

技術資料

合金鑄鐵  
(2)

崔昌鈺

Alloy Cast Iron  
(2)

C.O.CHOI

4. 高合金鑄鐵

내마모성, 내식성, 내열성 등을 보다 향상하기 위한 목적에서 다량의 합금을 첨가한다.

표 13는 ASTM A532-75a에 규정한 高合金鑄鐵의 화학조성과 용도 예를 표시한다.

4-1 Ni-Hard鑄鐵

Ni를 4~6% 함유한 주철로서 표 13에 표시한 I-A~I-D에 상당하는 조성의 것으로 주조상태에서 기지조직이 martensite로 된 것으로 경도가 높고 내마모성이 우수하다. 이 종류의 주철을 Ni-Hard 주철이라 부른다.

Ni-Hard鑄鐵로 하기 위하여 Ni량은 주물의 두께에 따라서 다른 것으로 두께 15~50mm에서는 3.0~4.5% Ni로서 충분하나 대형의 두꺼운 것은 5% 이상을

필요로 하고 있다. 더욱이 Cr를 병용하므로 白鑄鐵로 되어 내마모성이 향상된다. 이는 Ni이 흑연화작용을 촉진하므로 4~5% Ni를 첨가하면 편상흑연이 되어 내마모성을 저하하므로 Cr를 첨가하여 Ni의 작용을 방지한다. 적당한 양은 Ni량의 1/2정도이다. Si도 0.5~0.8%가 좋다. Si가 0.5% 이하이면 유동성이 저하하여 수축공이 발생하기 쉬우므로 주의를 요한다. 또한 Mn은 0.5~0.7%가 적당하다.

Ni-Hard 주철의 여러가지 성질은 표 14와 같다.

4-2 高Cr鑄鐵

Cr鑄鐵은 내고온산화성 및 내식성이 우수하다. Cr를 많이 함유하고 있는 高Cr鑄鐵은 스텐레스강 보다도 우수한 내열, 내식성을 갖는다. 高Cr鑄鐵은 Cr 및 C 함유량에 따라서 탄화물, 기지조직이 변하며 또한

표 13. 高合金鑄鐵의 화학조성과 용도 예

규격번호	종류	명칭	화 학 조 성 (%)					최대 두께 (mm)	용도 예
			T.C	Ni	Cr	Mo	Cu		
ASTM A532-75a	I-A	Ni-Cr-HC	3.0-3.6	3.3-5.0	1.4-4.0	<1.0	-	200	다소 인성을 개선  (인성개선을 위하여 HB 300까지 소둔가능)  인성개선을 위하여 HB 380까지 소둔가능
	I-B	Ni-Cr-LC	2.5-3.0	3.3-5.0	1.4-4.0	<1.0	-	200	
	I-C	Ni-Cr-GB	2.9-3.7	2.7-4.0	1.1-1.5	<1.0	-	φ75	
	I-D	Ni-HiCr	2.5-3.6	5.0-7.0	7.0-11.0	<1.0	-	300	
	II-A	12% Cr	2.4-2.8	<0.5	11.0-14.0	0.5-1.0	<1.2	φ25	
	II-B	15% Cr-Mo-LC	2.4-2.8	<0.5	14.0-18.0	<1.0	<1.2	100	
	II-C	15% Cr-Mo-HC	2.8-3.6	<0.5	14.0-18.0	0.5-1.0	<1.2	φ75	
	II-D	20% Cr-Mo-LC	2.0-2.6	<1.5	18.0-23.0	1.0-3.0	<1.2	200	
	II-E	20% Cr-Mo-HC	2.6-3.2	<1.5	18.0-23.0	2.3-3.5	<1.2	300	
III-A	25% Cr	2.3-3.0	<1.5	23.0-28.0	<1.5	<1.2	200		

