延性破壊に対しても焼もどし脆化処理の影響が顕著に認められることについて、次のように考察している。すなわち、脆化処理によつて不純物原子が炭化物と母相の界面に偏析し、比較的少ない塑性変形量でも炭化物—母相界面が容易にはく離する。その結果、微小なボイドが炭化物を核として発生しやすくなり、低エネルギー延性破壊を導く。(長井 寿)

Incoloy 800 鋼の高温クリープ特性に及ぼす析出強化の影響

(A. ORLOVÁ and J. CADEK: Metal Science, 15 (1981) 1, pp. 39~44)

Incoloy800 鋼はクリープ中、 $M_{23}C_6$ や γ' -Ni₃(Al, Ti) の析出により強化されるため、825-1175K でクリープ試験を行い、その標点間部とネジ部の組織の変化を調べた。クリープ試験はアルゴン雰囲気で行い、Strain dip test により定常クリープ中の内部応力を測定した。組織は 100 kV 透過型電顕で調べ、全転位密度 ρ_t を電顕写真から点算法によつて決定している。結晶粒内の $M_{23}C_6$ の分散パラメータ、すなわち単位体積当たりの粒子数 N_v と粒子径 D をステレオ法によつて測定している。

全実験を通じて γ' -Ni₃(Al, Ti) の析出はみられないが、825~975K で γ' の前析出段階である短範囲規則化傾向がみられ、また 925~1175K で転位上に $M_{23}C_6$ が析出している。

高温クリープ後の組織では $M_{23}C_6$ 粒子でピン止めされていない転位があらわれている。クリープの初期段階では、ピン止めされていない転位密度が減少するため、クリープ速度 $\dot{\epsilon}$ が減少すると考えられ、一方この期間では転位速度は変化せず、全転位密度は増えていないので、ひずみ硬化は起こっていないと結論できる。

高温 (975~1175K) で転位上に $M_{23}C_6$ が析出して初期塑性ひずみを抑えるに十分ではないが、初期ひずみ発生の限界応力を決めている。

定常クリープ中の内部応力は負荷応力の 88~65% である。これは高温 (1025~1175K) で転位や $M_{23}C_6$ の析出による強化のためと考えられ、低温 (825~975K) では転位、 $M_{23}C_6$ の析出強化以外に γ' -Ni₃(Al, Ti) の前析出段階である短範囲規則化の影響があると考えられる。(渡辺 久)

12%Cr マルテンサイト系ステンレスの P による 焼戻し脆化における Mo の役割

(R. GUILLOU, et al.: Metal Science, 15 (1981) 2, pp. 63~72)

本研究は、0.1C-12Cr-1Ni マルテンサイト系ステンレス鋼にみられる P による可逆性焼戻し脆化について、Mo 添加の有効度およびその機構を明らかにすることを目的とした。

供試材の組成は、C : 0.091~0.096%, Mn : 0.76~0.81%, Si : 0.38~0.43%, P : 0.015~0.016%, Cr : 12.23~12.40% をほぼ一定として、Ni と Mo を 1.06%Ni-0.10%Mo, 1.29%Ni-0.47%Mo, 1.76Ni-0.98%Mo の 3 水準とした。熱処理は、大気中で 30 min 1050°C でオーステナイト化した後空冷し、650°C で 2 h 焼戻した。その後、保持温度 500, 550, 600°C で保持時間 2~100 h として脆化処理した。以上の処理を施した試料を種々の温度で衝撃試験 (Vノッチシャルピー、試験片

27×3×4 mm) して、上部棚エネルギーの 1/2 の値を示す温度を遷移温度とした。また、その破面を走査型電子顕微鏡で観察し、粒界破面をオージェ電子分光分析した。

その結果、Mo が多いほど (0.1~1.0%), 焼戻し温度が高いほど (500~650°C), P の粒界偏析量は少なく (2 at%) 遷移温度も低かつた (-50°C)。Cr の粒界偏析量は、熱処理および組成によるが、P が最も偏析しやすい条件で最高となつた。Mo および Ni の偏析は、ほとんど無視できる程度であつた。

遷移温度は、P の粒界偏析量と単純な比例関係にあり、Mo および Ni の含有量とは無関係である。また、粒界破面率も P の粒界偏析量の関数で、P 量とともに急激にステップ状に増大する。0.1%Mo の場合、P 量が 5~7 at% に変化すると破面率は、10 から 90% へと増大する。

Mo 添加の効果は、Fe-Cr-Mo-P 合金の場合、HILLERT らの式によれば、P のマトリクス中の固溶度を下げることである。フェライトマトリクス中の Mo は、P を排出することにより脆化に有効である。焼戻し脆化に対する Mo の有効限度量は、1.0 wt% である。

Ni および Mo の添加 (>1 wt%) は、粒界脆化に本質的な効果はない。(新村 哲生)

