

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

Table 8.4. Trends of ship building and requirements to steel properties.

Trends		Requirements
Diversification of cargo	Increase of LNG carrier	Steel for low temperature use with high heat input welding
	Increase of container ship	New shape of sectional steel for simplification of construction
Rapid transportation	Development of high speed craft	High rigid corrugated steel High Young's modulus steel
Comfortableness	Reduction of vibration/noise of cabin	Damping steel with fireproof
Safety and protection of environment	Prevention of serious accident (fatigue damage, corrosion damage, etc.) Prevention of marine pollution	High fatigue strength steel Corrosion resistance steel (sea water, crude oil, coal) Antifouling steel without harmful object
Rationalization of construction	Automatic construction (cutting, welding) Reduction of welding process	Less tolerance steel Less welding distortion steel Low carbon equivalent sectional steel

は環境保全からのタンカーの二重船殻構造化，造船工作の省労化を初めとした造船への新たな社会的ニーズを背景として，船体用鋼材への要求はさらに多様化しつつある。Table 8.4 に最近の造船の主要動向とそれに対応した鉄鋼材料への要求を示す。積み荷の多様化，高速化，快適性，安全性，環境対策，工作法合理化いずれの課題においても鉄鋼材料の果たす役割は大きく，鋼板，形鋼，鋼管それぞれに対してこれまでに増した技術開発が求められている。

(2) 海洋構造物と鉄鋼材料

石油掘削用の海洋構造物は，その目的（探査/生産）や稼働海域条件により，半潜水型，ジャッキアップリグ，固定式プラットフォームなどに分類され，一基当たり 2~5 万 t の鋼材が使用されている。海洋構造物の掘削海域の大水深化による大型化，北海や北極海など使用環境の苛酷化は，設計，施工，保守の各段階において，安全性への厳格な管理を要求し，使用鋼材への材質要求も厳しいものとなっている。

最近の海洋構造物鋼材としては，固定式プラットフォームのジャケットでは降伏点 420 MPa クラスが，また上部構造では 460 MPa クラスが使用される趨勢にあり，板厚もジャケットでは 100 mm を超え，ここにおいても TMCP 技術適用の効果は大きい。これら使用鋼材の材質特性として，特に低温海域用最も重要視される一つに，耐脆性破壊性能の観点より溶接熱影響部の破壊靱性が挙げられ，精力的に研究開発が進められてきた。溶接熱影響部の破壊靱性の評価には CTOD (Crack Tip Opening Displacement) 試験が用いられ，局部脆化域と呼ばれる熱影響部内の粗粒域に着目した靱性向上が中心的課題として取り組まれてきた。

Fig. 8.32 に多層盛溶接における熱影響部の模式図を示す。熱影響部はその溶接熱履歴により 4 種類の領域に大別されるが，それらの内で最も低い靱性を示すのは，後続の溶接パスによりフェライト-オーステナイト二相域に再加熱された粗粒域（図中：ICCG）とされており，その原因として島状マルテンサイトの生成が指摘されている。島状マルテンサイト

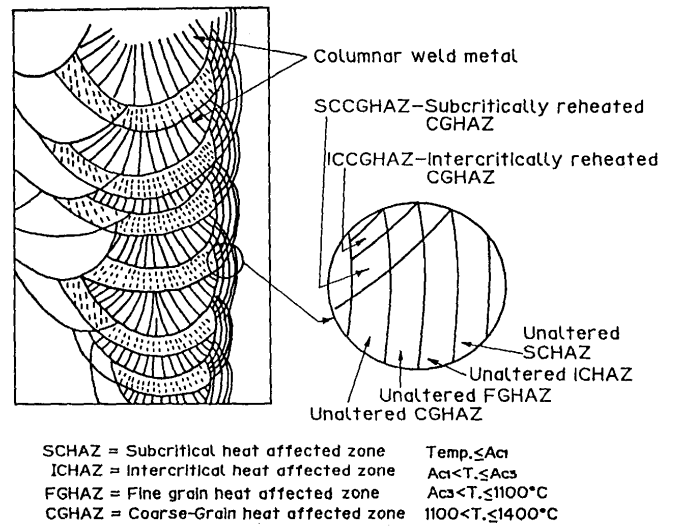


Fig. 8.32. Schematic diagram of microstructures of HAZ in multi-pass weld.

