

合金鑄鐵

姜 春 植*

緒 論

合金鑄鐵이라 함은 Ni, Cr, Mo, Cu, V 등을 添加하여 鑄鐵의 性質이나 組織을 變하게 하는 것을 말한다.

合金鑄鐵은 特別한 目的이나 性質을 얻기 위하여 쓰여 지는데 이런 合金鑄鐵은 美國의 경우 年間 總 鑄鐵鑄物의 약 15~20% 정도를 生産하고 있다.

再溶解에서 잘 酸化되지 않고 Ni이나 Cu 같은 合金元素는 歲月이 감에 따라서 古鐵속에 集積되어서 再溶解해서 合金을 하는 경우에는 다시 利用되기도 한다. 이런 경우 鑄物工場에서 作業時 注意하지 않으면 合金鑄鐵의 成分規格을 마치지 못 할 뿐만 아니라 豫期치 않은 부작용을 일으킬 수도 있다.

鑄鋼工場의 경우에 있어서 많은 量의 한가지 元素의 合金鋼보다는 比較的 적은 量의 두個 이상의 合金元素를 添加하므로써 效果를 거두는 경우가 있다. 그래서 鑄鐵의 경우에 있어서도 高張力 鑄鐵을 만들기 위해서는 Ni, Cr, 및 Mo와 같은 合金元素를 配合 添加하는 것이 一般的이다. 引張強度가 4,000 psi 이하인 경우에 있어서는 特히 合金元素를 添加할 必要는 없다. 一般的으로 合金元素는 鐵에 對해서 炭化物 安定元素와 黑鉛化助長元素의 두 가지로 大別하고 있다.

各 合金元素가 鐵에 미치는 影響

가. 크롬 (Cr):

크롬은 강력한 炭化物安定元素이고 鑄鐵의 素地組織에 끼어 들어간다. 鑄鐵에 添加하면 一部는 鐵의 炭化物로 되어 鐵-크롬의 復合炭化物을 形成한다. 크롬을 添加하면 퍼어라이트의 成分으로 存在하는 炭化物은 먼저 安定化되고나서 더 많은 量의 크롬을 갖인 初期 또는 大量的 炭化物이 安定化한다. 鐵-크롬의 炭化物은 高温의 條件下에서도 安定하다. 少量의 크롬을 軟質인

原鑄鐵에 添加할 것 같으면 퍼어라이트組織은 強力한 퍼어라이트型組織으로 代量되고 片狀黑鉛의 크기가 더 均一하게 되며 鐵의 結晶이나 破面이 더욱 微細해진다. 固溶體內에 들어간 0.5% 程度의 적은 量의 크롬을 添加라도 아주 높은 耐酸性을 나타내며 酸素의 侵入에 對해 저항을 나타낸다. 含量 0.50~1.5%의 크롬함량이 초과하면 遊離炭化物이 나타난다. 鐵을 현저하게 白銹으로 만드는 炭화물이 增加하게 하는 正確한 量이라는 것은 素地鐵의 成分, 其他 合金元素의 存在와 鑄物의 두께에 따라서 달라진다. 鐵이 白銹化에 민감해지기 전까지의 크롬의 含量이라는 것은 拭물받이에서의 黑鉛化 助長元素나 合金元素에 의해서 影響을 받는다.

이렇게 黑鉛化助長元素를 使用할 것 같으면 1.5% 정도 的高含量의 Cr 添加도 얇은 部分에서 白銹化를 일으키지 않고 퍼어라이트 組織을 安定시킬 수 있다.

한편 特別히 黑鉛化助長元素나 合金元素를 넣지 않은 채라면 비슷하거나 좀 적은 양의 크롬이라도 白銹化의 경향이나 斑銹 或은 白銹을 增加시켜 준다. 組織에 미치는 上記와 같은 影響 때문에 少量의 Cr 單獨添加는 強度, 硬度, 白銹의 깊이, 耐熱性, 耐摩耗性 및 耐蝕性을 增加시키고 機械加工性을 低下시킨다. 黑鉛化助長元素와 같이 使用하였을때 上記의 長點을 희생시키지 않고 Cr의 白銹化를 깊게 機械加工性을 낮추어 주는 경향을 調節할 수가 있다.

一般的으로 物理的性質의 向上을 위해서 0.15~0.90%의 Cr을 單獨 또는 다른 合金元素와 함께 使用한다. 만일 鑄鐵에서 最大의 耐酸性과 成長이 必要하면 1.5~2.0%를 黑鉛化助長元素와 함께 添加한다. 表 1은 Cr의 鑄鐵內에서의 成分과 용도를 나타낸다.

