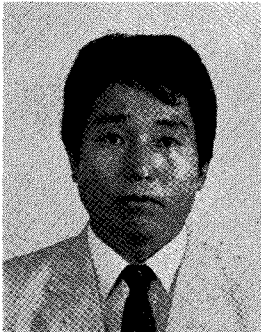


鐵鋼材料的 使用限界



金 弘 球
(産業技術情報院 責任研究員)

目 次

1. 序
2. 高強度材料
3. 耐蝕材料
4. 베어링鋼, 高淸淨鋼
5. 耐熱材料
6. 磁氣機能材料

〈이번호에 전제〉

1. 序

1980年代부터 航空 宇宙나 半導體 등의 최첨단 분야에서 金屬間 化合物, 纖維強化, 複合材料 파인 세라믹 등의 新素材에 의한 材料革命이 이루어져왔으며, 이에 따라 과거 재료 분야에서 각광을 받던 철강재료는 여러 분야에서 재검토를 요구받고 있으며, 특히 기능상에서 신소재와 경쟁 상태에 있다.

예를 들면, 美國의 CAFE(企業別 平均 燃比; CORPORATE AVERAGE FUEL ECONOMY) 규제 때문에 자동차 輕量化가 요구 되면서, 鐵鋼材料 業界에서는 새로운 기능의 필요성이 절실하다.

따라서 21세기에 도 철강재료가 산업의 基盤材料로서 그 지위를 확보하기 위해서는 철강재료의 使用限界를 극복해야 한다.

2. 高強度材料

構造用 철강재료의 強化는 中炭素鋼의 마르텐사이트에 의한 強化로부터 시작하여 PH 스테인리스 鋼 또는 마르에이지 鋼과 같은 析出 強化鋼, 파텐팅 처리를 행한 피아노 線으로 대표되는 極細線이 있다.

中炭素系 高強度 鋼은 AISI 4340으로 대표되는 Ni-Cr-Mo 鋼이나, H 11로 대표되는 Cr-Mo 鋼이 있으며, 眞空 二重溶解로 제조되는 고품질재료는 대부분 航空機의 着陸 다리와 볼트 등의 부품에 사용되고 있다. 현재 사용되고 있는 最高 強度의 재료는 4340을 개량한 300M으로 引張強度는 200MPa에 이르고 있으며, 특히 항공기에 사용되고 있는 신소재는 信賴性, 高疲勞強度, 價格 등의 관점에서 앞으로도 계속 사용될 전망이다.

그리고 자동차 側面 衝突에 대한 安全性 확보를 위해 高強度 鋼管이 사용되고 있는데, 이것은 비교적 가격이 저렴한 高強度鋼으로서 0.2~0.3% C의 탄소강을 수냉이나 低溫 담금질 하는데 引張강도는 1500MPa에 달하며, 앞으로는 淸량화의 高강도화를 동시에 만족시켜 발전할 것이다.

析出 強化用 스테인리스 鋼(PH 스테인리스 鋼)은 ϵ -Cu 또는 Ni(Ti, Al) 금속간 화합물의 석출 강화를 이용한 스테인리스 鋼으로 인장강도는 1500Pa 정도이며, 앞으로는 G상의 석출을 이용한 高強度鋼도 개발될 것이다.

마르에이징강은 韌性이 아주 높으며, 가장 많이 사용되는 鋼種은 18Ni-9Co-5Mo-O.8Ti 성분으로 인장강도는 2100MPa이다. 또한 Co나 Ti량을 증가시켜 강도를 높힌 2400~2600MPa級까지 실용화 되고 있다. 마르에이징鋼의 최고 강도는 일본에서 성공한 4290MPa인데 이것은 철이 가진 이론 강도의 1/3에 해당되는데, 이 이상의 강도는 伸率을 확보할 수 있는 結晶粒에 한계가 있어서 현실적으로 어렵다.

