

Fig. 8.37. Recent trends in the capacity of Japanese hydroelectric power plants. Numbers in the figure designate the maximum thickness of penstock plates (H is the head height and D the diameter of the penstock in meter).

適用することで、板厚全領域にわたりほぼ均一で優れた機械的特性を有する 150 mm 厚の 980 MPa 級高強度厚鋼板が製造できるようになった。

エネルギーの貯蔵、特に LNG 地上式貯槽では大容量化の動向にあり、用いられる極低温用 9%Ni 鋼板の厚肉化が進んでいる。一般に鋼材の厚肉化は強度・靱性の低下につながるため、9%Ni 鋼では極低 P,S 化を中心とした超清浄鋼製造技術や中間焼入れ処理の適用、ならびに厳格な成分制御などの技術により強度・靱性改善が図られている。

(5) 石油・天然ガス生産分野

第一次石油危機以降、エネルギーの安定供給の観点から、深層井や海底油井などの苛酷な条件の油井開発が進められ、それに伴い油井管用材料の高強度化・高耐食化が進んできた。クリーンなエネルギーとして脚光を浴びている天然ガスでは、炭酸ガスが多量に含まれる場合が多く、鉄鋼材料の炭酸ガス腐食の研究が精力的に行われた。その結果鋼の Cr が耐食性向上に有効な合金元素であることが明らかになり、Cr を 13% 含む油井用 13Cr 鋼 (AISI420 系) を中心に、二相ステンレスや 13Cr 改良鋼の開発が最近相次いでなされた。H₂S と CO₂ を含む高温 (150~250°C) の極めて厳しいサワー環境下で用いられる油井管では、Mo を多く含む高 Cr 高 Ni 合金の適用が不可欠となる。腐食としては応力腐食割れが重要であり、腐食温度の影響が大きい。Fig 8.38 に高 Cr 高 Ni 合金の耐応力腐食割れ性に及ぼす腐食温度と合金の Mo 量の影響を示すが、使用温度に応じて Mo 量を調整した高 Cr 高 Ni 合金が開発され、実用化された。

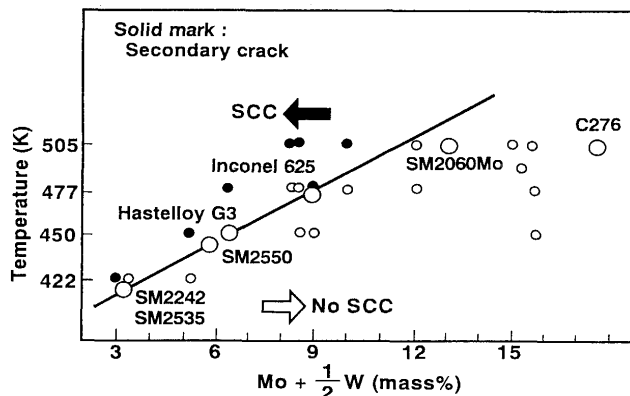


Fig. 8.38. Corrosion temperature and molybdenum content of corrosion resistant high Ni alloys in a H₂S-Cl⁻ environment. (Corrosion NACE/89, Paper, No. 7, (1989))

輸送管用材料については、シベリアやアラスカなどの極地で低温靱性が要求されるため、鋼の高靱化技術が進歩した。従来では再結晶温度域で圧下を加えて鋼を細粒化させたのち、Ar₃ 点直上の未再結晶オーステナイト域で圧延することで靱性を向上させる制御圧延 (CR: Controlled Rolling) が一般的であったが、近年圧延後の加速冷却技術を組み合わせた加工熱処理技術 (TMCP: Thermo-Mechanical Control Process) とマイクロロイニング技術により、CR 法に比べ組織を著しく微細化しかつ炭化物を安定化させた高靱性輸送管用材料の開発が進んだ。

また湿潤 H₂S 雰囲気から鋼に侵入する水素により発生する水素誘起割れ (HIC: Hydrogen Induced Cracking) を防止する技術も進歩した。C, P, および Mn の低減による偏析の軽減と、脱 S, Ca 処理による硫化物系介在物の低減・形態制御に加え、加速冷却による偏析部への C 濃縮防止技術が鋼の高強度化・溶接性とのバランスにおいておおむね確立された。