표 14. Ni-Hard 주철의 여러가지 성질

비 중	7.6 ~ 7.8	
열팽창계수	93°C	$7.78 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
C 2.95 % Si 0.80 % Ni 4.60 % Cr 1.55 %	149°C	$8.69 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
	260°C	$10.73 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
	371°C	$11.92 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
	426°C	$12.37 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
인장강도 와 경도	저탄소로 사형주입	31.5 ~ 39.4 kg · f/mm <sup>2</sup> , 525 ~ 625HB
	고탄소로 사형주입	28.3 ~ 34.5 kg · f/mm <sup>2</sup> , 550 ~ 650HB
	저탄소로 금형주입	39.4 ~ 48.6 kg · f/mm <sup>2</sup> , 575 ~ 675HB
	고탄소로 금형주입	31.5 ~ 47.2 kg · f/mm <sup>2</sup> , 600 ~ 725HB

성질도 크게 변화한다.

Cr를 다량으로 첨가한 표 13의 II계열 및 III-A의 고Cr鑄鐵은 전연 흑연이 없는 白鑄鐵로서 기지중에 경한Cr 탄화물이 다량으로 존재하므로 마모, 특히 abrasive 마모에 대하여 우수한 특성이 있거나 강도를 필요로 하는 재료에는 연성이 없으므로 한도가 있다.

高Cr鑄鐵은 사용목적에 의하여 다음과 같이 3종으로 대별한다.

① Martensite 質	12 ~ 20 % Cr 鑄鐵	내마모, 내식용
② Austenite 質	24 ~ 28 % Cr 鑄鐵	내마모, 내열용
③ Ferrite 質	30 ~ 35 % Cr 鑄鐵	내열, 내식용

①의 martensite 質 鑄鐵은 소입성이 좋으나 더욱 소입성을 양호하게 하기 위하여 Mo이나 Ni, Cu를 소량 첨가한다.

③의 ferrite 질 주철은 통상 1.5% C 이하에서 응고조작이 용해온도 및 주입온도가 높으면 조대화하여 기계적성질이 나쁘게 되므로 주입온도를 낮추게 되면 결정입미세화를 위하여 Ti를 소량 첨가하는 것이 좋다.

고Cr 주철의 Cr 함유량에 의한 여러가지 성질을 표 15에 표시한다.

**4-3 高Ni Austenite 鑄鐵**

Ni을 12% 이상 함유하는 高Ni鑄鐵은 주조상태에서 흑연과 austenite 기지로 되어 있는 austenite 주철로서 연성이 크고 기계적성질이 우수하며 비자성, 내식, 내열성이 좋으므로 이러한 성질을 요구하는 데에

표 15. 고Cr 주철의 여러가지 성질

성 질	17%Cr	25%Cr	30%Cr	33 ~ 34% Cr
인장강도 [kg · f/mm <sup>2</sup> ]	37 ~ 59	30 ~ 55		41 ~ 49.5
경도 [HB]	450 (T.C 3.0)			250 (T.C 1.0)
열탄성 계수				$1.3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
열 전도도			0.050 ~ 0.055	
[cal/cm · cm · sec · °C]				
비 중	7.4 정도	7.4 정도	7.4 정도	7.4 정도
용탕의 수축율 [%]	1.6 ~ 1.8	1.6 ~ 1.8	1.6 ~ 1.8	1.6 ~ 1.8

사용된다. 이것에 속하는 대표적인 것은 Ni-Resist 鑄鐵, Nicrosilal 鑄鐵, 비자성주철 등이다.

석유정제를 중심으로 한 석유화학 기타의 화학공업에서 강한 화학침식과 고온화의 독특한 조건에 잘 견디는 austenite 주철은 高Cr鑄鐵과 더불어 중요한 재료이다.

비자성주철로서 유명한 것은 10 ~ 15% Ni, 5 ~ 10% Mn을 함유하고 있는 Nomag로 알려져 있는 austenite 주철이고 내식주철로서 14% Ni - 7% Cu - 2% Cr를 함유한 Ni-Resist 주철과 내열 주철로서는 18% Ni - 2% Cr - 5% Si인 Nicrosilal 주철로 어느 것이나 그 조성을 특수한 요구에 적합하도록 변화시킨 것이다.

