

抄 録

—原 料—

ヴェネズエラのイタピラ鉄鉱石

(von Hans GRUB: Stahl u. Eisen, 86 (1966) 19, p. 1177~1189)

現在ヴェネズエラは、年産 1800 万 t の鉄鉱石を産出し、世界の全産額の約 3% を占める有数の鉄鉱石輸出国である。主要鉱山は Cerro Bolivar 鉱山と、El Pao 鉱山である。ヴェネズエラの鉄鉱石鉱床のうち、経済的価値のあるものは、例外なく、itabirit 系の鉱床で、火成岩の貫入により、強烈な変成作用を受けた前カンブリア期の堆積層に属しており、Orinoco の南方に、700km×120km の範囲にわたって広がっている。各鉱床は、次の 3 つのグループに大別される。

- 1) 高品位塊鉄を伴う変成分離した itabirit (El Pao)
- 2) 強烈な変成作用を受けた大塊 itabirit で、風化富鉄を発生しないもの。(Maria Luisa, Piacoa)
- 3) 変成作用は弱く、脆弱な風化富鉄を多く含む細粒 itabirit (Cerro Bolivar, San Isidro)

鉄分含有率の上昇には、2 種類の過程が考えられる。

- 1) magma が itabirit と片麻岩との境界を上昇し、itabirit 中の珪酸は融解し、母岩に吸収されるため、鉄分が残留する(グループ 1)。ところが itabirit の粒径が大きいと、浸出される珪酸は少なくなり、鉄分の富化はわずかにとどまる(グループ 2)。
- 2) 腐植質土の層と通過した中性ないしアルカリ性の雨水が珪酸を浸出し、風化富鉄を生成する(グループ 3)。

下表は代表的な鉱床から得られた製品の平均組成、平均粒度構成および埋蔵量を示す。

鉱 床 名	化学組成 (wt%)					粒 度 構 成	埋 蔵 量 (100万 t)
	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	加熱減量		
El Pao	62.6	1~2.5	3.5~4	0.06	3.3	>51 mm = 20.33% 13~51 mm = 26.26% <13 mm = 53.41%	107.3 (富鉄のみ)
Cerro Bolivar	63.0	1.5	1.5	0.1	5.5	>50 mm = 19% 5~50 mm = 36% <5 mm = 45%	400
San Isidro	63.5	3.0	0.6	—	3.2	—	300

(近藤幹夫)

酸化マグネシウムを含む焼結鉄の諸性質に対するアルミナ添加の影響

(R. EULER and H. H. LACKMANN: Stahl u. Eisen, 86 (1966) 22, p. 1465~1469)

実験用焼結鉄を用いて酸化マグネシウムを含む焼結鉄の酸化度、還元性、多孔性、軟化および熔融性状に対す

る種々の添加物質の影響が調査された。ドロマイトを添加した焼結鉄はその諸性質において石灰焼結鉄よりも悪い。ここでは MgO/CaO が重要な役割をしており、ドロマイト焼結鉄の性質が悪いのはカルシウムダイフェライトとダイカルシウムシリケートの形成が少ないことにある。同じコークス添加量で焼結すると粗ドロマイトを添加した焼結鉄の場合には、落下試験強度は $B = (\%CaO + \%MgO) / \%SiO_2 = 1.2$ の塩基度まで少しずつ下がり、それ以上では著しく下がる。焼結生産率もまた $B = 1.2$ の塩基度まで少し上昇してその後著しく下がる。

ドロマイト焼結鉄の実験をもとにして、 $B = 1.15$ および 1.60 の塩基度の焼結鉄についてアルミナ添加の影響が検討された。

$B = 1.15$ の塩基度の焼結鉄ではアルミナ含有量を 1.2 から 3.2% まで増すことによつてガスの通気性の増加が達成され、生産率は 24 から 34 t/m²·24hr まで著しく増加した。さらに凝固範囲が 50°C から 110°C にまで広がることによつて相形成過程が促進され焼結鉄強度は増大した。アルミナ含有量の増大とともに焼結鉄の酸化度は増加し、また還元性も $(dR/dt)_{40} = 0.60$ から 0.80 %酸素除去/min まで増加した。

$B = 1.60$ の塩基度の焼結鉄では、アルミナを添加することにより強度は改善され生産率も増加した。その還元性はアルミナ含有量を 1.25 から 3.91% まで高めた場合に $(dR/dt)_{40} = 0.90$ から 1.40% 酸素除去/min に改善された。 $B = 1.15$ および 1.60 の焼結鉄ともにアルミナ添加量の増加とともに、その多孔性はわずか減少した。

(浜田尚夫)

—製 鉄—

Ruhrort の高炉の改修と操業結果

(Hermann Th. BRANDI, et al.: Stahl u. Eisen, 86 (1966) 21, p. 1345~1354)

Ruhrort の 7 高炉は改修に際して、炉床径を 7.5m から 9m に拡大した。改修後の 7 高炉は 1966 年 7 月には、月平均で、2603 t/24hr の出鉄量と 1212°C の送風

温度および 73 kg/t. の重油添加により 425 kg/t. のコークス比を達成した。本報文は、この高炉の特殊な点と新しい設備について述べている。

装入設備は、完全に自動化され、炉内のガスの流通分布を均一にするため、炉内半径方向のガス分布を測定するためストックラインから下 4 m の位置に完全に自動化したゾンデと調整可能なウェヤリングプレートを備えている。ゾンデの測定結果は、後述の電子計算機に導入され、on-line による自動制御を検討している。

耐火物の内張は、朝顔部以下ではカーボンレンガ、炉腹とシャフト下部 5 m には高品質のシャモットレンガ、それより上のシャフトは通常のシャモットレンガである。

冷却設備は 4 系統にわけられ、それぞれ異なつた方法で冷却を行なつている。すなわち、炉底の空気冷却、炉床の外部散水冷却、冷却箱の蒸気冷却、および羽口まわり、熱風弁への循環式冷却の 4 系統である。

