

微量の炭化物生成元素やボロン利用における制御技術、PやSなどの不純物元素の低減技術などである。

これに対し、我が国の基本的な貢献が著しい分野は、最近の半導体技術がそうであるように、比較的高性能な材料を安価に、かつ、安定した品質で大量に製造する技術で、その典型的な例は制御圧延である。制御圧延は経済の高度成長時代に我が国の鉄鋼製造技術やエレクトロニクス技術がそれに追従できる程度に発展していたと言う好運な事態によって世界に先駆けて発展したと言える。その基本は加熱温度の制御による初期オーステナイト粒径の制御とその加工による変形帯の導入や回復・再結晶、それらの $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態に及ぼす影響を利用したフェライト結晶粒の超微細化技術である。もちろん、変態後の圧延による集合組織の重畳によって衝撃荷重が付加された場合に板面に平行なセパレーションが発生し、平面応力状態へ移行する結果、衝撃遷移温度が低下する現象も無視できない。上述のように、これらの過程をコンピューターでシミュレートし、材質予測に結び付ける努力もあるが、特に組織感性の大きい延性/脆性遷移温度の評価は困難を伴うであろう。この制御圧延技術が焼入れ焼戻し処理の分野にも拡張され、制御圧延工程における直接焼入れ焼き戻し処理に発展したのも当然の帰結である。しかし、いくら組織を微細化し、鋼材の性能を改善しても溶接部などの接合部でその性能が確保できなければその価値は無に等しい。

そこで、鋼材の利用技術開発も精力的に行われ、我が国はこの分野でも大きな成果をあげることができた。高能率な大入熱溶接を施しても溶接部の靱性が劣化しない鋼材や溶接材料の開発、耐水素脆化鋼材の開発などがそれである。前者は炭・窒化物や酸化物、オキシサルファイド粒子を微細分散し、その高いエネルギー状態にある母相/介在物非整合界面を核としてポリゴナル・フェライトを生成させることによる組織微細化技術、後者は水素のトラップサイトとなり割れ発生の起点となりやすい非金属介在物や不均一な低温変態生成物の分散防止技術の確立であった。

このほか、我が国の鉄鋼技術がユーザーの要望を積極的に取り入れて材料開発を行った面白い例として次のようなものが挙げられよう。例えばC、N量を制御してプレス成形時には軟らかく塗装工程の昇温によって時効硬化するBH（ベイクハードニング）鋼、フェライト/マルテンサイト（オーステナイト）混合組織など不均一な組織を意図的に作り変形時の局所的な応力集中による低い降伏点と高い引張強さを利用したプレス成形性の優れた高張力薄鋼板、脆性破壊よりむしろ延性破壊が問題となる建築部材などで降伏開始から破壊に至るまでに大きな加工硬化が期待できる低降伏比高強度材料などがあり、既存技術の組み合わせによる新製品開発は今後とも重要な位置を占めるであろう。

(3) 今後の研究課題

従来からの基礎的な研究分野として、合金構造の電子論、拡散、相変態や析出、結晶粒界や異相界面の構造と物性、結

晶の核生成・成長、塑性変形の素過程、破壊、疲労のメカニズムなどがあるが、未だ不明な点も多く今後も地味な努力が不可欠である。すなわち、これらの知見がなければたとえセンダストのように革新的な新機能材料を発見したとしても、その延長上にあるより大きな材料開発は期待できないであろう。しかし、鉄鋼材料には経済的な構造部材としての役割が今後とも大きいと考えられ、その意味では上述したように絨毯爆撃的な試験によって開発は、ほぼ、限界に達しているように思える。