Ni-Resist와 Nicrosilal의 대표적인 화학조성은 표 16과 같다.

표 16. Ni-Resist와 Nicrosilal의 조성

화학성분 원 소	Ni-Resist		Nicrosilal	
	조성범위 (%)	표준조성 (%)	조성범위 (%)	표준조성 (%)
T.C	2.7 ~ 3.2	3.0	1.8 ~ 2.0	2.0
Si	1.0 ~ 2.0	1.5	5.0 ~ 7.0	5.0
Mn	0.8 ~ 1.5	1.0	0.5 ~ 1.0	1.0
P	0 ~ 0.40	0.20	0 ~ 0.20	0.10
S	0 ~ 0.12	0.10	0 ~ 0.12	0.10
Ni	12.0 ~ 16.0	14.0	16.0 ~ 20.0	18.0
Cr	1.5 ~ 4.0	2.0	1.8 ~ 5.0	2.0
Cu	6.0 ~ 8.0	7.0	-	-

표 16에서 Ni-Resist는 6~25mm 두께에 대한 것이고 단면이 이것보다 클 적에는 2.0~3.0%Ni를 더 첨가해 주어야 한다. Nicrosilal을 500~700°C에서 사용하려 할 때는 Si는 5%이하 즉 4.0~2.0%로 하고 Ni는 17% 이상 즉 18~20%로 하면 좋다. 양자의 강도범위 및 온도 상승시의 강도변화를 표 17과 표 18에 나타내었다.

표 17. Ni-Resist 및 Nicrosilal의 강도 비교

성질 종류	항복강도 $kg \cdot f/mm^2$	연신율 %	인장강도 $kg \cdot f/mm^2$	경도 HB
Ni-Resist	14.2 ~ 24.5	-	30.8 ~ 49.6	120 ~ 170
Nicrosilal	12.6 ~ 21.5	1 ~ 4.5	34.6 ~ 64.6	110 ~ 170

표 18. Ni-Resist와 Nicrosilal의 온도에 의한 강도 변화

성질	종류	Ni-Resist		Nicrosilal					
		항복강도( $kg \cdot f/mm^2$ )	연신율(%)	인장강도( $kg \cdot f/mm^2$ )	deflection (mm)	항복강도( $kg \cdot f/mm^2$ )	인장강도( $kg \cdot f/mm^2$ )		
상온	항복강도( $kg \cdot f/mm^2$ )	17.8	0.5	35.6	4.8	17.6	1.5	37.8	12.7
	연신율(%)	0.5	1.5	35.6	4.8	17.6	1.5	37.8	12.7
450°C	항복강도( $kg \cdot f/mm^2$ )	16.1				13.1			
538°C	항복강도( $kg \cdot f/mm^2$ )	15.1				12.1			

조금이라도 화학조성이 틀려서 충분한 austenite 기지로 되어 있지 않을 것 같으면 martensite 조직을 포함하게 되기 때문에 경도가 상승되어 기계가공이 곤란해 지므로 주의를 요한다. Austenite 주철은 연함에도 불구하고 내마모성이 좋고 cylinder liner의 마모는

표 19. 고Ni Austenite 주철의 종류

명칭	화 학 조 성 (%)						경도 (HB)	인장강도 ( $kg \cdot f/mm^2$ )	적요
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu			
Ni-Resist	< 3.0		1.0	12~22	2.0-5.0	-7.0	130~160	17 ~ 21	내 식 용
Nimol				> 14	> 14	6	120~140	14 ~ 29	비자성, 내열, 내식
Monel cast Iron	3.0	1.5		20	1.5-3.5	18	140~190	15 ~ 30	내 식
Nicrosilal	1.8-2.0	5.0-7.0	0.5-1.0	16~22	1.8-5.0	-	110~170	12 ~ 31	내열, 내식
Minovar	< 2.4	1.0-2.0	0.4-0.8	34~36	< 0.1	< 0.5	100~125	14 ~ 17	저 팽 창
Nomag	2.5-3.0	2.0-2.5	5 ~ 6	9 ~ 10	-	-		12 ~ 14	비 자 성

보통 사형주철에 비하여 1/5~1/10 정도이다.