熱風炉は、送風温度を 1200~1300°C、ドーム温度を最大 1600°C とするため、外燃式とし、セラミックバーナーを装備し、温度の高い部分には、シリカレンガを使用している。高い送風温度に耐えるため、新しいツワイヤーストックが開発された。重油は各羽口ごとに、別々のポンプにより送られる。

高炉操業への電子計算機の適用は、装入鉱石鉄分とコークス中 C の比を一定とし、シャフト内のガス分布を均一にして安定した操業を得ることおよび、炉下部の熱状態を均一とすることを目的とし、後者については、IRSID により開発された Wu 方式を採用し、on-line での操業により、この方式の適用が、銑鉄成分のパラッキを小さくすることが明らかになった。(福武 剛)

— 製 鋼 —

平炉製鋼の進歩

(D. L. McBRIDE: Blast Furn. & Steel Plant, 54 (1966) 10, p. 943~951)

製鋼法の進歩をふり返つてみると次の 2 つの時期にわけることができる。

1. 1856 年から 1900 年にわたる新しい製鋼に対する考え方の発展およびそれに続く試験、そして工業的規模への適用期。
2. 製鋼法の改良ならびに世界中への製鋼技術の広がり。

今日、年間粗鋼 5 億 t におよぶ生産高をあげられるようになるまでには、Bessemer による上吹炉、Siemens による反射炉、Heroult の電気アーク炉などの改良に加えて、高品質の耐火材、装入の迅速化、高火力、酸素吹などによる溶解、精錬時間の短縮に負うところが大きい。

世界の平炉製鋼による生産高の推移をみると、粗鋼生産量の 75~80% を占めていたものが 60% 位に減少してはきたが、今日まだ生産量は増加の傾向にある。また、銑鉄—インゴットの比は次第に減少し、逆にスクラップ—インゴット比は増加する傾向にある。溶解時間も 12hr から 8hr へと大幅に減少しており、しかも最近では、187~147 t で 5 $\frac{1}{2}$ hr という例もある。

塩基性平炉の発展には耐火材の改良に負うものも大きく、炉の寿命延長に寄与している。生産量増大には酸素

吹込みによる脱炭の促進も大きく役立つている。吹込みランスも単孔から多孔のものへと変わり、2 本、3 本と併用の場合もある。酸素吹込みは出鋼の数分前まで続けられている。酸素量は 1127 ft³/t、吹込速度 15 cfm/t で脱炭率 0.058%/min、歩留り 85.8% が得られている。

(渡辺靖夫)

LD 法および Kaldo 法においてスラグ—メタル反応におよぼす各組成の影響

(J. F. PEARSON et al.: J. Iron & Steel Inst.(U.K.), 204 (1966) 10, p. 997~1006)

LD および Kaldo 法による製鋼操業において、炭素、マンガ、酸素、燐、硫黄、酸化鉄の反応を含む金属—スラグ間の平衡に関する研究を行ない報告している。

C-O 反応は LD, Kaldo 両方法ともに 0.1% C 位まではほぼ平衡に近い値を示しているが、0.1% から 0.7% C の領域では LD 鋼の方が Kaldo 鋼よりも幾分酸化される傾向にあることがわかつた。LD 法の場合、活量を用いて画いた C-O 反応図は PLÖCHINGER と WAHLSTER によつて得られたものと一致しており、1635°C, 1645°C, 1400°C において次のような値が得られた。

$$[ac][a_o] = \frac{0.002079}{1+0.7036[a_o]} \quad 1635^\circ\text{C}$$

$$[ac][a_o] = \frac{0.002095}{1+0.6671[a_o]} \quad 1645^\circ\text{C}$$

$$[ac][a_o] = \frac{0.001706}{1+2.945[a_o]} \quad 1400^\circ\text{C}$$

マンガンの反応は低マンガ領域においては両法共に平衡に近くなるが、約 0.2% Mn をこえると Kaldo 法の場合大きくずれてくる。このためマンガンの損失の少ない点からみれば Kaldo の方が有利となり、これは FLOOD と GRJOTHEIM のイオン説から説明されるものである。

燐反応は精錬初期においては両方法とも平衡から大きくはずれている。硫黄の分配比もほぼ 2.5~12 と同範囲内ではばらついており、CHIPMAN らによる平衡値よりも大きい値を示している。燐と硫黄を比較すると、Kaldo, LD 共に燐の方が平衡に近い結果が得られている。

塩基度が高くなると Kaldo 法ではマンガンの損失が少なく、硫黄量を低下させるのに直接きいてくる。この場合、酸化鉄の活量は低くなつている。

これらの観察結果の相異は、この両法の持つ物理的、機械的要素の差にもとづくものと考えられる。

(渡辺靖夫)

酸性平炉を計算機制御するための冶金学的考察

(T. A. ENGH and G. H. WIDMARK: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 204 (1966) 10, p. 1007~1013)

本報は酸性平炉のコンピューター制御を目的とし、その原理と反応について記述してある、スラグと溶鋼成分間の物質移動速度式が求められ、鋼浴の熱収支式も記述されている。

冶金学的にみて、計算として最も重要なのは反応速度式と物質移動速度式にある。これらは鉱石、石灰、Fe Mn, 鋼屑、酸素吹精などと密接な関係があり、ある時間における各種組成と温度がわかれば、その後の組成と温度が計算により求められる。

プログラムを設定するために鋼浴内にもスラグ内にも濃度勾配はないとした。また、温度は鋼浴内では一定であると仮定する。スラグ—鋼界面におけるスラグの温度は鋼浴の温度と等しいとする。

物質収支は鋼中の C, Si, Mn, O, Fe, スラグ中はこれらの酸化物について考慮した。

鋼の温度を計算するにはスラグ—鋼, 鋼—炉底界面において生じる反応熱および溶解熱, 各添加物の熱容量それに酸素吹込みによる熱効果などの熱収支を考えねばならない。ΔH の値から溶解熱および反応熱は次のように定めた。

