

気シールド鋼材特に軌道構造を支える強度構造体として非磁性鋼材などが検討されている。

高速化や重軸重化は今後いっそう進められる機運にあり、材質制御技術、高精度圧延、利用技術の開発を通じて保守の容易な、また使用環境に調和した鉄道を発展させる努力が今後も続けられることになる。

(4) 建設機械

内需拡大策による公共投資や民間投資による工事は地域開発型以外に都市開発型をも喚起し、都市開発型工事に使用される移動クレーン車や油圧ショベルなどの台数を伸ばしている。

移動式クレーンのブームには従来引張強さ 800MPa 級以下の鋼板が使用されてきたが、この期に引張強さ 950MPa 級の鋼板が開発され、使用されている。

油圧ショベルのバケット、ダンプの荷台、ブルドーザの排土板などでは土砂などによる摩耗が問題になり、耐摩耗鋼板が使われる。HB450, 500, 600 などの高硬さ鋼板の開発が行われている。

社会資本充実の分野は広がりも大きく、国民の絶えざる願いが続き、創造的発展を期待できる分野である。

産業構造審議会の基本問題小委員会は 21 世紀の日本の経済・産業構造論のなかで住宅関連・環境関連・都市環境整備関連分野など社会資本充実を 3 本の柱の一つに位置づけている。地球環境、人口動態、産業構造などの視点から日本社会に対するビジョンが見直され続けるであろうが、大規模な超々高層構造物や大深度地下空間利用などの構想などを含めて新しいプロジェクトの創出が期待される。これら社会資本充実に向け鉄鋼材料の開発・利用技術の進展を引き続き図っていく必要がある。その際には構造躯体の強度や施工面からだけでなく、安全性、防振、防音などの機能面やメンテナンス費用削減面からの鋼材開発が今以上に要求されるのではなかろうか。

8.3.3 豊かな生活と鉄鋼材料

豊かさゆとりを実感できる社会が実現する中で、個人におけるライフスタイルの変革と価値感の多様化により、生活と密接に関係する家電、建材用途の鉄鋼製品の高級化、高機能化、多様化が著しく進んできた。また地球環境問題や公害問題、省エネルギーからも、鉄鋼材料に対する新たな要求がでてきた。このような社会ニーズに応えるために、既製品の改良と新たな機能や特性を付与した新製品開発が行われており、その消長も極めて激しい。ここでは、豊かな生活を創出するに不可欠な鉄鋼材料として、電磁鋼板、ステンレス鋼板、表面処理鋼板、冷延鋼板を取り上げ、生活との関連を中心にこの 10 年間の技術進歩について概説する。

(1) 電磁鋼板の進歩

(a) 方向性電磁鋼板

省エネルギーの見地から、電気機器の高効率化が強く求め

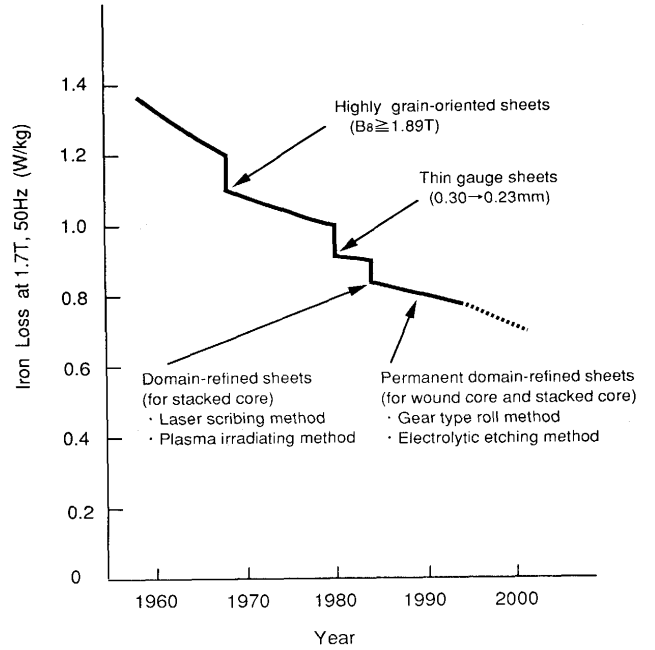


Fig. 8.29. Historical improvement of iron loss in grain-oriented electrical steel sheets.