はさらに後続の溶接パスにより焼戻されるとセメントタイトとフェライトに分解し，靱性の回復することが確かめられているが，当然のことながら島状マルテンサイトの生成・分解には鋼材の化学成分も深く関わっており，C, Si の低減やマイクロアロイ元素の適正化が有効とされている。Fig. 8.33 に CTOD 値に及ぼす化学成分の影響を示す。局部脆化域の靱性改善には，島状マルテンサイトの生成抑制，分解促進とともに熱影響部組織の細粒化，不純物の低減も効果があり，船体用鋼板溶接部と基本的には同様な対策が取られている。

これら研究成果を踏まえ，降伏点 500 MPa クラスの鋼板の海洋構造物への適用の可能性に関する共同研究も日本とノルウェーとの間で，公立研究機関と鉄鋼メーカー，ファブリケーター，ユーザーとが一体となり進められている。海洋構造物の耐脆性破壊性能をバランスよく向上させていくためには，鋼板特性の向上のみならず，溶接施工条件の最適化ならびに安全性評価法の適正化も不可欠であり，これらを総合的かつ合理的に実用システム化していくことが今後の課題とさ

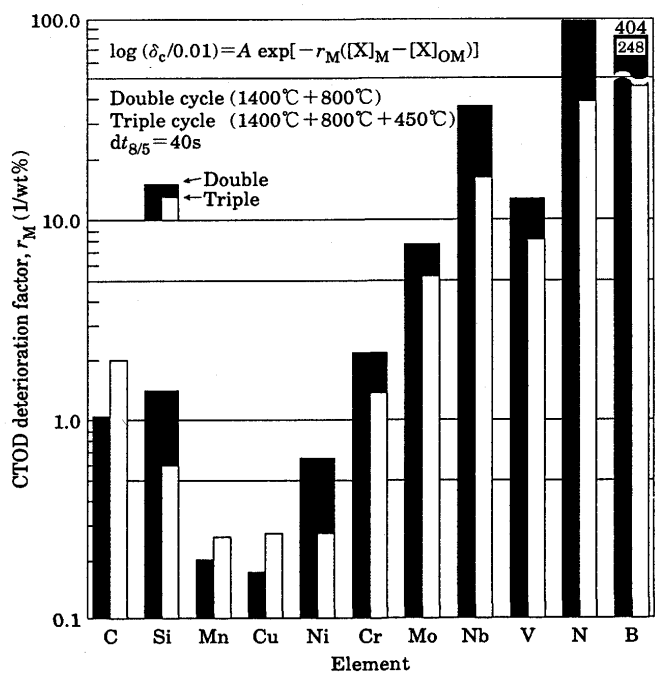


Fig. 8.33. Influence of alloying element on CTOD value (simulated HAZ: ICCG). (Proc. 7th Int. Conf. OMAE, Vol. 3. (1988), p. 515)

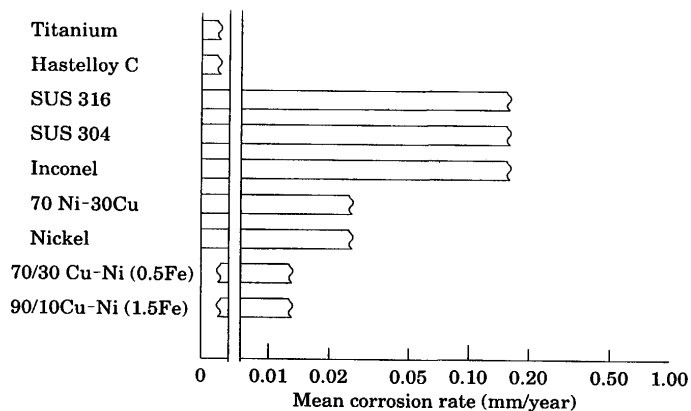


Fig. 8.34. General corrosion rate of metals in sea water (*Titanium·Zirconium*, 25 (1990), No. 4, p. 188)