이상은 構造材料로서의 強度限界이지만 극세선에서는 피아노선으로서 3500MPa級の 材料가 타이어의 Cord Wire로서 사용되고 있으며, 더 나아가 4000MPa에 도전하고 있다. 이들 材料는 퍼얼라이트 조직을 파텐팅처리를 행하여 일방향으로 만든 후 냉간가공에 의해 가공경화시켜 강화를 도모한 것이다. 그러므로 보다 많은 냉간가공에 견딜 수 있는 퍼얼라이트 조직을 얻는 것이 고강도화의 관건이다.

3. 耐蝕材料

내식재료의 使用限界는 腐蝕環境이 다양하기 때문에 복잡한데, 일반적으로 오스테나이트系, 페라이트系 및 마르텐사이트系의 스테인리스 鋼으로서 환경에 따라 結晶構造를 선정하고, Cr, Mo, Ni 등 耐蝕性에 직접 관계되는 합금 원소의 배합, Nb, Ti, Si, C, N 등의 微量元素 콘트롤에 의해 개량되지만, 아주 苛酷한 環境에 대해서는 스테인리스강으로서 견딜 수 없기 때문에 Ni基 合金이 다량으로

사용되고 있다.

내식재료의 고강도화에서 강도한계의 중요한 지배인자는 마르텐사이트系에서 나타나는 遲延破壞와 高Ni 合金에서 나타나는 水素脆性이다. 지연파괴는 교량에 부착된 F11T(내력 1100MPa급)의 고강도 볼트에서 발견된 것이 최초인데, 빗물에 의해 부식이 생긴 후 수소가 볼트중에서 침입하여 입계파괴를 일으킨 것이 원인이었으며, 그후 불순물 원소의 저감, 결정립의 미세화 등에 의해 강도한계는 1350MPa 정도로 향상되었다. 예를 들면, <表 1>에 나타난 Cr-Mo강이 SCM 4235에 대해 입계 편석의 관점에서 저 P, 저 S, 저 Mn화, 결정립의 미세화를 위한 Nb 첨가, 고온 열처리에 의한 고 Mo화를 圖謀한 結果, 지연 파괴의 한계강도를 크게 향상 시켰다. 앞으로도 고순도화, 합금 원소의 첨가, 마이크로 조직의 개선 등에 의해 한계강도는 더욱 향상될 것으로 기대된다.

4. 베어링鋼, 高淸淨鋼

機械部品에 요구되는 기본 특성에는 強度, 韌性을 시초로 疲勞強度 내마모성, 적삭성 등이 있는데, 그 중 가장 주목받는 것이 피로강도이다. 예컨대 自動車 輕量化를 위해 각종 부품의 小型化, 薄肉化가 요구되는데 이를 위해서는 피로강도의 향상이 필수적이다. 경량화를 달성하기 위해서는 현 수준보다 큰 폭의 향상이 요구되며, 특히 중요한 부품에는 베어링강이 사용되고 있다.

베어링강 중에서 가장 널리 알려진 것은 JIS SUJ2(1%C-1.4% Cr)이며, 피로는 베어링의 轉動面이 剝離하는 형태로 생김으로, 전동 피로강도의 향상이 필수조건이다. 疲勞破壞의 발단은 주로 B系(Al_2O_3)를 대표하는 非金屬 介在物이기 때문에 高淸淨化가 활발하게

<表 1> Cr-Mo계 高強度 耐遲延破壞 鋼의 화학성분

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Nb	sol.Al	結晶粒度	特 徵
SCM 435	0.35	0.19	0.67	0.019	0.015	0.95	0.17	-	0.044	9.7*	
ADS-2	0.34	0.22	0.36	0.011	0.002	1.26	0.40	0.019	0.013	10.3*	低P, 低S, 低Mn, Nb添加