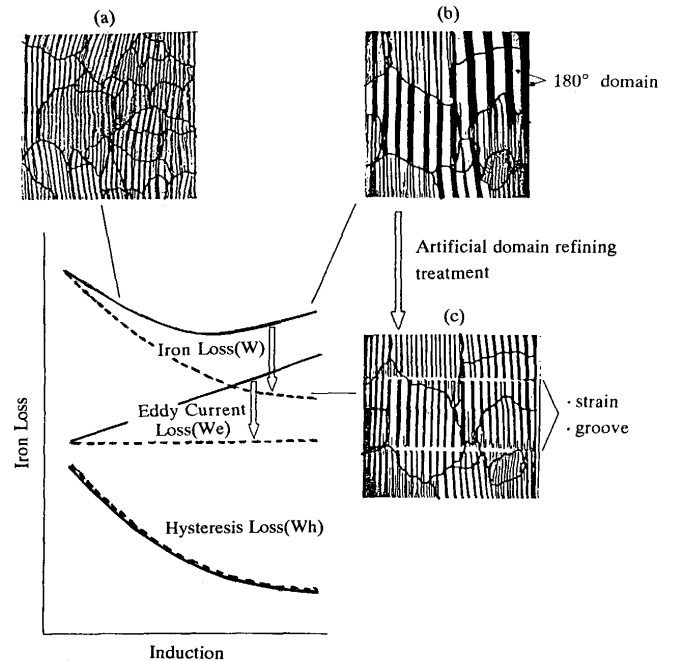


Fig. 8.30. Iron loss and domain structures of grain-oriented electrical steel sheets. (a) Low induction material; (b) High induction material (before domain refined —); (c) High induction material (after domain refined ---).

られ、鉄心材料としての電磁鋼板の低鉄損化の開発研究に大きな進歩がみられた。Fig. 8.29 に方向性電磁鋼板の鉄損低減の歴史を示す。高磁束密度方向性電磁鋼板の開発によって、履歴損が低減し、鉄損は飛躍的に改善された。渦電流損に関しては、板厚を薄くする、Si 含有量を増し電気抵抗を高くする、結晶粒径を小さくする、などの方法により低鉄損化が図られる。しかし、結晶方位を損なわずに板厚や粒径を減

Table 8.2. Chemical compositions of ferritic stainless steels. (mass%)

Steel	C	Si	Mn	Cr	Mo	Nb	N	Others
SUS447J1	0.003	0.13	0.11	29.6	2.09	0.14	0.006	—
YUS270	0.014	0.55	0.57	20.2	6.29	—	0.220	Cu: 0.67
NAS445AW	0.007	0.25	0.26	20.9	0.49	0.33	0.013	Cu: 0.51
YUS220	0.014	0.46	0.12	22.0	0.83	0.37	0.011	Cu: 0.47
R445	0.010	0.47	0.24	22.0	0.89	0.39	0.012	—
NSS445M2	0.010	0.28	0.19	22.8	1.18	0.32	0.012	Ti: 0.18, Al: 0.08
NTKU-22	0.010	0.50	0.2	22.0	2.0	0.35	0.01	—
NAR-FC-4	0.010	0.20	0.2	22.0	2.0	0.32	0.01	Cu, Ti