鉍石 $(0.298T + 489)$ kcal/kg

銑鉄 $(0.21T + 4.9)$ kcal/kg

鋼屑 $(0.18T + 32)$ kcal/kg

スポンジ鉄の FeMn $(0.142T + 99)$ kcal/kg

FeSi 236 kcal/kg

酸素吹込みによる熱 $Q = -(0.395T - 1474.4)$ kcal/
Nm³

物質移動を考えるにあたって、拡散速度は当然考慮した。シリカ壁の溶込みの場合、速度式は経験的に定められた。その結果計算制御プログラムには次の式を用いた。

$$\bar{n}_{Si} = k_1 \exp\left(\frac{-80000}{RT}\right) \times \frac{a_c}{a_{Si}^{0.75}}$$

スラグがシリカ飽和でない場合には、シリカライニングがスラグ中にも溶込む。この場合の溶解速度は飽和度に比例するものとした。

以上述べたようなモデルを用いて平炉操業を冶金学的に研究し、溶解条件を予想することに努めており、今後十分なデータを得て、実際操業におけるコントロールの基礎としたい。(渡辺靖夫)

平炉のタップホール開口装置

(Werner Resch und Fritz Meininghaus: Stahl u. Eisen, 86 (1966) 22, p. 1478~1480)

平炉におけるタップホール開口作業は、それ自体高熱下で苛酷な労働を必要とし、間接的には出鋼中の鋼の酸化、スラグの捲き込みなどによる鋼の品質にも影響をおよぼし、その上安全上の問題もあつてその機械化は軽視できない問題である。本報告は Hoesch A. G. Westfalenhütte の第Ⅲ製鋼工場の 200 t 平炉に取付けたタップホール開口装置の機構と、開口作業時間、出鋼時間、鋼とスラグの分離、タップホール寿命に対する効果について述べられている。

本装置は幅 100 mm の細長い掘削頭と圧搾空気により作動する上下の水平刃、ブレーキ装置、燃焼ノズルなどを有している。これらの装置は上方から垂直の支腕によつて支持され、懸垂移送台車に固定されており、休止時には炉の側方に移動できる。掘削頭は水圧ポンプとパネによつて作動し、投射角度と高低は支腕のストロークにより調節される。1966年1月に運転を開始し3カ月間に370 チャージがこの装置によつて処理された。その結果掘削時間は 10~60 sec で開口したものが全体の 70% 以上に達し、従来の 45~50% に比べて大幅に促進された。同時に機械で開口すると一様な大きな穴が開くために出鋼時間が短縮され、370 溶解中 25~30 min の長い

出鋼時間を要したものはわずか3例であつた。これに対し機械を使用しない炉では 40 min の出鋼時間を要したものがあつた。また本装置を使用するとタップホールの傾斜を常に一定にできるので鋼とスラグの分離がよくなり、また炉床にスラグが残つたり、炉床や炉壁を局部的に損傷することも少なくなる。これまでの経験から全溶鋼の 77~80% が出鋼して後に、初めてスラグが出るような出鋼条件が最も望ましいが本装置を使用した 370 溶解では 97% がこの条件を満足した。その他タップホール寿命の延長、修理回数および閉塞時間の減少、炉稼働率と安全性の増加など、製鋼作業上多くの点で重大な改善をなし得る。(桐林武彦)

—加工—

引張曲げローラーによる軟鋼ストリップのリューダース模様の調節

(M. Verduzco and N. H. Polakowski: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 204 (1966) 10, p. 1027~1033)

軟鋼ストリップの不連続降伏を除去するためレペラーが使われているが、その性能を改善する目的で再評価する詳細な研究は最近までなかつた。この研究は鋼板に張力を加えながらローラー曲げを行なう処理 (RFT) におけるコイル速度、結晶粒度、ロール径、接触角、厚さ、張力および時効が、リューダース模様の間隔(密度)と深さ(強度)にどのように影響するかを調べたものである。

実験に用いた RFT 処理装置のロール配列は3種で、3/32~1 in φ で 2, 4, 7 1/2 in 幅の曲げロールをもっており、コイル速度は 3~60 ft/min の範囲で変化できる。試料は 0.002~0.025 in 厚の 0.06~0.08% C 焼鈍鋼板である。RFT 処理後に引張試験と表面粗さ測定を行ない、降伏点、降伏点伸びおよびリューダース模様をしらべた。

コイル速度の影響はもつとも著しく、速度の増加とともに模様の間隔と深さは減少した。同じ方法で結晶粒度の影響を調べたが、ASTM 6 と 9 では粗粒材が浅くて間隔の大きい模様を残す傾向があり、よりスムーズに見えるが、やや延性を失なう。リューダース模様の間隔はロール径の増加とともにひろがったが、どのロール配列でも最小径のロールで決まる。模様の深さはロール径で変化しない。接触角を増加させると模様の間隔が小さくなり、浅くなつたが、コイル速度にくらべて影響は小さかつた。ストリップの厚さの影響は 0.006 in と 0.025 in でくらべるとロール径とストリップの厚さの比がほぼ等しいときは模様の密度が同じになつた。RFT での伸び率は 3% まで加えたが、降伏点伸びはほぼ 0.5% の伸び率で消失し、降伏点は焼鈍材の 70% に低下した。時効後の降伏点伸びは RFT の方が調質圧延よりやや回復が早い。時効後引張したとき調質圧延材でみられる鋭くて目だつリューダースフロントは RFT 材にはみられない。調質圧延によつて生成した交互にならんだ多数の変形帯と未変形帯が降伏点伸びを低下させるという機構は異なつた伸張方法をとつた RFT 処理に対しても同様に適用される。(斧田一郎)

冷間圧延板用の耐食鋼について

(Alfred Randak: Stahl u. Eisen, 86 (1966) 22, p.