* JIS 結晶粒度番號

〈表 2〉 베어링鋼의 製造 프로세스와 화학성분

鋼種	프로세스	化學組成(wt. %)					(*ppm)			介在物(ASTM法, 個/ 6000mm ²)			
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti*	O*	A系 ≤ 10 μ m	B系 ≤ 9.1 μ m	C系 ≤ 5.1 μ m	D系 ≤ 9.1 μ m
A	軋爐一連續鑄造	0.98	0.21	0.38	0.015	0.006	1.40	22	10	-	-	-	-
B	A+真空脫가스	0.99	0.22	0.32	0.010	0.006	1.40	14	7	8	2	0	4
C	B+特殊精鍊	0.99	0.21	0.34	0.006	0.003	1.40	8	6	1	0	0	1

논의되고 있다.

이때문에 鋼 중 酸素量이 문제가 되는데, 과거에는 10ppm 이하가 목표이었으나, 최근에는 5~6ppm의 超高 淸淨鋼이 제조 가능하게 되었다. 최근에는 제강 기술의 향상으로 미세한 개재물을 활발하게 浮上시키는 기술이 개발되어 산소량의 低減, 개재물의 微細 分散化가 가능하게 되기 때문에, 앞으로는 피로강도가 향상될 것으로 기대된다.

〈表 2〉에 나타나 있는 3종의 강재를 사용하여 전동 피로시험을 행하였으며, 그 결과 鋼중 酸素量의 低下로 L₁₀壽命(예컨대, 累積破壞確率 10%에 해당하는 反復 回數 : L₁₀)을 개선시킬 수 있을 뿐아니라 제강기술의 향상으로 미세한 개재물을 활발하게 부상시키는 기술 개발이 가능하여 산소량의 저감, 개재물 總量 저감 및 개재물의 微細 分散化에 따른 피로강도의 향상이 기대된다. 예를 들면 〈表 2〉에 나타나 있는 개재물 개수의 저감 〈表 2〉의 B, C 프로세스에 의해 轉動 피로수명은 향상된다.

5. 耐熱材料

내열재료는 發電(보일러, 터빈)이나 化學工業(各種 反應管)에 필수적인 재료이며, 이 분야에 필요한 특성은 高溫(~1100℃)과 耐蝕性(酸化, 浸炭, 水素 損傷 바나듐 어택 등)이고, 사용되는 鋼種은 炭素鋼, Cr-Mo 鋼, 스테인리스 鋼에서 부터 Super Alloy까지 광범위 하지만, 本稿에서는 보일러와 化學工業用에 사용되는 페라이트鋼과 오스테나이트系 스테인리스 鋼에 대해 해설한다.

(1) 보일러用 材料

a. 페라이트鋼

최근 열효율 향상을 위한 수증기의 高溫高壓化 기술이 발달되었지만, 특히 보일러 재료는 고온강도와 수증기에 의해 발생하는 고온산화 저항성 향상이 요구된다. 每日의 피크 電力需要를 火力發電으로 대응하기 위하여 보일러에는 DSS(Daily Start Daily Stop) 運轉이 부과되며 온도변화에 따른 熱應力이 負

〈表 3〉 9~12Cr系 페라이트鋼의 화학성분

區分	鋼種	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V	Nb	기타
9Cr	STBA26	0.12	0.60	0.45	9.0	1.0	-	-	-	-
	HCM9M	0.07	0.30	0.50	9.0	0.20	-	-	-	-
	NSCR9	0.08	0.20	0.90	9.0	2.0	-	0.15	0.05	-
	Tempaloy F-9	0.06	0.60	0.60	9.0	1.0	-	0.30	0.40	B:0.005
	Mod. 9Cr-1Mo	0.10	0.40	0.40	9.0	1.0	-	2.0	0.40	-
	NF616	0.07	0.05	0.45	9.0	0.5	1.8	0.20	0.08	B:0.004
12Cr	HCM12	0.10	0.30	0.55	12.0	1.0	1.0	0.25	0.05	-
	X20CrMoV21	0.20	0.30	0.55	12.0	1.0	-	0.25	-	-
	AMAX12Cr	0.07	0.25	0.60	12.0	1.5	1.0	0.20	0.05	Ni : 1.5

荷되며, 이것에는 熱膨脹이 적은 페라이트鋼이 적합하다.

