



UDC 669.14.001.5

鉄鋼材料開発の将来

荒 木 透*

Prospective View of Development of Steels and Relative Materials

Toru ARAKI

1. 結 言

鉄鋼材料の量産技術は、19世紀ベッセマーの転炉、シーメンズの平炉等製鋼法の革新とともに大きく飛躍した。以来主として構造用材料としての鉄鋼は人類社会の極めて広い範囲に大量に使用されるようになり、近代産業と文明の発展に大きく貢献してきた。

この量産用鉄鋼材料は、通常「普通鋼」(なかんずく軟鋼)と呼ばれるものであり、価格の低廉なことと適度の強度と延性を備えた優れた力学的特性によつて、金属材料の中でまさに圧倒的な量の王座を占めてきた。このことは今後も、製鉄-製鋼-加工-処理の近代的量産技術の限りない発展による経済性の追求と品質の進歩によつてさらに長期にわたつて続くであろう。

一方、古代の道具、刀剣武器等から発達し近代の機械文明に要求される各種の特殊な性能を満たすようになった焼入硬化鋼を中心とする「特殊鋼」の発展のあとも著しい。普通鋼では得られない高度の力学的諸特性を備えた各種の特殊鋼がある。中でも機械構造用鋼は自動車、兵器等を中心とする用途に向けて量的に大きく発展した。

さらに耐環境的化学特性を備えたステンレス鋼、耐熱合金等の発達、また、物理的特性、とくに電磁特性等を目的とする機能性材料が新しい時代の材料として登場しており、特殊鋼は今後ともますます多様化し、それぞれ時代の要請に適合した特殊な性能を発揮する材料として多元的に使命を果たしてゆくものと思われる。

金属としての鉄鋼材料に対応する用途に、古来構造材料として石材(無機材料)、木材(有機材料)が量的に用いられてきた。主として力学的性能の差と価格、経済性の理由によつてこれらの材料が使い分けられてきたが、近代に至り鉄鋼に加えてコンクリート、セラミックス、プラスチックの時代となつた。これらは例えば電柱、鉄道枕木や新建材の例に見るようにお互いに競合

し、あるいはお互いに複合して用いられてその特性を利用されるようになってきている。今後これらの材料にはそれぞれに要求される特性のあり方にも使用される量にも相互に変遷がみられてゆくであろう。

近代の自動車用材料についてみると、軽量化、省エネルギー化、安全性、経済性などの向上が求められ、鉄鋼材料そのものの品質は他材料との激しい競争に打ち勝つてなおも革新をとげてゆくことが期待される。

以下、鉄鋼材料の将来の進展に向けての技術開発と研究の方向について考察し展望を述べたい。

2. 量産普通鋼の変革

2.1 軟鋼からの脱皮、高張力化

量産の普通鉄鋼材の量的な主流は現在フェライトに少量のパーライトを混じた組織を有する「軟鋼」によつて占められている。少量の無規格に近い軟鋼材を除けば、一般構造用圧延鋼材例えばSS41(:降伏点 245 N/mm²以上)ならびに類似の強度特性を持つ規格鋼材が、棒・線材、板材、鋼管等の各種の形状の製品として、土木、建築、造船、車輛、機械等数多くの用途に向けて量産され使用されている。

これらの軟鋼材には、それぞれの用途に適するようになり、あるいは溶接性、表面処理特性、プレス加工性、低温靱性等々の性能が要求され一様なものではない。また高度の製造技術上の進歩が行われてきた結果、品質的にも細かく専門分化され高度化してゆく傾向にある。

例えば自動車用冷延鋼板においても、自動車工業の目ざましい発展に合わせて表面品質、寸法精度や深絞り加工性、耐食処理技術等についての著しい進歩があり、使用目的部品に応じた多くの品種が設定されている。その他建材用各種めつき(塗装)鉄板においても曲げ加工、絞り加工、溶接その他の加工性や表面品質等が使用の合理化とともにますます多面的に要求されるようになり、品種が多様化している。

昭和56年8月25日受付 (Received Aug. 25, 1981) (依頼展望)

* 金属材料技術研究所 工博 (National Research Institute for Metals, 2-3-12 Nakameguro Meguro-ku 153)

