

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

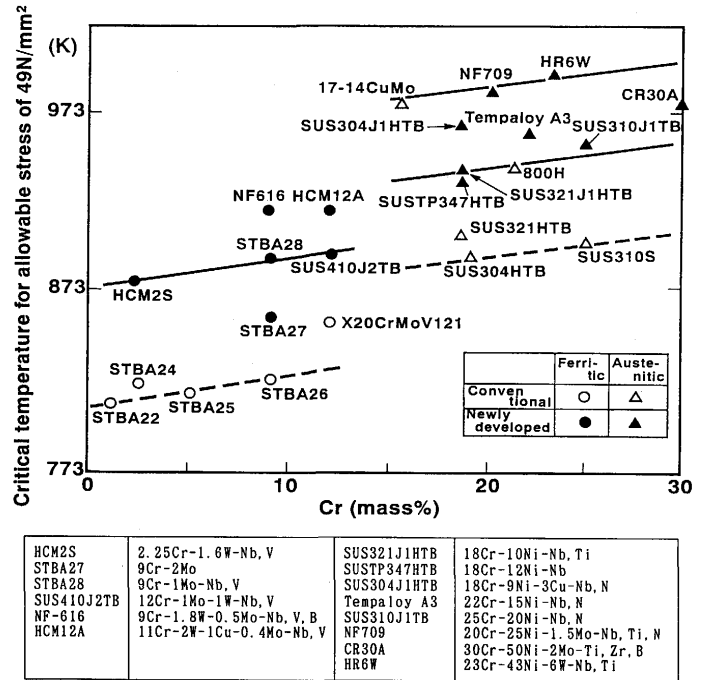


Fig. 8.35. Newly developed high temperature steels and alloys for boiler tube application. (Nishiyama Memorial Seminar. (1987), p. 103)

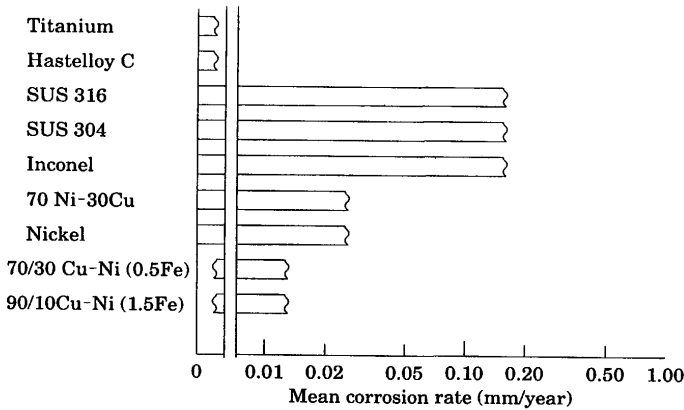


Fig. 8.34. General corrosion rate of metals in sea water (*Titanium·Zirconium*, 25 (1990), No. 4, p. 188)

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3,910 m、総鋼重20万tを超える長大吊橋であり、中央支間長1,990 m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780 MPaクラスの高張力鋼板が、またメインケーブルには1,764 MPa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780 MPaクラス高張力鋼板は、溶接時の予熱温度を従来鋼の100℃以上から50℃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。

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)

ボイラ用鋼管として開発された新材料を、耐食性の指標となる材料のCr量により整理し Fig. 8.35 に示す。フェライト系耐熱鋼とオーステナイト系耐熱鋼のそれぞれにおいて、新材料は高温強度の点で使用限界温度がそれぞれ従来鋼に比し50~100°も高くなっている。鋼の高強度化は、フェライト系耐熱鋼の中で靱性が要求される大径厚肉配管用としては、焼戻しマルテンサイト組織で Nb, V, W などによる強化を通じて、またオーステナイト系耐熱鋼では Nb, N の複合添加や、従来知られていた Ti, Nb の複合添加に Mo, N を添加する方法、また Cu, W などによる強化法などにより達成された。この分野では高強度化に対するニーズは依然として高く、さらなる高強度化が今後の課題と考えられる。

未利用エネルギーの有効活用の一環として、ごみ焼却時に廃熱を回収して発電を行うごみ発電も注目されている。ごみ発電では過熱器の蒸気温度を高めるほど発電効率を高めることができるが、ボイラチューブの高温腐食が問題となる。プラスチックなどから混入する塩素が塩化物溶融塩として鋼材を腐食させ、腐食環境は鉄鋼材料にとって極めて厳しい。最近、蒸気条件の高温・高圧化の動きに拍車がかかっていることもあり、高 Ni 合金を中心に新耐食材の開発が期待される。

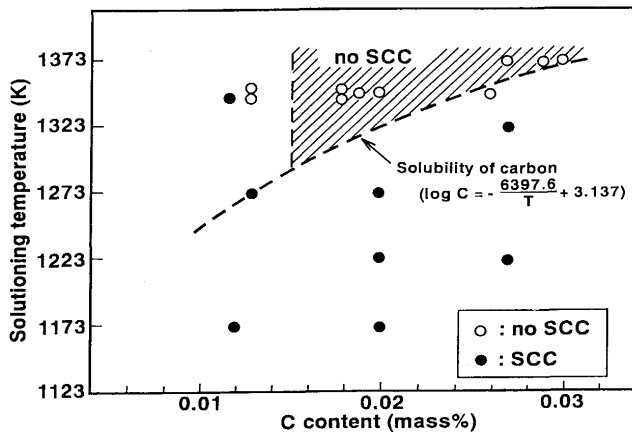


Fig. 8.36. The effect of carbon content and the solution treatment temperature on the SCC resistance of 30%Cr-60%Ni alloy at 616K in deaerated 10%NaOH solution. (Bull. Jpn. Inst. Met., 29 (1990), p. 487)

