

鑄造用 亜鉛合金材料 現況

趙 南 敦

1. 序 論

亜鉛은 우리나라에 豊富한 資源을 가지고 있어 直接 多量生産되는 金屬으로 他金屬과의 代換 活用은 國家的인 次元에서도 重要한 課題이다.

이 鑄造用 亜鉛合金에 관한 문헌이 不足하던 때 D. Apelian 等이 1981年 11月 Journal of Metal에 發表한 內容을 간추려 소개하려고 한다.

亜鉛과 그 合金은 오래전부터 使用되어 오고 있다. 金屬亜鉛에 대하여 언급한 最初의 人인 P. Paracelus(1493 ~ 1541)는 다음과 같이 말하였다.

“일반적으로 잘 알려져 있지 않은 Zinken 이라 부르는 또 다른 금속이 있다.

이것은 특이한 性質과 生成근원을 가지고 있고 다른 金屬들은 그 金屬의 品質을 떨어 뜨린다.

이것은 熔解는 되나 可鍛性은 없다. 또한 이것의 색은 다른 金屬과는 다르며 混合이 잘 안되고 다른 金屬의 製造에도 利用되지 않고 그 自体만으로 쓰여지고 있다.” 亜鉛의 生産은 인도에서 최초로 시작 했는데 그 증거로는 古代사람들(B.C. 500年前)이 亜鉛으로 製造했던 팔지가 Cameros의 옛터에서 발견되었다.

20세기에 들어와서 亜鉛合金이 처음으로 개발되어 朱錫(Sn)과 鉛(Pb) 合金인 活字의 壓力다이캐스팅鑄物이 強度가 약하고 高價여서 그 代用으로 使用되었다. 이러한 용도로 개발된 合金의 조성은 6% Sn, 5% Cu, 0.5% Al과 나머지 Zn이었다.

옛날 亜鉛合金은 잘 合金되지 않아 水分이 있는 분위기에서 쉽게 붕괴되어 널리 전파를 어렵게 했던 불행한 일이었다. 이들 合金은 粒界腐蝕과 過

時効 現狀에 민감하였다.

이 合金의 粒界腐蝕은 Sn, Pb, Cd과 같은 不純物에 기인 하였던 것이다.

한편 過時効現象은 높은 銅의 含有量에 기인 하였다.

이렇게 초기에 원시적인 조업때문에 많은 冶金學者들은 亜鉛과 그 合金을 우수한 性質을 갖는 活用할 수 있는 工業材料로서 인정하지 않았다.

1930년과 1940년 사이에 Zamak 3과 5 壓力다이캐스팅合金이 도입되었다.

合金 No. 3와 No. 5는 둘다 4% Al, 0.03% Mg을 含有하고 있으나 銅의 含有量이 다르다.

世界大戰前과 戰爭中 독일에서는 重力鑄造鉛合金도 銅의 不足으로 因해 銅과 그 合金代신으로 使用되었는데 1939에서 1943까지 사이의 독일의 亜鉛合金使用量 7,800 ton에서 49,000 ton으로 7배로 증가하였다.

점차적으로 亜鉛合金은 發展되어 靑銅代用의 베어링 材料로서 世界二次大戰中 독일에서 널리 使用되었다.

亜鉛合金베어링은 油類에 대한 더 높은 유연성보다 낮은 磨擦係數 보다 우수한 기계적 성질, 높은 内部減鎖特性을 갖는다는 것을 알았다.

Table 1.은 다른 鑄造用 合金과 비교한 亜鉛合金鑄物의 機械的 性質을 나타 내었다. 美國에서는 鑄造工場에서 亜鉛은 근래까지 壓力다이캐스팅合金에 主로 使用이 제한되어 왔다.

이 다이캐스팅 工業에서 使用된 다른 主要한 非鐵合金은 Al 合金, Mg 合金, 銅合金인데 이 네가지 合金中에서 亜鉛合金은 다른 壓力다이캐스팅合金 Table 2.에 比하여 양호한 機械的 性質을 가지

Table 1. 각종 주조합금의 기계적 성질 범위

합금	인장강도 (Ksi)	연신율 (%)	브리넬경도
회주철	20-85	0	100-185
구상흑연주철	55-160	1-18	160-302
가단주철	40-110	1-18	160-302
강	50-200	5-25	130-400
알루미늄합금	20-45	< 12	55-145
구리합금	25-175	< 40	44-150
아연합금	32-65	< 10	80-125

Table 2. 각종 압력 다이캐스팅합금과 아연의 기계적 성질

성질	아연합금 No.3	아연합금 No.5	Al 합금	Mg 합금	구리 합금
극한인장강도 Mpa	238	324	228-331	214-234	379-586
Ksi	41	47	33-48	31-34	55-85
연신율, %	10	7	2.5-9	3-8	15-25
브리넬경도	82	91	50-80	63	120-160
샤르피충격강도 J	583	65	2.7-11.3	2.7	54-95
ft-lb	43	48	2-8.3	2	40-70

Table 3. 아연 No.12와 그밖의 주물합금들의 성질

성질	아연합금 No. 12	청동 (85-5-5-5)	알루미늄 (365-T6)	주철 (Class 30)
극한인장강도 Ksi	40-45	37	33	30-34
항복강도 Ksi	30	17	24	-
인장연신율, %	1-3	30	3.5	-
브리넬경도	105-125	50-65	70	179-288
영율 10 Ksi	12	13.5	10.5	13-16.4
비중, g/cm ³	6.03	8,796	2,683	7,192
용융범위, °C	377-432	854-1009	580-610	1149-1204

고 있기 때문에 壓力다이캐스트工業에 活用되고 있다.