小さくすることには限界があった。この10年間における方向性電磁鋼板の鉄損改善は主として磁区細分化技術の進歩によるものといえる。

一般に方向性電磁鋼板の鉄損は、Fig. 8.30 に示すとおり、磁束密度が高いほど低くなる傾向を示すが、ある程度以上磁束密度が高くなると鉄損はむしろ劣化する。これは (110) [001] 方位集積度の増大により、履歴損は減少するものの結晶粒径は粗大化し、180°磁区幅が大きくなるため渦電流損の増大を招くことによる。したがって、鋼板に歪または溝を導入することにより、180°磁区幅を細分化すれば渦電流損が減少し、著しい低鉄損材を得ることができる。1980年代に工業化された磁区細分化技術は、製品表面にレーザービームやプラズマ炎を照射する方法である。これらの方法はいずれも仕上げ焼鈍済鋼板に熱歪を導入することにより磁区細分化を図るものであり、高温での歪取り焼鈍により鉄損が劣化するという問題を有しており、歪取り焼鈍を要する巻鉄心変圧器には適用できなかった。1980年代後半に、歪取り焼鈍に耐える磁区細分化技術が開発された。仕上げ焼鈍済鋼板表面に、歯車型ロールを押しつける方法や最終冷延板に局部的な電解エッチングを施す方法が開発された。これらの方法はいずれも鋼板表面に線状の溝を導入することにより磁区細分化を図るものであり、10~15%の鉄損低減が可能となった。これらの溝導入法の開発により、積鉄心用、巻鉄心用のいずれもが出揃ったこととなり、用途に応じて材料の選別が可能となり、変圧器の鉄損も飛躍的に改善された。

#### (b) 無方向性電磁鋼板

家庭用電気機器のモータなどの鉄心に用いられる無方向性電磁鋼板においても、省エネルギー、低コスト化のニーズに応え、さらなる低鉄損化の努力が続けられてきた。また、最近電気機器の高周波化により、高周波領域での鉄損が低く磁歪に起因する騒音の低い材料が求められ、種々の新しい材料が開発されている。

##### (i) アモルファス磁性材料

アモルファス磁性材料は、磁気異方性がなく結晶粒界などの磁壁移動に対する障害がないので本質的に透磁率の高い軟磁性特性を示す。しかも結晶質材料に比べ電気抵抗が5倍高いこと、製法上20~30 $\mu\text{m}$ 程度の薄帯で得られることから渦電流損が大幅に低減する。日本では、日米構造協議の決定を受けて米国製アモルファスを使用した巻きトランスが大量

に試作されフィールド試験が行われている。最近ではアモルファス材料よりもさらに軟磁性特性の優れた材料として、nmサイズの超微細結晶質材料も開発されている。

##### (ii) 6.5%Si 鋼板

Siを6.5%含有すると磁歪が0となり、透磁率も最大となるが、Si含有率が高い鋼板は非常に脆く工業的生産は困難であった。しかし、CVD法によってSiを拡散浸透する方法が開発され工業生産が開始された。6.5%Si鋼板は従来の無方向性電磁鋼板に比較して鉄損、磁歪ともに優れているためモータコア、高周波トランス、磁気シールド材などへの適用が期待される。

さらに、より優れた磁気特性を追求する試みが続けられている。市販電磁鋼板を板厚100 $\mu\text{m}$ 以下に冷延後、高温で長時間焼鈍する方法やPVDあるいはCVD法で平滑な鋼板表面にTiNなどのセラミックスを被覆する方法などが研究されているが、現時点では製造コストが極めて高く工業化は今後の課題である。

#### (2) ステンレス鋼板の進歩

日常生活において欠かせない材料の一つにステンレス鋼がある。これは、ステンレス鋼がもつ高耐食性、メンテナンスフリー、意匠性、高級感といった優れた特性が広く認められてきたからといえる。特に景観材料として、この10年間の進展は目覚ましいものがあり、消費者の好みにあった製品が数多く生み出され、使用量も増大している。

