

ISIJ International 掲載記事概要

ISIJ International, Vol. 31 (1991), No. 8
掲載記事概要

Special Issue on Recent Advances in Titanium Technology

Fundamental Properties

Diffusion Titanium (Review) By H. NAKAJIMA *et al.*

α および β チタン中の自己拡散および不純物拡散に関する最近の研究を解説した。 α チタン中の遷移金属原子およびりん原子はチタンの自己拡散に比べて 10^3 – 10^5 倍も速く拡散する。 $\alpha \rightarrow \beta$ 変態に伴う拡散係数の変化、拡散の異方性、原子サイズ効果、固溶液と拡散係数との相関性などに基づいて、このような高速拡散機構を論じた。一方、 β チタン中の自己拡散と不純物拡散はアレニウスプロットの曲がりを生じ、異常拡散として知られている。異常拡散挙動を解釈するためのいくつかのモデルを紹介した。

Solute Partitioning during the Proeutectoid α Transformation in Ti- X_1 - X_2 Alloys By M. ENOMOTO *et al.*

四つの三元チタン合金 (Ti-Al-Cr, Fe, 及び Ti-V-Cr, Fe) を用い、500–700°C の等温保持によって β 相から生成した初析 α 相の粒界アロトリオモルフ、サイドプレート、粒内プレートの STEM 組成分析を行った。同時に、合金元素の拡散相互作用を取り入れた局所平衡による析出物の拡散成長理論を同合金系に適用し、解析結果を分析結果と比較した。三元チタン合金の α/β 平衡相境界は熱力学モデルによって計算した。 β 相中の合金元素の拡散係数は文献値から採用した。また、異種原子間の拡散相互作用を表す相互作用パラメータ (D_{ij}) は Kirkaldy による近似式を使用した。実験と理論的解析との一致はかなりよいが、Al を含む合金では Al の分配の度合いは小さく、バラ平衡による成長の可能性も考えられる。チタン合金では通常、 T_0 以下ではマッシブあるいはマルテンサイト変態が起こると考えられているが、 T_0 以下でも Cr および Fe は明確に母相と分配しており、剪断変態が起こり始めるには T_0 以下かなりの過冷度が必要と考えられる。

Solidification Structure and Segregation in Cast Ingots of Titanium Alloy Produced by Vacuum Arc Consumable Electrode Method By H. HAYAKAWA *et al.*

実生産規模で溶製した消耗電極式真空アーク溶解製 $\alpha + \beta$ チタン合金 Ti-6Al-4V, Ti-6Al-2Sn の円柱鋳塊の凝固組織と偏析を新しい腐食技術と CMA 解析で調査した。その主な結果は次の五点である。

- (1) 凝固時の固液界面での成分分布を新たに開発したふっ酸濃度の高い腐食液で現出できる。
- (2) 鋳塊の金属組織は水冷銅鑄型に接したチル層、その内部に柱状粒組織、中心部に等軸粒組織で区分される。
- (3) チル層および柱状粒組織には、その成長方向に直交した腐食孔列と収縮孔列が観察される。これは間欠的な凝固を示す凝固線である。その内側が溶湯プールであり、等軸粒組織域と対応していた。
- (4) Fe, Cu とともに 0.7% 添加の Ti-6Al-6V-2Sn 鋳塊の溶湯プールの最終凝固部には、Fe, Cu などの偏析が観察された。Fe と Cu の偏析率はそれぞれ 2.1, 2.2 と大きい。
- (5) 偏析の抑制のために、著者らは早い凝固速度を得るために、VAR の電極端を小径化して、hot top 処理する方法を提案した。

Forming, Heat-treatment, Structure

Strengthening and Toughening of Titanium Alloys (Review) By Y. KAWABE *et al.*

本解説は、 $\alpha + \beta$ 型と β 型チタン合金の室温における高強度化と高靱性化の動向を概説し、さらに高強度化の可能性と組織と機械的特性との関連性について考察を加えたものである。

