

## —製 銑—

## 高炉環状管の設計、保守および修繕

(M. L. WEI and T. E. JAMES, Iron and Steel Eng. 58 (1981) 8, pp. 51~59)

ベスレヘム・スチール社で環状管の膨張及びき裂が、溶銑樋付近に多く認められ、種々の調査を実施した。

熱応力に関しては、伝熱計算の結果、環状管の鉄皮からの熱放射維持のためのキッシュ・カーボン除去と溶銑樋からの熱放射防止のための防熱板設置の必要性が認められた。一方、環状管鉄皮と防熱板の温度測定から、それらは出銑、閉塞により広い温度域を周期的に変動して相当の熱疲労を受け、かつ高温時の強度は常温時の 1/2~2/3 に低下していると考えられる。これらより、防熱板の拡張及び防熱板への耐火物吹き付けが必要と思われる。

機械的負荷と応力については、熱負荷ほど大きくはないが、熱負荷とあいまつて影響を与えている。機械的負荷は、環状管自身の自重と内圧及び環状管の芯ずれによるものである。芯のずれによるものは、吊り支持装置と補強材によつて低減できる。

環状管接合部のき裂発生箇所及び赤熱部の組織観察などより、これらの部分が相当の高温にさらされていたことがわかった。

以上の結果より、環状管の膨張及びき裂防止としては、防熱板への断熱材の吹き付け、防熱板の拡張、キッシュ・カーボンの定期的除去、環状管と防熱板間への強制通風、環状管と吊り装置間の応力集中低減、全周にわたる補強リングの採用、良い材質の選択、開孔部(羽口部への)の適切な補強、突き合わせ溶接による補修、被溶接部の事前研磨と超音波探傷、応力の解放、れんが積の改善、鉄皮とれんが間などへのモルタル圧入、外面への耐熱材のコーティング、突き合わせ溶接のための平面プレートの採用、赤熱部への蒸気散布、溶銑樋カバー採用が考えられる。

(西村 治)

## 高炉羽口から採取したコークスの性状

(H. C. WILKINSON: Rev. Mét., 78 (1981) 7, pp. 625~637)

高炉内におけるコークス性状の劣化を調査するために、ヨーロッパ、カナダの 30 以上の高炉で、休風時に羽口からコークスを採取し、粒度分布、タンブラー強度、比重、水分、灰分、鉄分、アルカリ分析などの物理、化学的性状を調査し、装入前のコークスと比較した。コークスの粒度はすべての場合低下している。高炉内での粒度の低下は、通常のタンブラーテストでコークスが受ける粒度減少と必ずしも対応しない。これから通常のテストで得られる指数は、コークス炉の品質管理の状況と強度の一面を示すにすぎない。

コークスの劣化には、機械的要因だけではなく、高炉の操業条件、装入物の性状などの化学的要因がかかわっている。装入時は中程度の強度のコークスでも酸性スラグで操業している場合は、羽口部では、装入時に高い強

度のコークスと同程度の強度を示す場合もある。

コークスの構造面からは、コークスの気孔壁の厚さは、羽口前で減少し、気孔の拡大と気孔率の増加が起こっている。化学的には、灰分、鉄分およびアルカリ分が増加している。この結果コークスの比重は装入時に比べ、平均 0.2 増加している。Na の含有量の変化は比較的少ない。K は、当初の 2~4 倍に増加している。とくに劣化の激しいコークスでは、20 倍にも達している。鉄分の浸入は比較的コークス塊の表面に多いのに対して、Na、K は、塊全体に浸入している。

高炉の順調な操業のためには、コークスが高炉下部で良好な強度と粒度を保つことが必要であり、コークスの性状管理として、炉内での劣化の割合を把握することが、通常の方法で測定される強度より重要である。

(丸島弘也)