Austenite 주철의 또 하나의 특징은 열팽창률이 현저히 작은 것이다. 철합금의 Invar (36%Ni-Fe)에 필적할만한 주철이 Minovar라 불리우고 있다. 이는 정밀공작기계용부품 및 공구와 온도변화가 심한 조건하에서 정밀한 치수를 유지하려는 장치에 사용한다.

Austenite 주철의 주요한 종류를 나타내면 표 19과 같다.

Austenite 鑄鐵 중에서 Ni-Resist 주철이 가장 중요한 것으로 Ni를 다량으로 함유하므로 통상 편상흑연을 갖인 회주철이나 구상화처리에 의하여 구상흑연주철로 만들 수 있어 이는 기계적성질을 현저히 개선한다.

표 20 및 표 21는 편상흑연 및 구상흑연주철의 Ni-Resist 주철을 나타내는 것으로 합금원소량에 따라서 여러가지 종류가 있다.

#### 4-4 高 Al 鑄鐵

Al은 강한 흑연화촉진원소이며 鑄鐵의 흑연화를 조장한다. 이 경향은 Al 3~4%인 때가 가장 크다. 그 이상이면 흑연화작용이 저하되어 경하고 취약해진다. 8~18% Al에서는 흑연이 없는 ferrite와 K相 (Al의 탄화물)의 혼합조직이 된다. Al 鑄鐵은 산화분위기중에서 가열하면 표면에 치밀한  $Al_2O_3$  피막이 생겨 고온산화저항이 크게 될 뿐 아니라 가열, 냉각에 의한 성장도 감소하며, 8%Al 이상이 되면 더욱 내열성을 나타낸다. 그러나 Al를 다량으로 함유한 용탕은 대기와 반응하여 주입시에 주물제품에 혼입되기 쉽고 주조성이 나빠지며 기계적성질도 좋지 않게 되므로 Al량을 감소하여 Cr를 첨가한 Al-Cr계 주철인 Caralfer나 Si를 첨가한 Al-Si계 주철인 Alsilon이 내열Al주철로 사용되고 있다.

Al계 주철의 화학조성과 내열성을 표 22에 표시한다. 내산화성 및 내성장성은 Alsilon이 우수하며 기계

표 20. 고합금 회주철의 화학조성과 용도 예

규격 번호	종류	화 학 조 성 (%)								경 도 (HB)	인장강도 (kg·f/ mm <sup>2</sup> )	용 도 예
		T.C.	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	S	P			
MIL-G -858B	1	2.60~ 3.00	1.25~ 2.20	1.00~ 1.50	13.5~ 17.5	1.80~ 3.50	5.50~ 7.50	<0.10	<0.20	120~ 180	17.6	난방레인지
	2	2.60~ 3.00	1.25~ 2.20	0.80~ 1.30	18.0~ 22.0	1.75~ 3.50	<0.50	<0.10	<0.20	120~ 180	17.6	
ASTM A436 -729	1	< 3.00	1.00~ 2.80	0.50~ 1.50	13.50~ 17.50	1.50~ 2.50	5.50~ 7.50	<0.12		131~ 183	17.6	밸브·가이드, 살충제 펌프류
	1b	< 3.00	1.00~ 2.80	0.50~ 1.50	13.50~ 17.50	2.50~ 3.50	5.50~ 7.50	<0.12		149~ 212	21.1	해수 밸브 및 펌프
	2	< 3.00	1.00~ 2.80	0.50~ 1.50	18.00~ 22.00	1.50~ 2.50	<0.50	<0.12		118~ 174	17.6	펌프 날개 및 펌프
	2b	< 3.00	1.00~ 2.80	0.50~ 1.50	18.00~ 22.00	3.00~ 6.00	<0.50	<0.12		171~ 248	21.1	내식성 펌프 케이징 밸브
	3	< 2.60	1.00~ 2.00	0.50~ 1.50	28.00~ 32.00	2.50~ 3.50	<0.50	<0.12		118~ 159	17.6	타브 과급기의 하우징
	4	< 2.60	5.00~ 6.00	0.50~ 1.50	29.00~ 32.00	4.50~ 5.50	<0.50	<0.12		149~ 212	17.6	난방레인지
A518- 64	5	< 2.40	1.00~ 2.00	0.50~ 1.50	34.00~ 36.00	<0.10	<0.50	<0.12		99~ 124	14.1	로 및 몰드 기계공 구 세지
	6	< 3.00	1.50~ 2.50	0.50~ 1.50	18.00~ 22.00	1.00~ 2.00	3.50~ 5.50	<0.12	Mo 1.00	124~ 174	17.6	밸브
		0.7~ 1.1	14.20~ 14.75	<1.5		<0.5	<0.5	Cu 0.5				내식성 펌프 및 파이프