2 相域加熱と低温オーステナイト化処理による Ni-Cr-Mo-V 鋼の焼もどし脆化抑制

(D. A. WOODFORD and R. W. STEPIEN: Met. Trans., 11A (1980) 12, pp. 1951~1963)

843°C (15 h, AC) でオーステナイト化後、600°C (24 h, FC) で焼もどした素材を用いて、2 相域加熱 (IHT)、低温オーステナイト化処理 (LTA) が強度および焼もどし脆性感受性にどう影響するかを調べた。硬さ試験から IHT 温度域として 725~760°C ($\approx A_{c3}$) が決定された。焼もどしの前に IHT を行くと通常の熱処理材に比べ、焼もどし後のステップクーリング (SC) による FATT の上昇が著しく減じる。IHT を 2 度行くと、FATT は下がるが強度が低下する。IHT の温度がわずかに異なると強度が大きく変化するので、IHT をオーステナイト化処理の代わりに用いることはできない。IHT のあとに LTA を行うことにより、強度と焼もどし脆性に対する抵抗のすぐれた組み合わせが得られた。LTA 温度が下がると焼もどし脆性感受性がわずかに低下する。IHT+LTA 材と LTA 材を比較すると、前者の焼もどし脆性に対する抵抗が大きく、IHT の効果が LTA 後も残ることがわかつた。脆化域より上の 677°C から 750°C の範囲で IHT 温度を変化させ、IHT+LTA 処理の最適 IHT 温度を求めると、低い IHT 温度では強度がわずかに高いが焼もどし脆性感受性が増大することがわかつた。IHT 温度から急冷すると、逆変態オーステナイトはベイナイトになるが、オーステナイト域から急冷して得られる組織はおもにマルテンサイトであつた。飽和ピクリン酸水溶液による腐食を行つて前オーステナイト結晶粒界上への P の偏析を調べると、通常の熱処理材を SC したものでは粒界が腐食されたが、IHT を行つたものとはとくに Sn を添加した鋼においても SC 材の粒界は腐食されなかつた。FATT 以下で破断した試料の破面は、前者では粒界破面、後者ではへき開破面であつた。オージェ分光分析により前者の破面に P の偏析が確認された。

(柴田浩司)

水素侵食処理した $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼中のメタン気泡の直接観察

(T. J. HAKKARAINEN, et al.: Met. Trans., 11A (1980) 12, pp. 2035~2036)

石炭転換プラント用構造材料として注目されている $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼 (ASTM-A387) の水素浸食に関しては、これまで脱炭のみが報告されてきた。その理由は、同鋼に生成する炭化物が安定であるため、メタン気泡が核発生してもその成長が非常に遅いからである。しかし高温の応力負荷状態においては、応力誘起拡散機構によりこれらの気泡が成長できるため、クリープ破断寿命や低サイクル疲れ強さが低下する。本報告においてはメタン気泡の存在を直接観察により確認した。供試材は商用 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼の焼ならし焼もどし材である。水素侵食処理は 600°C , 13.8Mpa, 20 日間行つた。処理後一部の試料は透過電顕 (TEM) 観察したが、一部は引き続きクリープ試験を行い、走査電顕 (SEM) 観察した。

TEM 観測によると気泡の大きさは $200\sim 1000 \text{ \AA}$ であり、すべて薄膜試料内部に納まる大きさであった。また気泡はすべて粒界炭化物の表面に核発生していた、Cr-Mo 鋼の時効による炭化物の析出順序とその安定度は、 $\text{Fe}_3\text{C}\rightarrow\text{Mo}_2\text{C}\rightarrow\text{M}_n\text{C}_b$ (Fe_2MoC) \rightarrow クロム炭化物の順に変化するといわれている。これによると気泡は Fe_3C や Fe_2MoC 表面に核発生しやすい。TEM 観察によると、このうちの Fe_3C は水素侵食処理後すでに分解していた。またクロム炭化物表面には気泡はまったく認められなかった。

次に鋼中の MnS は溶解水素と反応して硫化水素を発生すると考えられる。実際水素侵食処理後引き続きクリープ試験 (600°C , 110 MPa, 162 h) した試料中の MnS 周辺には、この気泡が観察 (SEM) された。

(宮地博文)

破壊靱性を求める方法の限界

(R. B. SCARLIN and M. SHAKESHAF: Metals Technology, 8 (1981) 1, pp. 1~9)

破壊靱性を求める方法として、J積分法、等価エネルギー法、き裂開口変位法 (COD)、応力拡大係数法 (KIC)、計装化シャルピー法、破面遷移温度などで評価する実験的方法がある。これらの方法を、線型弾性体については、 $2\text{Cr}-1\text{Ni}$ タービンロータ鋼を用いて、ASTM E399-78 の規格に従つて求めた K_{IC} を基準として評価している。また弾塑性体については ASTM A508 に相当する圧力容器鋼を用いて比較を行っている。

