

論 α 係数法に比較すると、正確さ (σ_d) が多少劣るものの、ともに実用性のある定量方法である。

(討38) Sc 管球を用いた蛍光 X 線分析

(NKK 中央研究所 辻 猛志ほか)

軽元素に対する定量性の向上を目的として、Sc 管球の励起性能および C, B の定量性について検討した。

固有 X 線による励起効率は Ph 管球の場合印荷電圧に強く依存するが、Sc 管球の場合その依存性は弱い。鉄鋼試料の分析において Sc より軽い元素 (Al, Si, P, S) については Rh 管球の場合の約 2 倍の高感度が得られる。セラミックス粉末中 B, C の定量、銑鉄中 C の定量においても Rh 管球と比較して Sc 管球が優れている。

以上 3 件の発表について、補正方法、ガラスビード試料と金属試料の考え方等について討論があった。

本討論会は発表件数が 10 件にのぼり、鉄鋼各社からの実用的な発表と討論が活発に行われ、蛍光 X 線及び固体発光分光分析がオンライン分析の重要な役割をにない、更に改善の努力が積み重ねられていることが再認識された。

最後に、講演者をはじめ討論に参加いただいた皆様方に深く感謝いたします。

V. 金属学的モデルによる材質の予測と制御

座長 新日本製鉄(株) 薄板研究センター

矢 田 浩

副座長 川崎製鉄(株)鉄鋼研究所

斎 藤 良 行

物理冶金学の進歩により鋼材の製造および加工のプロセスにおける金属組織の変化の理解が進み、定式化とモデル化が可能になりつつある。さらにこのような要素モデルを結合・連成して金属組織の変化を一貫して計算し、これにより材質を予測する計算機モデルの構築が試みられている。この様なモデルにより材料開発者・製造者の夢であった材質の自動設計や自動制御が可能となる日が近づきつつある。

本討論会はこの技術の最新の進歩の状況を総括するとともに、問題点を整理して今後の取組の方向を明らかにする目的で開かれたものである。この分野の研究に対する関心の高さを反映して多くの討論の申込みがあり、一部については統合して数を減らすことをお願いせざるを得なかったほどであった。最終的に決定された 12 の討論はその内容により 4 セッションに分けて発表・討論が行われた。会場は常に百数十人の聴講者があり熱気に溢れ、仏・韓国の参加者も討論に加わった。

討論を開始するのに先立ち我が国のこの分野の研究を

長い間熱心に指導してこられた田村今男京大名誉教授に「材質予測制御技術の意義と歴史」という題で話していただいた。制御圧延技術から始まって高温変形部会、熱延プロセス研究委員会、THERMEC-88 と受け継がれてきた加工熱処理の研究史について、独特のユーモアを交えて要領よく纏めて話され、今後の課題として Near net shape CC での材質制御についても触れられた。

各討論の概要は次のとおりであった。

(1) 熱間加工組織・析出のモデル化

(討49) 鋼の高速連続熱間加工におけるオーステナイト組織の変化と析出挙動

(新日本製鉄(株)薄板研究センター 瀬沼武秀ほか)

実用圧延条件をカバーし組織凍結機能のすぐれた熱間加工シミュレーターを用いて普通鋼オーステナイトの熱間加工組織を研究、連続加工への適用を考え転位密度を媒介としてモデル化をおこなった結果について報告した。このモデルは熱間加工変形抵抗式や正確な変形解析へも適用されている。さらに NbC の析出のモデル化も紹介し、析出や変態に対する加工の影響が残留転位密度を用いることでよく表せることを指摘した。熱間加工を転位密度を用いて計算することには同意するが、今後変形帯の影響などの内容について金属学的意味を明確にしてゆくことが必要であるとの意見がのべられた。

(討50) C-Mn 鋼の熱間圧延・冷却中の板厚方向の組織分布の予測

((株)神戸製鋼所鉄鋼技術研究所 難波成信ほか)