したがって、構造材料に限ると、すでに高耐食性表面処理鋼板、Tiやステンレス鋼と普通鋼のクラッド技術や2枚の表皮鋼板を特殊樹脂で接着した制振鋼板などで実用化されているように、特徴のある異種材料の複合化が大きな開発課題となるであろう。もっとも、一つの材料でセンサー機能とアクチュエーター機能を合わせ持つような知能材料の開発も新鮮味があり、数多くの研究対象となっているが、それぞれの単独機能を持つ材料を組み合わせる方が安価で明らかに安定した性能を示すことも多い。したがって、闇雲に知能材料という言葉に惑わされず、冷静に判断し、複合化の方が有利と判断される場合はその可能性を追求する方が新材料開発に結びつく可能性が高い。また、それらの性能を左右するのは異相界面であり、学術的には金属/セラミックス界面で精力的に研究されているように原子レベルでの界面構造、すなわち、エピタキシーの問題や界面における転位の運動などの解明が重要である。また、界面のエピタキシーは複合材料ばかりでなく、結晶粒界、相変態における生成相/母相界面、時効過程における析出物/母相界面、鉄鋼材料の不働体皮膜の界面などでも常に観察されるもので、それを通じて材料の特性を支配しており今後の重要な研究課題の一つであろう。

8.4.5 鉄鋼系機能材料開発におけるプロセス革新の展望

(1) はじめに

機能材料に関する解説書や雑誌に目を通して見てもバルクの鉄鋼材料についてはほとんどふれられていないことが多い。しかし、量的規模から見てもまた現代文明を支える必須の基礎資材ということからしても、珪素鋼板に代表される鉄系電磁材料が機能材料の横綱であることは論をまたないであろう。このほか、制振材料や熱膨張制御材料等々数多くの鉄鋼系機能材料が使われている。

ところで機能性材料と呼ばれるものの中には成分設計がポイントで製造プロセスにおいては既存のシステムの中での最適化で事足りている例も少なくない。

一方、珪素鋼板の歴史は前世紀末のHadfieldによるFe-Si系合金の発明以来、1934年のGossによる一方向性珪素鋼板の開発、近年我が国で行われた高級方向性珪素鋼板の開発とプロセス革新の積重ねによってつづられている。またア

Table 8.7. Examples of recent process innovation.

| Product area | Innovative process |
|--------------|--|
| Functional | F-1 Magnetic domain refinement ¹⁾ F-2 Melt quenching ²⁾ F-3 CVD and subsequent diffusion annealing ³⁾ |
| Ordinary | O-1 Vacuum degassing O-2 Continuous casting O-3 Continuous annealing |

¹⁾ For grain oriented Si steel sheet.

²⁾ For amorphous foil.

³⁾ For 6.5%Si-Fe sheet.

Table 8.8. Motives of new process development.

| Category | Motives for development |
|----------|--|
| I | Realize specific material quality impossible to achieve through existing production system |
| II | Realize significantly efficient new production system |
| III | Challenge to create novel microstructure by original means, expecting discovery of unique material quality |

Corresponding examples in Table 8.7: I, F-1, F-3, O-1; II, O-2, O-3; III, F-2.

モルファス材料や、最近の 6.5%Si 鋼の実用化もまさに革新プロセスによってもたらされたものである。

ここでは上の例を含め、比較的身近な革新プロセスの事例を思い起こしながらこれを整理し今後の発展方向を展望したい。

(2) 近年における革新プロセスの事例

Table 8.7 は革新プロセスの事例を機能性鋼種と汎用鋼種の二つの分野について 3 例ずつ選んでみたものである。一般にプロセス開発の動機は Table 8.8 に示すような三つの類型に分類できるように思われる。第一の類型のキーワードは「目標品質実現」である。従来プロセスに依存していたのでは目標の組成や組織、それに形状などの実現が困難であるという状況を克服するために、基礎的な知見をベースに周辺技術の進歩を取り込んで斬新なシステムが開発される。上の例では方向性珪素鋼板の磁区細分化技術と 6.5%Si 鋼板製造のための CVD・拡散焼鈍技術などの機能性材料製造用専用プロセスがこれに該当する。また汎用鋼種を対象にした真空脱ガス技術もこのカテゴリーに入れることができるであろう。第二の類型のキーワードは「合理化」であり、ある製品または製品群を対象に次に述べるような面での合理化を通して既存のプロセスからの脱却が図られる。この場合の合理化の視点は省資源、省エネルギー、省力、低公害、労働環境改善、歩留り向上、品質の一様性向上などである。上の例では連続製造技術と連続焼鈍技術がこれに該当する。第三の類型のキーワードは「未知への挑戦、発見」である。ここでは最初従来とは全く異なる状況下で新しいタイプの材料を創製する試みがなされ、得られた材料が従来材料にない際立った振舞をす