1230~1254)

12%以上の Cr をベースとしたフェライト，オーステナイト耐食鋼の冷延板が家庭用器具，車両，建築物などの分野で用いられるためには，偏析のないこと，良好な耐食性および溶接性のほかに特に優れた表面状態と冷間加工性が要求される。

表面粗度は熱間圧延，冷間圧延，仕上げ研磨に左右されるが，フェライト鋼では析出した炭化物による繊維組織ができやすく，表面状態を悪化する。またこの繊維組織は冷延板の深絞り加工などで圧延方向に現われる縞状組織，すなわちローピングやリピング（リヂング）とも関係があるので材料の選択や焼鈍に留意する必要がある。またフェライト鋼は焼鈍状態でストレッチャーストレインを生ずるが，これは調質圧延率を上げるとなくなる。この点は軟鋼の降伏現象と似ているが，Cr が C や N と親和力が強いので時効は起こさない。ストレッチャーストレインは降伏比が約 63% の時ほとんど現われず，65% の時わずかに，70% のときには非常に強く現われる。また焼鈍温度をオーステナイト変態が始まる 930°C 以上にするとストレッチャーストレインは現われなくなる。

オーステナイト鋼の加工の場合にはマルテンサイト変態が起こり，オーステナイトの安定性が問題になる。オーステナイトの安定性の尺度として $M_{d30}(^{\circ}\text{C})$ が利用される。

$$M_{d30}(^{\circ}\text{C}) = 413 - [462(\text{C}\% + \text{N}\%) + 9 \cdot 2\% \text{Si} + 8 \cdot 1\% \text{Mn} + 13 \cdot 7\% \text{Cr} + 9 \cdot 5\% \text{Ni} + 18 \cdot 5\% \text{Mo}]$$

この温度 ($M_{d30}(^{\circ}\text{C})$) で 30% 加工する時 50% のマルテンサイト変態が起こることを示す。 M_{d30} が大きくなると張出し性は向上し，降伏比は低下するが，限界絞り比との関連性は明確でない。

さらにフェライト，オーステナイト鋼の冷延板の変形加工性を研究するさいには，軟鋼板の場合よく用いられているランクフォード値や加工硬化係数との関係も考慮する必要がある。（小池一幸）

孔型圧延における変形抵抗と駆動トルク

(Osker PAWELSKI and Eberhard NEUSCHUTZ: Stahl u. Eisen, 86 (1966) 21, p. 1375~1383)

本論文は，従来困難視されていた孔型圧延過程を実験室的に研究し，孔型の幾何学的形状が素材の変形抵抗および駆動モーメントにおよぼす影響を無次元パラメータを用いて検討したものである。

【変形抵抗】 孔型圧延では，平板圧延の場合と異なり，孔型の幾何学的形状の影響が大きい。本論文は，まず平板を平治具で圧縮する場合の理論を平板圧延に適用し，次いで孔型圧延に拡張して次式を導入した。

$$\frac{K_{wm}}{K_{fm}} = f\left(\frac{F_d}{F_m}, R\right) \dots\dots\dots (1)$$

ただし， K_{wm} ：平均変形抵抗， K_{fm} ：平均変形強さ， F_d ：素材の圧下面積， F_m ：素材の圧延中の平均断面積， R ：摩擦である。角棒から丸棒への孔型圧延において，圧延温度，圧延速度を一定にした実験では，孔型によらず無次元化した (1) 式が成り立つことが確認された。

一般に，孔型圧延では，平板圧延に比べて，同一 F_d/F_m に対して K_{wm} または K_{wm}/K_{fm} が大きい。これ

は，孔型の摩擦 R の影響が大きいためである。

【駆動モーメント】 駆動モーメントは，理論的に次式で求められ，実験の測定値ともよく一致した。

$$M_d = K_{wm} F_1 V_1 \varphi_h r_B / V_n$$

ただし， M_d ：駆動モーメント， F_1 ：素材の圧延後の断面積， V_1 ：素材の孔型出口速度， φ_h ：圧下率， r_B ：ロール径， V_n ：ロール周速である。

孔型圧延のレバーアーム比は，平板と同様に定義されるが，次式のように幾何学的形状の影響が含まれる。

$$K_x = \frac{a}{l_{dm}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{F_1}{F_d} \cdot \frac{V_1}{V_n} \cdot \frac{r_B}{l_{dm}} \cdot \varphi_n$$

ただし， a ：レバーアーム， l_{dm} ：平均投影長さである。 F_1/F_d に対する K_x の測定値は，平板圧延では 0.5~0.6 に対して，孔型圧延では 0.4~0.75 と大幅に変化し孔型の幾何学的形状の影響が大きいことが確認された。

(高梨安弘)

一性 質一

Cr-Mo 鋼の組織変化とクリープ破断強度におけるその重要性

(A. KRISCH and F. K. NAUMANN: Arch. Eisenhüttenw., 37 (1966) 9, p. 749~757)

Cr-Mo 鋼 (0.11% C, 0.87% Cr, 0.45% Mo) のクリープ破断強度におよぼす組織変化，特に析出挙動の影響を検討するため，500~700°C で最高 76,000hr まで試験した多数の試験片の組織を観察し，同時に析出物を電解法により抽出し，その化学成分と結晶構造をも調べた。その場合，クリープ破断試験片の破断部近傍とともにネジ部からも試料を切り出し，組織変化におよぼす応力の影響をも検討した。

試料は 930°C 焼準，700°C 焼戻しの熱処理を行なっているのはじめの組織は，フェライト+パーライト+中間段階組織である。破断時間が長くなるとともに，まずフェライト中と結晶粒界に炭化物が析出し，続いてパーライトまたは中間段階組織中の炭化物の球状化が進行する。抽出レプリカでこの析出炭化物を調べると針状と塊状の 2 種類がある。この変化は試験温度が高いほど早く進行し，700°C ではさらに著しい脱炭現象が生じ，破断部の C 量は 0.003% まで減少する。またこの組織変化はネジ部の試料ではかなり遅く，応力の影響が認められる。

析出物を抽出した結果，析出物の量は温度，時間にあまり影響を受けない。しかし，その化学成分は破断時間，試験温度が増加するとともに Fe の量は減少し，Cr, Mo の量は増加し，特に Mo の増加傾向は著しい。たとえば Mo はじめ 90% がフェライト中に固溶しているが，500°C, 50,000hr で破断した時にはその半分が炭化物中に移つてしまつており，Cr はこの時間ではまだ 2/3 がフェライト中に固溶している状態である。この炭化物を同定すると，全試料とも (Fe, Cr)₃C が認められ，残渣中の Mo 量が 5% 以上 (500°C, 25,000hr, 550°C 300 破断時間以上の時) になると Mo₂C が認められ，また Cr 量が 13% 以上 (550°C, 10,000hr, 600°C, 3000hr 破断時間以上の時) になると Cr の特殊炭化物が認められる。この Cr の特殊炭化物は 550°, 575°C では M₇C₃

と M_6C , $600^\circ C$ では M_7C_3 と $M_{23}C_6$ である.