オーステナイトの再結晶挙動、粒径の推移を予測するモデルと圧延中の変形解析モデル・温度解析モデルを連成させることにより、熱間圧延鋼板の粒径の板厚方向の分布を予測した。剛塑性有限要素法により、歪み、歪み速度温度を求め、加工中の歪み増加とその間の粒成長を考慮して、動的再結晶挙動を予測し、加工終了後の静的再結晶挙動を計算する。熱延実験結果との比較によれば板中心部の予測結果はほぼ正確であるが、板表面では実験値とのずれがみられる。板表面での熱移動に関する境界条件の把握など検討課題も残されているが、粒径のみならず、他の組織因子の分布の予測への応用が期待される。

(討51) γ/α 二相域圧延材のフェライト粒径及びフェライト体積率の予測

(新日本製鉄(株)大分技術研究室 脇田淳一ほか)

これまでに開発を進めてきた組織・材質の予測モデルを γ/α 二相域圧延材に拡張した結果について報告した。加工によるフェライト変態の促進、フェライトの再結晶などの予測モデルを開発しフェライトの粒径及び体積率を予測した結果について述べ、この結果が実機圧延材の結果をよく説明することを報告した。再結晶しない場合の加工フェライトの特徴や挙動についての質疑応答があった。

(2) 変態のモデル化

(討52) 拡散成長理論による Fe-C-X₁-X₂ の 4 元合金の初析フェライトの成長と分配予測

(金属材料技術研究所 榎本 正人)

講演者らの Fe-C-X 3 元合金に関する拡散成長理論を 4 元合金に発展させたものである。Fe-C-X₁-X₂ 4 元合金の初析フェライトの成長速度と合金の分配挙動を記述する方程式を導出した。Fe-C-Si-Mn 合金について方程式の解を求め、局所平衡モードとパラ平衡モードでの Parabolic rate constant と局所平衡モードでの Si, Mn の分配挙動を算出し、Fe-C-Si 合金および Fe-C-Mn 合金での値と比較し、その違いを明らかにした。本モデルにより等温変態における変態モードの解析が可能であり、シミュレーションモデルにその特徴を有効に反映させることにより現実の問題への対応も期待できる。

(討53) 加工硬化したオーステナイトからの変態速度論と粒径予測

(豊橋技術科学大学 梅本 実ほか)

フェライト変態に対するオーステナイトの加工の影響を核形成・成長の観点から考察した。フェライト核形成に及ぼす変形の効果として、粒界面積の増加、単位面積あたりの核形成速度の増加、新たな核形成サイトの増加の三つの要因を定量的に評価した。また変形に起因する付加的駆動力による成長速度の増加を考慮し、変態速度式を導出した。さらにこの変態速度式を利用した粒径予測式を活用し、変形によるフェライト粒径微細化効果を算出した。加工硬化したオーステナイトの変態挙動予測は制御圧延・制御冷却材の材質予測に有益であり、微量元素の効果の定式化など今後の発展が期待される。

(討54) Nb 添加鋼の変態組織予測モデル

(新日本製鉄(株)厚板条鋼研究センター

藤岡政昭ほか)

変態挙動の解析から Nb 添加鋼では粒内核生成フェライトを含む 4 種の機構が存在することを明らかにし、それぞれについて編隊組織を定義したのち核生成と成長の速度式を定式化し、連続冷却時の変態進行を計算するモデルを開発した結果を報告した。Nb の効果は固溶状態にある場合に限られることを明確にし、析出モデルで計算される固溶 Nb 量を用いて Nb 添加鋼の変態組織の予測が可能であることを示した。成長の速度式に本研究のような Zener-Hillert 型の式と Parabolic rate constant を用いた式とのいずれを使うべきかなどの点について熱心な討論が行われた。

(3) 組織分布と材質の予測

(討55) 混合組織をもつ鋼の変形応力の予測に関する検討

(茨城大学工学部 友田 陽)

材料の力学的性質と組織との関係を定量化する試みと

して、混合組織をもつ材料の変形挙動、すなわち応力-ひずみ曲線の予測方法を概観し、また組織構造が複雑な場合に有効な有限要素法による数値解析にも言及した。2 相組織について、分散強化型合金のように硬質相が塑性変形しない場合と延性 2 相鋼のように硬質相も塑性変形する場合の二つのケースについての変形解析例を示した。材料の機械的性質の予測のため、組織予測モデルと並んで組織-材質予測モデルの開発が期待されており、本講演のような基礎理論に立脚した予測法の研究の成果が期待される。

(討56) 厚肉高張力鋼の組織と降伏挙動の制御

(NKK 鉄鋼研究所 鹿内伸夫ほか)