のである。

$\alpha + \beta$ 型合金では、 β 相の割合の増加と組織の極微細化により高強度化が、そして針状組織への制御により高靱性化が図られている。一方、 β 型合金では時効 α 晶の均一微細析出と β 粒径の細粒化により高強度化が図られている。 β 型合金の靱性は、 $\alpha + \beta$ 型合金に比べて優れているが、その理由はまだ未解明で、現在どのような研究が進められているかを示す。

最後に、いっそうの高強度化の可能性を、強度が延性や靱性によって制限される場合について考察した。そして、延性によって規制される平滑材の強度はいっそうの向上が期待できるが、靱性によって規制される切欠材や予き裂材の高強化は著しく困難であることを指摘して、今後の高強度化研究の課題を提示した。

Formation of ($\alpha + \beta$) Microduplex Structure in a Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al Alloy By T. INABA *et al.*

Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al 準安定 β 型合金を用いて、 α 析出挙動および機械的性質に及ぼす β 単相状態での冷間加工の影響について検討した。 β 単相材は材料を β 遷移温度より高温で加熱し水冷して得た。その後、冷間圧延してから ($\alpha + \beta$) 二相温度で時効した。 β 単相材の冷間圧延により時効後の ($\alpha + \beta$) 二相組織は大きな影響を受けた。冷間圧延を行わないときには、まず β 粒界上に α が析出し、その後 β 粒内からラス状の α が析出した。50 % 以下の冷間圧延材では、 β 粒界上だけでなく、加工により導入された β 粒内の転位上にも α が析出した。しかし、冷間加工度が大きくなると、時効温度への加熱途中あるいは時効の初期に回復により β 亜結晶粒が生じ、その亜粒界交点上に α が析出するようになる。そして、強加工材では、微細な β 亜結晶粒と α 粒とからなる ($\alpha + \beta$) 微細二相混合組織が形成された。引張強度、延性はこの ($\alpha + \beta$) 微細二相混合組織の形成により改善された。

Estimation of Recrystallized Grain Size under Continuous Annealing of Cold-rolled β Titanium Alloy Strips By H. OHYAMA *et al.*

Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al の冷間加工後の再結晶、及び、粒成長挙動を調べ、冷延コイルの連続焼鈍における再結晶粒径を推定する手法を検討した。80 % 冷間加工した材料の再結晶は、変態点以上で、変形した結晶粒界に沿って優先的に起こり、おのおのの粒は即座に衝突する。このため、温度 T の恒温焼鈍における τ 秒後の再結晶領域での粒径 $D(T, \tau)/\mu\text{m}$ は完全再結晶後も含め、 R を気体定数として、 $D(T, \tau) = 0.80 \times 10^4 \tau^{0.24} \exp(-1.50 \times 10^4/RT)$ で示された。

温度が時間に対し連続的に変化する場合は粒径は、変態点以上の温度を微小時間間隔で離散化し、上式に従って得られる個々の温度での粒径の増分を積算することにより求まることを、昇温速度一定で加熱した試料の粒径と計算結果との比較から確認した。この手法により連続焼鈍を想定した場合の材料の温度変化を用いて通板条件 (炉内温度と通過時間) と粒径の関係を計算し、未再結晶領域のない粒径約 20 μm のコイルを得ることに成功した。

Effect of Zr, Sn and Al Addition on Deformation Mode and Beta Phase Stability of Metastable Beta Ti Alloys By S. ISHIYAMA *et al.*

Ti-7Cr および Ti-16V をベースとした準安定 β チタン合金の変形モードと β 相の安定度に対する Zr, Sn および Al の添加の影響について検討した。二元系の Ti-7Cr および Ti-16V の主変形モードは (332) 双晶である。Sn および Al の添加は主変形モードを (332) 双晶変形から加工誘起 α'' マルテンサイト変態へ変える。これは両元素の添加により athermal ω 相変態が抑制され、マルテンサイト変態が容易になるためと考えられる。Sn, Al の添加量がさらに増大すると主変形モードはすべりに変化するが、これはマルテンサイト変態のせん断抵抗が増大するためと考えられる。一方、Zr の添加は athermal ω を抑制する効果はほとんど

示さず、したがって、Zr 単独添加材の主変形モードは二元系材料と同じ (332) 双晶変形である。以上の結果は実用 β チタン合金で報告されている変形モードの違いを良く説明する。