(河部義邦)

Esshete 1250 の耐クリープ性におよぼす荷重と温度の変動の効果について

(J. MYERS: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 204 (1966) 9, p. 924~927)

TOFT と BROOM は, Esshete 1250 と AISI 316 の 2 種のオーステナイト鋼について, 荷重と温度を変動させたクリープ試験を行なっている. この荷重温度の変動は実際のボイラー管などの使用の際に出会う条件である. 本研究では, Esshete 1250 について, TOFT らが調べていない熱処理をした試材をも含めて同様のクリープ試験を行ない, 荷重および温度の変動の効果を検討した.

用いた試材の化学成分 (%) は次のとおりである.

	C	Mn	Ni	Cr	Mo	Nb
Bar 材	0.10	6.3	10.0	15.6	1.0	1.01
	V	B				
	0.25	0.006				
Steampipe 材	0.12	6.10	10.17	15.0	1.03	0.97
	0.25	0.005				

熱処理は次の 2 種を行なった.

- ① Bar 材 : $1300^\circ C$, 5 min 油冷 $\rightarrow 1050^\circ C$, 1hr 空冷
 - ② " : $1050^\circ C$, 1hr 空冷
 - ③ Steampipe 材 : $1050^\circ C$, 1hr 空冷
- またいくつかの試料には $600^\circ C$ で 0.3% の前歪を与えた.

①の試料 (粗粒 Bar 材) について; 粗粒材は多くの小さな析出粒子を含む. この析出粒子が成長するにつれ, 母格子との非整合性が増し, 転位ループが形成される. この転位ループは外部応力の下に広がるが, 特に荷重の変動状態において拡大がはやい. これが荷重の変動により, クリープ速度が大きくなる原因となる.

②の試料 (細粒 Bar 材) について; 細粒材は NbC の大きな粒子のみ含む. 大きな析出粒子は成長速度も小さい. それ故, 母格子との非整合性も大きくなり, 転位の形成も遅い. これが細粒材でのクリープ速度の増加が小さい理由である.

前歪を与えた②③の試料では, 粒界に転位の堆積が見られる. 荷重の変動による粒界での応力集中と転位堆積自身による応力集中が重なって, 転位が隣の結晶粒に移動し, 転位堆積は消失する. これがクリープ歪の増大となる.

③の試料において; 荷重と温度とを変動させると, NbC 粒のまわりに, からみあつた転位群が形成される. この転位は, 熱変動の際, 母格子と析出粒子の熱膨張率の違いによつて形成されたものと思われるが, 転位ループの半径が 1000\AA 以下で; これを広げるには非常に大きな応力が必要となる. それ故, クリープ歪の増大はない.

荷重を除いた際には, 擬弾性回復と熱的回復が起こる. 擬弾性回復により, 試験片は収縮するが, その収縮量は試験時間の増大とともに減少し, 遂には擬弾性回復の効果はなくなる. また熱的回復の効果は本実験の条件内では無視できた.

(宮原一哉)

高温での中性子照射による軟鋼の硬化

(V. M. STEFANOVIC: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 204 (1966) 10, p. 987~990)

中性子照射によつて引張り降伏応力が変化する現象の機構について HALL-PETCH の関係式 $\sigma_y = \sigma_i + kD^{-1/2}$ をもとにして検討を加えた. 結晶粒の異なる軟鋼に $345^\circ C$, $400^\circ C$ および $420^\circ C$ で同一量 (約 $2 \times 10^{18} n \text{ cm}^{-2}$) の中性子照射を行ない, 常温での引張り降伏応力を測定した. 照射材の降伏応力の値は $D^{-1/2} < 3 \text{ mm}^{+1/2}$ の粗粒域において HALL-PETCH の関係式に従わなかった. 照射効果におよぼす結晶粒の影響については $345^\circ C$ で照射した場合細粒域におけるより粗粒域においてやや大きな硬化がみられた. すでに実験で確かめられているように照射によつてフェライト粒中に生じた点欠陥の集合体が $300^\circ \sim 400^\circ C$ では分解して, 優先結晶面上に転位環を形成する. したがつて上記の現象は, 粗らいフェライト粒の中央部では点欠陥やその集合体の有効な trap である不純物や合金元素が比較的少なく, したがつて結晶粒の増大とともに転位環の形成速度も増加する. 一方, 結晶粒の小さい場合には粒界に凝集した不純物や合金元素のために粒内での転位環の形成が阻止されるためであろう. $400^\circ C$ と $420^\circ C$ で照射した場合に観察された粗粒域における降伏応力の減少は, 生じた点欠陥の集合体や転位環が消滅してしまつたことによるものであろう.

照射による降伏応力の変化は照射温度にのみ依存する項 $\Delta\sigma_1$ と, 照射温度と結晶粒とに依存する項 $\Delta\sigma_2$ とに分けることができる. $\Delta\sigma_1$ は点欠陥やその集合体を含んだ格子を転位が移動するのに要する応力の増加分であり, $\Delta\sigma_2$ は摩擦力に関係する σ' と転位環を含む格子面上で新しい転位を生ずるのに必要な余分の応力を表わす $\partial l^{3/2}$ との和であり, したがつて $\sigma_y = (\sigma_i + \Delta\sigma_1 + \sigma') + kl^{-1/2} + \partial l^{3/2}$ と表わすことができる. (渡辺忠雄)

低炭素鋼の脆性破断への疲労の影響

(G. OATES: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 204 (1966) 10, p. 991~996)

低炭素鋼で作られた平滑および切欠試験片を用い, その引張破壊挙動に対しあらかじめ疲労応力を与えることの影響を $20^\circ C \sim -196^\circ C$ の温度範囲で調べた. 供試材の化学組成は 0.06% C, 0.003% N, 0.36% Mn, 0.005% Si, 0.040% S, 0.018% P, 0.11% Ni, 0.03% Cr, 0.14% Cu, 0.01% Mo である. 疲労試験は室温で平均応力ゼロの引張-圧縮により行なつた. 切欠材の切欠半径は 0.010 in および 0.002 in である. あらかじめ疲労させたことにより生じた割れ深さは 0.003~0.015 in であつた. 結果を要約すると次のとおりになる.