표 21. 고합금 구상흑연주철의 화학조성과 용도 예

규 격	종류	화 학 조 성 (%)						경도 (HB)	인장강도 (kg·f/ mm <sup>2</sup> )	연신율 (%)	용 도 예
		T.C.	Si	Mn	Ni	Cr	P				
ASTM A439 -71	D-2	<3.00	1.50~ 3.00	0.70~ 1.25	18.00~ 22.00	1.75~ 2.75	<0.08	139~ 202	40.8	8	밸브, 펌프, 콤프레샤
	D-2B	<3.00	1.50~ 3.00	0.70~ 1.25	18.00~ 22.00	2.75~ 4.00	<0.08	148~ 211	40.8	7	터브과급기의 하우징, 롤
	D-2C	<2.90	1.00~ 3.00	1.80~ 2.40	21.00~ 24.00	<0.50	<0.08	121~ 171	40.8	20	증기터빈
	D-3	<2.60	1.00~ 2.80	<1.00	28.00~ 32.00	2.50~ 3.50	<0.08	139~ 202	38.7	6	터브과급기의 노즐 및 하우징
	D-3A	<2.60	1.00~ 2.80	<1.00	28.00~ 32.00	1.00~ 1.50	<0.08	131~ 193	38.7	10	베어링의 링
	D-4	<2.60	5.00~ 6.00	<1.00	28.00~ 32.00	4.50~ 5.50	<0.08	202~ 273	42.2		디젤엔진의 마니홀 다
	D-5	<2.40	1.00~ 2.80	<1.00	34.00~ 36.00	<0.10	<0.08	131~ 185	38.7	20	유리롤, 가스터빈
A571- -71	D-5B	<2.40	1.00~ 2.80	<1.00	34.00~ 36.00	2.00~ 3.00	<0.08	139~ 193	38.7	6	콤프레샤
	D-2M	2.20~ 2.70	1.50~ 2.50	3.75~ 4.50	21.00~ 24.00	<0.20	<0.08	121~ 171	45.7	30	콤프레샤
MIL -1-	class B	2.40~ 3.00	1.80~ 3.20	0.80~ 1.50	18.00~ 22.00	1.70~ 2.40	<0.20	<190	38.7	7	박용부품, 푸로펠라
24137	class C	2.70~ 3.10	2.00~ 3.00	1.90~ 2.50	20.00~ 23.00	<0.50	<0.15	<175	35.2	20	(내열, 내식, 내충 격성, 비자성)