J積分法では、安定破壊が存在する場合の評価が可能となる点で有利であるが、heat tint 法によつて求める場合、多くの試験片を必要とする欠点がある。

COD 試験は、BSDD 19 の英国規格に示されている方法で、これは直接開口先端変位が求められないため、クリップゲージをとりつけて外挿を行う。このため一応の補正は行われるが、ゲージの回転による誤差が生じる欠点がある。

等価エネルギー法は、小さな試験片を用いて、大きな試験片の破壊靱性値を評価する方法であるが、一般的に J 積分による評価が望ましい。

計装化シャルピー法は、疲労クラックを導入したシャ

ルピー試験片を用いて、荷重変位曲線から破壊靱性値を求めるが、高温側では信頼性が低い。BEGLEY らによる破面遷移温度による評価法も、高温側では信頼性に乏しいが、これらの 2 つの方法では試験片が小さくてすむため、溶接の熱影響部などの小さい試料の評価に適している。

一般的には、破壊靱性としては、低温側では K_{IC} 、比較的高温側では、十分に厚みのある試験片を用いて、J 積分法によつて求めた値を用いるのが望ましい。

(名村夏樹)

高温用熱間工具鋼の開発

(L.-Å. NORSTRÖM and N. ÖHRBERG: Metals Technology, 8 (1981) 1, pp. 22~26)

5 種類のマルテンサイト系熱間工具鋼について研究を行っている。その化学成分は、No. 1 ($0.39\text{C}-2.5\text{Cr}-2.1\text{Mo}-1.2\text{V}$), No. 2 ($0.38\text{C}-2.8\text{Cr}-2.1\text{Mo}-1.2\text{V}-1.9\text{Co}$), No. 3 ($0.32\text{C}-2.9\text{Cr}-2.8\text{Mo}-0.6\text{V}-2.8\text{Co}$), No. 4 ($0.39\text{C}-4.8\text{Cr}-3.1\text{Mo}-0.5\text{V}$), No. 5 ($0.34\text{C}-5.2\text{Cr}-1.3\text{Mo}-1.0\text{V}$) である。

No. 1, 2 は新しく開発した鋼であり、No. 3, 4, 5 は従来より広く使用されている鋼である。これらの鋼に対して基本的な特性である硬さ、高温引張試験、組織観察などを行い、合金元素の影響について調べている。

新しく開発した鋼は他の 3 種類の鋼より明らかに高い焼もどし抵抗を有し、No. 5 は最も低く、No. 3, 4 はその中間である。これらの鋼はマルテンサイト組織を有し、ASTM 9 ぐらいの微細粒を持っている。炭化物の影響をみるために電顕観察を行った結果、No. 2 では非常に小さい V 炭化物である MC がマトリックスと一定の結晶関係を有して析出し、ラス内は高転位密度を持っている。これに対して No. 3 では大きな MC が析出し、その量は No. 2 より少ない。Mo 炭化物である M_2C , M_6C が析出しているが、これらは MC より明らかに大きい。また M_6C は粒界に優先的に凝集しており、マルテンサイトも回復している。このことから MC は M_2C よりも温度に対する安定性が高いものと考えられ、No. 1~2 の焼もどし抵抗がすぐれているのはこのためである。

また室温硬さを 47HRC にそろえた試料を高温で引張試験を行った結果、明らかに新しく開発した鋼がすぐれており、これは V 炭化物の効果である。引張延性は、ASTM 9 という微細粒のためにすぐれていたが、最も軟化した No. 4, 5 がよい値を示している。No. 1 および No. 2 は十分な引張延性を有し、強度・延性ともにすぐれた新しい高温用熱間工具鋼と言える。(河淵 靖)

2 相組織鋼の組織におけるエピタキシャルフェライトの重要性の評価

(G. S. HUPPI: Script. Met., 14 (1980) 11, pp. 1239~1243)

2 相組織鋼開発の初期には、単純なフェライト-マルテンサイト系について研究がなされてきた。しかし、最近の研究によると、成形性の良好な 2 相組織鋼ではマルテンサイトの他に残留オーステナイトや炭化物さらに冷却中にオーステナイトから変態した種々のフェライトが存在していることがわかってきた。

本報告では、2相域加熱時に存在するオーステナイトから生成される変態相、とりわけ冷却中に生成されるエピタキシャルフェライトが機械的性質におよぼす影響について述べている。

