

で検出する技術が開発され、ステンレス鋼における急冷初期凝固機構がある程度明らかにされた。すなわち、オーステナイト系ステンレス鋼でも、鑄型接触直後の急冷により、溶湯がかなり過冷して、準安定 γ 相がまず生成し、ある冷却速度以下になると δ 相が生じることが示された。これは高温相が安定であるため、あるいは γ 相の核生成がより容易であるためと説明されている。

(4) 計算機シミュレーション

ワークステーションの進歩とも相まって凝固シミュレーションが一般的に行われるようになり、水平連続鑄造やストリップ鑄造法の開発などに活用された。例えば、水平連続鑄造の開発では、ブレーキングの材質・形状・寸法の凝固シェル形状に及ぼす影響などが調べられている。また、ストリップ鑄造でも鑄造速度の最適化やロール設計にシミュレーションが利用されている。

シミュレーション技術の進歩としては、前記のマイクロ偏析の解析以外に、流動を考慮した解析が進んだことである。特に、形鑄造の分野では、複雑な鑄型空隙部を溶湯が充滿する過程が解析されるようになった。また、連続鑄造における中心偏析や鋼塊のマクロ偏析の直接シミュレーションが可能になりつつある (Fig. 3.52 参照)。この場合、熱エネルギー保存則のみならず、溶質量保存則、運動量保存則、熱力学的関係を連成させ (バルジングや軽圧下などの場合には凝固シェルの移動は既知のものと仮定している)、溶質分布も直接計算できるようになった。

しかし、固相流動のシミュレーションはまだ行われていない。未凝固圧下鑄造などに関連して、正確な未凝固部の推定とともに、今後の重要課題である。また、鑄型内流動のコンピュータシミュレーションは乱流モデルの導入まで進歩したが、凝固との連成はこれからの課題である。核生成、デンドライトの成長を考慮した組織形成のシミュレーションにおいては、我が国での研究は少なく、海外に遅れをとっている。

このほか、有限要素法による凝固シェルの応力解析も3次元で行われるようになった。また、内部割れの限界歪みに関するデータもいくつか提案されている。

(5) その他

急速凝固組織の形成や過冷凝固についての研究も進んだ。過冷凝固に関しては、1.5 kg ぐらいの炭素鋼 (Fe-0.23% C) で 100 K 程度の静的過冷が得られる技術が開発された。また、レオキャストイングに関する基礎的研究 (初期凝固、流動性、凝固組織など) が非常に進んだが、鋼に関する研究はあまり行われなかった。

3.7.5 基礎研究における将来課題

日本鉄鋼協会将来研究課題検討小委報告 (*Tetsu-to-Hagané* 80 (1994), No. 3, p. 124) の中で、将来課題を考察する場合の視点として、①リソースオリエンテッド、②ニーズオリエンテッド、③シーズオリエンテッドな視点から、各々考察すべ

きことを提案している。ここでも、その考え方を採用して考察する。

(1) リソースオリエンテッドな視点からの課題

今後日本、鉄鋼業にとって利用可能な資源、すなわち原燃料、労働力、環境、資本などの供給条件と関連させて、そこに置かれた製鉄技術の姿を描き、解決されるべき研究課題を想定する。製鉄技術のような上工程の段階で最も重要性が高いが、製鋼工程においても基本的な課題が存在する。

i) スクラップの利用拡大のための研究

老廃スクラップにおける混入元素や低合金鋼からの各種合金元素に由来する、いわゆるトレースエレメントの除去や無害化のための研究が製錬、加工、物性の各段階で必要とされる。特に製鋼分野では、そのための基礎として、溶鋼、溶融スラグ、および固液共存状態のこれら元素に関する熱力学データを整備し、スラグ-メタル界面反応、固液あるいは固体内相変態におけるこれら元素の挙動を、多元合金系の加工特性や材料特性に結びつけて把握する必要がある。

ii) 連続プロセスに関する研究

コンパクトな設備により高い生産性と制御性を保証し得るプロセスとして、連続製鋼法の実現は古くより製鋼技術者の夢であり、多くの開発の試みがなされてきた。労働力や資本の供給制約を緩和し、原理的に、より環境保全型のクローズド・システムとなりうる連続製鋼法は、将来の鉄鋼産業におけるリソース制約的課題を抜本的に解決する期待をもっている。溶鋼-スラグ流の向流反応特性、多混相流の流動制御、耐火物の利用法や炉の設計に関する新しいコンセプトなど多くの基礎的研究課題がある。