## 高石炭吹き込み率高炉操業実験

刘云彩: 鋼鉄, 16 (1981) 6, pp. 7~11

首都鋼鉄公司では、2 大石炭基地近くにあることから、1964 年北京鋼鉄学院他と共同し工業規模の高炉石炭吹き込み実験を行い良好な結果を得た。その後数年間に全国数十の高炉がこれを採用するに至っている。さらに 1966 年首鋼 No. 1 BF (576 m<sup>3</sup>) で石炭吹き込み率を高める実験を行つた。石炭吹き込み率は、2 月 34%、5 月 45.4%、6 月 46.4%、コークス比 336 kg/t に達した。(石炭吹き込み率=石炭粉使用量/燃料総使用量×100%) この間期間を取り出しデータ解析を行つた。(基準期、1~4 期) 以下にその結果を記す。

(1) 石炭吹き込み率の上昇に伴い羽口コークスと代替吹き込み率 45.2% (第 4 期) では、吹き込み石炭は、全羽口カーボンの 60.2% を占め、熱的にも羽口コークス 20.85%、吹き込み石炭 35.99% を占めるようになる。(操業条件基準→第 4 期, BT 1022°C→1151°C, 酸素富化 20.5%→24.22% 基準期オールコークス 587 kg/t→第 4 期コークス 328+石炭吹き込み 270=598 kg/t) 石炭吹き込み 45% 以上は、不完全燃焼になりやすく、置換率、燃料比は悪化する。(石炭吹き込み率 45.4%→49.1%, FR+62 kg/t; 45.4%→49.1%FR+81 kg/t) 酸素富化 4~5% BT 1100°C 以上、石炭吹き込み率 45% が適当である。置換率は 46% 以下では 0.82~0.94, 46% 以上では、悪化する。

(2) 石炭吹き込みが高炉操業を順調に行わせしめている要因は、2 つある。1 つは、石炭吹き込みのアップに伴いレースウェイが拡大することが挙げられる。(石炭吹き込み +10%=酸化帯延長 5~8%) もう 1 つは、石炭吹き込みのアップに伴い高炉内の鉍石の重量が増し、荷下りが、良くなることである。(石炭吹き込み +10%=鉍石重量 +2~4%)

(3) 首都高炉では、原料条件の改善 (Sinter Fe 品位アップ 49.36→53.0%, SR640→517 kg/t) を図り、石炭吹き込みのアップ時でも通気性の安定を保ち出銑比の上昇を図れた。(基準 (0%)→第 4 期 (45.2%) 出銑比 1.162→1.585 t/d·m<sup>3</sup>)

(4) 石炭吹き込みが増加すると、炉内 ore/coke が増すため ore/gas 接触時間の増大と共にトラベリングタイムが延長しエネルギー的にも有利である。(石炭吹き込み +10% = トラベリングタイム +8%)

(5) 石炭粉は、羽口カーボンに代替するので、極力 Ash を少なくすべきである。ただし石炭吹き込みと共に  $H_2$  投入量が増えこの  $H_2$  のアップは、若干操業にとり、問題である。(山崎 信)

### — 製 鋼 —

#### ESR パイロットプラントにおける水素の挙動

(E. SCHURMANN, et al.: Arch. Eisenhüttenwes., 52 (1981) 8, pp. 303~310)

鋳型内径 200  $\phi$ 、鋳造量 75 kg の ESR パイロットプラントを用いて、溶鋼中の水素濃度 (以下 [H] と記す) と、凝固鋼/溶鋼/スラグ各相間の水素分配を調べた。変動因子は、雰囲気中の水蒸気分圧、電極材の水素濃度及びスラグ成分である。スラグは  $CaF_2 + Al_2O_3 + CaO$  系で、 $Al_2O_3$  と  $CaO$  をそれぞれ 0~40% に変化させた。弗化物を含むスラグ中の水素分析法は、スラグサンプルを 60 s 以内に 2300°C まで急速加熱し、これにキャリアガス法を適用した。