ここで今後とも量的に用いられる鋼材としての軟鋼について、予想される将来に向けての課題が何であるかを考えてみよう。

まず、石油危機以来現実の認識となつた資源有限化時代に対応するものとして、使用設計上の材料の節約と長寿命化への要求が挙げられる。

構造材料として耐力的に使用される鋼材の節約は必然的に「経済的な高張力鋼」の普及化の要求となろう。多結晶フェライトに少量のパーライトを混じたマイクロ組織を有する「軟鋼」が本来持っている優れた延性、加工性をあまり損なわない範囲で強度を上昇させるには、後述のこれに適した強化機構の選択¹⁾が重要である。

一方、経済性の観点からすると、使用量の節約にみあつた価格上昇以上にはコストが上昇しない製造プロセスを選択しなければならない。例えば、熱間圧延鋼の場合は別個の熱処理を施さないう高張力化が果たせる「非調質」の範囲が求められ、冷延鋼板の場合は焼なまし過程の連続化等革新技術によつて生産性と経済性の向上が可能でなければならない。

これらの鋼使用量の節約と合理化の実現は、性能が優れ、より経済的な高張力鋼の開発、普及と使用者側の設計技術の改良進歩に待つ処が大きい。一般に高張力化によつて鋼材は使用断面を単純に減少することができるに限らず、「低価格材料との複合的な使用」や「断面設計の改変」についてのくふうが求められるからである。

さらにもう一つの方向として、量産鋼の長寿命化を実現する手段として一般的な耐候性化と表面処理の普及、革新の二つが考えられる。Cu, Cr などいわゆるトランプレメントがごく少なく、P も低いレベルに抑えた現行鉄・鋼一貫製造法によつて生産される軟鋼は耐候性が比較的よくない。これに対して各種有効元素を配合した耐候性鋼が別途に規格化されているが、これに近づける方向で今後一般用量産鋼の耐候性を経済的に高めることを冶金技術的に検討するとよいと思われる。

これを達成する一つのアイデアとしては、ラテライト等廉価な鉱石の利用によつて一般鋼の Ni, Cr, Cu など微量金属元素のレベルを一定値に上げる方法がある。もちろんこれによつて生ずる過渡期のデメリットをいかにして最少にするかについてのくふうや冶金管理上の問題を総合的な経済性の点から解決しなければならない。

以上総括すると、現在「軟鋼」の種々の変形として多様化しつつある量産圧延普通鋼材についての高張力化と耐候性化は、生産技術と管理技術の進歩によつて当面の普及の壁を乗り越えて進むことが期待される。これは原料から成品までの一貫した工程のコンピュータによる総合管理の進展によつて可能性を増すものであろう。

2.2 強化機構から見た非調質高張力鋼の今後

軟鋼の高張力化についてはそのマイクロ組織の「強化機構」に基づいて論じられることが多い。ここで簡単のた

めに、つぎのような分類¹⁾²⁾と記号を用いることとする。

(イ) マトリクスの強化 (サブミクロ的)

(A) 固溶強化……(A₁) 置換型固溶強化
……(A₂) 侵入型固溶強化

(B) 転位強化

(C) 粒界強化……(C₁) 粒界, …(C₂) 亜粒界

(D) 析出強化……(D₁) 整合析出強化

……(D₂) 非整合析出強化

(ロ) 組織の複合による強化 (光学顕微鏡的)

(a) 異なる組織の (イ) の複合による強化

(b) 鋼組織と他材種の粒子、せん維等との複合による強化

まず、軟鋼は従来そのフェライトマトリクスについて、(A₁) 置換型固溶強化 (Si, Mn, P) ならびに、(B) 粒界強化 (微量の AlN, Ti, V, Nb 等による結晶粒の微細化) による機構が主体となり、少量の (D₁) 整合析出による附加的強化によつて高張力化が計られた³⁾。これによつて圧延状態で 100 N/mm² 程度以上の降伏強さの上昇が効果的になされる。

(ロ) の (a) パーライトの混合による複合強化は、引張強さの上昇ほどに降伏強さの上昇には効果がない。従つて、溶接性や延性の保持の点からはむしろ炭素の含有量を下げ、パーライトを極力少なくしてフェライト多結晶そのものの強化を主体とする強力化を計る方が好ましい。(pearlite-free steel)。