1) 切欠半径の減少とともに機械的性質は低下するがあらかじめ発生させた疲労割れの機械的性質への影響は切欠半径 0.002 in のそれよりも大きい. しかしながら, あらかじめ疲労させる試験が疲労限のわずかな下の応力で行なわれた場合, 引張試験への疲労の影響はほとんど観察されなかつた.

2) 両種の切欠試験片にあらかじめ疲労割れを発生させた後, $200^\circ C$ で 4hr 時効を施し, その後引張試験を行なつた結果, 劈開割れから繊維状割れへの遷移温度は $15 \sim 20^\circ C$ 上昇した.

3) あらかじめ疲労割れを発生させた後 $600^\circ C$ で 6hr

焼鈍した後引張試験を行なった結果、疲労割れの機械的性質への影響は焼鈍により除去されないことが判つた。それ故、疲労割れの影響は主として切欠の幾何学的形状に関する応力集中によるものであつて、周期荷重により生じた割れの先端での材質の変化によるものではないと考えられる。

さらに、繊維状割れの発生、劈開割れの発生あるいは時効の遷移温度への影響などについて最近の理論を用いて検討を行なった。(角田方衛)

ニッケルのクリープ中での再結晶

(W. J. McG TEGART et al.: Acta Met., 14(1966) 10, p. 1225~1236)

クリープ速度の急激な増加の1つの原因が再結晶に帰せられることは多くの金属について、報告されている。本研究は、クリープ中の再結晶機構を詳細に調べる目的で行なつた。用いた試料は、市販ニッケルと純ニッケルの2種である。主な化学成分は次のとおりである。

wt%	C	Co	Fe	Mn	Si
市販ニッケル	0.050	0.2~0.5	0.24	0.37	0.06
	N ₂	O ₂			
	0.001	0.0002			
純ニッケル	0.005	0.002	0.01	0.002	0.003
	0.001	0.0001			

試験は、粒度の均一化焼鈍を行なった後、純アルゴン中、一定応力の圧縮クリープ試験を行なった。

2種のニッケル共、クリープ中に再結晶が起こり、再結晶開始と共に、クリープ速度が増大した。純ニッケルにおいてはこの増大が急激であるが、市販ニッケルはゆるやかである。また再結晶前の最小クリープ速度(温度補正をした)は純ニッケルは応力と共に急に増大するが、市販ニッケルの増加は小さい。これらは不純物の効果の違いと考えられる。特に市販ニッケルは不純物により、強化されている。一方、再結晶開始時のクリープ歪と応力との関係を調べると、両ニッケルとも、ある一定応力範囲(3000~3500 psi)で歪が最小となる。これは鉛についての報告と一致する事実である。

次に組織を観察すると、市販ニッケルでは、sub-grainは再結晶後も見られ、sub-boundariesは転位網によつて構成されている。再結晶後の新しい粒は、旧粒界(炭化物の存在により分かる)から発生している。純ニッケルにおいては、粒界の移動が再結晶前から起きている。sub-boundariesは、からみあつた転位群によつて構成されている。なお両ニッケルとも、sub-grainsの径はクリープ歪とともに、減少している。以上の組織の観察より、クリープ中の再結晶はsub-grainの集合、成長によるより、むしろ最初の粒界の局部的移動によると考えられる。そこで、ここでは、BAILEYとHIRSCHの提案した粒界の移動による再結晶のモデルが、クリープ試験結果にどのように適用できるか考察した。BAILEYらのモデルによるとsub-boundaryにピン止めされた粒界が、移動し広がつていくには、次の2つの条件が満足されなければならない。

$$\gamma \leq \alpha \dots \dots (1) \quad E > 2\gamma/L \dots \dots (2)$$

γ : 粒界エネルギー, α : 亜境界エネルギー, E : 粒界の両側の歪エネルギー差, $2L$: 移動する粒界の径

純ニッケルにおいては、(1)は1°以下の小傾角亜境界は高傾角粒界より動きにくいことより満足され、(2)も転位密度の直接観察による測定より満足することが分かる。市販ニッケルにおいても、(1)は粒界エネルギーが不純物により低められること、(2)も転位密度測定より満足することが分かつた。また、前に述べたある応力範囲で再結晶開始時のクリープ歪が最小になることも、このモデルにより説明できる。以上よりクリープ中の再結晶は、BAILEYらの粒界の局部移動モデルによつて説明できた。(宮原一哉)

フェライトからの炭素の2段階析出

(M.G.H. WELLS and J. F. BUTLER: Trans. Amer. Soc. Metals, 59 (1966) 3, p. 427~438)

フェライトからの炭素の2段階析出を研究する目的で、高純度のFe-0.035%C合金を用い、700°Cで24hr焼なました試料を650°Cから焼入れ、100°~260°Cの温度範囲で時効した。内部摩擦の測定による炭化物析出のkineticsと、透過電子顕微鏡観察による炭化物の型と分散状態を関係づけて考察し、また時効中の機械的性質と保磁力の変化を求めて時効過程を追求した。

ϵ -炭化物とセメンタイトの連続的な析出に起因すると思われる、固溶炭素の2段階の減少が150°~200°Cの範囲で最も顕著に認められたが、低い時効温度、たとえば100°Cでは9カ月間時効しても第1段階の ϵ -炭化物の析出プロセスが観察されるのみで、セメンタイトの核生成はこれらの低温度では著しく抑制されるものと思われる。もつと高い温度の230°C以上では、内部摩擦、保磁力、および機械的性質の測定結果は、1段階の過程を示したが、電子顕微鏡観察によると、 ϵ -炭化物とセメンタイトの両方の炭化物が析出しており、 ϵ -炭化物の析出が完了しない前にセメンタイトの核生成が始まっていることがわかつた。