Deformation Characteristics of Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al at Elevated Temperature

By H. SUZUKI *et al.*

β 型チタン合金の一つ Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al の高温変形特性を調べた。構成方程式による応力歪み曲線の解析結果、変形は一次の活性化過程に律速されており、変形のための活性化エネルギーは $253 \pm 10 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ と求められ、この値は Ti-V 二元合金中の Ti の拡散の活性化エネルギー値に近い。

再結晶による粒度微細化は 1373 K 以上で生ずる。1273 K から 1373 K 間で部分的再結晶が生ずるが、1173 K 以下では再結晶は生ぜず、粒界破壊を示す。

Cup Drawing of Strongly Textured Ti Sheets

By H. INAGAKI *et al.*

強い集合組織をもつ商用純 Ti 薄板の円筒カップ深絞り成形をおこないカップの各位置における歪み分布、硬化挙動組織変化を調査した。カップのフランジ部では変形挙動にいちじるしい異方性がみとめられ、90° 方向では双晶が多発し、板厚の増加、加工硬化が顕著であった。板厚の増加加工硬化もわずかであった。このように板厚に顕著な異方性が生ずるために、しわ押えによる拘束にも異方性が生じ、板厚のもっとも厚い 90° 方向では拘束条件が最大となり、もっとも厳しい変形を受けた。しかしカップ壁の破断はこの方向では起こらなかった。これは双晶変形が促進されるために、平面歪み破断強度が向上するためである。

Near Net Shape Forging of Titanium Alloy Turbine Blade

By A. MORITA *et al.*

鍛造加工性および機械的特性にすぐれていると言われる Ti-10V-2Fe-3Al を用いてタービンブレードの恒温鍛造法について調査した。

スラブ法を用いて鍛造荷重、横推力に及ぼすバリ幅、バリ長さの影響を調査し、最適ブレード回転角度、バリ長さおよびバリ幅を決定した。また二次元平面歪み有限要素法を用いて鍛造形状に及ぼす素材設定位置の影響を調査し、解析の妥当性を実験にて確認した。さらにブレードのような長尺材を恒温鍛造にて製造する場合、閉塞金型では加工中長手方向への材料流れにより座屈が発生するが長手方向の拘束をなくす金型設計により防止できることを確認した。

以上の検討をもとに 20 in のタービンブレードを試作し、一工程で最終形状までクラックを発生せず成形できることを確認した。また試作したブレードの機械的特性も Ti-6V-4Al に比べてすぐれているものであることがわかった。

Strengthening of Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al by Thermo-mechanical Treatments

By M. OKADA

β 型チタン合金の機械的性質は時効による α 相の析出挙動に強く依存しており、加工熱処理プロセスにより広範囲に制御可能である。 β 型チタン合金を用いて高強度化を達成するには、微細な α 相の均一な析出が必要であり、そのための加工熱処理プロセスの検討が盛んに行われている。本論文では Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al 合金を用いて、冷間加工と β 相の未再結晶熱処理とを組み合わせた加工熱処理による高強度化を検討した。

1700 MPa 以上の高強度が、過時効後冷間加工しさらに 723 K で 86.4 ks の時効を行うことにより得られた。 β 溶体化処理後時効を行うよりも $\alpha + \beta$ 溶体化処理後の時効により高強度が得られる。これは β 母相が未再結晶組織の場合、 α の析出核が粒内に多く存在することによると考えられる。

1940 MPa の超高強度が、冷間加工と回復とをくり返した後 723 K で時効することにより得られた。時効後のミクロ組織には粒径 2-5 nm の非常に微細な α 相が 2-10 nm の

粒子間距離で均一に析出している。

Mechanical Properties

Next Generation Titanium Alloys for Elevated Temperature Service (Review)

By Paul J. BANIA

There are many ongoing U.S. aerospace programs which have identified requirements for higher temperature capability from conventional titanium alloys. In order to meet these requirements, two new titanium alloys have been developed. A near alpha alloy, designated "Ti-1100" (Ti-6Al-2.7Sn-4Zr-0.4Mo-0.45Si), is a modification of the well known Ti-6242S alloy (Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.1Si). It offers roughly a 55°C (100°F) creep advantage over the older alloy and is currently being considered for sheet metal and forging applications in both turbine engine and airframe applications. On the other hand, a metastable beta alloy designated "Beta-21S" (Ti-15Mo-2.7Nb-3Al-0.2Si) has shown exceptional promise as a matrix in metal matrix composites for high temperature applications. Its key attributes are its ease of processing in foil production and its excellent oxidation resistance. This paper will review the development of these alloys and some of their more important mechanical properties.