溶接構造等の用途に対しては低温靱性等への考慮からその機構上最も有利な (C) の粒界強化が品質の向上には最も有効である。微量添加元素 (マイクロアロイ) による微粒化をいかに経済的にかつ安定に再現させるかという技術⁴⁾が 1970 年代での主課題の一つであつた。

しかし、同時に発展してきた制御圧延 (controlled rolling)⁵⁾⁶⁾ 技術の進歩は圧延ままの状態での微粒鋼の品質について画期的な向上を可能とし様相を変えつつある。熱間圧延時における各パスの温度と塑性加工度 (圧下) の制御を十分な確度をもつて再現性よく行えるようにする技術が進歩するにつれて、制御圧延 (以下 CR と略す) 法は鋼材の冷却-変形-変態点 (Ar_{3D}) 以下の領域での熱的加工過程をも多くとり入れるようになり、圧延後のフェライト組織の結晶粒・亜結晶粒の微細化と制御が適確に行い得るようになりつつある。これによつて、Ti, Nb, V などによる微粒化機構は 2 次的な役割を果たしてゆくことになろう。

圧延設備ならびに管理技術の今後についてみると、省エネルギーの見地からの連続鑄造片の直送圧延技術の強化などの課題とともに、いかに CR 法をその目的に沿つた温度と塑性変形の組み合わせのもとに実行してゆくか、という課題が解決され進歩してゆかねばならない。またこの CR 技術には、圧延後の冷却熱履歴の制御 (冷

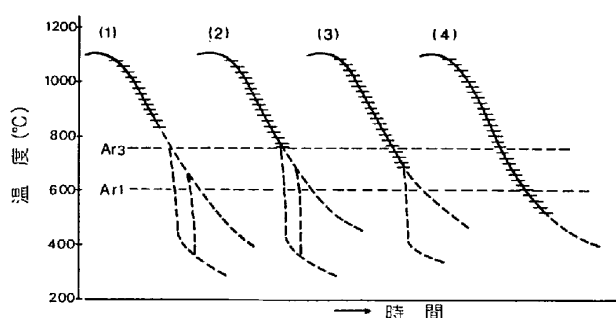


図1 制御圧延冷却技術の4形式(将来, 非調質, 調質, 複合組織の各種鋼に応用を想定)

制制御)の設備技術の進歩を伴うことが当然必要である。

このような圧延過程ならびに冷却過程の冶金的制御に対して現在試みられつつある技術がさらに進歩することによって, つぎのような四段階の強化による量産鋼の高張力化が用途により使い分けられるであろう。(図1参照)

(1) Ar_3 変態点よりかなり高く圧延を終了し, オーステナイトの動的ないし静的再結晶粒の状態から適当な冷却速度により冷却する。均整細粒の多角形フェライト結晶粒をもつた組織が得られ, 冷却速度を速く制御することによって若干の強化が得られる。主強化機構: $(A_1) \times (C_1)$

(2) Ar_3 変態点(厳密には加工誘起変態の開始点 Ar_3D) 直上の温度まで圧延を継続し, 動的回復(と再結晶の一部)の状態のオーステナイトから冷却制御に入る。微細に核発生したフェライト結晶粒よりなる比較的均整な微細フェライト結晶組織が得られる。主強化機構: $(C_1) \times (A_1)$

(3) Ar_3 と Ar_1 の中間の適当な温度まで圧延する。主として動的回復過程にあるオーステナイトとフェライトの混合組織から冷却制御に入る。圧下のスケジュールを適当にとることにより, 極めて微細な強化フェライト結晶・亜結晶組織が得られる。主強化機構: $(C_1 + C_2) \times (A_1) \times (B)$

(4) Ar_1 変態終了後も若干の圧延(塑性加工)を行う場合。この際, γ - α 変態中の塑性変形と生成フェライトの温間塑性変形が引き続いて行われ, 極めて微細な亜結晶粒の集合組織傾向の強い下部組織が得られる。低温靱性を保つためには, 結晶方位的に見たマイクロ組織制御をパススケジュールに盛り込む技術の革新が必要となる。主強化機構: $(C_2) \times (B) \times (A_1)$

以上の四つのケースのうち, (1)と(2)は鋼板等においてすでに普及しつつあるCR技術であり, 異方性やセパレーション(デラミネーション)等の問題は少ない。今後型鋼, パー線材等の製品へも一般化し応用され, 軟鋼の高張力普及化に貢献してゆくであろう。