れよう。

(3) 海上橋・横断道路・海上空港と鉄鋼材料

本四連絡橋3ルートの内、瀬戸大橋が開通したのは昭和63年4月であり、現在では明石海峡大橋の工事が進められている。明石海峡大橋は、橋長3,910m、総鋼重20万tを超える長大吊橋であり、中央支間長1,990mは世界最大となっている。明石海峡大橋の補剛トラスには予熱低減型の引張強さ780MPaクラスの高張力鋼板が、またメインケーブルには1,764MPaクラスの高強度鋼線が用いられる予定であり、いずれも新たに開発された材料である。予熱低減型780MPaクラス高張力鋼板は、溶接時の予熱温度を従来鋼の100°C以上から50°C以下へ低減することが可能であり、溶接の作業性改善・3K対策として今後の鋼材開発の一つの方向を示していよう。

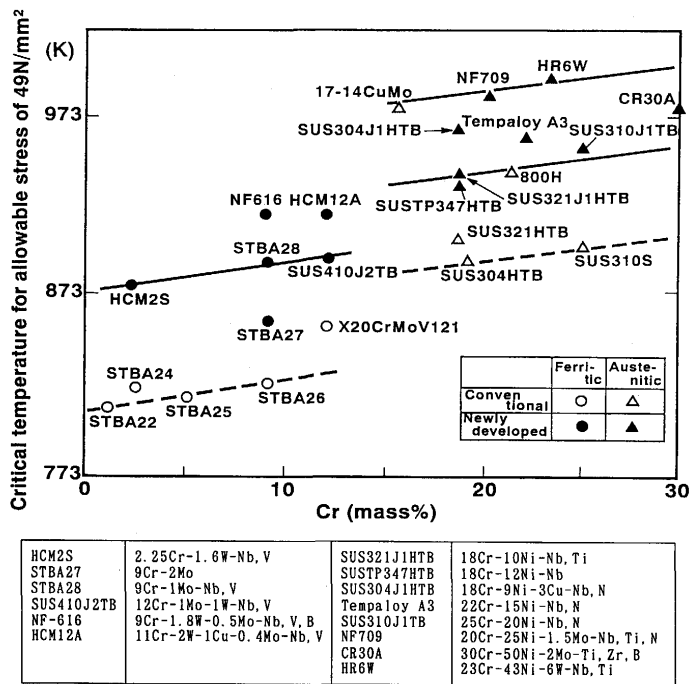


Fig. 8.35. Newly developed high temperature steels and alloys for boiler tube application. (Nishiyama Memorial Seminar. (1987), p. 103)

海に関わる鋼構造物にとって防食・防錆は共通の課題であり、塗装、電気防食、重防食などの対策が取られているが、東京湾横断道路の鋼製水中橋脚の飛沫・干満帯の防食にはチタンクラッド鋼板が本格的に採用されている。チタンクラッド鋼板はメンテナンスフリーであるとともに景観にも優れることが採用の理由となっており、その利点より海上空港への適用も検討されつつある。Fig. 8.34に海水中でのチタンの耐食性能を他の材料との比較で示す。クラッド鋼板は海洋環境のみならず腐食が問題とされる各種プラントへ用途拡大が積極的に進められており、今後の技術展開が期待される鉄鋼材料の内の一つと言えよう。

8.3.5 エネルギー利用開発と鉄鋼材料

この10年間のエネルギー利用技術の進歩を振り返る上で、地球環境問題を避けて述べることはできない。近年、よりクリーンなエネルギー源への指向がますます強まるとともに、地球温暖化の主要因といわれる炭酸ガスの排出量削減を目的としたエネルギーの高効率変換技術の開発・実用化研究が精力的に行われ、これに伴い新しい鉄鋼材料・製造プロセスの開発が盛んである。

(1) 火力発電用材料

火力発電分野においては、化石燃料(石油、石炭、天然ガス)をエネルギーに変換する高効率変換技術の開発・実用化が着実に進められている。埋蔵量がおよそ三百数十年分と見込まれる石炭を中心に種々の高効率発電システムが実証・実用化段階にあり、これに伴い新しい鉄鋼材料の開発が行われてきた。一例として超々臨界圧(Ultra Super Critical, USC)