

## ISIJ International 掲載記事概要

ISIJ International, Vol. 31 (1991), No. 9  
掲載記事概要

## Preparation and Beneficiation

## Mechanism of Hanging Caused by Dust in a Shaft Furnace

By H. YAMAOKA

シャフト式還元炉における還元ガス中のダストに起因する棚吊り機構について検討がなされた。平板模型を使用した実験の検討と二次元数値モデルを使用した理論的検討により、還元ガス中のダストが羽口前で原料表面に付着してダスト閉塞領域を形成するが、ダスト濃度が高い場合や荷下がり速度が遅い場合、ダスト閉塞領域が拡大してガス圧力損失が増大し、棚吊りを引き起こすことが確認された。

## Smelting and Refining

## Buoyancy and Expansion Power in Gas-agitated Baths

By M. P. SCHWARZ

The derivation of the energy input to a gas-stirred bath is re-examined. The formula for the work done by the expansion of gas due to pressure decrease as it rises through the bath is found to be different from that given in the literature. According to the previous derivation, this energy input is numerically equal to the work done by the buoyancy force, but the present formula gives a much lower value. The so-called 'buoyancy power', which is conventionally taken to be the sum of this expansion power and the power due to the buoyancy force itself, is therefore approximately half the value given by the previously published formulas. A similar correction applies to the work done by the gas as it expands due to heating in a pyrometallurgical bath: the new formula is smaller than the published one by a factor equal to the ratio of the static pressure drop across the bath to static pressure at the bottom of the bath.

## Bubble Characteristics in the Momentum Region of Air-Water Vertical Bubbling Jet

By M. IGUCHI *et al.*

底吹き円筒容器内の気泡噴流部はノズル出口から順次、運動量支配領域、遷移領域、浮力領域および浴表面領域に分類できる。しかしながら水-空気系気泡噴流に関してさえ、広範囲の修正フルード数にわたって適用できる気泡頻度  $f_B$  やガスホールドアップ  $\alpha$  の推算式はまだ得られていないようである。本報告ではまず運動量支配領域に着目し、 $\alpha$  の噴流中心軸上の値  $\alpha_{cl}$  と半値半幅  $b_\alpha$  に対する推算式ならびに  $f_B$  の中心軸上値  $f_{B,cl}$  と半値半径  $b_f$  に対する推算式を提案した。

## Effect of Varying Ladle Stream Temperature on the Melt Flow and Heat Transfer in Continuous Casting Tundishes

By S. CHAKRABORTY *et al.*

The effect of varying ladle stream temperature on the fluid flow and heat transfer phenomena in a typical twin strand slab caster tundish has been mathematically modeled in the present study. The model involves solution of the transient, three dimensional form of the turbulent Navier-Stokes' equation, along with the equations of turbulence energy, energy dissipation rate of turbulence energy and thermal energy conservation. The incoming melt stream temperature has been assumed to decline at a constant rate of  $0.5^\circ\text{C}/\text{min}$  over a casting period of 50 min. Under the conditions examined in the present mathematical model, the temperature of the incoming melt stream becomes lower than the bulk temperature of the melt in the tundish by about  $1-2^\circ\text{C}$ , after 25 min

from the start of teeming of a heat. Due to buoyancy effects, the cooler incoming melt starts to flow along the bottom of the tundish instead of the normal top free surface directed flow. The calculations show that the inverse flow pattern develops over the remainder of the teeming period and persists for about 1 min into the teeming of the next heat. Thus, the inclusion flotation and removal of the non-metallic inclusions during the later half of the casting period are expected to be worse compared to the first half.

## Electromagnetic Atomization of Molten Metals

By S. NINAGAWA *et al.*

従来の粉末製造法で用いられている流体の衝撃力や円盤の回転力による運動エネルギーに代わり直流電流と静磁場との間に誘導される電磁気力による溶融金属の新しい微粒化法を提案した。本プロセスの制御性を改善するために、飛散挙動を注意深く検証しプロセスの連続操業の障害となる物を取り除き、均一な粒子分布を得る方法を見出した。プロセスをよりよく理解するために数学的モデルを立てた。飛散挙動の可視化と数学的モデルの計算結果により粒子径はノズルと電極間距離、通電の遅延時間および溶融金属の流出速度によって主に制御できることを明らかにした。電流と通電時間との積で表される力積と飛散粒子の質量と飛散速度の積で表される運動量を測定結果から算出した結果、力積と運動量とが直線関係になることが判明し、電磁エネルギーの飛散粒子の運動エネルギーへの変換効率を見積もることができることを明らかにした。