즉 낮은 熔解溫度(따라서 金型의 수명이 길고, 生産率이 높다)는 경제적 利點으로 亜鉛合金을 圧

力다이캐스팅에 활용되었다. 따라서 壓力다이캐스팅 亜鉛合金은 다른 合金과의 경쟁으로부터 市場性을 보호할 수 있었다.

그러나 1960년대에는 이 市場의 일부가 플라스틱 射出作業으로 잃어버렸다. 플라스틱 工業과의 경쟁에서 이길수 있는 것은 두께가 얇은 金型鑄物에 關한 研究와 開發을 자극하였다.

同時에 이 合金에 關한 研究作業은 creep 抵抗을 改善하여 亜鉛壓力다이캐스팅合金을 開發하는데 있었다. 最初에는 이 目的을 얻을 수 없었지만 그 研究로 合金 No.12 (主合金元素로서 10.5 ~ 11.5 wt% Al을 含有함)의 도입되었다.

合金 No.12도 合金 No.3와 No.5에 比하여 creep 抵抗性質을 갖게 되었고 多様な 鑄型材料에 대한 우수한 性質과 重力鑄造特性을 나타내었다. 桴목할만한 鑄造性과 機械的 性質 때문에 No.12合金은 鑄物工業에서 使用되었다.

Table 3은 砂型鑄造用 No.12合金과 其他 鑄物用合金과의 比較性質을 나타내고 있다.

이와 같은 成功的인 適用으로 말미암아 또 다른 良好한 亜鉛合金에 關한 研究에 박차를 가하게 되었다. 그리하여 合金 No.8과 No.27 (主要合金元素로서 8.0 ~ 8.8 wt%와 25.0 ~ 28.0 wt% Al을 각각 함유함)을 만들었다.

현재 이들 새로 開發된 重力鑄造 亜鉛合金은 다른 非鐵合金, 灰鑄鐵, 可鍛鑄鐵의 대용으로 사용되게 되었다.

2. 亞鉛合金의 開發

亜鉛合金의 初期開發段階에서는 合金元素로서 Al 添加의 利點은 인정되었다. 즉, 亜鉛의 Al 添加는 熔湯의 流動性의 증가, 粒子의 미세화, 그리고 鑄物의 機械的 性質의 改善을 가져온다. 二元 Zn-Al 系도 壓力다이캐스팅과 重力鑄物工業을 위해 開發된 大部分의 工業的 合金의 기초이다.

銅과 Mg도 一般的으로 使用되는 合金元素인데 creep 抵抗이 要求되는 特別한 경우에는 Cr과 Ti도 合金 No.16에서와 같이 添加合金元素로서 使用된다.

2.1 Zn - Al 系

Zn-Al 평형상태도 (Fig.1)는 382°C에서 95

wt% Zn-5wt% Al의 組成에서 共晶變態를 나타낸다. 共晶變態의 生成物은 H.C.P의 Zn(1.0 wt% Al)相 β와 F.C.C α'相(17.2wt% Al)이다.