(3)および(4)については, その品質ならびに設備と経済性に今後の発展を予想することによって, 特別な合金元素等を配合せずに一段と高い強度レベルに用い得る非調質高張力鋼の普及が考えられる。圧延によるフェライトの塑性加工量があまり多くない条件下ですでに実用され合金元素の節約に大きな寄与があることを示している。

一方において, 以上の考え方とは異なつた種類の高張力化が進められよう。

例えば, 自動車用量産高張力鋼⁹⁾について各種の強度レベルのもの利用が考えられるが, その主体をなすものは成型加工性を要求される薄鋼板である。

前述のように, 自動車に用いられる鋼板材は安全性の規制と省エネルギー軽量化の要求によって高張力化が求められる。また設計上にもハードトップモデルなどの形状, 力学的な理由から強度と成型性の確保が必要となる。一方材料の低価格化, 長寿命化, 資源のリサイクル等の要求から, 他の材料, アルミニウム系, プラスチック系との競争に優位に立つための技術面の向上努力が続くと考えられる。

高成型性薄鋼板材料としては, 近年盛んな開発が行われつつある含マルテンサイト複合組織(二相)鋼(dual phase steel)^{9)~10)}の高張り出し特性が注目される。これは冷延鋼板の $\gamma + \alpha$ 2相域よりの急冷によって得られるフェライト-マルテンサイト組織のもつ特徴的な低い降伏(強度)比と高い加工硬化指数 n 値によるもので, 熱延薄鋼板の冷却制御と低温巻き取り技術によっても類似の組織と特性が得られる⁹⁾¹⁰⁾。その強化機構は前記(ロ)の(a)であり, マトリクスフェライトは成型加工後(B) $\times (A_2)$ によるベーキング硬化が可能で塗装焼付け後高降伏点を得ることができる。

また深絞り特性, 伸びフランジ性の高いことを要求される部品にはランクフォード \bar{r} 値の高いP固溶強化型(A_1)の含リン高張力鋼が用いられつつある。これら二つの種類の高張力鋼は現状では車体部材用薄鋼板として一部に用いられているのみであり, 内, 外板の主体に用いられて全使用薄鋼板の50%以上を置き換えるには, 二相組織にP固溶に匹敵する伸びフランジ性を付加して, それぞれの部材に適合した特性を持つた各種の高張力鋼板が開発されてゆく必要がある。その場合, 圧延と冷却の全過程を通じて力学的, 熱的に制御する技術を完成し, 強化機構的に, ミクロ組織を調整し, 必要な特性を得ることが可能になることを期待したい。

鋼板類のプレス成型加工は, エンジンのシリンダーブロック等 casting 部品のプレス成品化による軽量化という革新加工技術の登場によって将来大幅に応用範囲を広げる可能性があり, 性能の良い成型用高張力鋼板が要求されるであろう。

厚みを増した鋼板類の高張力化には上述の制御圧延に

よる加工熱処理 (TMT と略す) 的効果を発揮させるのに技術上の困難が増してくる。またセパレーション、異方性、ラメラティア等の問題についてより強く解決を要求される。複合組織鋼を目的に沿った形で得るためには B 処理や合金成分として Si⁹⁾, Mn 等をより多く配合しつつ、($\gamma + \alpha$) 低温域圧延の強化等の方法があるが、同時に溶銑予備処理、溶鋼炉外製錬等の製錬技術の進歩による不純元素と介在物の極少化と Ca 等による硫化物形態制御などの技術の発展がこれを助けることになるであろう。

3. 各種の強力鋼

3.1 焼もどしマルテンサイト系低合金鋼

機械構造用を中心とする高強度鋼は、焼入焼もどし・調質処理による「焼もどしマルテンサイト」組織の強靱性を利用するもので、歴史的に低合金鋼系特殊鋼の主要な位置を占めてきた。戦後開発された調質型溶接構造用高張力鋼も原理的にこの延長線上にあつた。これらは強化機構上 (B_m) \times (D_2) \times (C_2) \times (A_1) によるバランスのとれた組織¹⁾ で強靱性保持に有利な典型とされる。