8.3.6 材料開発の新しい流れ

(1) 電子機器関連各種高機能材料

周知のように近年、半導体を中心とする電子回路部品の性能および実装技術が著しく向上し、コンピューター、OA 機器に代表される電子機器の高性能化、高密度化、小型化が急速に進展した。これに伴い、その周辺部材や製造装置用部材において従来の特性に加えて強度、熱膨張特性、電気・磁気特性などの物理特性に関し適正值を具備する素材が要求されるようになった。また部品の加工精度が厳しくなり、素材の純度、表面清浄度、平坦度、板厚精度などの要求が厳しくなってきた。そこでこれらの要求に対応した新規材料の開発ならびに製造技術の開発、改良が鋭意行われた。以下に具体的用途例とそれに対応した開発材料の概要について述べる。

VTR マイクロシャフト、磁気ヘッド部品などに使用される材料には良好な耐食性と高強度、非磁性が要求される。この要求に応えるため、Cr-Ni 系と Cr-Mn 系の高強度非磁性

ステンレス鋼が開発された。過酷な冷間加工を受けても非磁性を確保するため、Ni, Mn 含有量を増加させオーステナイト (γ) 相を安定化させる一方、高強度化に対しては N, C などの添加による固溶硬化、冷間加工による加工硬化、さらに必要に応じて時効硬化の手段が講じられた。

パソコン、ワープロの急速な普及につれてその記憶媒体であるマイクロフロッピーディスク (MFD) の需要が爆発的に伸びた。MFD 用センターコア材には高強度、耐摩耗性、高耐食性、磁気特性ならびに高プレス成形性が要求される。あわせてセンターコア材には高速プレスへの適合と厳しい形状精度が要求され、従来使用されていた調質圧延を施し強度を高めた SUS430HT では延性が低く、機械的性質の異方性も大きいため、プレス加工性ならびに加工後の形状精度が必ずしも十分ではなかった。そこで変態強化型で強度-延性バランスに優れ、面内異方性の小さいマルテンサイト+フェライト複相組織ステンレス鋼や Si, Ni を添加し低調質圧延率でも高強度・高延性を具備したステンレス鋼が開発された。

IC 用リードフレーム材には Si チップと同等の熱膨張係数を有する 42%Ni 合金が使用されているが、LSI の高集積化、超多ピン化に伴い、リードフレーム材には薄肉化、高強度化が要求された。これに対し、Be 添加による固溶硬化と時効硬化による高強度化、あるいはオーステナイト相とマルテンサイト相の混合・超微細組織制御により引張強さが 1,000 MPa 級の材料が開発された。今後、42%Ni 合金の高強度化と低コスト化の両立が重要な開発課題と考えられる。

LSI などの半導体基板に使用される単結晶をスライスする ID ソーブレードには極薄 (0.15~0.20 mm) で高強度かつ高延性、高疲労特性を有するステンレス鋼が要求される。従来 SUS301HT が使用されていたが、冷間圧延により高強度化すると延性が劣化し、ブレードの寿命は十分ではなかった。そこで準安定 γ 系鋼に適量の C, N を添加し、時効硬化元素の Si, Cu を含有させるとともに、適度の冷間加工と時効処理を施すことにより高強度でかつ延性に優れたステンレス鋼が開発された。

プリント基板製造用のキャリアプレートには高強度でかつ厳しい平坦度が要求される。従来析出硬化型ステンレス鋼が使用されていたが、上述の要求特性を同時に得るのは困難であった。そこで登場したサブゼロ硬化型ステンレス鋼は M_s 点が室温直下になるよう成分調整したもので、 -73°C に冷却することでマルテンサイト変態を誘起させ高強度化させるとともに、変態誘起塑性を利用することで平坦度も同時に得られるようになった。

また超 LSI の製造プロセスのウルトラクリーン化が必須となり、超高純度ガス供給配管用に鋼自体の清浄度を極限まで高めた超清浄ステンレス鋼の製造技術が確立され、表面研磨技術の向上と相俟って配管内での不純物発生量や放出ガス発生量を極力低下させることが可能となった。