## Fabrication and Forming

## Analysis of Warping Phenomenon in Plate Rolling

By M. YOSHII *et al.*

厚板圧延における鋼板反りの発生は、圧延能率の低下や、テーブル等への突き当てによる製品疵の原因となるばかりでなく、時には設備破損の原因にまでなることもある。このため従来より反り制御技術の開発が望まれていたが、反りの発生要因としては鋼板上下面温度差、上下ロール回転数差、ロールと材料間の摩擦係数差など多くの因子があり、これらの因子が反りに与える影響を独立に評価することが困難であるため、制御するには至っていない。そこで剛塑性 FEM を用いた非対称圧延を取り扱える非定常解析モデル、及びこのモデルとミル駆動系のねじり振動モデルを組み合わせて、鋼板噛み込み時のインパクトドロップが反りに及ぼす影響を解析できるモデルを開発した。また、実験を行って異周速圧延における反り特性について、これらのモデルの検証を行った。この結果、解析及び実験結果とも反りは、 $ld/hm$  (接触弧長/平均板厚) に依存していることがわかった。

## Determining Transient Temperature Distribution in Solids from Measurements of the Surface Temperature

By K. KURPISZ

The paper is concerned with a method that enables one to determine transient temperature distribution in a heat conducting body from measurements of the surface temperature. It means that an initial condition is not necessary. The solution can be obtained using analytical or numerical methods. It is presented in terms of a series containing the derivatives of the surface temperature with respect to time. In order to calculate the derivatives the regularization method is employed. Some test cases are included. They prove that the proposed method can produce stable results for a wide range of problems except for rapid processes of heat conduction. It means that the method can be employed when, e.g., one estimates the temperature distribution within blooms or

ingots during heating or cooling under moderate conditions.

### Production and Properties of Carbide Dispersion-strengthened Coppers by Compcasting

By K. ICHIKAWA *et al.*

炭化物微粒子 (WC, TaC, VC, TiC, NbC, ZrC, Mo<sub>2</sub>C, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>) を 0.5~30 mass% 添加して回転子の回転速度 25 s<sup>-1</sup> で回転攪拌凝固した粒子分散強化 (DS) 銅の電気的および機械的特性を調べた。Mo<sub>2</sub>C, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> 以外の炭化物を添加して攪拌凝固した DS 銅のミクロ組織には、炭化物の均一な分布が観察された。これらの DS 銅の導電率は 20 mass% WC で 77.9 % IACS, 20 mass% TaC で 73.4 % IACS, 10 mass% NbC で 72.0 % IACS, 5 mass% TiC で 85.2 % IACS, 5 mass% VC で 68.9 % IACS であった。ビッカース硬度は 30 mass% WC で 197, 30 mass% NbC で 155, 30 mass% TaC で 110, 20 mass% VC で 158, 20 mass% TiC で 121 であった。引張強さは、30 mass%, NbC で 402 MPa, 20 mass% TiC で 357 MPa, 20 mass% WC で 330 MPa, 20 mass% TaC で 269 MPa, 10 mass% VC で 323 MPa であった。また伸びは、20 mass% TaC で 12.9%, 20 mass% WC で 10.9%, 10 mass% NbC で 25.2%, 10 mass% VC で 21.8%, 5 mass% TiC で 17.5% であった。

### Mechanical Behavior

#### Effects of Silicon and Manganese Addition on Mechanical Properties of High-strength Hot-rolled Sheet Steel Containing Retained Austenite

By I. TSUKATANI *et al.*

引張り強さと全伸びのきわめて高い積 ( $TS \times El = 3000$ ) を有する 80 kgf/mm<sup>2</sup> 級高強度熱延鋼板を Si と Mn 量および熱延条件を最適化して、0.2 % C 鋼において残留オーステナイトの変態誘起塑性を活用することにより得た。熱延仕上げ温度および巻取り温度は多量の残留オーステナイトを得るうえで、重要な要素である。1.0 % 以上の Si 添加は第二相をベイナイト+パーライトからベイニティック・フェライトへ変化させることにより残留オーステナイトの体積率の有意義な増加をもたらす。残留オーステナイトの最大体積率およびそれに伴う引張り強さと延性の最適の組合せは 0.2 % C-2.0 % Si-1.5 % Mn 鋼において得られた。延性におよぼす残留オーステナイトの効果は 1.5 % 以上の Mn 添加により減ずる。それは、残留オーステナイトがマルテンサイトの存在により変形過程の初期の段階で変態してしまうためである。

### Microstructure

#### Effect of Silicon Content on Secondary Recrystallization in Grain-oriented Electrical Steel Produced by Single-stage Cold Rolling Process