これらの鋼種に要求される性質は、主として降伏強さ、切り欠き靱性、疲労耐久限度等の強度と靱性とを併せ持つことであり、用途によつては表面硬化特性や溶接性などが付加される。今後、切削の自動化、冷間鍛造やプレス等の加工技術の革新と多用途化が進むことによつて、被削性 (切りくず処理性)、冷鍛性、プレス成型性などの特性を同時に満足することが要求され、その規格も多様化によつて対応することになるであろう。合金元素としてはできるだけ廉価な Mn, Si と微量元素の組み合わせが選ばれ、安定性を増した B 処理が多く利用されよう。

また同時に、省エネルギーの命題と工程省略による経済性の向上のために、焼ならし、焼なまし等の加工前熱処理をできるだけ省略する方向のくふうがなされ、また鍛造、圧延後の直接焼入れ、制御冷却等が可能なかぎり用いられよう。

例えば、前述の熱間圧延鋼における制御圧延・制御冷却技術の成熟化によつて、機械構造用鋼 (主として Mn-B 鋼等) の組織調整を別個の熱処理作業によることなく、圧延-冷却の工程中に熱履歴として折り込んで目的を達することが可及的に行われてゆくであろう¹⁴⁾。

この方面で、フェライト-マルテンサイト (ベイナイト) の複合組織鋼の利用は一つの課題である。このような組織の鋼の切りくず処理性が優れている¹⁵⁾のは、著しく高い切りくず局部の塑性加工度における破断脆性によるものであり、通常の加工度 (成型、冷間鍛造) の場合には初期の低降伏比が有効に作用して加工性を高めることは興味ある現象である。

今後調質型溶接用高張力鋼の引き続いての用途としては、800 N/mm² 以上のレベルで使用される大型ライン

パイプ用鋼や長大橋、超高層建築等の主要部材、ペンス、トック、海洋大型構造物、石油掘削リグ等の用途があり、将来 1 000 N/mm² 級への使用拡大が考えられる。これらに対しては信頼性の立場から低炭素低合金鋼の焼もどしマルテンサイト組織を利用し続けることが当分考えられ、置換型合金元素として Fe-bcc マトリクスに対して延・靱性付与効果の大きい Ni¹²⁾ の利用をできるだけ有効に発揮させるくふうがなされよう。

3.2 合金超強力鋼

ここでは約 5% 程度以上の置換型合金元素を含む合金鋼で、密度当たりの強度が高く、自重の低減と比強度設計の合理化が命題とされる鋼種について考える。これまでに開発されてきたこれらの鋼種は P, S その他の不純元素の極低減と非金属介在物の極少化に貢献する近年の製鋼、造塊技術の進歩によつて品質を高めており、さらに低合金の鋼種においてもかなりの強度と靱性が得られて広く航空機、宇宙等にも用いられるようになっていく。しかし破壊靱性値の観点から信頼性が高い含 Ni-Co 中合金鋼¹³⁾、マルエージ鋼等の将来は特定の用途例えば、大型固体ロケット、ウラン超遠心分離器、深海潜水艇等に対してはあるていど続くものと考えられる。

実用される強度としては、2 400~2 600 N/mm² が一つの大きな壁であり、これらのクリティカルな用途に対しては、特に優れた加工性能が要求され、また環境強度として見た破壊特性を十分検討しながら開発実用化が進められよう。

エネルギー貯蔵用フライホイール等の未来用途をも含めて、強度対密度比 (σ/ρ) で評価した設計強度の比較では、超強力鋼に対して FRP, FRM (繊維強化複合材料) やチタン合金などの有力な対抗材料がある。経済性と耐熱性、信頼性において鉄鋼材料ないし類似 Ni 基合金の優位が当分考えられるが、将来複合材料の進歩がこの相対的關係を変えることもあり得よう。

4. 耐環境性鋼, 耐熱合金

4.1 耐環境性被覆-複合鋼

とくに通常的环境に対する耐候性、耐食性を高め寿命を永めた鋼種と併行して、特殊な環境に耐えるよう表面被覆を行い、あるいはいわゆるクラッドによつて異材種を複合した材料の開発は今後の鉄鋼の用途を拡大し保持する上で重要である。

自動車用鋼板等においても、塩水腐食に耐えるよう Zn-Ni, Zn-Al 等の高耐食性めつき技術あるいはジニクロメタルのような特殊塗装を複合的に用いる技術¹⁴⁾の開発が続いて進歩しよう。またとくにきびしいエネルギー関連化学の環境については、チタンクラッド鋼、サーメットクラッドなどの特殊複合材料の経済的な製造技術の開発が望まれる。後者はとくにエロージョン、アブレーションなどが加わった腐食環境に対するもので特殊な複