〈表 3〉에 대표적 강종의 화학성분과 고온 강도(허용능력)를 나타냈으며, 또한 耐蝕性 특히 水蒸氣 酸化 對策으로서 9% 이상의 Cr 鋼이 사용되며 高溫強度 향상을 위하여 Nb나 V이 첨가된다. 例를 들면 美國에서 개발된 Mod. 9 Cr-1Mo鋼은 페라이트鋼 임에도 불구하고, SUS 347H와 동등한 고온강도를 가지고 있을 뿐만 아니라, 최근에는 Mo와 W를 다량 첨가한 재료가 개발되어 고온강도가 한층 더 향상되어 그 사용 온도는 600℃에 이르고 있다.

그러나 이 분야에서의 고온강도 상승은 다른 필요조건(熔接 조인트 特性, 韌性, 熱疲勞)와의 밸런스 때문에 한계에 이른 것 같다. 즉 새로운 강화법의 개발이 필요하다.

b. 오스테나이트系 스테인리스鋼

이 鋼種은 페라이트鋼 보다 더 높은 고온에 노출되는 過熱器官 등에 사용되며, 재료의 성분계는 주로 18Cr~8Ni系(SUS 304H, SUS 316H, SUS 347H 등)과 20~25Cr系(SUS 310S, NCF 800H 등)으로 분류된다. 18~8 계는 Nb 또는 Ti 첨가로 고강도화를 꾀했으며(ASME TP347H, Temparoy Al), 최근에는 Cu를 첨가한 비교적 저렴한 고강도 재료(ST 3 Cu)를 개발했다.

앞으로는 地球環境 개선때문에 火力發電은 高效率化, 複合化, 新發電(加壓 流動에 의한 石炭發電, 燃料電池)로의 轉換이 필수적이며, 용도에 의한 새로운 재료도 개발될 것이다.

(2) 化學工業用 材料

各種 反應管 중 에틸렌 分解爐管은 사용온도가 1050~1100℃로 아주 높고, 浸炭에 의한 管內面 損傷이나 反應에 의해 발생된 탄소가 管內面에 析出하는 코킹(Coking) 현상이 생기기 때문에 Ni, Cr, Si가 높은 재료가 사용되며, Si를 1.5% 이상 첨가하면 스케일 最內層에 SiO₂ 被膜이 생성되는데 이것이 浸炭을 현저히 억제시킨다.

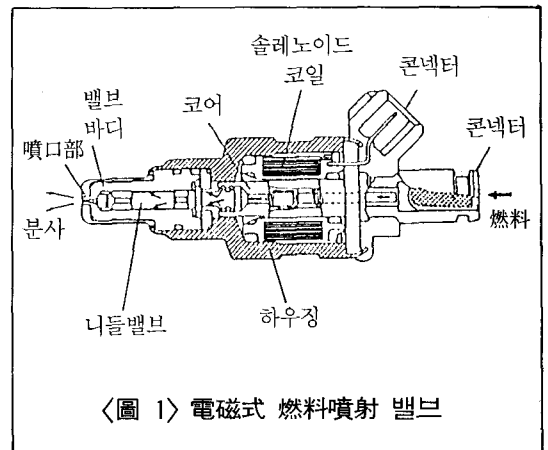
최근에는 分解反應의 促進, 收率 향상으로부터 한층 더 고온화가 요구되어, 內管에 浸炭, 코킹이 강한 50Ni~40Cr 合金, 外管에 고온강도가 높은 HPM을 설치한 二重管(DIET : Decoking Interval Extended Tube)가 개발되고 있다.