Toughness and Strength of Microstructurally Controlled Titanium Alloys (Review)

By M. NIINOMI *et al.*

α 、 $\alpha + \beta$ および β 型チタン合金の強度、靱性およびミクロ組織との関係を述べる。 $\alpha + \beta$ 型チタン合金については、破壊力学に立脚した歪み支配型延性破壊モデルによる定量的な破壊機構の説明について言及する。さらに、

- 1) 適切なミクロ組織に制御するための特殊熱処理、
- 2) 加工熱処理、
- 3) 冷間加工をも取り入れた化学熱処理、および
- 4) 加工誘起変態に関連したチタン合金の種々の強靱化法につき述べる。

Mechanical Properties of Cold-worked and High-low Temperature Duplex-aged Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al Alloy

By N. NIWA *et al.*

この合金の高強度・高延性化を目的として、溶体化後冷間加工を加えた後高温から低温への二段時効を行い、引張試験により得られた機械的性質を調べた。823、873、923 K での一段目の短時間の時効と 673 K での二段目の時効の組合せにより、本合金の強度・延性のバランスは改善され、5% 程度の破断伸びを保持しながら引張強度を 1.8 GPa 程度とすることができた。さらに、本二段時効法により、冷間加工後時効における時効後の機械的性質に及ぼす加工度の影響を小さく抑えられることが明らかとなった。

Effect of Tensile Flow Properties of Titanium Sheets on Web-buckling Behavior in Cold Roll-forming of Wide Profile

By Y. MIYAMOTO *et al.*

広幅断面材のロール成形品に発生する典型的な欠陥として、ポケットウェーブあるいはオイルキャンと呼ばれる波状歪みがある。本研究では、工業用純チタン板を用いてロール成形試験を実施し、ポケットウェーブの発生と素材の引張性質あるいはその他の材質因子との関係を詳細に調査した。その結果、各種材質因子のなかで素材の結晶粒径の影響が最も顕著で、それぞれ小さい板ポケットウェーブは軽減されることが明らかとなった。微細結晶粒のチタン板では引張変形初期に明瞭な降伏点が現れることも確認されており、このような材料をロール成形した場合は、変形が曲げコーナー部に集中して平坦部まで広がらず、ポケットウェーブの発生が抑えられるものと思われる。

Relation between the Amount of Fresh Bare Surface at the Crack Tip and the Fatigue Crack Propagation RateBy M. SHIMOJO *et al.*

金属の疲労き裂の伝播は、き裂先端での塑性変形によって起こる。従って、き裂先端における塑性変形、特にき裂の進展に直接関連があると考えられる各疲労サイクルごとにき裂先端に生成される新生面量を定量化することは重要である。本研究では、環境効果のほとんどない純 Ti を食塩水中、定電位でき裂伝播速度約 4×10^{-7} から 2×10^{-6} (m/cyc) の範囲で疲労き裂を伝播させ、疲労 1 サイクルに流れた電荷量を測定した。また、引張試験から新生面面積と電荷量の関係を求め、この関係から疲労 1 サイクルにき裂先端で生成した新生面面積を定量化した。その結果、1 サイクルに進展した距離であるき裂伝播速度と新生面面積との間には、測定した伝播速度の範囲で比例関係が認められた。このことから、き裂伝播速度が変化しても、き裂先端の形状は相似形であると考えられた。さらに、新生面面積をそのときのき裂先端の塑性域寸法やき裂先端開口変位と比較したところ、疲労き裂の伝播は塑性域寸法やき裂先端開口変位に直接依存せず、き裂先端での新生面生成量に依存することが分かった。