By S. NAKASHIMA *et al.*

MnS と AlN をインヒビターとして活用する一回冷延法一方向性電磁鋼板について、Si 含有量の二次再結晶挙動に及ぼす影響について調査し、次の結論を得た。

(1) Si 含有量を 3.0 mass% から 3.3 mass% まで増加すると二次再結晶の開始と進行が遅れ、さらに 3.7 mass% まで増加すると二次再結晶が起こらなくなる。

(2) この原因として、高 Si 化にともなう一次再結晶の  $\{110\}$  極密度の減少、一次再結晶の平均粒径の増大及びインヒビション効果の減退が考えられる。

#### Creep-fatigue of 1Cr-Mo-V Steels under Simulated Cyclic Thermal Stresses

By K. YAMAGUCHI *et al.*

装置の起動停止などに伴う温度変化を受ける高温機器の熱疲労損傷破壊に対する信頼性向上に資するため、蒸気ター

ビンロータ用 1Cr-Mo-V 鋼の、不純物含有量が異なる新旧溶製材 3 ヒートについて、実機負荷条件を模擬する一定高温下で保持時間が 10 h, 100 h の長周期長時間クリープ疲労試験、及び温度-ひずみ複合変動試験を、著者らが開発したヒートアクチュエータ式長時間疲労試験機等を用いて実施し、その寿命評価を行った。得られた結果は、以下のとおりである。

(1) 550°C における 10, 100 h ひずみ保持台形波試験データから、以前に著者らが提案したクリープ破断延性値を用いるクリープ疲労寿命予測法の長時間側の検証ができた。また、ヒート間の長時間側の寿命の相違は、不純物量と関係があるようであった。

(2) 温度変動を伴う熱応力履歴を忠実に模擬する温度-ひずみ複合変動試験の寿命は、一定高温下の単純な三角波や台形波、鋸歯状波のデータを用いた直線損傷則から評価できることを明らかにした。

#### Effect of Cold Rolling Reduction on Secondary Recrystallization in Grain-oriented Electrical Steel Produced by Single-stage Cold Rolling Process

By S. NAKASHIMA *et al.*

一回冷間圧延法一方向性電磁鋼板について、冷間圧延圧下率 (80-94 %) の二次再結晶に及ぼす影響を調査し、次の結論を得た。

(1) 圧下率の増加にともない、二次再結晶の粒径が大きくなり、次いで Goss 方位以外の細粒が発生し始め、最終的には全面細粒となる。これは、圧下率の増加にともなう一次再結晶マトリックス中の Goss 核の減少によるものと考えられる。

(2) 圧下率の増加にともない、細粒を除く二次再結晶粒の方位は理想 Goss 方位への集積度を高める。これは、圧下率の増加にともない、一次再結晶マトリックス中に理想 Goss 方位と  $\Sigma 9$  の対応方位関係にある方位が増加することによるものと考えられる。

(3) 圧下率の増加にともなう一次再結晶の粒径変化よりも集合組織変化の方が二次再結晶に及ぼす影響が大きい。

#### Characterization of Precipitates in Vanadium and Titanium Microalloyed Steels

By K. A. EL-FAWAKHRY *et al.*

Transmission electron microscopic observations were carried out on carbon extraction replicas prepared from two commercial V-microalloyed steels and one commercial Ti-microalloyed steel hot rolled to 10 mm diameter bars at different rolling conditions.

The presence of about 0.13 % Cu in V- or Ti-microalloyed steels led to the formation of copper sulphides preferentially rather than manganese sulphides although the steels containing more than 1 % Mn. In Ti-microalloyed steel, globular titanium carbosulphides of the type Ti<sub>4</sub>C<sub>2</sub>S<sub>2</sub> are observed in addition to copper sulphide.

In V-steels, transmission electron microscopy revealed very fine precipitates in the pro-eutectoid ferrite ( $\approx 5$  nm) which are identified as carbides or carbonitrides of the type M(C, N) (M = V and Cr, where V/Cr  $\approx 5$ ). Some relatively coarse particles ( $\approx 0.1$   $\mu$ m) were also observed (with V/Cr  $> 15$ ) which are suggested to be V-nitrides or carbonitrides formed at relatively high temperatures in austenite.

In Ti-steel, coarse titanium nitride particles ( $> 5$   $\mu$ m) were observed together with precipitates of the type MC (M = Ti and Cr) in the form of very fine precipitates ( $\approx 5$  nm, Ti/Cr  $\approx 9$ ) or relatively coarse carbide particles ( $\approx 0.1$   $\mu$ m, Ti/Cr  $> 30$ ).