β相(共晶溫度에서 1.0wt% Al)內에서 Al의 용해도는 20°C에서 0.5wt% Al로 溫度와 더

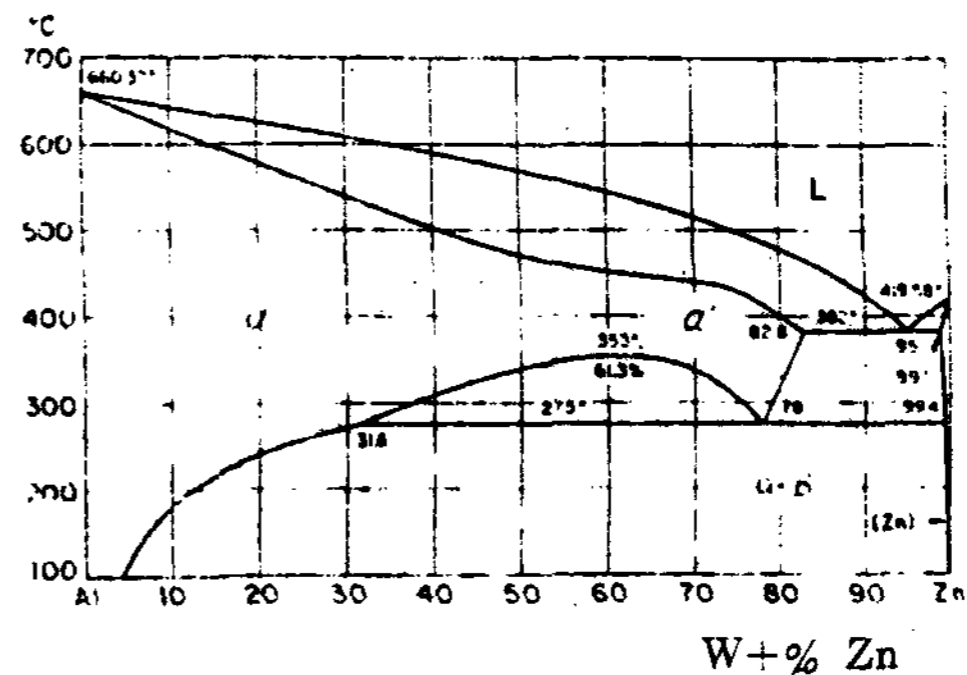


Fig.1 Zn-Al 상태도

불어 減少한다. α'相(共晶溫度에서 17.2wt% Al)은 275°C(22wt%의 α') 以下の 溫度에서 不安定하고 共析變態는 約 0.6wt% Al의 亜鉛相과 約 31.6wt%의 Zn의 알루미늄相으로 進行된다.

Al-Zn 系는 適合한 열처리로서 鑄物의 기계적 성질을 조정할 수 있다. Al의 α相은 30wt% Zn만큼 과포화 될수 있기 때문에 固溶硬化에 特別히 適合하다.

더우기 α와 β相은 溫度가 감소될 때 溶質의 용해도를 減少시키기 때문에 析出에 의한 強化를 할 수 있다.

2.2 銅

銅은 強化劑와 硬化劑로서 모든 Zn-Al合金에서 合金元素로 使用된다. 여러가지 量의 Al을 含有하고 있는 亜鉛合金의 기계적 성질에 대한 銅 添加의 영향은 Fig 2에 나타나 있다.

2wt% 以上の 銅添加는 그 合金의 인장강도를 증가시키고 신율을 減少시킨다. 또한 銅의 添加는 合金의 creep과 부식抵抗을 改善한다. 더우기 銅은 275°C에서 發生하는 共析反應의 速度를 적당히 지연시켜 준다.

예를들면 共析溫度 以上에서 燒入한 Zn-20wt % Al은 90秒 內에서 平衡상을 完全히 分解시킨다. 즉, 1wt%와 3wt% 銅을 含有하고 있는 동일한 合金은 完全變태에 대하여 各各 3,500秒