ることが発見されると、それを実用材料として活用することを目標とする動きが現れ、製造法が工業的規模のものに育てられていく。上の例では液体急冷アモルファス薄帯製造技術がこれに相当する。

(3) 機能性鉄鋼材料開発への期待と可能性

21 世紀に向けて我々は従来の浪費型、汚染型の生活を反省し、地球環境の保全と生活空間の安全と快適性の保全を前提とした社会を構築しなければならない。また我々の日常生活の中には急速なテンポで情報化の波が押寄せてくるであろう。同時に科学技術の最先端では精緻な要素技術とシステムの開発・応用がますます進んでいくと思われる。これらの動向に対応して、省エネルギー、クリーンエネルギーの利用、リサイクル、騒音・振動の抑制、電力機器・情報機器・エレクトロニクス機器の効率化・小型化、機構部品の精度信頼性の環境変化（例えば温度・磁場）耐性などの問題の重要性が増すであろう。当然のことながら、これには種々の材料の機能性の改善・活用が関わりをもってくる。鉄鋼材料が従来果たしてきた役割と資源の豊富さ、リサイクル性、エネルギー原単位の低さ、材料としての多様性などの特徴から考え、鉄鋼系機能材料の改善や創製への期待はますます高まっていくものと思われる。

材料科学の領域に目を転じてみるといくつかの分野に新しい発展の萌芽が見える。中でも興味を引くのが「超高純度鉄およびその合金」、「サブミクロン結晶粒径材料」などの分野での最近の研究成果である。これらの材料は従来の実用レベルでの純度や結晶粒径での経験則を外れた魅力的な振舞をすることが明らかにされつつあり、今後の研究の展開は機能性材料の創出にさまざまな形で影響を与えるであろう。

いうまでもなく、今後の機能材料の開発においては従来の材料科学の枠の中での独自のコンセプトによるブレークスルーが行われ続けることが期待されるが、これに加えて上に述べた新しい知識による夢の拡がりの影響もいろいろな場面に現れることが予想されるのである。

(4) プロセス革新による機能性材料開発への期待

Table 8.7 での事例と Table 8.8 での類型に関連づけながらプロセス技術の発展方向を模索し Table 8.9 にまとめてみた。ここでは第一、第二の類型について述べる。第三の類型については (5) でふれることにしたい。

(a) 「目標品質実現」型プロセス

既存の鉄鋼系機能材料は非常に多岐に亘っている。また将来開発が期待される材料にもさまざまな可能性があると思われる。これらを網羅的に扱い展望することは筆者の能力を越えている。ここでは (2)、(3) でふれた事例との関連で二、三の視点を示すのみにしたい。

(2) でこの類型の事例を 2 例紹介した。そこでは技術の内容についてはふれなかったが、少し中味を覗くと、磁区細分化技術の一つの方法としてレーザーが、また 6.5%Si-Fe 用の CVD においては四塩化珪素が使われていることなどが見

Table 8.9. Viewpoints for future development of processing technology for functional products.

| Category | Viewpoints for future development |
|----------|---|
| I | <ul style="list-style-type: none"> Utilization of existing & emerging technologies and related resources in outer sectors of steel industry, such as semiconductor and non-ferrous industry Importance of surface and interface |
| II | <ul style="list-style-type: none"> Indispensable to maximize efficiency of the total system Application of emerging technologies such as direct strip casting and rolling |
| III | <ul style="list-style-type: none"> Importance of discovery of new chemistry, microstructure-property relationship Contribution from activities of the newly organized "Create shape create quality" group in ISIJ anticipated |

えてくる。すなわち、前者においては表面に局部的に歪を与える手段として工業的に応用できる段階に成長してきたレーザーが活用され、また後者においては圧延後の鋼帯に珪素を添加する手段として半導体工業の発展によって大量供給が可能になった四塩化珪素が活用されている。いずれも周辺分野、異分野での技術進歩を自己の目標達成のためのコンセプトに組み込むことによって技術を完成させているのである。今後もそれぞれの目標に応じて周辺や異分野の技術や資源が活用されていくであろう。