合加工技術によつて実現可能と考えられるものである。

また、核融合炉等において想定される高速中性子およびプラズマによる衝撃に耐えるための表面コーティングとしては、現在 SiC, TiC 等の低原子番号セラミック材料の表面被覆処理技術が一つの課題である。このような特殊なニーズへの研究の波及効果として、きびしい環境に耐える新しい種類の表面複合鋼板が開発されることも期待される。

4.2 ステンレス鋼

ステンレス鋼のうち、一般環境での不銹性を主対象とする量産鋼種においてとくに近年大きな伸びを示したが、さらに量産鋼として経済性と生産性の向上に開発の重点が進められよう。量産ステンレス鋼としては製鋼、造塊等生産技術の進歩とともにいつそう 18-8 系から脱ニッケル化が計られ、低炭素窒素化、マイクロアロイの添加等によつて低廉かつ良好な性能が確保されてゆくであろう。

いつぱり、苛酷な環境に耐える鋼材としては、応力腐食、高温腐食環境における疲れ破壊などに対する材料としての対応が専門分科してゆき、それぞれの環境に適する材種として特殊品種化する方向にむかうと思われる。

極低炭素高クロム系のステンレス鋼はフェライト系としての使用領域を拡げてゆくことになろう。

極低温用鋼として用いられるオーステナイト系非磁性鋼としては、Mn-Ni-Cr 系に析出強化を計った強力鋼種が磁気浮上列車や大型電動機、発電機、核融合炉など超電導の利用の進展とともに開発が促進され、高い疲労特性と安定度が極低温で求められよう。

4.3 耐熱鋼・耐熱合金

耐熱鋼としては、今後とも伸張する用途として高温の各種の環境に耐える圧力容器、タービン類、サーマルリアクター、排気弁、化学反応装置等に高い性能を要求される。Cr-Mo 系のフェライト鋼、12Cr 系マルテンサイト鋼より含 Ni-Cr 系の多元素配合のオーステナイト鋼ないしニッケル基超耐熱合金にいたるまで、性能的に耐環境性と耐熱強度（クリープ、高温疲れ、熱疲れ）などを同時に最高に発揮させることは難しく、それぞれ用途に適した最高の性能を満たすものがつねに新しい鋼種として生み出されてゆくことになる。

まず耐熱性、クリープ破断強度のみに着目して Ni 基耐熱合金の最高耐用温度の発達のをみると、図 2 のごとく 10 年間に 50° 程度の向上が実績としてなされてきたことが見られる。

これらの耐熱合金はガスタービンやジェットエンジンの動翼等高応力の高温部材に適するように、合金成分や析出相の調整によつて耐用温度を高め発展をとげてきている。しかし鋼ないしニッケル基合金の融点は 1500°C 辺に限界があり、これに近づくと従つて耐用温度の上昇は頭打ち傾向がみられたが、合金設計手法の進歩¹⁵⁾がこ

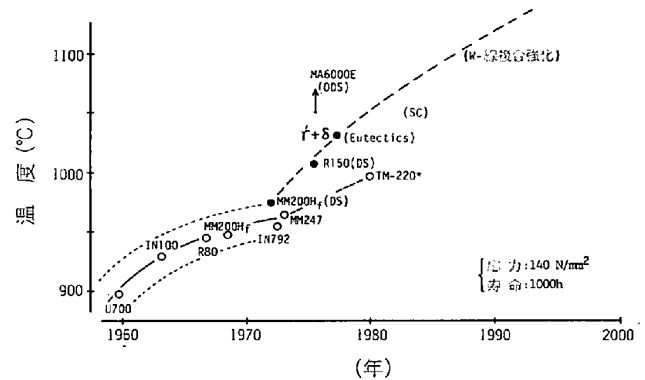


図 2 タービンプレード材超耐熱合金の耐用温度の発展 (DS: 方向性凝固, ODS: 粉末冶金セラミック分散合金, * 印は金材技研開発の合金設計によることを表す.)