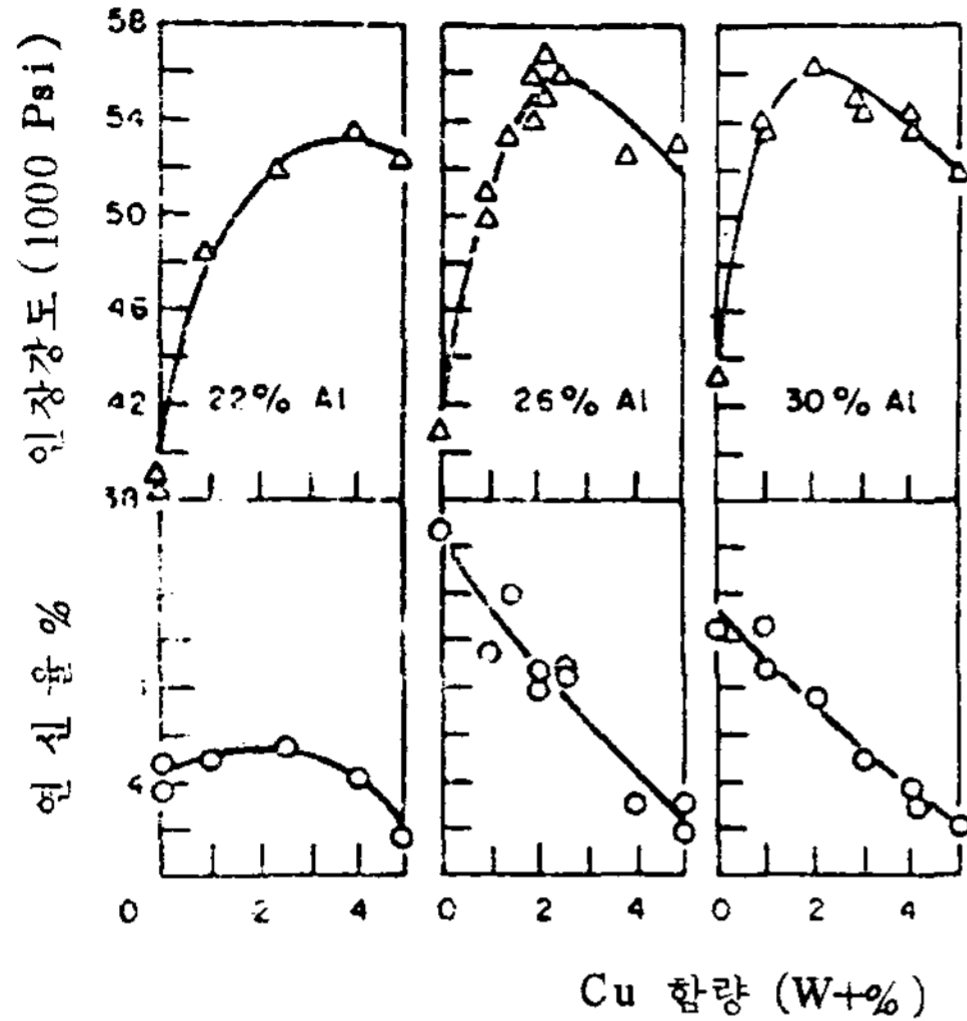


Fig.2 22, 26, 30 wt% Al과 함께 Zn-Al 합금의 인장강도와 연신율에 따른 구리 첨가의 영향

와 4320秒 結된다.

少量인 경우는 유익하나 높은 銅의 含量은 時効反應에서의 變化 때문에 時間에 따라 鋳수의 安定度의 損失과 機械的 性質이 감소되기 때문에 해롭다.

2.3 마그네슘 (Mg)

Mg은 Zn-Al 合金을 強化하고 硬化시키는데 利用된다. 비록 Mg이 重要하지 않은 合金元素라 할지라도 Mg은 粒界腐蝕을 방해하는 경향이 있기 때문에 더욱 重要하다. 銅처럼 Mg添加도 共析反應을 방해한다.

共析以上の 溫度로 부더 燒入된 Zn-20wt% Al 合金은 90秒內에 平衡組成相이 分解된다.

0.1wt% 만큼 낮은 Mg添加는 完全히 분해를 위해 要求되는 時間이 상온에서 6×10.5 秒 정도로 증가된다. Mg의 고농도 (≥ 0.1 wt%)는 열

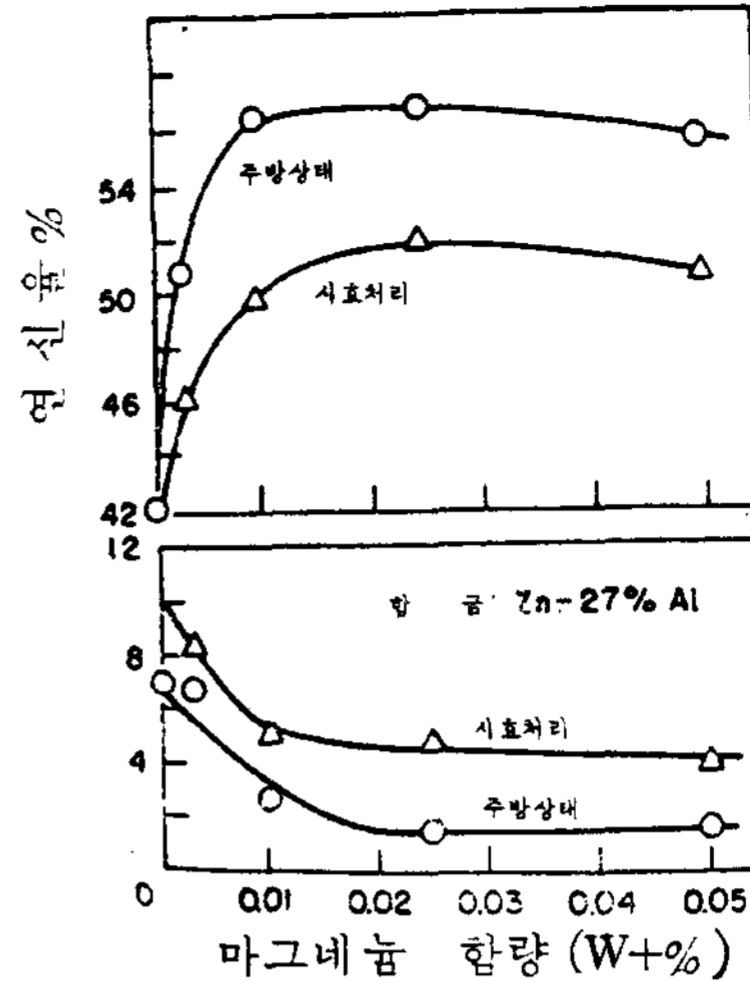


Fig.3 이원계 Zn-27% Al 합금의 마그네슘 첨가에 따른 인장성질

간취성을 촉진 시킬 수 있다. Mg 酸化物의 形成은 또한 合金의 鑄造性에 나쁜 영향을 줄 수 있다.

Fig.3은 주조상태와 時効된 조건에서 Zn-27% Al 合金의 機械的 性質에 대하여 添加된 Mg 添加의 效果를 나타내고 있다.

2.4 기타 不純物의 영향

Zn-Al에 기초로 한 合金은 그의 物理的 및 機械的 性質들이 Pb나 Cd 그리고 Sn과 같은 미량의 不純物의 存在에 의해 큰 影響을 받고 있는 특징이 있다. 初期에 다이캐스팅 鋳鉛들은 粒界腐蝕에 대한 그들의 민감성 때문에 오히려 부적당 하였다.