나. 銅 (Cu)

銅은 鑄鐵內에서 于先 黑鉛形成元素로서 作用한다. 銅의 黑鉛化 能力은 硅素 (Si)의 1/10程度이다.

鑄鐵의 共晶成分은 銅이 있을때 낮은 炭素含量 쪽으

* 서울大學校 工科大學 教授

〈表 1〉 Cr 鑄鐵의 成分과 用途

	化 學 成 分 (%)						用 途	備 考
	TC	Si	Mn	Cr	Cu	Mo		
크롬주철	3.6—3.75	2.0—2.2	0.6—0.8	0.2—0.25			브레이크 드럼	내마모용
	2.9—3.4	2.2—2.6	0.5—0.9	0.2—0.6			시린다 부록	내마모용 500°C까지의 내열
	3.0—3.5	1.7—2.2	0.5—0.8	0.8—1.25			크릿치 프레트	750°C까지의 내열
크롬동주철	3.4—3.6	1.9—2.1	0.5—0.7	0.5—0.6	1.0—1.5		시린다 라이나	
	3.2—3.4	2.0—2.2	0.7—0.9	0.1—0.25	0.4—0.6		시린다 부록	
	3.3—3.6	0.5—0.7	0.1—0.4	>0.25	2.5—3.0		캠 축	一部 철
크롬모리브덴주철	3.2—3.5	2.2—2.5	0.5—0.7	0.4—0.7		0.4—0.7	부레이크 드럼	내마모 내열
	3.0—3.1	1.5—1.7	0.7—0.8	0.3—0.6		0.3—0.6	시린다 헤드	고력 내마모
	3.0—3.2	2.2—2.4	0.7—0.9	0.2—0.3		0.9—1.1	기야 브레이크 드럼	열 처리

〈表 2〉 含銅鑄鐵의 例

種 類	C	Si	Mn	Cu	Cr	Mo	引張強度(kg/mm ²)	硬度 H _B
일 반 주 철	3.28	1.96	0.96				26.5	217
Cu 주 철	3.28	1.96	0.96	0.60			28.1	223
Cu-Cr 주 철	3.35	2.05	2.05	0.70	0.55		35.7	290
Cu-Mo 주 철	3.28	1.96	1.96	0.65		0.54	37.1	269

로 끌려가나 共析位置는 변하지 않는다. 固溶限度를 超過하는 경우, 銅은 鐵에 微視的으로 또는 準微視的으로 분산된다. 銅은 그 현미경 조직은 材質的으로 변치 않으나 組織을 더 밀도가 크게 해 주는 경향이 있다. 다시 말하면, 퍼어라이트를 微細化시켜주나 白銹化에는 눈에 띄는 영향이 없고 두께에 대한 冷却效果에는 덜 敏感하도록 하여준다. 機械的性質, 特히 引張強度 橫強度(transverse strength)와 부린넬 硬度는 銅의 含量增加와 더불어 거의 直線的으로 增加하며 低炭素鐵에서 特히 두드러지게 나타난다. 銅은 또한 鑄鐵의 磨耗저항, 耐磨察性 및 충격저항에 使用되는데 미끄럼 마찰이 있는 브레이크 드럼(brake drum) 같은 것은 이의 좋은 예이다. 또한 鑄鐵을 酸이나 大氣의 腐蝕에 對한 耐性を 增加시켜 주는데 Cr과 함께한 경우 耐熱 및 耐蝕性を 增加시켜 준다. 表 2는 銅合金鑄鐵의 成分과 기계적 性質의 例이다.

다. 모리브데늄 (Mo)

모리브데늄의 炭化物에 對한 安定效果는 별로 크지 않다. 이렇게 생각한다면 引張強度도 거의 增加하지 않을 것이다. 鑄鐵에 있어서 모리브데늄의 組織的 영향은

모리브데늄이 모리브데늄 함량에 따라서 오스테나이트의 分解速度를 低下시켜서 微細한 針狀 퍼어라이트를 生成시켜준다는데 있다. 모리브데늄은 다른 合金元素들처럼 Ni, V, Mn, Cu, 및 Cr과 같은 其他 合金元素들과 함께 使用한다. 單獨이거나 함께이거나 鑄鐵의 引張強度나 충격치를 높이는데 效果가 있다. 모리브데늄은 耐疲勞性を 높여주며 高温에서의 強度를 크게 해준다. 더 큰 耐磨耗性を 주기 위해 熱處理한 部品들에 있어서 모리브데늄은 硬化시킨 鑄物의 硬化성과 一般的인 均一性에 크게 影響을 미쳐주는 오스테나이트에 깊게 作用한다. 表 3은 모리브데늄 및 其他 合金元素를 添加한 鑄鐵에서의 成分과 熱處理후의 기계적 性質을 나타낸다.