(2) 原子炉用材料・使用済核燃料再処理用材料

加圧水型原子炉の蒸気発生器管では従来 15%Cr-75%Ni 合金が使用されてきたが、近年耐応力腐食割れ性を高 Cr 化により向上させた 30%Cr-60%Ni 合金の開発・実用化が進んだ。また耐応力腐食割れ性をさらに向上させるため、結晶粒界に炭化物を析出させる特殊熱処理 (TT 処理, Thermal Treatment) が開発されすでに適用されている。この熱処理は結晶粒界にできるだけ多くの Cr 炭化物を析出させる点がポイントである。Fig. 8.36 に 30%Cr-60%Ni 合金の耐応力腐食割れ性に及ぼす母材 C 量と TT 熱処理前の固溶化温度の影響を示す。結晶粒内に析出した炭化物を TT 処理前に完全に固溶させることが必要である。

使用済み核燃料再処理に使用されるステンレス鋼では核分裂生成物により酸化性が強められた硝酸環境に曝されるため、粒界腐食が優先する全面腐食が問題となる。この腐食は P の偏析や P 化物の形成が原因となる腐食であり、鋼の低 C 化とともに P などの不純物元素の制御に対する必要性が認識されている。

(3) 燃料電池

高い発電効率が期待でき、低騒音でしかも需要地の近くに設置が可能な分散型電源として、燃料電池の開発がここ 10 年間急速に進んだ。燃料電池は電解質の種類および作動温度により大きく 3 種類に分かれる。それぞれの電池の特徴と材料問題を Table 8.5 にまとめたが、効率の高い熔融炭酸塩型燃料電池 (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC) と固体電解質型燃料電池 (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) の両システムで、材料開発が精力的に行われている。

(4) 揚水発電用材料・エネルギー貯蔵用材料

揚水発電所の水圧鉄管 (ペンストック) は、従来から陸上構造物のなかで最も強度が高くかつ板厚の厚い鋼材が使用されている。水圧鉄管の大型化の推移を鋼の板厚との関係で整理した結果を Fig. 8.37 に示す。電力需要のピークに対応すべく、揚水発電所の高落差化、大容量化が進んでおり、それに伴い鋼の厚肉化・高強度化がいつそう図られている。従来加工熱処理鋼にのみ使用されてきた Nb を通常の熱処理材に

Table 8.5. Various types of fuel cell and its material problems.

Types	Phosphoric acid fuel cell	Molten carbonate fuel cell	Solid oxide fuel cell
Working temperature	473K	873-973K	1173-1273K
Electrolyte	Phosphoric acid	Molten alkali carbonate	Stabilized zirconia
Thermal efficiency	40-45%	45-60%	50-60%
Material problems	Lower cost	Separator material: resistance to molten salt and high temperature oxidation  Material for wet-seal: resistance to molten salt General: lower cost	Separator material: lower thermal expansion, high temperature oxidation resistance, better electric conductivity  Heat exchanger, valve, etc.: high temperature oxidation resistance General: lower cost

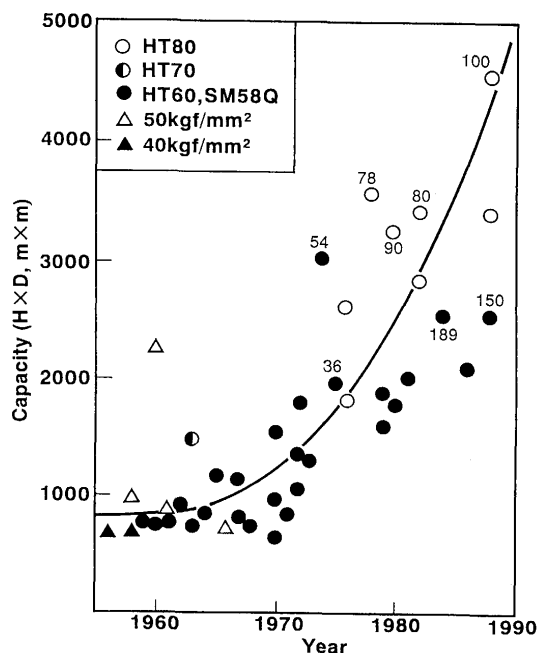


Fig. 8.37. Recent trends in the capacity of Japanese hydroelectric power plants. Numbers in the figure designate the maximum thickness of penstock plates ( $H$  is the head height and  $D$  the diameter of the penstock in meter).

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。H<sub>2</sub>S と CO<sub>2</sub> 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。

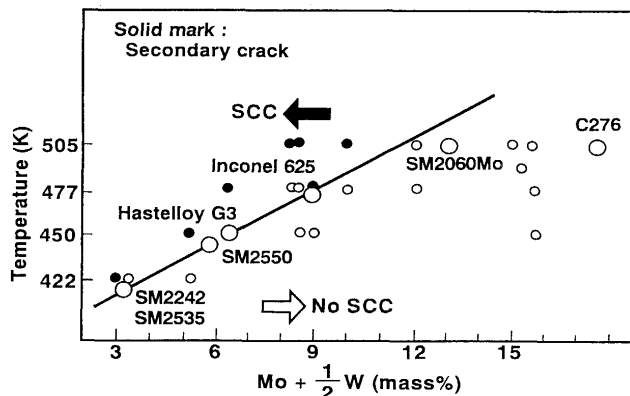


Fig. 8.38. Corrosion temperature and molybdenum content of corrosion resistant high Ni alloys in a H<sub>2</sub>S-Cl<sup>-</sup> environment. (Corrosion NACE/89, Paper, No. 7, (1989))

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、Ar<sub>3</sub> 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 H<sub>2</sub>S 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