ϵ -炭化物の核は多分焼入れによつて導入された空孔または空孔-溶質複合体に生成されるが、セメンタイトの核生成は時効処理中にすでに存在する ϵ -炭化物粒子のところで行なわれると思われる。電子顕微鏡観察によると、 ϵ -炭化物はしばしば不均一な分散を示したが、これは明らかに焼入れによつて生じた析出サイトである空孔の配置に関係しているものと思われる。また ϵ -炭化物は析出の後期においても少なくとも部分的にマトリックスと整合状態を保っているようにみえるが、セメンタイト析出物は非整合であると思われる。(青木孝夫)

メスバウアー効果を用いたステンレス鋼とマレージング鋼の析出の研究

(HARRIS MARCUS, et al.: Trans. Amer. Soc. Metals, 59 (1966) 3, p. 468~478)

メスバウアー分光法を用いて、17-7 pH ステンレスおよび18Ni-8Co-5Mo マレージング鋼の析出反応を研究した。試料は0.001インチに冷間圧延した商用鋼である。この新しい技術によればまず第1に、常磁性の残留およびreverted オーステナイトの定量が、選択方位に影響されずにX線技術より高い精度で可能である。第2に析出反応中に生ずる常磁性のFeを含む析出物を同定することができ、第3に内部磁場の変化を注意深く分析することによつて、どの合金元素が析出反応に関係す

るかを推定することができる。メスパウアースペクトルは electro-mechanical なメスパウアー分光計と、定速型分光計の 2 つの方法を用いて求めた。

17-7 PH ステンレス鋼: 6 つのマルテンサイトピークと 1 つの残留および reverted オーステナイトピークについてのデータから、電子計算機を用いてオーステナイト量を求めた。その結果 1,065°C より空冷した後 760°C × 1½ hr の T 処理を行なった場合、6% のオーステナイトが残留した。400°C の時効では変化がなかつたが、510°C で 8%、595°C で 17% と増加した。reverted オーステナイトに対する isomer shift は残留オーステナイトと同じであつた。一方マルテンサイトについての内部磁場は、T 処理の場合 -260 kOe. であつたが、400°C × 33⅓ hr の時効により -290 kOe. となり Fe-17Cr 合金の値に近づいた。Al は内部磁場を減少し、Ni の効果は少ないことから、先に著者が示唆したように、基質と同じ比率の Cr を含む常磁性の (Ni, Cr, Fe)_{1+y}Al が析出すると考えられる。ただし、析出物中の Fe によるピークは弱い筈であるので、マルテンサイトピークに隠れて位置を示し得なかつた。

マレージング鋼: 820°C × 1hr 焼なました材料を、480°C と 535°C で時効した。少なくとも 2 段階の析出反応が考えられる。第 1 の段階においては基質から溶質元素が減少することが示されたにもかかわらず、常磁性体の析出の徴候は認められなかつた。過時効によつて、常磁性の相による吸収が現われること、そして isomer shift が -0.20 mm/sec であることから、安定した Fe₂Mo 相が生じ最初の析出物と置きかわるものと考えられる。Co は析出反応にはあずからないようである。(金尾正雄)

—物理冶金—

マルテンサイト破壊の結晶学的考察

(U. H. LINDBORG and B. L. AVERBACH: Acta Met., 14 (1966) 11, p. 1583~1593)

2 次せん断がすべりによつておこなわれるすべり型の 0.3% C マルテンサイト箔 (5~10 μ) を用いて破壊面の結晶学的考察を行なった。鋭い針でひつかいて得られた破壊の経路は、通常マルテンサイト粒内を進行しその形状は多数の微小直線部分の組み合わせからなつている。破端の近傍は 0.3 μ 厚以下であるため 100kV の電子線で透過観察できる。このような薄い部分は、破壊に伴う塑性変形と破断面の特性により生じたと思われる。制限視野回折を利用して各直線部分の方位が、組織と破壊温度に応じて、5~10° の範囲内である特定結晶面に属するという傾向を見出した。

組 織	破壊温度°C	破壊面
焼入れマルテンサイト	25	{100} や や 優越
	-196	均一な分布
260°C 焼きもどしマルテンサイト	25	{100}, {321}
		{211}
480°C 焼きもどしマルテンサイト	25	{110}, {100}
フェライト	25	{110} や や 優越
	-196	{100}

破壊温度の影響はマルテンサイトでは明らかでない。

フェライトにおいては破断面が室温での {110} すべりから -196° での {100} 劈開に変化して、板厚が大きい場合の結果とも一致している。破端の薄い部分の幅は焼きもどし温度とともに増大し、フェライトでは焼き入れマルテンサイトの約 20 倍になる。{100} の結晶で破壊が <110> 方向へ進行する場合、この幅が最大となる。これは b. c. c. 金属の圧延集合組織 {100} <110> に対応する。

焼きもどしで生じた析出物のまわりのひずみが破壊に影響すると考えて、低温生成物 ε 炭化物と高温生成物セメントイトがコヒーレントである時のすべり面内のひずみを計算した。ε 炭化物では面によるひずみの差がみられないが、セメントイトでは {211}M と {321}M 面のひずみが {110}M 面のひずみよりも大きくなつた。この結果は 260°C 焼きもどしマルテンサイトの実験事実をよく説明している。(橋田 坦)

鉄鋼業における秤量

(G. W. Van Stein CALLENFELS: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 204 (1966) 10, p. 973~979)

鉄鋼業において秤量の果たす意義は、原価、管理および工程コントロールの機能ならびに情報作用を有することである。秤量原理は古くから広く機械製の天秤衡器が使用され、新たにはストレインゲージを張つたロードセルを用いた電気製の衡器がある。近年発達した磁歪式ロードセルの精度はストレインゲージ・ロードセルに等しく使用においても温度、ダスト、側圧力、衝撃、過荷重などの厳しい変化にも適用し得る。これらは据付秤量台 (精度は 0.12~0.18% フルスケール) レール付きのスケール車、クレーン秤量 (0.2% 重量) ベルトコンベアー秤量 (1~2%) などの設備にみられる。