Creep Properties of $\alpha + \alpha_2$ High Temperature Titanium Alloys Designed by the Aid of ThermodynamicsBy H. ONODERA *et al.*

副格子モデルに基づく熱力学計算により設計された 10 種類の Ti-Al-Sn-Zr 合金を用いて、 $\alpha + \alpha_2$ 型 Ti 合金のクリープ特性に及ぼす組織及び組織因子の影響について検討した。これらの合金クリープ試験の結果から、析出 α_2 相が α 型 Ti 合金の高温強度の改善に対し極めて有効なことが明らかにされた。さらに重回帰分析により、クリープ特性を予測するための回帰式を得た。

炉冷材の室温引張試験において、 V_{α_2} の 873 K における計算値が 0.1 の近傍で著しい伸びの減少が観察された。一方、溶体化処理材 (ST) では、0.2 % 耐力及び引張強度は V_{α_2} の増加とともに上昇し、また優れた延性を示したことから、このタイプの合金を ST 状態で使用する可能性が考えられた。以上の結果から、 $\alpha + \alpha_2$ 型 Ti 合金の最適設計条件として、 V_{α_2} の 873 K における計算値で約 0.1 の値が提案された。

Cryogenic Mechanical Properties of Ti-6Al-4V Alloys with Three Levels of Oxygen ContentBy K. NAGAI *et al.*

酸素量を三水準に変えた Ti-6Al-4V 合金について、293, 77, 4 K で引張、破壊靱性、高サイクル疲労試験を行った。それぞれ鍛造まま材、圧延材について調べた。熱間圧延によって必ずしも α 粒を微細化できなかったが、形状を板状から球状に変えることができた。強度は主として酸素含有量に依存し、低量は低強度となる。酸素量の最低のものが 4 K の延性が最も優れていた。極低温における破壊靱性値も低酸素化で改善した。しかも最低酸素量の場合、293 と 4 K で破壊靱性値の低下はなかった。疲労強度は加工履歴の影響を示した。圧延材は鍛造材よりも高い疲労強度を示し、その差は 4 K でさらにひろがった。これは両者の α 粒のモルフォロジーの違いによるものと考えられる。最低酸素量合金が 4 K の疲労強度が最も高かった。

Environments**Active Corrosion Rate for Ti-based Alloys in Aqueous Corrosion and Its Correlation with the Bond Order Obtained by an Electron Theory**By M. MORISHITA *et al.*

Ti の腐食に及ぼす合金元素の影響を調べるために、温度 343 K, 10 % 塩酸および硫酸中にて、Ti-M ($M = \text{Al, Nb, Ta, Zr, Hf, Fe, V, Cr, Mo, Co, Ni}$) 二元合金の分極曲線を測定した。その結果を、分子軌道計算に基づくパラ

メータ結合次数 (B_0) により評価した。 B_0 は Ti と合金元素の間の共有結合の強さを表すパラメータである。 B_0 を高くする元素を含んだ合金は、活性溶解ピークの電流密度が減少し、高い耐食性を示すということが判明した。 B_0 は、塩酸および硫酸中のように還元性雰囲気での、Ti 合金の腐食を評価できるパラメータであることが明らかとなった。

The Effect of Small Amount of Alloying Elements on the Crevice Corrosion Resistance of Titanium in High Temperature NaCl SolutionsBy S. KITAYAMA *et al.*

チタンの高温食塩水中の耐すき間腐食性に及ぼす各種合金元素 (Pd, Ni, Co, Mo, W, V 等) の単独添加及び複合添加効果について検討した。その結果、Pd が最も有効で 0.05 % Pd 添加で 473 K までの隙間腐食を防止できることが判明し、さらに Pd-Co 複合添加が有効なことを見出した。耐酸性と耐すき間腐食性の関係も把握し、その差を電気化学的検討も含め議論した。

Others**Electron Beam Melting of Sponge Titanium**By H. KANAYAMA *et al.*

出力 80 kW の EB 溶解炉を用いてスポンジ Ti の EB 溶解特性に関する基礎的検討を行い、以下の結果を得た。

(1) スポンジ Ti の EB 溶解における歩留り向上には、溶解ハース周囲への水冷銅壁の設置により飛散溶滴を捕集することと、溶湯表面温度を融点直上に保持し、かつ局所的な温度上昇を抑えることにより Ti の蒸発損失を低減することが重要である。