라. 니켈 (Ni)

니켈은 鑄鐵의 黑鉛化 助長元素이다. 니켈은 白銹化를 減小시켜주고 기계가공성을 增加시켜 준다. 黑鉛의 성장을 일으키지 않고 또 과잉의 Si 첨가에 따르는 強度의 減小없이 白銹化 경향의 감소를 피할 수 있다. 1.0%이하의 小量의 니켈 첨가는 일반적으로 結晶의 크기와 黑鉛의 크기를 調節하는데 效果가 있다. 遊離炭素의 減小과 제거에 첨가해서 니켈은 特히 1.5%이상에서

〈表 3〉 針狀鑄鐵(아시큐라)의 引張強度 및 블립 (Tempering)의 영향

化 學 成 分				引 張 強 度 (kg/mm ²)					黑鉛의 形狀
TC	Si	Ni	Mo	주입한 그대로	Tempering 온도 (°C) (5시간)				
					200	260	315	320	
2.28	2.31	2.06	0.82	34.0	41.8	36.4	36.4	32.1	片 狀
2.30	2.31	1.03	1.36	32.1	36.4	34.0	34.0	36.4	"
3.03	1.72	1.47	0.75	73.0	90.0	97.0	94.0	86.5	球 狀
3.59	1.95	1.93	1.93	72.5	92.0	100	95.0	88.0	"

〈表 4〉 Ni-Cr 및 Ni-Cr-Mo 鑄鐵의 成分 및 用途例

化 學 成 分						硬 度 (H _B)	引張強度 (kg/mm ²)	用 途
TC	Si	Mn	Ni	Cr	Mo			
2.8-3.2	0.9-1.2	0.6-1.0	1.0-1.2			>200	>28	피스톤 시린다
3.3-3.2	1.6-1.8	1.2-1.4	0.8-1.2	0.2-0.3		210-230	24-32	시린다 라이나 시린다 카바
2.9-3.1	1.4-1.6	0.4-0.6	1.2-1.4	0.2-0.3		220-235	30-33	시린다 라이나
3.0-3.2	1.0-1.2	0.6-0.7	1.4-1.6	0.6-0.8		230-250	28-31	정유부품, 알미늄솔
3.2-3.4	0.9-1.4	0.5-0.8	1.5-2.0	0.6-1.0		200-240	24-23	금속용해도가니
3.0-3.2	2.0-2.2	0.6-0.9	3.0-3.5	0.2-0.4		240-260	30-35	발브류
3.0-3.3	2.2-2.4	0.6-0.9	0.1-0.3	0.3-0.5	0.3-0.5	207-240	28-30	시린다 부록
3.0-3.1	2.2-2.4	0.7-0.9	0.2-0.3	0.2-0.3	0.6-0.8	220-250	22-25	시린다 헤드
2.6-2.8	2.2-2.5	0.9-1.0	0.7-0.1	0.1-0.2	0.7-1.2	220-240	42-56	크랭크축
3.0-3.2	2.0-2.2	0.7-0.9	0.4-0.6	0.8-1.0	0.4-0.6	280-310	35-42	캠 축

는 퍼어라이트성의 結合炭素를 完만하게 감소시켜준다. 더 많은 量의 니켈에서는 퍼어라이트의 結合炭素가 共析量인 약 0.8%까지 서서히 增加한다. 니켈은 成分이 調節되었는가 아닌가에 따라서 強度를 增加하든가 減하든가 한다. 黑鉛化를 補償하게끔 成分을 調節한다면 니켈은 鑄鐵의 強度 機械加工性, 硬度 및 彈性을 增加시켜준다. 熱膨脹에 對한 영향은 첨가하는 양에 따른다. 니켈을 單獨으로 쓰면 주철에 利롭고 Cr, Mo, V, Cu 등과 같은 合金元素와 같이 使用하면 廣範圍한 物理的 및 機械的 性質을 얻을 수 있다. 表 4에 니켈合金鐵의 成分, 機械的 性質 및 그의 用途, 表 5 및 6에 Ni-hard 와 Ni-resist의 成分을 표시하였다.