水分의 存在는 粒界間腐蝕을 촉진 하는데 도움을 준다. 같은 溫度에서 수증기의 存在는 腐蝕을 신속하게 일으키는 원인이 된다.

Brauer와 Pierce는 Pb, Cd 그리고 Sn같은 不純物의 存在는 입계간 부식의 원인이 되고 이 量의 주의깊은 관리가 必要하다는 것을 알았다.

粒界腐蝕을 촉진 시키거나 방해하는 여러가지 合金元素들의 지배하는 機構나 相互作用은 명확하지

않다. 그러나 Mg 과 Cn는 粒界腐蝕을 방해하는 것으로 잘 알려져 있다.

3. 鑄造作業

亜鉛合金은 鑄物의 流動性을 고려할 때는 다른 合金을 능가한다. 亜鉛合金은 여러가지의 固定된 鑄型이나 圓심주형주조, 다이캐스팅을 할 수 있다.

壓力다이캐스팅에 있어 H-13 die steel은 때때로 高強度 材料에 사용되는 특별한 鑄型構成物에 (押出 pin 등) 사용되지만 사용된 주형재료는 전형적으로 P-20 die 鋼이다.

合金 No.3와 No.5로 壓力다이캐스팅 할때 hot chamber 機는 生産速度를 最大化 시키기 위하여

使用 되어진다. 그러나 合金No.8, No.12, No.27로 壓力다이캐스팅을 할때에는 Al의 높은 含有量을 갖인 亜鉛合金으로 문제가 되는 Fe分 용해를 最小化하기 위하여 cold chamber 다이캐스팅 機를 使用해야 한다. 亜鉛이 많은 壓力다이캐스팅 合金은 Al, Mg 다이캐스팅 合金들 보다도 더욱 얇은 두께를 갖인 鑄物로 鑄造할 수 있다. Table 4는 각종 合金들에 대한 壓力 다이캐스팅의 크기나 重量의 한계를 보여준다.

重力鑄造에 성공적으로 使用되고 있는 鑄型材料는 규사, 석고, 실리콘고무, 흑연, 청동, 알루미늄, 베리움銅이다. 주형재료로서 실리콘 고무와 흑연은 특별한 이점들이 있다.

Table 4. 각종 합금들에 대한 압력다이캐스팅의 크기 및 重量의 한계

	아 연	알 루 미 늄	마 그 네 슴
주 조 의 최 대 重 량 Kg	34	45.4	4.5
주 조 의 최 대 길 이 m	2.49	1.4	1.22
대 형 주 조 의 최 대 벽 두 께 mm	0.89	2.0	2.0
소 형 주 조 의 최 소 벽 두 께 mm	3.8	7.6	1.27
Cast threads max. no/in 외 부	32	12	12
Cast threads max. no/in 내 부	24	none	none
단 위 길 이 당 코 아 의 최 소 구 배	0.003	0.005	0.0042
단 위 길 이 당 측 벽 의 최 소 구 배	0.005	0.010	0.008

역 구배가 있는 부품은 유동성이 있는 실리콘 고무 鑄型에 주조할 수 있다. 철이나 다른 비철 合金들과 달리, 상대적으로 亜鉛合金의 낮은 용점은 실리콘고무 鑄型을 使用할 수 있게 한다.

그러나 실리콘고무 鑄型의 성공적 利用은 상대적으로 작고 얇은 부분에만 使用되도록 제한되어 있다. 주형재료로서 흑연을 使用하는 것은 기체가 공을 용이하게 휘거나 굽어지지 않고 높은 열전도성 때문에 응고를 신속히 촉진 시키므로 현재 使用되어지고 있다. 鉄과 다른 非鉄材料 들도 흑

연 鑄型에 또한 주조될 수 있지만 一般的으로 使用되지 않는다.

왜냐하면 높은 鑄造溫度 때문에 酸化와 鑄型을 酸化시켜 주기 때문이다. 그와는 대조적으로 亜鉛 合金들은 역으로 흑연 鑄型에 영향을 받지 않는다. 같은 흑연 주형을 使用하면 20,000개 이상의 亜鉛合金 鑄物이 만들어지고 있다. 흑연 주형으로 만들어진 鑄物은 더욱 더 우수한 표면처리와 기계적성질을 나타낸다.

亜鉛合金을 용해하는 방법은 옛부터 使用되 액

Table 5. 아연 합금주조에 있어서 금속 주조 온도, °C

주 조 방 법	합 금 No. 3	합 금 No. 5	합 금 No. 8	합 금 No. 12	합 금 No. 16	합 금 No. 27
사 형 주 조	500	500	470	520	500	600
영 구 주 형	500	500	470	520	500	600
금 형 주 조	450	450	500	500	550	550

체연료, 기체연료 혹은 전기로를 사용하여 亜鉛合金을 용해 시킬수 있다. 각각 다른 作業工程에 사용하는 여러가지 亜鉛合金 鑄物에 대하여 적당한 鑄造溫度는 Table 5에 요약되어 있다.