パソコン用ディスプレイの高精細化ならびに TV の大型

化、高品位化に伴って、CRT 用シャドウマスクの熱膨張による色ずれが問題となってきた。このため、シャドウマスク用として従来の Al-killed 鋼に代わり熱膨張係数の小さい Fe-36%Ni 合金が使用され始めた。シャドウマスク素材には優れたエッチング性、プレス成形性、黒化膜性が要求されるが、不純物や介在物制御、組織制御など総合的な対策が講じられ実用化された。

(2) 複合材料

電子・電機分野を初めとするあらゆる産業分野での技術革新は目覚ましく、それに伴い使用部材に対する要求も複雑かつ厳しくなり、既存の単一金属や合金の機能では対処できない用途が増加してきた。そこで異種金属や異種材料を複合して両者の機能を兼備させた材料—複合材料—が数多く実用化された。以下に事例を記す。

(a) ステンレス鋼/Al…ステンレス鋼の高耐食性・電磁特性と Al の高熱伝導性を利用したもので、電磁調理器などに使用されている。

(b) ステンレス鋼/Ni…ステンレス鋼の難ハンダ付け性、高電気抵抗などの欠点を Ni にて補ったもので、電子部品、コネクタなどの電気接点材料として商品化された。

(c) ステンレス鋼/Ti…ステンレス鋼では耐えられない腐食環境下で Ti の高耐食性を利用する用途、例えばパルプ漂白タワーに使用され、メンテナンスフリー化が可能となった。

(d) ステンレス鋼/Cu…ステンレス鋼のばね性と Cu の電導性を兼備させた接点用材料として使用されている。また極薄 Cu めっき鋼板は電磁波シールド材として有用である。

(e) 電磁波シールド用導電性複合材料…軽量かつ大量生産に適する熱可塑性樹脂内に導電性フィラーとしてステンレス鋼繊維を含有させることで電磁波シールド効果を付与したもので、射出成形品は良好な電磁波シールド特性を有し、電気・電子機器用筐体などに使用されている。

(3) 鉄系軟質磁性材料

従来より純鉄や電磁鋼板は飽和磁束密度が高く鉄損が小さい特徴を利用してトランスやモーターの鉄芯などに、また Fe-Ni 系のパーマロイ C あるいは B は高透磁率合金として磁気ヘッド部品などの磁気シールド材、時計鉄芯などに使用されている。

電磁鋼板のうちトランスの鉄芯などに用いられる方向性電磁鋼板の分野ではレーザー照射を利用した磁区細分化による低鉄損化技術が開発された。またモーターの鉄芯などに用いられる無方向性電磁鋼板に関しては固溶強化による 700 MPa 級高張力鋼、Mn, Sn 添加と集合組織制御による低鉄損化を図った高効率鋼板が開発された。一方、電気機器の高効率化、高速化、小型化に伴い作動周波数の高周波数化が進み、電磁鋼板にも優れた高周波磁気特性が要求されるようになり、また大容量のトランスでは騒音問題も顕在化し低磁歪特性も重要となった。6.5%Si 鋼板は磁歪がほぼ零で高透磁率

を有する優れた材料であるが、非常に脆いため工業規模での製造は困難であった。しかし最近になり化学気相蒸着法を応用した 6.5%Si 鋼板の連続製造技術が確立された。

また高飽和磁束密度、低磁歪で高周波磁気特性に優れた合金として超急冷法によりアモルファス化後結晶化させた $\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13.5}\text{B}_9$ 合金が開発された。10 nm 程度の粒径の超微細結晶粒からなり Co 基アモルファス合金に匹敵する軟磁気特性を有し、高周波トランス、各種チョークコイルなどに使用されている。

上述したように軟質磁性材料として工業的に使用できる種類は少なく、純鉄を越える高透磁率が要求される用途にはパーマロイ合金に頼らざるを得ない。このギャップを埋めるべく純鉄の高飽和磁束密度を損なうことなくパーマロイ B に迫る高透磁率を有する Fe-1%Al 合金が開発され、直流電磁石鉄芯用、静磁気シールド用に使用されている。またパーマロイ C は最高級の軟磁気特性を示すが、Ni を 78% と多量に含有し高価な材料である。そこで開発された 38%Ni 系高透磁率合金は極低 S、O 化するとともに適正な磁気焼鈍を施すことによりパーマロイ C に匹敵する軟磁気特性を有し、磁気シールド部品、デジタイザー用部品、時計鉄芯などに使用されている。