れに新しい可能性を与えるようになった。

この種の合金における強化機構は、その母相 (γ) そのものの置換型固溶強化 (A_1) を W, Mo, 等の高融点元素によつて行い、金属間化合物 (規則格子相 γ') の 65% 程度までの整合分散による強化 (D_1) を主体とするものである。合金設計はこのような組織をベースにし、耐熱強度特性と延性、硫化物腐食への耐性などの要求を満たすような合金元素の選択について半経験的な関係式を多く結合して最適の条件を電算機により求めるものである。この手法は極めて多成分系のこの種合金には適した有効な手法であり、他の用途の多成分系の各種特殊鋼、合金の開発に将来発展して多く利用されてゆくと期待される。

耐熱合金の融点の壁を打開する新しい技術として、近年さらにつぎの二つの手法が開発されつつあり¹⁶⁾、図 2 に示すように今後の最高耐用温度はさらに直線的に上昇を続けるものと思われる。

その 1 に、これまで多結晶体として精密鑄造していたブレード材等を一方向凝固 (DS) ないし単結晶化 (SC) することによつて、クリープ特性や熱疲れ等を著しく向上させることである。方向性凝固晶は弾性定数や熱的性質の方位が最適となりまた横方向の粒界がなくなり延性も向上する。単結晶化すればさらに結晶粒界の消滅によつて、粒界強化のために C, B 等融点を降下させる合金元素を配合する必要がなくなり、高融点置換固溶を主体とする有利な合金設計が将来なされてゆくであろう。

第 2 の手法は複合強化によるもので、つぎの 3 技術が有効に利用され実用化されてゆくと考えられる。すなわち

(1) γ あるいは $\gamma + \gamma'$ の母相に、TaC, NbC 等の炭化物あるいは金属間化合物 δ の共晶析出を方向性凝固により繊維状に配列させて繊維複合 (in situ fiber composite) による強化を行わせ、高温強度を著しく上昇させる。

(2) Y_2O_3 等セラミック粒子を超耐熱合金母相に分散し、方向性結晶ないし単結晶とした粉末冶金-機械合金 (mechanical alloying) 技法による製品によつて耐温度を上昇させる。

(3) タングステン細線束をもつて耐熱合金母相内に複合した耐火金属繊維複合合金粗材によつて著しい耐温度および弾性率等強度の上昇が得られる。

さらに高い温度域 (1300°C 以上) ではセラミックス例えばサイアロン等が過酷な耐熱環境の材料として開発されてゆくことにならうが、延・韌性と成品の再現性の改善がかなり行われても、動翼に用いるに至ることは当分困難であろう。金属とセラミックスは複合ないし相補的な使用法によつて将来ともにこのような用途に貢献することになるものと思われる。

高温ガス (原子) 炉による製鉄ないし石炭転換技術の開発にも、熱交換器やガス、スラリーの循環系の機器、管、バルブ類が過酷な環境に耐える耐熱材料の進歩を要求している。1000°C, 10 N/mm² に耐える鍛造可能な Ni-Cr-W 系超耐熱合金はすでに国の大型プロジェクトとして開発研究されたが、今後実用化に向かつて各種雰囲気耐えるエンジニアリングデータを積み上げてゆくことになるであろう。

また石炭ガス化、液化装置の技術開発においては、耐熱よりはむしろ過酷なエロージョン/コロージョンに耐える材料特性が重点となる。金属材料として高温高压の硫化水素等の腐食性雰囲気やアッシュ等の粉体による摩耗に耐えるには大きな困難がある。従来知識を抜かず新しい表面複合材料の創出がきめ手となるであろう。サーメットを金属材料に複合被覆する新しい加工技術の開発も一つの途であろう。

5. 機能性鉄鋼材料

以上、主として構造用材料としての用途に関して述べたが、物理的、化学的な性質、とくに電磁特性等の機能を発揮する材料にも未来の発展が予想される。

この種の材料で鉄鋼に近いものとして最近とくに着目されているものに、Fe-Si-B 等を中心とする急冷極薄板アモルファス (非晶質)¹⁷⁾ の電磁鋼板としての応用がある。アモルファスは耐食性、耐摩耗性などの優れた属性とともに電磁特性を有効に利用する機能的な各種の最適の用途を見出してゆくであろう。もしけい素鋼板に代わる量産的な用途に用いられれば省エネルギーの達成に大きな役割を果たすことになるが、ボロンの資源問題も含めて経済性と製造技術上の困難点を克服するにはかなりの年月を要するものと見られている。