供試鋼には HT-10 鋼(0.11C, 1.42Mn, 0.29Si, 0.045V)を用い、2相域の種々の温度で4 min 加熱した後、23°C/s の速度で冷却し、その機械的性質を調べた。その結果によれば、加熱温度が740°C から830°C に上昇すると均一伸びおよび全伸びは増加するが強度はゆるやかに低下する。また組織観察の結果、加熱温度が上昇してもフェライト相、マルテンサイト相はそれぞれ79~81%、12~15%と変わらないが、フェライト相をエピタキシャルフェライトと残留フェライトに区別した時には、加熱温度を745°C から830°C に上昇させたとき、エピタキシャルフェライトが4% から74% に増加することがわかった。従つて、加熱温度の上昇による伸びの増加と強度低下は、エピタキシャルフェライトの増加によるものと考えられる。このエピタキシャルフェライトは、Geibらによつて電顕観察されているが、残留フェライトと違い析出物がないことが確認されており、低強度、高靱性であることが予想される。

以上の結果から、2相組織鋼の強度、靱性を支配している主因はマルテンサイト量であるが、低合金2相鋼ではエピタキシャルフェライト量も重要な因子であることがわかった。(古君 修)

—物理冶金—

疲労損傷の電気化学的検出

(W. J. BAXTER: Met. Trans., 11A (1980) 12, pp.

1999~2008)

金属における疲労損傷の新しい検出法として、電気化学的再酸化電流を測定する方法が提案されている。基本的な原理は、繰返し荷重を受ける前に試料表面に酸化膜を電気化学的に付着させておき、疲労中、金属にマイクロクラックができると、酸化膜も破れるのでこれらのマイクロクラックが再酸化するときの電流によつて検出するというものである。このときに流れる総電流は次の2つの要素を含んでいる。1) 試料の金属、酸化膜と電解液によりできる電気二重層の充電電流と、2) 酸化膜中のマイクロクラックの再酸化にともなうものである。これらの2つの要素を分離するために、あらかじめ再酸化のための電圧をかけた電解液に、試験片を一定速度でゆつくりと浸していく走査浸加法がとられている。これにより、酸化膜中のマイクロクラックに対する再酸化電流のみを検出できるだけでなく、疲労損傷の局所的分布を知ることができる。

試料として1100-0A1を用い、14 nm 厚の陽極酸化皮膜を付着させて、繰返し速度 1.2×10^{-3} の曲げ疲労試験を行つている。この酸化膜は疲労寿命に影響を与えず、繰返し変形中にはがれることのない強い結合力のものである。このような疲労試験を行つた試料で、電気化学的走査浸加法により、5Vの電圧をかけて、再酸化電流を調べ、一方同じ試料を走査電子顕微鏡により、表面状態を調べた結果と照らし合わせると、この電気化学的再酸化電流法では、50 μm 以上の長さの疲労クラックが検出可能であつた。また、再酸化電流の大きさから、疲労寿命が $\pm 50\%$ の正確さをもつて推定しうることもわかつた。(名村夏樹)

—コラム—

ルービック・キューブ雑感

もうそろそろ下火になるだろうと思うが、立方体の各面を9区画に区切り、各面がその面内で自由に回転できる構造になつている6色に色分けされた区画をもつルービック・キューブが大流行した。子どもの遊び方についてのテレビレポートを見ていたら、小学校5年生がノートをつけながら挑戦して1ヶ月で色のそろえ方をマスターしたという話を紹介していた。週刊誌新聞・劇画誌に色のそろえ方が掲載されるまでは、このような数少ない先駆者によつて色のそろえ方が見出され、まわりの人間に少しずつ伝わつていたのであるが、それがマスコミによつて紹介されるやあつという間に広まり、もの憶えのよい子ども達は、いたずらに手を早めて2分以内で色合わせを完成させたりすることができるようになった。研究室に行つて見ると学生諸君の段位が黒板に書いてあるので、あれは何を尺度にして段位をきめたのかとたずねてみると、速度だという答であつた。さらに最近は一面向一色にそろえるのではなく、各面にあるパターンを自在につくり出す

能力も一つの尺度になつている。

最近のルービック・キューブ(本物)を買うと色合わせの手引きのリーフレットがついて来る。これを見ながら行くと、その日のうちに確実に色を合わせることができる。たむむれに色を合わせていると、最終段階に近いところで、リーフレットのやり方をひとひねりふたひねりしなければならぬ場合も数多くあらわれ、なるほど技術は組み合わせだなどという感想をもつこともある。

1ヶ月もノートをつけながら丁寧に色の合わせ方を追求してそれを見つけた子どもには、理学的な発見のよろこびがあつたに違いないし、それを友達に教えるときには教育をするよろこびもあつたろうと思う。そうした発見をあとづけして理屈をつけ、整理してリーフレットを編集した人間には技術のカタログ、マニュアルを作製して万人に色合わせを経験させる楽しみがあつたに違いない。この立方体一つの中に、理学・教育・技術の縮図がこめられているように思う。

(東京大学工学部 木原諄二)