溶解中スラグ表面に水蒸気を吹きつけて雰囲気中の水蒸気分圧を上昇させると、[H] は急増し、吹きつけを止めると再び急速に減少する。溶鋼中の酸素濃度も水素と共に変化するが、増加量は水素の増加量から化学量論的に求められる値より小さい。これは溶鋼中の脱酸成分のためであろう。凝固鋼/溶鋼間の水素分配比は 0.27 と実測され、GELLER らの計算値 0.28 とよく一致した。スラグ/溶鋼間の水素分配比はスラグ中の  $CaO/Al_2O_3$  比の増加と共に大きくなる。 $CaO$  を含むスラグ下では、電極材の水素濃度の増加により [H] は上昇するが、 $CaO$  を含まぬスラグ下では、[H] は電極材の水素濃度に影響されず一定となる。一方、[H] はスラグ成分の影響を受け  $CaO/Al_2O_3$  比と共に増加し、 $CaO$  を含まぬスラグ下で最小となる。溶解初期には水素スラグから雰囲気へ放出される速度は、溶鋼からスラグへ吸収される速度より大きい。この差、すなわち系内の全水素量の減少速度は溶解時間と共に低下し、55 min 後には 0 となつて動的平衡状態となる。

本研究から、ESR において水素はスラグ/溶鋼間では急速に平衡状態に達すること、溶鋼の水素濃度は主として、スラグ組成と雰囲気中の水蒸気分圧に影響されることが示された。(大宮 茂)

#### 鋼の連続鋳造における鋳型内スラグ皮覆の形成

(A. V. LEITES, et al.: Steel in USSR, 10 (1980) 5, pp. 371~372)

高品質連鋳ビレット製造において、鋳型内溶鋼メニスカスの保護としてスラグによる皮覆が重要である。このスラグによる皮覆形成のメカニズムを解明すべく 2 種類のスラグ形成剤 (工業規模のスラグ鋳造に使われている) を検討した。

スラグ形成剤タイプ I 約 30% C の  $CaO-SiO_2-Al_2O_3$  系スラグ、 $CaO/SiO_2 \approx 0.6$ 、鋼中 Al が 0.010% 以下の炭素鋼、低合金鋼に使用。

スラグ形成剤タイプ II 約 10% C の  $CaO-SiO_2-Al_2O_3$

系スラグ、 $CaO/SiO_2 \approx 1.6$ 、鋼中 Al が 0.020% 以上の炭素鋼、低合金鋼に使用

特殊なサンプラーで溶鋼上のスラグ層を採取して調査した。タイプ I は溶鋼メニスカス上で 1~3 mm の熔融層とその上の流動層の 2 層となつていた。タイプ II は 10~20 mm の熔融層、焼結層、その上の流動層の 3 層を形成しており、いずれのタイプも鋳造壁に 2~3 mm のスラグ・フィルムを形成していた。

このスラグ流動層での C 値は空気酸化により使用前スラグより 10~6% 減少している。この C の酸化はスラグ層上に形成される還元雰囲気によつて制御される。

鋼中の  $Al_2O_3$ 、 $MnO$ 、 $SiO_2$  などの介在物を吸収し、熔融スラグ層中のこれら成分量は増加する。

タイプ II では焼結層と、より厚い熔融層があるため溶鋼がスラグ中の C と反応しにくくなつていて、従つて連鋳ビレットの浸炭が避けられる。

1500°C での表面張力はタイプ I で 240 MJ/m<sup>2</sup>、タイプ II で 280 MJ/m<sup>2</sup> であり、 $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$  に関する吸収能はタイプ II の方が高くなる。

タイプ I は原単位低く、約 30% C を含む 2 層形成スラグ剤で、鋼中 Al 0.01% 以下の大断面スラブで浸炭をさほど気にしない場合に適する。

タイプ II は原単位高く、約 10% C を含む 3 層形成スラグ剤で、鋼中 Al 0.02% 以上で浸炭が問題となる場合に適する。(手塚 誠)

### — 鋳 造 —

#### 表面温度制御による横割れ防止法

(C. OFFERMAN, et al.: Scand. J. Met., 10 (1981) 3, pp. 115~119)

極厚鋼板用低合金鋼の連続鋳造化を指向する際に問題となる鋳片表面の横割れ発生低減法について鋼の高温における機械的性質および割れ発生と鋳片表面温度の関係から検討した。