표 22. Al계 주철의 내열성 및 기계적성질

종 류	화 학 조 성 (%)				내 열 성 인 장 강 도 ( $kgf/mm^2$ )				
	C	Si	Al	Cr	산화증량( 900°C × 0.5h 반복계 300h) ( $mg/cm^2$ )	성 장 900°C 10회	주방상태	900°C × 30h 10회 가열 후	800°C에 있어서 고온강도
보 통	3.35	1.35	-	-	427	5.7 %	32.5	13.9	7.8
1% Al	3.31	1.28	0.85	-	465	11.2	30.2	11.2	7.7
1% Cr	3.35	1.29	-	0.78	397	4.4	36.9	30.1	8.3
5% Si (Silal)	2.97	4.88	-	-	363	2.4	17.8	16.5	3.1
5% Si - 1% Al	2.84	4.49	1.03	-	315	2.4	16.3	14.2	3.4
5% Si - 1% Cr	2.70	5.19	-	0.87	345	1.5	18.4	17.3	3.4
6% Al - 1% Cr (Cralfer)	2.84	1.57	6.03	0.79	663	2.0	32.9	30.0	10.4
4% Al - 5% Si (Alsilon)	2.43	5.51	3.75	-	20	0.2	13.5	14.2	5.3
4% Al - 5% Si - 1% Cr	2.45	5.91	4.13	0.98	16	0	14.5	16.1	7.5

적성질 특히 고온강도는 Cralfer가 우수하다.

4-5 高 Si 鑄鐵

Si는 흑연화촉진원소이고 주철에서는 불가결한 원소 중 하나이다. Si를 4% 이상 함유하는 鑄鐵은 보통 灰鑄鐵에서는 열기 힘든 특수성질을 나타낸다. 그 중 하나는 Si 4~6%의 耐熱鑄鐵이고 또 하나는 Si 13% 이상의 耐酸鑄鐵로 분류한다.

고규소내열주철은 Silal이라는 명칭으로 통하는 비교적 염가인 내열주철이다. 그 조직은 편상흑연 또는 구상흑연과 ferrite로 되어 있으며 고온산화에 의해서 SiO<sub>2</sub> 피막이 표면에 생성되어 산화의 진행이 저지된다. 동일 Si량에서도 구상흑연이 편상흑연 보다 고온산화 및 성장량이 적다.

내열성의 점에서 Si가 더욱 많은 쪽이 우수하나 기계적 성질이 나빠져 특히 취화에 의하여 보통 4~6% Si 정도의 주철이 사용된다. 또 Si가 증가하면 공정 탄소량이 감소한다. 즉 4% Si 일때 2.9% C, 6% Si 일때 2.5% C으로 저하 함으로써 과공정흑연이 정출하지 않도록 성분조정할 것이 중요하다.(표 23 참조) 高 Si 鑄鐵의 내열성과 기계적성질은 흑연의 편상 또는 공정상의 것보다 구상쪽이 좋다. 따라서 편상 흑연보다 구상흑연을 나타내는 高 Si 鑄鐵이 많이 사용된다.

고규소내산주철은 13% Si 이상의 高 Si 주철로서 각

종 산에 대해서 우수한 내식성을 나타낸다. 그 조직은 미세편상흑연과 ferrite로 이루어지나 ferrite는 Si을 다량 고용한 Silico-ferrite 이므로 경취성이 있다. Si이 15% 이상이 되면 내산성은 우수하여지나 九相(Fe<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>)이 준안정상으로 상온에서 나타나 취약해 지므로 실용적으로는 13~15% Si 鑄鐵이 사용된다. C량이 많으면 과공정흑연이 편상되고 C량이 적으면 응고수축이 커지며 균열이 발생하기 쉬우므로 C는 0.5~1.0% 정도가 적당하다.

표 23. T.C와 Si량과 내열성의 관계

T.C %	Si %	스켈량 [ $g/cm^2$ ]
3.42	2.61	0.32
3.36	3.24	0.26
3.16	4.01	0.18
2.91	4.95	0.05
2.45	5.95	0.02

高 Si 耐酸鑄鐵의 耐蝕性은 Mo 3.5% 첨가로서 염산에 대한 내식성이 우수하다. 고 Si 내산주철은 황산 공업에 많이 사용되나 단단하여 기계가공성이 나쁠 뿐만 아니라 충격값이 낮고 온도 급변에 대한 열 충격도 낮다. 더욱이 알칼리용액에 대하여 보통주철보다 내식성이 나쁘다.

(다음호 계속)