メカトロニクス産業の発展に伴い、磁気特性に加えて耐食性、冷鍛性、被削性を具備する材料の要求が高まってきた。そこで耐食性を有する 12%Cr ステンレス鋼をベースに Si、Al を添加し高磁気特性を付与するとともに、Ti 添加、低 C 化により冷鍛性を向上させた鋼、S、Pb など添加し被削性を付与した鋼が開発され、自動車の燃料噴射装置用部品などに使用されている。

(4) プラスチックとの競合

鉄鋼にとってプラスチックは最大の競合材ともいえるが、鉄鋼が高強度であるというプラスチックに対する優位性がプラスチックから鉄鋼への転換需要に結び付いた事例として、ここでは家庭用洗濯機内槽を取り上げる。洗濯機内槽には従来のプラスチックに代わり、近年ステンレス鋼が採用されつつある。これはステンレス鋼がプラスチックよりも清潔感があり汚れが付きにくいこと、プラスチックに比べ高強度で薄肉化できるため、内槽の大型化あるいは洗濯機のコンパクト化が可能であること、また高速脱水が可能で乾燥時間が大幅

に短縮できることなどの理由によるものである。個人の生活意識の変化を適確に捕らえた商品の開発に伴い鉄鋼が使用されるようになった注目すべき事例といえる。

(5) 高度医療機器材料およびバイオ関連材料

核磁気共鳴を利用して人体の断層写真を撮る CT スキャン装置や心臓、脳、神経系などの機能を診断する生体磁場計測装置が普及し始めた。特に生体磁場計測には高感度な SQUID (超伝導量子干渉素子) 磁束計を使用するが、生体磁場は非常に微弱なため、地磁気を含む環境磁気雑音を除去することが必須となる。その手段として磁気シールドルームが必要であり、その壁材に磁気シールド特性に優れた材料が使用されるようになった。

生体用金属材料として Ti 合金は高強度、軽量でかつ人体との親和性が良好である。しかし Ti 合金は鑄造や冷間プレスによる加工が困難であり実用化が遅れていたが、超塑性成形技術の応用により義歯床が製品化されるようになった。

最近アレルギーを起こす金属として Ni が話題になっており、デンマークなどの法令では腕時計、ネックレスなど皮膚に触れる製品には Ni 含有量表示を義務づけている。このような背景から Ni レスの Cr-Mo 系で極低 C、N 化により SUS 304 並の加工性と耐食性を付与したステンレス鋼が開発され、腕時計バンドやボディに使用されている。

(6) 宇宙開発関連材料

日本初の純国産の H-2 ロケットの主エンジンの推進力を補助する大型ロケットブースター用材料に高強度で溶接性、靱性に優れた超強力鋼 (9Ni-4Co-3Cr 系鋼) が開発された。また TiAl 合金は軽量でかつ常温から 1,000 K 程度の高温域まで高い比強度を有する優れた耐熱用金属材料であり、ジェットエンジン部品として注目されている。しかし TiAl 合金は塑性加工性が乏しいため、形状付与技術が重要な開発課題であったが、近年恒温鍛造法により実用化されるようになった。

以上、材料開発の新しい流れについて概説したが、今後マルチメディア時代の到来、地球環境保全のための各種規制の強化など社会環境が大きく変化することが予想され、それに伴い材料に要求される特性もますます多様化し、厳しくなるものと考えられる。今後とも世の中のニーズに適合した鉄鋼材料の開発に努めることが我々の責務と思われる。

8.4 展望

8.4.1 鉄鋼の組織制御の現状および展望と問題点

鉄鋼材料の性質 (特に力学的性質) は組織状態によって大きく変化する。それゆえ、適切な合金元素・組成の選択に加えて、組織を最適に制御することが重要である。組織制御は相変態 (凝固を含む)、析出、再結晶を基礎としているが、特

に、これらの現象を有機的に結合させた加工熱処理は組織制御の最も有効な手段である。加工熱処理を中心とした多くの研究の結果、鉄鋼材料における組織制御の原理に対する理解は深まり、新しいタイプの熱処理法も登場し、より複雑で精緻な組織制御が可能になってきた。しかし、今後、新しい鉄鋼製造プロセスの出現 (例えば、薄肉連鑄法など) や、鋼の