##### (a) 高耐候性ステンレス鋼

ウォーターフロント開発に伴う公共事業の建築物外装材に代表されるように、海岸環境において無塗装で使用可能な高Cr、高Moフェライトステンレス鋼が開発された。Table 8.2に、近年各社で開発された代表的な鋼板成分を示す。従来建材用として使用されている代表的鋼種はクロム・ニッケル系のSUS304, 316であるが、開発された高Cr、高Moフェライトステンレス鋼の特徴は、CやNを低減し、さらにNbやTiで炭窒化物として析出固定し、高Crに加えて耐食性など必要特性確保にMoやCuを適量添加していることである。これら高Cr、高Mo鋼が商用化されたのは、高純化精錬技術の進歩によって、典型的な不純物元素であるCとNが大幅に、しかも経済的に低減しうようになり、熱延板での韌性が著しく改善されたことによるところが大きい。施行例はまだ少ないが、例えばSUS447J1が関西新空港の屋根に大規

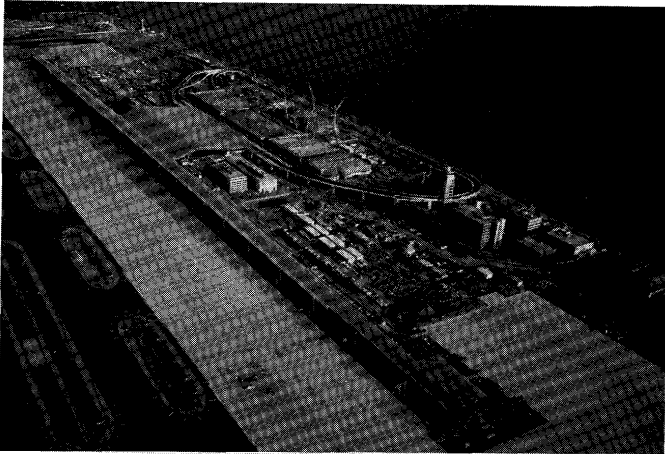


Fig. 8.31. SUS447J1 stainless steel panels of passenger terminal building at New Kansai International Airport.

構に使用された (Fig. 8.31)。メンテナンスフリーの観点から、こうした高Cr系フェライトステンレス鋼が脚光を浴びており、今後さらなる使用量の増大が期待される。

#### (b) 意匠性ステンレス鋼

ステンレス鋼そのものが持つ銀白色の金属光沢もさることながら、種々の表面仕上げを付与した意匠性ステンレス鋼が開発された。従来からあるヘアライン仕上げや鏡面仕上げ以外にダル仕上げ、エンボス仕上げ、エッチング仕上げ、パンチングなど新しい技術が開発されたことにより、意匠性に加え、防眩性、耐汚染性など新しい機能が付与された。表面処理についても、化学発色やCu, Al, Znなどのめっき、塗装などの技術が発展した。化学発色ステンレス鋼は、硫酸、クロム酸溶液に浸漬したり、電解することによってステンレス鋼板表面に薄い酸化皮膜を形成し、光の吸収や干渉作用を利用し発色する製品であり、長尺屋根工法に必要な広幅コイルでの製造が可能となっている。表面にドライコーティングでTiCやTiNを被覆した高級意匠鋼板や漆ラミネートステンレス鋼板なども製品化されている。塗装ステンレス鋼板は、素地との密着性に優れたプライマーと顔料を含むトップコートの上層塗膜からなっているが、トップコートには、耐候性に優れたシリコン変性ポリエステルやフッ素系樹脂が採用されたり、塗料の中にステンレス鋼粉などの導電材を混入することにより、溶接可能な製品などが開発されている。このように意匠性ステンレス鋼は優れた耐食性と意匠性により、今後も内外装材を中心に景観材料の主流になるものと期待される。

#### (c) 家電用ステンレス鋼

ステンレス鋼の耐酸化性、高温腐食性および高強度などの特性を活かして、家庭用電化製品への使用も増大している。耐熱性を要求されるシーズヒーターやストーブの反射板、電子レンジの内装材などに加えて、新たな用途として全自動洗濯機の洗濯槽や電磁調理器などへの採用も進んでいる。洗濯槽は従来プラスチックが主流であったが、カビや汚れが付き

にくく、高速脱水機能が付与できるのでステンレス製が増加しつつある。電磁誘導加熱方式の炊飯器の内釜や調理器の鍋などには、ステンレス鋼とアルミニウム二層クラッド鋼が使用され高級品として製品化されている。