낮은 용융점 때문에 亜鉛合金들은 용해와 鑄造가 용이하지만 오염에 아주 민감하기 때문에 확실한 주의가 필요하다. Cd, Pb, Sn(특히 황동, 청동)이 우연히 첨가되는 것을 피하기 위해서 다른 鑄造合金들에 사용되었던 도가니들은 亜鉛合金을 熔解하는 데 사용하지 말아야 한다. 合金 No. 3, No. 5은 一般的으로 鑄鐵도가니에서 熔解한다.

이러한 것들과는 대조적으로 철분흡수(合金 No. 8, No. 12, No. 16, No. 27)에 민감한 亜鉛合金을 熔解하는 데에는 Sic도가니들은 사용함이 좋다.

마찬가지로 철분으로 인한 오염을 피하기 위하여 용해된 것과 오래 접촉되어 있는 鉄로된 기구들은 내화재료로 피복하여 보호 하여야 한다.

Zn-Al 합금은 500 °C 以下 溫度에서 一般的으로 鑄造하고 700 °C 그 以上 높은 溫度가 되지 않는 한 亜鉛이 타서 그 煙(fume)을 일으키지 않는다.

重力鑄造를 하는 주물 공장에서 사용되는 主要合金들은 No. 12, No. 27이다. 이 두 合金의 뛰어난 流動性 때문에 鑄物砂가 거치른(좀 굵직한) 입도이면 표면이 거칠어지는 원인이 되기 때문에 砂鑄型으로 造型할 때는 미세한 주물사를 사용함이 좋다. 亜鉛合金들은 다른 주조 합금보다 낮은 溫度에서 鑄造할 수 있으므로 낮은 온도에서 분해하는 중자를 사용하여 쉽게 탈사 되도록 해야 한다. Al 편석을 방지하기 위해서 鑄造하기 前에 용탕을 휘저어 주어야 한다. 그 다음 철분 오염으로 인하여 생긴 dross를 제거하기 위해 찌꺼기를 걸어낸다.

이런 合金들(특히 合金 No. 27)로 된 두꺼운 鑄物은 주물의 밑부분에 해면상 수축의 원인이 된다.

4. 亞鉛合金의 利点

4.1 材料上的 利点

(1) 亜鉛合金은 대기중 및 수용액 중에서의 耐蝕性이 좋으며 特別히 石油化学製品과 함께 사용할 때 부식 저항이 크다.

주조품은 또한 전기도금, 크롬도금, 인산염처리, 도장, 라카도포 혹은 양극산화 처리등이 쉽게 된다.

(2) 亜鉛合金은 hard spots를 含有하지 않으며 機械加工으로 인한 잔유응력이 없다. 이것은 공구의 耐마모를 減少시켜주고 응력제거 工程이 생략되며 製品 變形의 염려가 없다.

(3) 亜鉛合金은 壓力 다이캐스팅으로 정밀하게 鑄造할 수 있고 두께를 多樣하게 變化시킬수 도 있다. 따라서 一般的으로 이러한 亜鉛合金의 特性 때문에 二次加工 作業을 할 必要가 없다.

또한 砂型주물合金은 표면상태가 더 smooth하고 정밀하게 주조된다.

또한 이 合金은 주철, 가단주철 銅合金보다도 加工하기가 용이하다. 그러므로 加工과 표면처리 조작의 工數가 크게 減少되거나 혹은 完全히 제거된다. 金型鑄造는 표면상태와 機械的 特性을 더욱 향상시켜 준다.

(4) 壓力다이캐스트 亜鉛合金의 충격강도는 銅合金을 제외한 다른 다이캐스트合金의 충격강도 보 다도 더 크다.

4.2 鑄造上的 利点

(1) 상대적으로 낮은 용점은 용해에 필요한

energy를 減少시켜 준다.

亜鉛은 130 kwh/t에 비해서 銅은 320kwh/t, Al-400kwh/t, 鑄鐵- 500kwh/t의 에너지가 소요된다.

(2) 양호한 유동성 때문에 얇은 단면 부품도 쉽게 压力, 重力 鑄造할 수 있다.

(3) 亜鉛合金의 낮은 용점은 砂型鑄造作業에 있어서 gas發生을 減少시킨다.

4.3 原價上의 利点

亜鉛合金은 靑銅에 比하여 材料價格이 낮고 그 密度가 작기 때문에 재료적 관점으로도 약50%의 가격을 절감시켜 준다. 비록 亜鉛이 鑄鐵과 Al合金들 보다 좀더 비싸다 할지라도 生産工程에서의 실질적인 原價節減은 전체적인 가격을 저하시켜 준다.

鑄造品の 全体的인 가격을 減少시키는 要因은 다음과 같다.

(1) 亜鉛合金의 낮은 용융점은 소요에너지의 절약을 의미하며 가격을 절약하는 결과를 초래한다.

(2) 亜鉛合金은 연기가 발생되지 않고 용재가 不必要하므로 脫gas 處理가 不必要하다. 즉, 공해염려가 없어서 값비싼 공해조절장치가 필요하지 않는 매력적인 장점을 갖고 있다.