(3) では最近の材料科学分野での新しい展開についてふれた。ここで得た知識を特定の品質目標と結びつけ最適の製造システムを確立しようという試みも数多くなされるものと思われる。この場面においても半導体における精製技術、非鉄金属における電磁プロセッシング技術などを初め異分野での技術や研究手法を導入発展させていく動きが見られるであろう。

高純度化や超微細粒化という目標は汎用的性格をもっている。したがってある特定品種で実用化された方式が他の品種に応用され適用範囲が広がっていく状況が見られるであろう。これは Table 8.7 の事例の一つである真空脱ガス技術の歴史の中にも見られた発展の姿である。

初めにふれた珪素鋼分野の固有技術はいずれも表面・界面に関わる技術である。この分野の次の飛躍のための有力候補技術である三次再結晶法も表面エネルギーの異方性を利用している。この分野のみでなく粉末冶金、傾斜機能化、複合化などの場面でも表面・界面に関わるプロセス技術は重要な役割を果たすものと思われる。

(b) 基盤としての「合理化」型プロセス

珪素鋼板の場合においても、今世紀初頭に工業生産が開始された時期には実用化されていなかった塩基性純酸素転炉、連続 casting、熱間連続圧延機、冷間連続圧延機などの近代鉄鋼生産における基幹的革新技術を取り込みながら現在の製造シ

ステムが構築されてきている。今後の鉄鋼系機能材料の製造においても Table 8.8 の第二の類型に属する基幹技術を取り込みこれを活用して発展していくことが予想される。

最近実用化の緒についた薄鉄片連続 casting 技術とこれに直結した熱間連続圧延技術などはこの類型の一つの事例といえることができるであろう。機能性材料の量的規模（特に萌芽・成長期において）から考えると、生産手段としては従来型の量産システムよりも適当な規模の電気炉と上記システムの組み合わせの方が合理的であると判断されるケースも多いであろう。

このシステムが採用される場面では、既存の製品群においても凝固組織形成や加工熱処理の影響などの観点から化学成分とプロセスの見直しが行われるであろう。またこのシステムの特徴を活かした新しい製品の開発が行われる可能性も考えられよう。

(5) おわりに

プロセス開発が独自性が高く品質に優れた機能材料を製造する上での必須条件であることは歴史の示すとおりであり、今後も斬新なプロセス開発が進められていくであろう。また一方では既存のプロセスや汎用性の高い新種の合理化プロセスを活用してコストを削減する努力も続けられるであろう。

プロセスはあくまでも手段であって、初めに作るべき製品コンセプトがなければならない。プロセス開発を実効あらしめるためにもユーザーの立場に立った先見性と洞察力をベースにした目標設定がますます重要になるであろう。

一方これとは逆に、最初は品質目標を明確にせず新しい品質の発見を夢みて、従来とは異なる条件で材料を作ってみる第三のタイプの進み方がある。多くのオリジナルな技術がこのような動作の中から生まれることを歴史は教えている。短期的な経済合理性のみを追求する立場ではこの類型への資源投入は許されないであろう。しかし技術の永続的な発展のためにはこの小文で述べた三つの類型についての開発がバランスよく進められることが望ましい。既存の多くの技術の源が欧米にあることを知る時、鉄鋼技術最先進国である日本で 21 世紀以降の世界鉄鋼業の繁栄の源になる技術を芽生えさせることは我々の使命とも言えよう。このような意味で本協会の学会活動グループの一つが「創型創質」という旗印のもとに活動を始めようとしていることは意義深い。

8.4.6 ステンレス鋼の将来展望

(1) これまでの需要動向と影響要因

我が国のステンレス鋼の生産は、およそ 40 年前に始まり 1962 年以降著しい量的成長を遂げた。

Fig. 8.41 には、近年におけるステンレス鋼板の国内需要量と GNP の推移を示すが、平準化した需要量（図中の破線）は右肩上りで推移し、かつ、GNP とかなりの相関を有している。しかし、実績値の推移を見ると GNP に比べより激しい上下動を繰り返しており、景気動向に左右されること大で