グリーンブル試験機を用いた高温延性試験によると低合金鋼は変形速度が小さい時に 750~950°C の温度範囲で延性の著しい低下がある。この延性低下は鋼の成分、変形速度および冷却条件に左右され、鋼の成分では Al と N 含有量の増加に伴つて顕著になる。Nb と V も同様な影響をおよぼす。750~950°C の温度域での延性は変形速度に依存し変形速度が大きいほど延性低下は小さい。材料を単純に冷却した場合と冷却・復熱をくり返しつつ冷却した場合の延性を比較した。後者は延性低下温度範囲が前者より約 50°C 広がる。横割れ防止の観点からは延性低下温度範囲より低温側か、あるいは高温側のいずれかの表面温度で鋳片を矯正することが望ましい。HSLA 鋼について、半径 10 m の連鋳機で鋳造速度 0.75 m/min の条件で低温矯正の実験を、また半径 8 m の連鋳機で鋳造速度 1.0~1.5 m/min で高温矯正の実験を行つた。高速鋳造の方が低速鋳造より表面割れによる製品格落率が低減した。

本研究から、横割れの発生を防止するためには矯正域における鋳片表面温度を 950°C 以上に保持することが重要であること、このためには鋳造速度を 0.9 m/min 以上確保することが必要であることを示した。

(北岡英就)

## — 性 質 —

低サイクル疲労における 718 合金の温度依存性変形機構 (T. H. SANDERS Jr, et al.: Met. Trans. A, 12A (1981) 6, pp. 1003~1010)

ガスタービン用水冷部品に用いられる Ni 基合金 718 の低サイクル疲労について調べた。すなわち、主に変形挙動の変化および変形様式と温度、歪み、周波数との関係を論じている。

供試材は、718 合金の鍛造棒材を用いた。溶体化および時効処理を施し、ASTM E606-77T に従って 0.635 cm 径の円形試料に加工した。結晶粒度は ASTM 10 で、化学組成は 51.93 Ni-18.28 Cr-20.06 Fe-2.88 Mo-1.03 Ti-5.01 (Cb+Ta)-0.47 Al-0.12 Co-0.12 Si である。疲労試験温度は、204, 316, 427, 538, 649°C で行い、周波数は 20/min とした。

初期き裂発生周波数 Ni が約  $10^4$  以下の時、その寿命は温度とともに減少するが、 $10^4$  を越えるとその傾向は逆転する。 $10^5$  以上では、き裂発生に必要な総歪み  $\Delta\epsilon$  は温度が 538°C から 204°C に低下するに従って減少する。

Ni の塑性歪み  $\Delta\epsilon_p$  依存性は、427°C までは本質的に変わらないが、それを越えると大きく変化する。Ni が約  $10^4$  以上では、適当な  $\Delta\epsilon_p$  における寿命は、427°C 以下での値よりも 538, 649, °C における方が大きい。Coffin-Manson の関係は、

$$\Delta\epsilon_p = \epsilon'_f (N_f)^{-c}$$

427°C 以下の  $\Delta\epsilon_p$  と寿命の関係を説明することはできないが、 $\Delta\epsilon_p$  と Ni は明確な双一次関係を示す。これは、変形が低水準の領域では均一に生じ、高水準に至ると不均一に生じることに関連している。

$\Delta\epsilon$  をパラメータに  $\Delta\epsilon_p$  と温度の関係をみると、427°C で  $\Delta\epsilon_p$  の最小値が現れ、その谷の深さは  $\epsilon_p$  が 0.9% で最大となり 1.3% へと増加するに従って減少する。これは、降伏強度が 427°C まではほぼ一定だが弾性係数が温度とともに減少するためである。

TEM および SEM の観察の結果、427°C 以下では、変形は双晶によつて生じ、それを越える温度では主としてすべりによることが認められた。(新村哲生)

## 加熱時の Incoloy 合金の疲労下部組織の特性

(A. H. NAHM and J. MOTEFF: Met. Trans., 12A (1981) 6, pp. 1011~1025)