마. 바나듐 (V)

가장 強力한 炭化物 形成 元素로서의 바나듐은 첫째로 세멘타이트를 安定化시키고 黑鉛化를 억제한다. 둘째로 바나듐은 다른 方法으로 미리 영향 받지 않는다면 산소나 질소 또는 그들 化合物과 반응한다. 또한 질소는 슬라이트 상태를 鑄鐵素地에서 유지하는 경향이 있다. 素地에서의 結晶의 크기가 작아지고 高温에서의

軟化에 對한 저항, 灰鑄鐵과 白鑄鐵 양자에 있어서 樹枝狀形成의 強度를 감소시켜 준다. 鑄鐵에 있어서 바나듐의 가장 큰 役割은 黑鉛의 크기와 均一한 分配에 대한 영향이다. 또한 自然히 黑鉛粒子의 크기에 對한 간섭은 바나듐을 첨가치 않은 鑄鐵에서 보다 더 黑鉛粒子를 微細하게 해준다. 바나듐合金鐵의 뚜렷한 點은 두꺼운 部品の 表面이나 表面 근처에서 페라이트群이 完全히 없다는 것이다. Ni이나 Cu 또는 그외의 黑鉛化助長 合金元素와 병용한 바나듐 合金鐵에서는 肉眼으로 볼 수 있는 樹枝狀이 거의 없다는 것이다. 바나듐은 鑄鐵의 機械的 性質에 다음과 같은 영향을 미친다. 즉 引張強度와 橫強度, 硬度, 耐磨耗性과 白銹化를 增加시킨다. 또 反復加熱冷却에서 線膨脹을 감소시키며 첨가량과 條件에 따라서 機械加工性을 減小시킨다. 萬一 條件과 첨가량이 正常이라면 機械加工性에 미치는 영향은 거의 없다. 表 8은 바나듐合金鑄鐵의 化學成分과 機械的 性質과의 關係를 나타내고 있다.

바. 티타늄 (Ti)

合金元素로서 分類하기는 하였으나 티타늄의 影響은

〈表 5〉 Ni-Hard 鑄鐵의 化學成分

	化 學 成 分						
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr
일 반 용	3.0—3.6	0.4—0.7	0.4—0.7	< 0.15	< 0.40	4.0—4.75	1.4—3.5
고 력 용	<2.9	0.4—0.7	0.4—0.7	< 0.15	< 0.40	4.0—4.75	1.4—3.5

〈表 6〉 Ni-Resist 鑄鐵의 標準成分

형	化 學 成 分						비 고
	C	Si	Mn	Ni	Cu	Cr	
I	< 30	1.0—2.5	1.0—1.5	13.5—17.5	5.5—7.5	1.75—2.5	비자성 일반용
I-a	< 2.8	1.5—2.75	1.0—1.5	13.5—17.5	5.5—7.5	1.75—2.5	비자성 고력용
II	< 3.0	1.0—2.5	0.8—1.5	18.0—22.0	< 0.5	1.75—2.5	비자성 식기류
II-a	< 2.8	1.5—2.75	0.8—1.5	18.0—22.0	< 0.5	1.75—2.5	비자성 고력용
II-b	< 3.0	1.0—2.5	0.8—1.5	18.0—22.0	< 0.5	3.0—6.0	자 성 내열용
III	< 2.75	1.0—2.0	0.4—0.8	28.0—32.0	< 0.5	2.5—3.5	자 성 내열용
IV	< 2.6	5.0—6.0	0.4—0.8	29.0—32.0	< 0.5	4.5—5.5	근소한자성 내식용
V	< 2.4	1.0—2.0	0.4—0.8	34.0—36.0	< 0.5	< 0.1	자성 저팽창 Minover 라합

〈表 7〉 高 Si 耐酸鑄鐵의 成分

명 칭	化 學 成 分						
	Si	S	P	C	Cu	Fe	Mn
Duriron	14.0—14.5	< 0.05	0.16—0.20	0.20—0.60		殘	0.25—0.35
Ironac	13.5		0.7	2.7	trace	82.5	trace
Tantiron	14.0—15.0	0.05—0.15		0.75—1.25 (G)			2.00—2.50
Elianite	14.8		0.0	1.1	0.0	83.1	0.0
鑄 鐵	3.4	0.03	0.64	0.27(C) 3.48(G)		91.74	0.66

鑄鐵內에서 티타늄窒化物和 靑化(cyano) 窒化物的 不活性介在物の 形成때문이라고 믿어진다. 따라서 分析에 依해서 存在하는 量은 과잉의 양이 없는 한 別로 重要치 않으며 소수점 이하 程度가 有効하다. 窒素는 強力한 炭化物安定劑이며 모든 鑄鐵에 여러가지의 量으로 存在한다. 그래서 窒素를 제거하거나 中和시킴은 곧 뚜렷한 黑鉛化作用되며 그래서 Ti은 黑鉛化助長元素로서 分類된다. 副收되는 作用으로서 黑鉛의 크기가 줄어드는데 그렇기 때문에 티타늄의 添加는 強度를 올려주고 白銹化 경향을 감소시켜 준다.