(2) スポンジ Ti のプレス成形丸棒の EB 溶解に必要な電力原単位は約 0.9 kWh/kg、ハースに装入したスポンジ Ti の溶解までに必要な電力原単位は 0.5-0.7 kWh/kg 程度である。

(3) EB 滴下溶解時の鋳型への伝熱割合は 50-65 % 程度であり、ハース溶解時のハースへの伝熱割合は 60-65 % 程度である。

(4) EB 溶解した鋳塊の混面欠陥には、EB 出力過剰の場合の 2 重肌と EB 出力過少の場合の横割れがある。表面欠陥を低減するにはアップダウン引き抜き方式が有効である。

Microstructure Control of Titanium Aluminide Powder Compacts by Thermochemical ProcessingBy Leslie S. APGAR *et al.*

Powder metallurgy of ordered alloys is not only a method to obtain net-shape products but is also an effective approach to microstructural refinement for improvement of some properties such as tensile ductility and fatigue strength. In the present study, prealloyed plasma rotating electrode process (PREP) powder was used to produce compacts with an ultrafine grain structure by employing conventional and hydrogen thermochemical processing routes. These processes are capable of producing a wide range of α -2(α_2) structures, including an ultrafine microstructure with a grain size on the order of a micron. This paper will discuss some of the mechanisms leading to microstructure refinement with an emphasis on the role of hydride formation.

Fatigue Property Enhancement of α - β Titanium Alloys by Blended Elemental P/M ApproachBy M. HAGIWARA *et al.*

本論文は、次の二つより構成される。

(1) 本研究は、極低塩素チタン粉末を出発原料として、また、種々な組織制御法を適用して、特に優れた疲労特性を持つ素粉混合法 Ti-6Al-4V 合金の製造を試みたものである。特に本研究では、精密切断法 (Precision sectioning)

ISIJ International 掲載記事概要/編集後記

の手法を用いて、疲労起点部のファセットと下地の金属組織との同時観察を行い、これらの観察結果などから、高サイクル疲労強度に及ぼす α 相の形態の影響、などについて考察した。

最も優れた疲労強度と延性の組合せは、真空焼結合金をマルテンサイト組織化したのち HIP 処理を行うという、当研究所が開発した新しい素粉末混合法（組織制御素粉末混合法と呼ぶ）によって得られた。また、チタン合金では、コロニーの直径、針状 α 相の直径、等軸 α 相の直径が疲労強度を決定する重要な組織因子であり、コロニー、針状、等軸組織の区別なく、これらの寸法の大小が高サイクル疲労強度の大小に対応していた。

(2) チタン合金には、最も使用実績のある Ti-6Al-4V の他にも、例えば、破壊靱性値が高い、というように、ある特定の性質に優れた高強度合金が幾つか存在する。このような合金を組織制御素粉末混合法を用いて製造すれば、特定の性質のみならず疲労特性と延性にも優れた高性能合金が新たに創製されよう。このような観点から、種々な α - β 型チタン合金を組織制御素粉末混合法を用いて製造し、室温における疲労特性を評価した。また、得られた結果に基づいて、素粉末混合法合金における組成、金属組織、高

サイクル疲労特性の関係を総合的に判断することを試みた。

Influence of Alloy Composition on Hot Deformation Properties of Ti-Al Binary Intermetallics

By M. NOBUKI *et al.*

Ti-(44~50) mol% Al 二元系のプラズマビーム溶解材を用いて、定ひずみ速度の高温圧縮試験を行い、変形応力、変形能および結晶組織に及ぼす合金組成と変形条件の影響を調べた。この材料の応力-ひずみ関係には動的再結晶によるピーク応力が見られ、応力がピークに達するまでのひずみは二相材では γ 単相材の場合よりも小さい。変形応力と変形能を温度とひずみ速度を軸とする高温加工性のマップに表した。健全に加工できる条件は、二相材では γ 単相材の場合よりも高温側もしくは低ひずみ速度側になる。Ti-rich 組成の材料は高温では $\gamma + \alpha$ の二相組織を形成する。全面がラメラ組織になる二相材では、塑性異方性が強く、拡散が遅いため均質な加工組織を得にくい。このような組織の材料を均一、微細な組織に制御するためには、 $(\gamma + \alpha_2)/(\gamma + \alpha)$ 共析温度より十分高温で、ひずみの方位を変えて変形を加えることによるラメラの分断と動的再結晶を生じさせることが有効である。