6. 磁氣機能材料

(1) 軟質 磁性材料

軟質 磁性材料로는 純鐵, Si 添加鋼이 대표적이며, 쉽게 磁化되면서도 히스테리시스 損이 적기 때문에 變壓機 등의 電磁石 재료로 대량 사용되고 있다. 이 분야는 集合組織의 制御와 高 Si化에 의한 磁氣特性 개선이 앞으로의 과제이다.

〈圖 1〉은 自動車의 電子 燃料制御用 噴射 밸브의 構造를 나타내고 있는데 그중 Core, Housing, Connector에 電磁 特性과 冷間加工성이 우수한 재료가 사용되며, 耐蝕性은 적어도 10% Cr 이상이 필요하며, 이를 위해 C, N을 아주 낮게 억제한 高純度의 13 Cr系 페라이트 스테인리스 鋼이 개발되고 있다. 앞으로는 내식성, 전기저항, 電磁應答 特性 등의 개선이 기대된다.



〈圖 1〉 電磁式 燃料噴射 밸브

(2) 非磁性鋼

非磁性鋼으로는 경제적이거나, 투자율이 낮은 高 Mn系가 〈表 4〉와 같이 다양하게 개발되고 있으나, 이 재료는 被蝕性에 문제가 있다.

그리고 내식성에 뛰어난 스테인리스系 非磁性鋼이 複寫機의 롤러나 마이크로 모터 샤프트에 사용되고 있으며, 특히 後者는 1500MPa 이상의 引張強度를 가지며, VTR 카메라의 小型化에 공헌하고 있다.

대표적 鋼種을 <表 5>에, 用途와 要求性能은 <表 6>에 나타냈는데, 그 成分系 透磁率의 要求性能이 우수하다. 따라서 使用機器의 성능 향상을 위해서는 熔接部를 포함한 低透磁率을 해결해야 한다.

<表 4> 高 Mn 非磁性鋼의 化學成分과 性能비교

鋼種	化學組成(wt.%)					各種性能(*母材, 熔接部)			
	C	Mn	Cr	Ni	N	透磁率	切削性	熔接性	耐發•性
AM-1	0.9	14	-	-	-	$\mu \leq 1.02^*$	×	△	×
AM-2	0.45	18	5	-	-	$\mu \leq 1.02^*$	△	○	△
AM-5	0.2	22	2	-	-	$\mu \leq 1.02^*$	○	○	△
304	≤ 0.08	≤ 2	18	8/10.5	-	-	○	○	◎

<表 5> 스테인리스系 非磁性鋼의 化學成分과 透磁率

鋼種	化學組成(wt.%)						透磁率($\mu \leq 1.01$)			適用
	C	Mn	Ni	Cr	Mo	N	熱處理	熔接部	冷間加工後	
304G	0.07	1.7	10.8	18.0	-	0.06	○	-	-	軟質材
316M	0.06	1.0	12.0	16.7	2.5	0.04	○	○	-	熔接管
LM-1	0.06	1.5	12.5	18.5	-	0.10	○	○	○	熔接管
AM-6	0.20	15.0	1.5	17.0	-	0.35	○	○	○($Hv \geq 500$)	超硬質

<表 6> 스테인리스系 非磁性鋼의 用途와 要求性能

用途	形狀	透磁率($\mu \leq 1.01$)	기타性能	適用鋼種
複寫機用 롤러	熔接部	母材, 熔接部	치수精度, 내마모성	316M, LM-1
VTR/가이드·롤러	熔接管	母材, 熔接部	切削性, 치수精度	304G, 316M
마이크로모터 샤프트	線材	冷間加工後($Hv \geq 500$)	내식성, 내마모성	AM-6
磁氣헤드 部品	薄板	30% 冷間加工後	-	304G
NMR-CT 部品	厚板	溶體化	-	304G

신 간 안 내

손쉽게 성공하는

발명의 지름길

규격 : 국판 200면

저자 : 김관형(본회 상근이사)

가격 : 3,000원