사. 알루미늄 (Al)

알루미늄은 強力한 黑鉛化 促進元素로서 鑄鐵의 黑鉛化를 助長해 주는데 이 傾向은 3~4%인 경우 最大로서 그 이상이 되면 黑鉛化作用이 低下해서 反對로 硬하고 취

성을 갖게된다. 알루미늄주철은 산화분위기 中에서 가열하면 表面에 치밀한 Al₂O₃의 膜을 만들어서 고온에서의 산화저항이 커질 뿐만 아니라 加熱冷却에 依해서 成長도 減小도 하지 않으므로 耐熱鑄物로서 우수한 性質을 나타낸다. 그런데 Al을 含有하는 溶鐵은 大氣中에서 반응해서 表面에 Al₂O₃의 酸化膜을 만들어, 溶湯의 流動性を 害하고 또한 Al₂O₃ 酸化膜이 제품에 혼입하기 때문에 鑄物을 만들기 힘든 것이 큰 결점이다. 表 9는 알루미늄 鑄鐵의 種類와 成分을 나타 낸다.

아. 高 Si

窒素는 鑄鐵의 黑鉛化를 促進하고 그의 組織이나 性質에 커다란 영향을 주는데 이에 관해서는 많은 研究가 있다. 여기서는 基本的으로 含有되는 窒素를 문제로 삼는 것이 아니라 Si 4% 이상의 高窒素에 對해서 論하고

〈表 8〉 마나뎀 添加 鑄鐵의 化學成分과 機械的 性質의 關係

化學成分 (%)				引張強度 (kg/mm ²)	
C	Si	P	V	30φ	22φ
3.08	2.41	0.036		24.9	29.9
3.18			0.16	26.5	32.1
3.13			0.27	29.5	36.2
3.09			0.28	30.9	35.6
3.09	2.42		0.42	32.3	36.2

저 한다. Si 4~6%를 갖는 鑄鐵은 Silal이라 하고 黑鉛과 페라이트 其他로 되어 高温酸化 및 成長이 적어서 耐熱鑄鐵로서 쓰여진다. 特히 球狀黑鉛을 갖는 Silal은 片狀黑鉛을 갖는 것에 비해 機械的性質이 탁월할 뿐만 아니라 耐熱性, 特히 反復加熱에 依한 成長이 적어서 最近에는 球狀黑鉛 組織의 것이 많이 쓰여진다. 또 Si를 다량 첨가한 주철은 耐酸性이 特히 좋으므로 옛부터 耐酸鑄鐵로서 化學工業用으로 널리 利用되고 있다. 表 7은 高 Si 耐酸鑄鐵의 種類와 化學成分을 表示한다.

자. 其他 元素들

硼素와 테루리움은 白銑化를 만드는 경향이 아주 強力하기 때문에 아주 적은 量이 쓰여진다. 硼素는 白銑化

〈表 9〉 Al系 鑄鐵의 化學成分

種 類	化 學 成 分			
	C	Si	Al	Cr
보 통	3.35	1.35		
1% Al	3.31	1.28	0.85	
1% Cr	3.35	1.29		0.78
5% Si (실알)	2.97	4.88		
5% Si-1% Al	2.84	4.49	1.03	
5%Si-1%Cr	2.70	5.19		0.87
6%Al-1%Cr (크랄파)	2.84	1.57	6.03	0.73
4%Al-5%Si(아루시론)	2.43	5.51	3.75	
4%Al-5%Si -1%Cr	2.45	5.91	4.13	0.98

를 誘導하여 白銑을 만들고 大量은 重鑄物에서 퍼얼라이트의 黑鉛化를 방해한다. 千分の 몇 %의 테루리움이 鑄物表面에 白銑을 만든다. 그러나 퍼얼라이트의 安定性을 심각하게 해치지 않는다. 쇠물받이에 黑鉛의 添加 후에 이어서 테루리움을 첨가하므로써 車輪을 제조하는 工場에서는 要求하는 정도의 白銑化와 斑銑鑄鐵을 生産한다. 마그네슘은 쇠물받이에 첨가하여 球狀黑鉛鑄鐵을 제조하는데 使用하며 또한 白銑化를 製造하는데도 使用하고 白銑을 만들기도 한다.