iii) 廃棄物のない完全リサイクリング型製鋼法の研究

精錬剤を用いる製鋼法では、従来は不純物を吸収したスラグの廃棄を前提としたプロセスを開発してきた。

人類社会の持続可能な発展という大目標のためには、あらゆる製造プロセスが基本的には「廃棄物ゼロ」を指向すべきことが要求される。それゆえ、今後目標とすべき、完全リサイクリング型製鋼法では、すべての不純物も何らかの副産物として製品化される。逆に言えば、スラグをリサイクル使用することにより、不純物を濃集し、経済的な技術行為の対象とすることが不可欠である。具体的には、例えば、P, Mn, V, Cr などの濃集回収が考えられ、適正スラグの開発とこれら元素の分配条件など、新しい視点に立った系統的基礎研究が必要になる。さらに、S の処理法 (利用法) について、広い視点からの検討が必要とされる。

(2) ニーズオリエンテッドな視点からの課題

言わば鉄鋼の需要側からの要求に応える材料特性の造り込みを保証する製鋼プロセスのための研究課題である。

純度や化学組成の精密制御に対する要求は、ますます高度になると予想され、超高純度あるいは超高清浄鋼のための基礎研究をいつそう深める必要がある。

そのためには、伝統的な雰囲気制御や特殊精錬剤の活用に

加え、電磁気力や超音波などを制御手段に用いたプロセスの研究、レーザーやプラズマの特性を利用したプロセスの研究なども必要になる。

工場全体を雰囲気制御し、ロボットや宇宙服による作業を考えるなど、将来課題の観点からは、SF 的要素を加味した研究課題の発想も要求される。

(3) シーズオリエンテッドな視点からの課題

i) 金属およびスラグ溶液の熱力学と物性に関する理論的かつ実験的研究の推進と計算機支援型研究手法の確立

鉄は最も持続可能性の高い元素であり、鉄鋼の材料としての可能性をとことん極め尽くすことが必要である。鉄自身の物性研究、鉄をベースとする新素材の基礎としての合金系や化合物系の物性研究を進め、相互作用を明らかにし、計算機の機能を最高度に発揮させて、多元素の状態図や物性の予測手法を発展させ、新物性開発の方向や実験方法策定の指針を得る。例えば、過冷液体、非晶質物質の性質の予測も可能とし、新しい材料開発の糸口を提供する。鉄合金の均一液体系は高温という測定上の難点をもつが、均一性は、本質的に測定データの高い信頼性をもたらす、高精度の理論的予測の前提となる。

高精度の測定データを得るために、X 線や中性子線回折、各種分光分析、質量分析など高度に発展している機器分析の成果を採り入れ、画像解析やバーチャル・リアリティなどコンピュータの高度な機器制御、データ処理機能を活用した

測定手法を発展させる必要がある。

ii) 特殊場における物性の解明

超高温あるいは超強電磁場や超音波場、あるいは超真空や無重力場など特殊場における各種物性の測定解析を通して、プラズマ、液体、および固体状態における鉄の本性を解明し、新しい物性の発見につなげる。

同様に、超音波場、超強力磁場、無重力場など特殊場での核生成現象、不均一反応速度、拡散現象などの不可逆現象の解明、超高压や H_2 の吸収放出、衝撃加工、レーザーやプラズマ加熱などの極端条件での構造変化や物性の解明による新しいプロセスや素材の開発に結びつける。

また、その過程で、新しい測定方法やセンサー開発の芽生えも期待できよう。

iii) シーズの再発見

鉄鋼産業は極めて長い技術開発の歴史を有しており、過去に数多くの陽の目を見るに至らなかった技術の芽を蓄積している。

特に、原理的に秀れていたにもかかわらず、当時の社会、経済あるいは周辺技術の条件下では実用化できなかった技術もある。連続製鋼法、炭酸ソーダを用いたリサイクリング型製鋼法などの例が思い浮かぶ。粉末圧延法、介在物吸収膜など SF めいたアイデアが過去の特許の山の中にみられる。これらを掘り起こし、現代あるいは近未来の経済、社会あるいは技術条件下で見直し、実用化のための基礎的研究課題を見いだすことも必要だろう。