透過電子顕微鏡を用い、Incoloy 800 の加熱時の低サイクル疲労による下部組織を観察し、その疲労特性と関連づけた。下部組織のパラメータとして、セル寸法、転位密度、隣接セル間の方位差角等を評価した。

供試材は、1145°C で 1 h 溶体化し、その後試料を 6.35 mm の砂時計型に機械加工した。結晶粒度は、130  $\mu\text{m}$  であつた。低サイクル疲労試験 (圧縮-引張) は、大気中で 538°C, 649°C, 704°C, 760°C に昇温し、くり返し歪み速度  $4 \times 10^{-3} \text{S}^{-1}$  および  $4 \times 10^4 \text{S}^{-1}$  で行つた。透過電子顕微鏡用の試料は、まず 0.4 mm の厚さに破断面近傍の標点間の部分から切り出し、4つの 2.3 mm 角に切断する。さらに 600 番の炭化ケイ素研摩紙で水冷しながら  $\sim 0.15 \text{mm}$  まで研摩し、ジェットポリッシング法で電解研摩した。電解研摩液は、過塩素酸：酢酸

=1:9 で、電解条件は、 $\sim 2.8 \text{A/cm}^2$ , 30 V で行つた。

実験の結果、538°C, 649°C, 704°C, 760°C のすべての温度においてセル構造の形成が観察された。また、実験的に亜粒界形成の臨界転位密度が存在することが確認され、その値が絶対温度の 2 乗に逆比例することが判明した。

セル寸法  $\lambda$  は、飽和応力を補正したせん断係数  $\Delta\sigma/2G$  と塑性歪み範囲  $\Delta\epsilon_p$  両者の関数で次式で示される。

$$\lambda = 1.1 \times 10^{-2} \mathbf{b} (\Delta\sigma/2G)^{-2.43 \pm 0.05}$$

$$(\Delta\epsilon_p > 0.5 \text{ pct の時})$$

$$\lambda = 5.8 \times 10^{-2} \mathbf{b} (\Delta\sigma/2G)^{-2.02 \pm 0.37}$$

$$(\Delta\epsilon_p > 0.3 \text{ pct の時})$$

$\mathbf{b}$  はバーガースペクトル。

また転位密度も  $\Delta\epsilon_p$  と  $\sigma/2G$  の関数であることが判明した。隣接セル間の方位差角は、本研究で用いたすべてのパラメータから独立であつた。亜粒界は、{100}、{110} および {111} 面といった低次数の結晶面上に存在した。(新村哲生)

## 高強度、延性、靱性を有する低合金ベイナイト・オーステナイト鋼の組織と性質

(B. P. J. SANDVIK and H. P. NEVALAINEN: Metals Technol., 8 (1981) 6, pp. 213~220)

高合金鋼よりも優れた機械的性質を有する低合金鋼が設計され、その良好な特性は炭化物を含まないベイナイト・オーステナイト組織により得られた。これは高 C, Si 合金鋼を上部ベイナイト温度域で等温変態させることにより得られる。この組織では Si が炭化物形成を阻害するため、相当量のオーステナイトが残留する。機械的性質は微細組織に強く依存し、有効結晶粒、オーステナイト体積率、オーステナイトの形態が重要な因子となる。

強度は変態温度の低下につれて上昇するが、これは主としてベイニティックフェライト組織の細粒化と、380°C 以下で変態した鋼の残留オーステナイト中に現れる双晶下部組織のためである。残留オーステナイトの増加は降伏応力を低下させるが、それがフェライトプレートの界面に沿つて均一に分散している限り引張応力は変化しない。伸びは残留オーステナイトの体積率によつて左右され、オーステナイトがプレート界面にのみ存在する場合、オーステナイトの増加とともに増大する。引張試験のさい、低降伏応力鋼では、残留オーステナイトは双晶変形によつて変形し、高降伏応力鋼では双晶マルテンサイトの形成によつて変形する。伸びは変形モードよりもオーステナイトの形態によつて影響を受ける。