(3) 亜鉛合金은 정밀하게 鑄造되어질 수 있기 때문에 加工과 마무리 作業에 있어서 현저한 原價의 절약을 기할 수 있다.

5. 用 途

壓力다이캐스팅 亜鉛合金은 다른 非鐵壓力다이캐스팅合金과 비교 할 때에 經濟的인 利点은 물론 독특한 特性和 鑄造利点을 가지고 있다.

壓力다이캐스트 亜鉛合金No.3, No.5는 産業機械와 科学裝置 및 家庭用機器의 부품과 frame 등의 公業재료로서 널리 使用되어 진다.

다시 말하자면 handle이나 lock, 機械部品, body, hard-ware와 trimming, lamp와 조명설비등등 많은 분야에 適用되어 널리 쓰인다. 壓力다이캐스팅 亜鉛合金 No.3와 No.5는 數十年동안 다른 非鐵鑄物合金에 대하여 成功的으로 開發되어 왔

다. 一般的 目的의 鑄物合金으로서 亜鉛合金의 使用은 비교적 새로운 開發이다. 亜鉛合金은 鑄鐵, 황동, 청동과 Al合金과 같은 전통적인 주물용合金에 대하여 흥미있는 대체合金임이 인정되어 왔다. 최근에 No.12合金은 베어링用으로 使用되고 있다. 1977년에 International Lead and Zinc Research Organization [ILZRO]에서는 特性亜鉛合金인 No.12와 No.23의 마모와 마찰 특성을 SAE-660 청동과 비교하는 研究를 수행한 바 있다. 그 結果는 No.27合金으로 加工한 bushing은 그 마찰 저항은 물론이고 660靑銅의 부하용량을 증가한다고 발표했다.

No.12와 No.27의 結果를 660靑銅과 함께 Fig 8에 나타내었다.

또한 이들 3合金의 6.89 Mpa(1000 Psi)로 주어진 bearing stress에 대한 bearing-wear를 Fig 9에 나타내었다.

No.12合金으로 만든 bushing은 광산 elevators, brill, motors, 50 ton dump trucks와 drill track rollers와 같은 機械에서 시험됐다.

No.12合金 bushing은 직렬식 기관차에서 동일한 부품으로 使用되었을 때 청동에 비해서 더 적은 마모를 나타내었다.