#### (3) 表面処理鋼板、冷延鋼板の進歩

##### (a) 表面処理鋼板

家電、建材用途の表面処理鋼板においても、この10年間に大きな進歩がみられた。表面処理鋼板の技術進歩については、6.3.2で述べられているので、ここでは下記のいくつかの材料について、その特徴や用途を中心に述べる。

亜鉛めっき鋼板にクロメート処理した後、膜厚1~2 $\mu\text{m}$ 程度の有機樹脂を被覆した薄膜有機被覆鋼板が著しく発展している。手で触ったときに指紋がつかない耐指紋処理鋼板や有機樹脂の中にポリオレフィン系やフッ素系などの有機ワックスを添加した潤滑鋼板が開発された。潤滑鋼板はもともと需要家のプレス工程における無塗油化による作業環境の改善や省力化のために開発されたが、最近、地球環境問題からフロンなどによる脱脂洗浄工程を省略できる点で潤滑鋼板が注目されている。当初のモータカバー用からOA機器のシャーシや各種部品などに用途が拡大され、加工性に加え、溶接性、アース性、塗装性など要求特性も多岐にわたっている。これらに代えて、新規な高加工性潤滑鋼板や導電性潤滑鋼板が開発されている。

黒色鋼板は意匠性の要求から開発されたものである。Zn-Coめっき鋼板を陽極酸化する方法やZn-Ni合金めっき鋼板を特殊処理することにより、無機系の黒色化皮膜を形成させたもので、その深みのある黒色が重厚感を与えるので、音響機器のハウジングや複写機の内装材などに好んで用いられている。

プレコート鋼板は家電メーカーにおける塗装工程の省略のために開発されたもので、塗装設備の老朽化更新時に採用されるケースが多い。オーディオ機器やビデオを初め、冷蔵庫、洗濯機などでもプレコート化が進んでおり、エアコン室外機へも採用されている。プレコート鋼板は塗膜硬度とともに高度の加工性が要求されるが、高硬度と高加工性は相反する性質であり、これを兼備した鋼板の開発と加工方法の改善や経済性などがプレコート鋼板拡大のための鍵となっている。

建材用の表面処理鋼板も長期耐久性のニーズから、従来のZnめっき鋼板に加え、Zn-Al合金めっき鋼板やその上にフッ素樹脂塗装した鋼板も開発され、その高耐食性、高耐久性のため多用されるようになってきた。

##### (b) 制振鋼板

静かな環境に対するニーズの高まりから制振鋼板が発展してきた。制振鋼板は2枚の鋼板の間に厚さ数十 $\mu\text{m}$ 程度の粘弾性樹脂をサンドイッチし、振動吸収特性を付与した鋼板である。制振鋼板は当初自動車のオイルパンに使用されたが、最近では静粛性向上のために洗濯機外板に使われたり、耐雨音遮音性に効果があるので、体育館や大型物置の屋根にも使

われるようになっている。技術的には、架橋タイプの樹脂を適用し耐熱性を改善したり、樹脂の中に導電粉を添加し溶接性の改善を行っている。

### (c) 缶用鋼板

ぶりきやTFSを素材とした缶の需要は近年大きく伸びているが、特にライフスタイルの変化に対応して飲料缶の伸びが顕著である。缶用鋼板は、他の競合材であるアルミ、プラスチック、紙などとの競争の激化、円高に伴う輸入缶の増大などからコスト的にも競争力の向上が求められている。またリサイクル再使用の推進や軽量化のためのゲージダウン化が最近の傾向と言える。国内のツーピース缶ではここ10年間に板厚0.32 mmから0.22 mmにゲージダウンが行われ、缶重量としても約30%の軽量化が達成されている。原板のゲージダウン化のために、素材そのものの強度アップや加工性の改善が行われてきた。従来使用されていた軟質なバッチ焼鈍材から、より硬質で焼付硬化性のある連続焼鈍材が使用され、缶体強度の維持に寄与している。また、製造条件の最適化により鋼板の集合組織を制御し、イヤリング率の低減も図られている。今後ともよりいっそうのゲージダウンが要求されており、缶強度の確保と加工性の改善が重要なテーマとなっている。