切り欠き靱性は降伏応力、有効結晶粒径、残留オーステナイト体積率によつて制御される。また 320°C で変態させた鋼は最良の機械的性質を有し、静的負荷がかかる部品で 40% 残留オーステナイト、動的負荷がかかる部品で 24% 残留オーステナイトが得られるように化学成分を選ばなければならない。

現在商業的に生産されているこの種の合金鋼によつて得られる機械的性質は、同一の強度水準を持つマレージ鋼あるいは他の高合金鋼のそれよりも優れている。

(河津 靖)

## 異なつた温度での炭素鋼のレーザー照射

(L. L. KRAPIVIN and L. I. MIRKIN: Steel in USSR, 10 (1980) 6, pp. 325~326)

種々の温度に加熱された炭素鋼をレーザー熱処理し、組織、硬さ、微視的ひずみの変化を調べた。

用いた鋼は炭素鋼 45 と炭素鋼 U8 で、実験方法は管状の電気炉内に直径 15 mm、厚さ 3 mm の試験片を装入し、これを 20~1000°C の種々の温度に加熱し、ガスレーザーを用いて炉内の加熱された試験片を照射後、ただちに炉を開け、試験片を空冷し、この試験片に対してX線回折、硬さの測定、顕微鏡組織観察を行つた。おもな結果は以下のとおりである。

X線回折において、レーザービームの照射前の試験片の温度が 200°C 以上に加熱されるにつれ回折線の広がり減少した。すなわち、これは微視的ひずみの減少を意味する。この微視的ひずみの減少は 600°C まで続い

た。

硬さ (HB) はレーザービームの照射前の試験片の温度の増加につれ減少した。この温度-硬さの関係は、温度-微視的ひずみの関係と近似的に一致した。

組織的变化において、レーザービームの照射前の温度が 350°C 以下では、室温で照射された試験片と比較したとき顕微鏡的組織の変化は生じなかつた。この組織は針状マルテンサイトであつた。加熱温度が 350~500°C の範囲において、熔融状態から冷却された部分は炭素鋼 45 でトルースタイト組織、炭素鋼 U8 でソルバイト組織が見られた。500~600°C の範囲において、両炭素鋼ともソルバイト組織になつた。650°C 以上の温度では、方位性をもつたフェライト・パーライト組織 (この方位性をもつた組織は照射前の組織の方位と無関係にレーザービームで照射された面に垂直であつた) が認められた。(吉田和彦)

## 編集後記

▶第7号をお届けいたします。17の論文、技術報告を中心とした力作を送り出すことができました。

▶今年もさわやかに春季講演大会を迎えました。毎年、桜の開花と相前後する時期に開かれますので、季節感は強烈です。今年も東工大構内の桜並木は満開で、見事でした。子供連れの家族がそこそこで食べものを広げるといつた風景も見られたほどでした。講演大会の運営の責を負われた方々、とくに裏方に徹し、運営に努力された事務局の方々は、それどころではなかつたでしょうが、つかの間の目の保養はなされたことと存じます。

今回はポスターセッションとして、31件の発表がありました。会場では黒山の人だかりで熱心な討論が行われていました。参加者各位がその労に報いられるに十分なものを得られたであらうことを念じています。ポスターセッションについては種々の意見がある

と思いますが、その将来の消長は、参加者が決めて行くことでしょう。

▶毎月いくつかの論文を編集委員として読ませていただいておりますが、いずれの論文も努力の結晶であり、教えられることが多く、興味深いものばかりです。しかし、その中にはまれではありますが、何となく身がまえて読まざるを得ないような論文も無きにしもあらずです。そのような論文の共通点として、当然引用論文があつて然るべきところに引用が無かつたり、その論文の主張するオリジナリティの範囲が明確でないなど、科学技術論文の基本である客観的に記述するという印象が薄いという印象を与えます。たとえば、三人称で述べるといった客観性は習慣であるので、時代とともに乱れてきてもある程度はよいと思いますが、基本的な姿勢は忘れたくないものです。

(M.K.)