工程管理のための秤量はわれわれ冶金学的反応の行なわれる所においては重要である。それぞれの場合に適した秤量法を選ぶためには各設備のレイアウトがまとまつてデザインされてあること、工程の流れが連続か否かで適当な給送設備が選択されているなど、立地条件、作業内容の検討が必要であり、その上に立つて決められねばならない。その結果秤量が管理目的に有効に使用されているかどうかを評価することが本質的に大切である。計算機による工程の自動管理その方向にある現在、秤量がこれに結びつくには全工程の詳細な分析が必要となる。行程の一部であり情報系統の信号とみなす考えは自動制御システムと平行して発達して来た。ただし、これには工程特性との間に前もつて確立したルールが必要である。

機械製と電気製秤量機の投資コストは後者が若干安い。生産現場での維持コストは焼結鉄、コークス溶剤スラブ (max 12 t) などの秤量設備で約 100 ポンド/year、鋼塊スクラップ、銑鉄などの重量物秤量は 400~600 ポンド/year これに投資コストの 10% を加え全コストは、人件費は別で、5~10 t 荷重で 300 ポンド/year 100 t では 1000 ポンド/year に過ぎない。この値より秤量設備が工程の自動管理に用いられても工程作業のわずかな改善で十分に秤量機の運転コストに見あうことは明らかである。一般に、有効な秤量設備による経済効果は可能だがそれを正確に評価するには注意深い詳細な検討が必要と

なる。今後それらのデーターを中央に伝え計算機を含む秤量動作の自動化の方向へと発達し、他の測定数値とともに、工程管理のためのコントロール・システムの一部分であると考えることにより、秤量設備の進歩を強化すべきである。
(大森敏愛)

—そ の 他—

溶接金属からの溶解水素の放出について

(A. E. FLANIGAN and E. U. LEE: Welding Journal, 45 (1966) 10, S477~480)

鋼溶接において溶解水素がワレの原因になることはよく知られており、またこのワレは溶着金属を十分徐冷することによつて少なくすることができることも知られている。この報文は炭素鋼板上に溶接したのち、水素の放出速度をある程度定量的に求めたもので、特に恒温条件における溶解水素の放出速度の温度依存性について検討することによつて溶接金属ワレに対する放出速度の比較を試みたものである。溶接棒は E6010, 4.8 mm ϕ を使用し、C : 0.19%, Mn : 0.33%, Si : 0.07%, S : 0.03%, P : 0.015% の組成の長さ 50 mm \times 幅 25 mm \times 厚さ 19 mm の鋼板上に手溶接で行なつた。その時の溶接電流、アーク電圧、溶接速度は 170 Amp, 25V, 20cm/min であつた。溶接終了後、2 sec 以内に各試験片をそれぞれ 650°, 400°, 218°, 132°, 38°C に冷却し恒温処理したのち、さらに 21°C の水中で冷却した。水素量の測定は高温真空抽出法によつた。650°, 400°, 218°, 132°, 38°C 保持の場合の初期における水素の放出速度は比較的高く時間の経過とともに小さくなる。これらの保持温

度のうち 650°, 400°, 218°C は水素を完全に除去できる。しかし 132°, 38°C については大部分の水素は比較的短時間のうちに逃散するが、その後は放出量が少なくなりほぼ一定量 (1cc/100 g 程度) は長時間例えば 38°C においては 10 年経過しても残留している。132°, 38°C おけるこのようなきわめて緩慢な水素の放出は、通常の条件下での溶接部の水素が拡散性と非拡散性部分から成ることを示している。また拡散性水素は鉄中に interstitial に吸蔵される水素であり、非拡散性水素は低温で割れ目あるいは微小空孔に分子状で存在するものと想像される。放出速度の温度依存性については、132°, 38°C の低温の結果を除外しても Arrhenius タイプの関係で示すことはむずかしい。これは水素放出過程において水素をもつたオーステナイトが分解するという複雑さにある。今回の実験では変態生成物の性質に関する観察はしなかつたが、種々の処理によつて硬度も若干変化していると思われる。温度と鋼からの水素の放出速度との関係については以前から説明されており、最大放出速度はオーステナイトが最も急速に変態する温度であるといわれている。溶接金属のマイクロワレに対する水素の放出速度と耐ワレ性との関係については、以前の実験で 650°, 400°, 218°, 132°C において完全にワレを防止するために必要な時間は同じであつたが、今回の実験では 400° と 218°C における水素抽出曲線は大体同じであるが 650° と 132°C においてはかなり違うことから、水素放出速度と耐ワレ性の関係を単純な関係で示すことはできないことがわかつた。
(石崎敬三・荒木信男)

新刊紹介

朝倉機械工学全書

「鑄造工学」

東京大学教授 工博 千々岩健児編著

本書は鑄造工学の基本的な事項について理論的に書かれているものである。

まず第一に「鑄造の湯流れ」の基本定理から諸損失、流速、流量また湯流れの状態について金属溶湯、鑄造方案、また砂型等の諸要因を基本にして書かれている。

「鑄造の伝熱と凝固」については伝熱の基礎定理、および鑄造における熱伝達として鑄物の鑄型内での冷却、熱伝達から見た金属の凝固、また連続鑄造の凝固について熱伝導学的に書かれている。

金属の凝固と組織については金属学的な立場より融体金属の性状とその構造、融体の凝固現象、鑄造組織について書かれている。また金属の凝固に伴う問題として鑄造時のガスについて、水素、酸素、窒素の各種金属への溶解度、ガスに起因する欠陥の発生機構、鑄造時における溶湯中のガスの除去方法についても書かれている。

最後に溶金と鑄型との反応について書かれ、鑄型の熱間性質、鑄型砂のすくわれ現象、溶金の浸透現象、焼着現象等について書かれている。

鑄造に関する多くの図書は出版されているが、これ程に基本的問題について広く、深く理論的に論述されている図書は初めてであろう。

鑄造技術者、研究者はもちろんのこと、鉄鋼関係、特に造塊関係の技術者、研究者としては最も参考になるものと思われる。(草川隆次)

(A 5判, 209 ページ, 定価 1000 円, 朝倉書店)