表面処理技術においても大きな進歩がみられた。溶接缶用素材として、極薄錫めっき鋼板や無研削で溶接可能なTFSが開発された。最近、TFSの上にポリエステル樹脂フィルムをラミネートした材料が実用化されている。

### (d) ほうろう用鋼板

従来、ほうろう用冷延鋼板の主流はリムド鋼であったが、鉄鋼材料の連铸化促進の観点から極低C-Ti添加鋼、極低C-B-N添加鋼などが開発され、これらの連铸鋼に代替されてきた。ところが、連铸鋼は表層に純鉄に近いリム層がなく、泡・黒点といった表面欠陥の発生しやすい直接1回掛けなどのほうろうプロセスには適用できなかった。最近、酸素含有量をリムド鋼なみに高めるとともにC量の低減、P,S量の調整などを行い、直接1回掛けにも適用可能な連铸鋼が開発されている。

ほうろう製品は表面が美しく傷がつきにくく、見る人に高

級感や重厚感を与えることから、浴室や台所用品はもとより、内外装パネル材に広く使用されるようになり、豊かな暮らしには欠かせないものとなっている。

## 8.3.4 海と鉄鋼材料

海と鉄鋼材料との関わりは、物資輸送手段としての船舶、海底からの石油・天然ガス採掘のための海洋構造物、海峡や湾を跨ぐ海上橋や横断道路、海上空港に使用される鉄鋼など多岐にわたる。本項ではこれら海に関わる鋼構造物の性能、構造、施工法の最近の進歩とそれを支えた鉄鋼材料についてその概要を述べる。

### (I) 船舶と鉄鋼材料

船舶の重量に占める鋼材重量(船殻重量)は80~90%であり、燃料消費量、スピード、輸送重量といった船舶の基本性能を向上させる上で、使用鋼材の高強度化による船殻重量の軽量化は重要な課題である。この軽量化を支えてきた鉄鋼製造技術として、TMCP(Thermomechanical Controlled Processing)の普及を挙げることができる。

TMCP鋼は、適切な合金設計と制御圧延・制御冷却の組み合わせにより、靱性、溶接性、加工性を損なうことなく高強度化が達成可能であり、その主な特長を船体用鋼板の観点よりTable 8.3に示す。このTMCP鋼の適用により、1970年代における使用鋼板の降伏点は315 MPaであったものが、最近では390 MPaクラスの高張力鋼が使用され、さらに420 MPaクラスの適用も検討されている。

船体用鋼板にとって軽量化のための高強度化とともに、建造コスト低減面からの溶接施工の合理化、すなわち大入熱溶接への適合性も重要な課題である。TMCP鋼使用による鋼の低炭素当量化は、それ自身大入熱溶接部の靱性向上対策として有効であるが、加えてTiN処理やCa処理、最近ではTiオキシドの活用などによる溶接熱影響部の結晶粒粗大化抑制や、N,P,Sの低減による結晶粒内質の改善対策がとられている。

一方、船体の軽量化、溶接施工合理化に対応した鋼板の開発とともに、液化ガス運搬船や砕氷船など船舶の高級船化に伴われる鋼板の開発、特性改善も行われてきた。また最近で

Table 8.3. Improvement of steel properties for ship structure by TMCP.

TMCP technology	Steel properties
Grain refinement by CR and AcC Transformation strengthening by AcC ↑	High strength without deterioration of base metal toughness
Lower carbon equivalent Addition of microalloying element (Nb, V, Ti) Lowering of impurities (N, P, S)	Improvement of HAZ fracture toughness under high heat input welding condition
[CR: Controlled rolling] [AcC: Accelerated cooling]	Low susceptibility against cold cracking
	Less segregation