機能性材料として将来の可能性のある鉄基合金としては、その組織の例から見ると、規則合金、金属間化合物あるいはスピノーダル分解による相分離組織等が挙げられる。これらの組織をもつ材料、たとえば $Fe_3(Si, Al)$,

Fe·Co, Fe·Ti, Fe-Cr-Co 等はそれぞれ特殊な機能特性を有しているが、さらにその応用価値を高めるために、塑性加工性を高める開発研究¹⁸⁾が望まれる。

このような材料技術では物理、化学、金属学等の基礎基盤的知識が比較的応用につながりやすい領域が多く、前述の強度、破壊や耐環境性に関連した合金設計が多くの場合遭遇する困難に比べて理論を扱う科学と実際面の技術開発との連けい協力が有効に行われてゆくことが期待される。

その他の機能性材料として、高減衰率を持つ防振材料として鉄鋼とプラスチック等の複合材料や熱弾性双晶マルテンサイト系の合金の利用等の将来の発展も考えられよう。

6. 結 語

以上鉄鋼材料の開発の将来についてとくに話題の焦点を絞つて論じた。未来の状況については、国際情勢についての異変を考慮しなかつた。そのようなことの一つに資源確保に大きな変化をきたした場合の代替材料の開発の課題がある。我が国の現況からこのような事態は極めて予測困難なことの一つであるが、今後の検討課題であろう。

本稿では、鉄鋼材料の先端技術の現況の各論については他の解説記事に譲り^{19)~24)11)}、現在の知識の延長でとらえられる範囲で将来の重要開発課題について考察した。現在の鉄鋼材料の主流をなしている量産技術には当分革命的な変化はないと考えたが、特殊な用途に向けての粉末冶金技術の革新や超塑性の利用、溶鋼直接加工技術等の新技術は材料開発の様相をかなり大きく変える可能性があると考えられる。

終わりに本稿起草にあたり調査に協力いただいた内山郁、山崎道夫、古林英一、山本重男の諸氏に謝意を表します。

文 献

- 1) 荒木 透: 日本金属学会報, 17 (1978), p. 711
- 2) 荒木 透: 日本金属学会報, 16 (1977), p. 610
- 3) 鉄と鋼, 58 (1972) 13 非調質高張力鋼特集号
- 4) 田中智夫: 日本金属学会報, 17 (1978), p. 104
- 5) 大沢 恂: 自動車技術, 34 (1980), p. 819
- 6) 武智 弘: 塑性と加工, 21 (1980), p. 109
- 7) 中川吉左衛門, 阿部英夫: 塑性と加工, 21 (1980), p. 116
- 8) 高橋政司, 国重和俊, 岡本篤樹: 日本金属学会報, 19 (1980), p. 10
- 9) 橋本 保, 沢村 武, 大谷泰夫: 鉄と鋼, 65 (1979), p. 1589
- 10) 古川 敬, 森川博文, 遠藤道雄: 鉄と鋼, 65 (1979), A189
- 11) 加藤哲男, 阿部山尚三, 上原紀興: 鉄と鋼, 67 (1981), p. 1409
- 12) 山本重男, 荒木 透, 中島宏興: 鉄と鋼, 66

- (1980), S 1214
- 13) 河部義邦: 機械の研究, 29 (1977), p. 203
 - 14) 平野 担: 神戸製鋼技報, 30 (1980), p. 4
 - 15) 山崎道夫: 材料科学, 14 (1977), p. 284
 - 16) 依田連平: 鉄と鋼, 65 (1979), p. 725
 - 17) 増本 健: 金属, 48 (1978) 700, p. 24
 - 18) 和泉 修: 日本金属学会報, 20 (1981), p. 472
 - 19) 荒木 透: 金属材料, 17 (1977) 10, p. 7
 - 20) 城戸敬一: 鉄鋼界, 31 (1981) 4, p. 18, p. 32
 - 21) 二上 菱: 日本金属学会報, 20 (1981), p. 191
 - 22) 荒木 透: 鉄鋼界, 29 (1979) 6, p. 22
 - 23) 浅田千秋, 沢 繁樹: 電気製鋼, 50 (1979), p. 64 p. 72
 - 24) Trends in Steel Technology, Metal Prog. (1981) Jan., p. 22
-