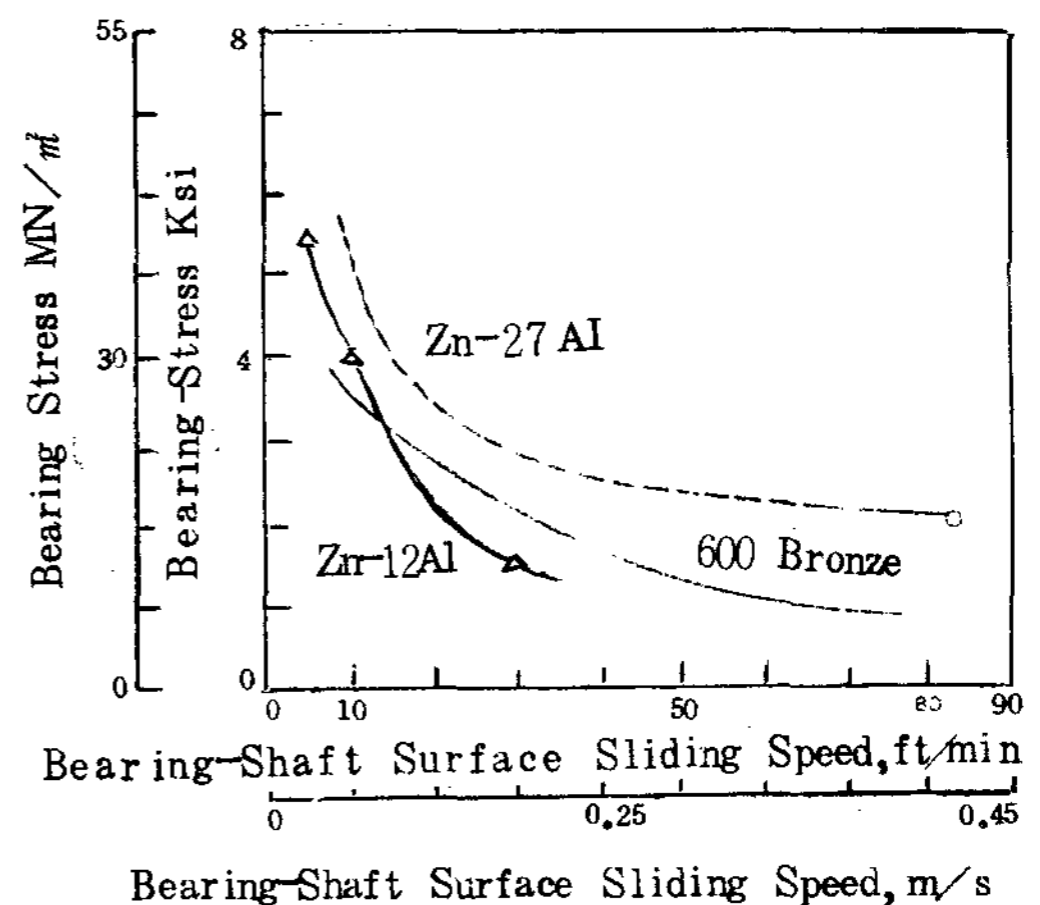


Fig.4. 보통사용되는 청동합금과 아연합금에 대한 조업한계의 비교

No.12와 No.27合金은 No.27合金의 인장강도와 항복강도가 No.12에 비해 더 높지만 같은 경도치

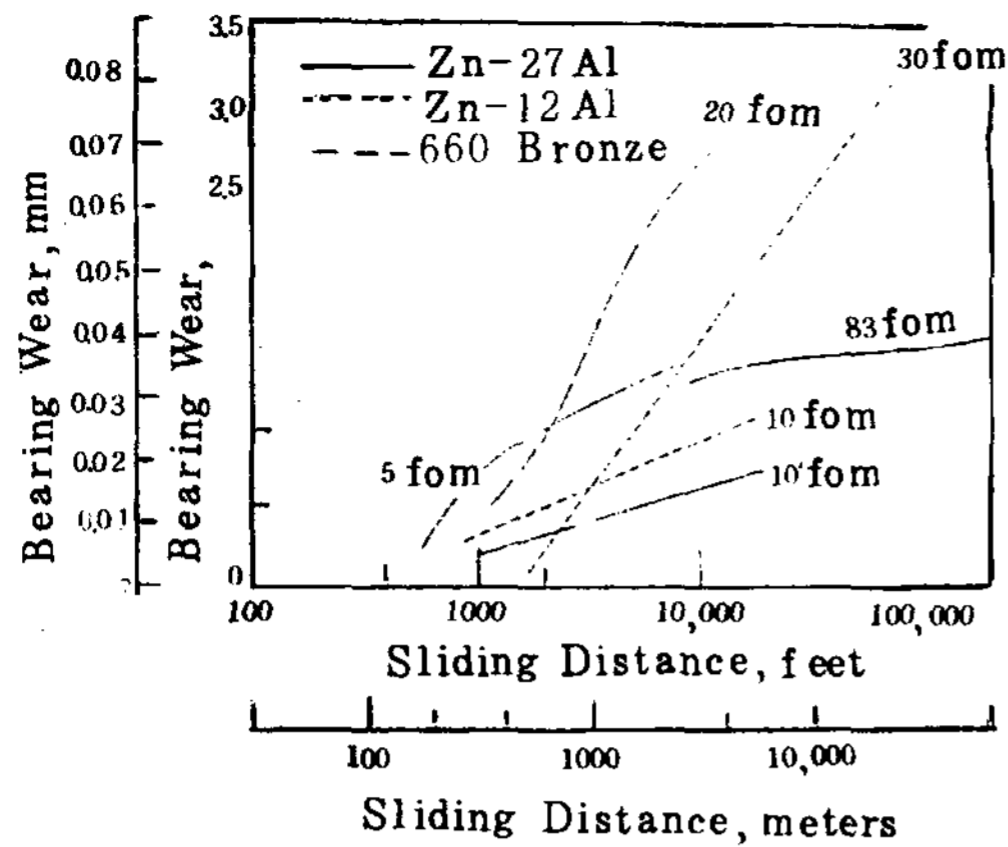


Fig.5 6.89MPa로 주어진 bearing stress 에 대한 Bearing Wear.

를 갖는다. 따라서 베어링으로 응용될 때에는 No. 27 합금이 No. 12 합금에 비해서 그 특성이 더욱 우수할 것으로 판단된다.

亜鉛기지 베어링에 대한 명확한 기준과 design-parameter가 ILZRO의 후원 아래 研究計劃에 包含되어 開發되고 있다.

Zn기지 bearing에 대한 하나의 問題는 약한 고온 강도 유지 능력이다.

Zn기지 베어링과 bushing은 청동의 대체품으로서 널리 보급될 것으로 예상된다.

왜냐하면 가격이 저렴하고 기계적 성질이 우수하며 특히 부하가 많이 걸리는 저속용으로 그 특성이 우수하기 때문이다.

新日本鑄鍛造協會 · 發行圖書

鑄造工場の 設備와 設計	¥ 46,000
合金鑄鐵의 基礎研究	¥ 30,000
규산소오다配合鑄物砂의 性質과 形成	¥ 12,000
誘導炉의 改善과 經濟操業	¥ 11,000
鑄物生産의 作業標準化	¥ 25,000
鑄鐵鑄物現場技術 마누얼	¥ 3,900
新鑄型便覽	¥ 5,000
Full Mold 法の 理論과 實際	¥ 8,000
現場鑄造 테크닉 實例集	¥ 2,500
現場알미늄 合金鑄物	¥ 3,800
現場 · 鑄物新技術시리즈 全 12 卷	¥ 20,000
工業炉 핸드북	¥ 17,000
鐵鋼熱處理의 現場指針	¥ 3,000