二相または三相からなる厚肉高張力鋼の組織分布をモデル化して表現し、二次元有限要素法により降伏挙動の解析をおこない、検証実験を行ってその結果が妥当であることを示した。そしてその解析結果から低降伏比と高強度を同時に達成するためには各相の降伏強度を高め、軟質相中に整粒の硬質相を均等に分布させ、体積率を同程度にすることが望ましいという指針を得たことを報告した。このような解析は今後の各種材質の予測モデル開発の方向を示すものとして注目された。

(討57) 鋼板製造プロセスにおける結晶粒径分布のシミュレーション

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 斎藤 良行ほか)

モンテカルロ法により結晶粒成長のシミュレーションを行った。結晶粒の方位を格子点のスピนว数に対応させ、スピนว状態のフリップにより粒成長挙動を記述し、成長方位、形態、粒径分布の予測を行う。スピนวフリップに対する隣接格子間のミスオリエンテーションの効果を考慮することにより現実の加工熱処理条件に近い状態における単相材料の結晶粒成長則、粒径分布の予測ができる。また分散粒子による結晶粒成長遅延効果、異相界面の成長のシミュレーションも可能である。熱力学に基づくマクロなモデルとの相互活用をはかることにより実用化を行うことが課題である。

(4) 総合シミュレーションモデルと応用・実用化

(討58) ホットストリップミルにおける圧延負荷、温度金属学的諸特性のシミュレーション

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 依藤 章ほか)

熱間圧延時における再結晶・粒成長・相変態、析出等の金属学的諸現象を定量化した材質モデルと荷重、トルク等の圧延負荷、材料とロール温度の推移を予測する圧延モデルを連成させた総合シミュレーションモデルを開発した。加熱炉からコイラーまでの熱延工程を一貫して鋼の長手方向、板厚方向の組織と圧延特性の予測を行う。実操業と同一条件でのシミュレーションが可能であり、化学成分、圧延条件、冷却条件の変化にともなう鋼板の材質ばらつきをも含めた材料設計ができる。また製造設備のレイアウトの変更など設備仕様の変更にとまらな

質変化のシミュレーションなど幅広い活用が期待される。

(討59) ホットストリップミルにおける鋼の組織変化と材質の予測

(新日本製鉄(株)八幡技術研究部 末広正芳ほか)

オンラインで材質の予測と制御を行う目的で開発した一貫モデルの内容が報告された。合金元素の効果が熱力学的に計算されるなど実験で決定されるパラメーターの少ない変態モデルについて紹介し、討論 49 の熱間加工モデルから計算される転位密度で加工の影響を一般的に取り入れることが可能であることを説明した。各微小部分の硬度がその部分の変態温度の一次式で表されることを明らかにし、これに基づいて開発した強度の予測式で実際の圧延材の材質を十分の精度で予測できることを示した。オンライン計算についての討議で、ホットストリップのような速い圧延でも金属的モデルでの計算が可能であることが明らかにされ、また変態量計はモデルの精度向上に利用するという考え方が示された。

(討60) 厚板・熱延材質予測技術の開発

(住友金属工業(株)鉄鋼技術研究所 小松原望ほか)

厚板・熱延工程で装丁される組織変化を、これまで提出されている理論を最大限に利用してモデル化した内容と、これを用いて連続冷却変態挙動などを予測した結果が報告された。例えば粒成長では従来の冪乗則のかわりに Pinning 理論に基づく式が提案された。計算結果と実験結果との対比は目下検討中とのことである。冷却条件によっては変態後のフェライトの粒成長の可能性があるのも取り入れるべきではないかという意見が出された。

以上各項目ごとの討論内容についてのべたが、全体としてこの分野に関心を持つ研究者が多く、進歩も急速であることが強く印象づけられた。このような研究者が一堂に会して熱心に討論を行ったことは今後の研究の進歩への強い刺激としての意味が大きく、本討論会はまさに時宜を得た企画であった。とくに今後努力を集中する必要がある課題として組織と各種材質の関係の重要性が認識されてきており、近く発足する鉄鋼基礎協同研究会「変形特性の予測と制御」部会などを通じ協力して取り組んでゆく気運が強まったのも大きな収穫であった。