訂 正

ISIJ International, Vol. 31 (1991), No. 5 掲載記事概要(鉄と鋼, 77 (1991) 4, p. N230)に掲載されました

Re-examination of Method of Kinetic Analysis on the Rate of Stepwise Reduction of a Single Sinter Particle with Co-CO₂-N₂ Gas Mixture

By T. USUI *et al.*

の概要 (pp. N230~N231) が論文内容と異なりまして、次のとおり全面的に変更させていただきます。

前報では、実機焼結単一粒子の段階ごとの還元において、カルシウムフェライト (CF) の還元を考慮せずに、一界面未反応核モデルに基づき、試行錯誤で化学反応速度定数 K_c と有効拡散係数 D_e を評価した。

本研究では、以下のように解析方法を再検討した。

(1) 還元曲線の計算値と実測値の差の面積が最小となるように統計的に解析を行って K_c と D_e の値を求める方法を提出した。

(2) ヘマタイトからマグネタイトへの還元段階で所定の

温度で到達還元率 F_f を測定した後、1173 K まで昇温して最終還元率 F_f' を測定した。約 1003 K より低い温度では CF は非常に還元されにくく、この段階の被還元酸素がヘマタイトおよび CF に由来すると仮定した場合、 $F_f \approx 0.7$ となった。 F_f/F_f' 値が還元温度の関数で与えられた。

(3) 753~1333 K の温度範囲で単一粒子の段階ごとの還元実験を追加し、(2) 項の結果を考慮して、(1) 項の方法により速度パラメーター K_c 、 D_e 値を再評価した。 K_c と D_e の温度依存式が提出された。

● 編集後記 ●

表面処理技術者は、自動車、家電、建材、缶詰などユーザーの強いニーズを受けて精力的に技術開発を行い、種々の新製品を生み出してきた。Zn 系 2 層めっき鋼板、有機複合めっき鋼板、意匠性プレコート鋼板、Sn/Ni めっき鋼板等枚挙すれば切りがない。現在も各社は人材や資金をこの分野に集中的に投入し、ユーザー情報に基づき、それに対処する研究を日夜行っている。

しかしながら本当にこれだけでいいのだろうか。待機していて、問題を投げかけられたならば即座に正確に対処する研究態度を、パトリオットのと呼ぶそうであるが、パトリオットを撃つためには、それを開発実用化したハイレベルな技術が基盤として存在していたことは言うまでもない。また相手ミサイルの発射を検知し、すばやく軌道計算を行ってパトリオットの発射条件を定めるという、いわゆる利用技術の水準の高さも忘れてはならない。

同じように、これまで新しい表面処理鋼板がユーザーニーズに応じてタイミング良く開発できた背景に

は、表面処理における界面反応や、耐食性、加工性、接合性などの利用加工技術分野での高い基盤技術の蓄積があったことは、紛れもない事実である。従ってユーザー対応に迫られて、基盤研究をおろそかにするならば、近い将来開発研究自体が困難になるだろうことは、十分予測される。

前回の表面処理特集号は 1986 年に発行されたが、今回は上記意味もあって、投稿された論文の分類に関して、自動車という項目をやめ、新たに腐食、加工性・接合性を加えた。これに界面反応が加われば、表面処理研究の将来を暗示していると思われる。

解説記事に関しては、前回もユニークな内容が多かったが、今回も斯界の権威者をお願いして、表面処理の各分野における技術進歩の最先端を分かりやすく解説していただいた。読者の皆様の興味を引くところが多かったと確信している。

最後に、この特集号を機会に、「鉄と鋼」に対する表面処理分野での論文投稿数が増大するであろうことを期待して止まない。

(Y. M.)