

技術資料

마그네슘 합금鑄物

尹義博

Magnesium Alloy Castings

E.P.Yoon

Mg 합금주물은 현재 항공기 및 섬유기계에 주로 쓰이고 있으나, 자동차 경량화에 따라 점차 그 용도가 확대되어 가고 있는 것이 세계적 추세이다. 이러한 Mg 합금주물에 대해 주조공학회지 1987년 7권 1호에 Mg의 특징, Mg 주물용 합금의 종류, Mg 주물의 전망을 소개한바 있으며 본고에서는 이에 계속해서 Mg 합금 사형주물, Mg 합금 금형주물, Mg 합금 다이캐스팅, 및 그 적용례를 소개하고자 한다.

1. Mg 합금 사형주물

사형주조에서는 어떠한 형상의 주물도 작업할 수 있다. 일반적으로 주물의 특성을 표현하는 경우, 주조성, 치수정도, 외관의 양호, 건전성, 내압성, 내식성, 기계적 성질 등을 논할 수 있는데, 이것에 대해서 설명한다.

1-1. 주조성

Mg 합금은 Al 합금에 비해서 일반적으로 1) 유동성이 나쁘다. 2) 압탕효과가 작고 microshrinkage가 발생하기 쉽다. 3) 따라서 내압성이 작다. 4) Pinhole이 생기지 않는다. 5) 용탕이 산화하여 dross가 발생하기 쉽다. 이와 같이 Al 합금보다 주조가 곤란한 요인에 갖추어져 있다. Al 합금주물에서 가장 문제가 되는 pinhole의 발생이 Mg 합금에서는 거의 문제가 되지 않는 것이 유일한 특징이다.

Mg 합금은 열용량이 작아 냉각되기 쉬우므로 용탕을 고온으로 주입하여도 용탕의 흐름이 양호하지 못하

게 된다. 따라서 주물의 최소두께가 문제가 되는데, 최소두께는 4mm 정도, 최적두께는 8mm 정도이다.

표 1에는 각 합금의 주조특성을 표시하였다. AZ63A 합금은 주조성이 나빠, AZ91C 또는 AZ81A로 대체되었다.

1-2. 치수정도

Mg 합금 주물은 조형하는 주물사에 산화방지제를 첨가하며, 비교적 거친 주물사를 사용하기 때문에 주

표 1. Mg合金의鑄造特性

合金	耐壓性	porosity의發生程度	耐食性	鑲金性	溶接性
AZ63A	C	C	B	A	C
AZ81A	B	B	B	C	B
AZ91C	B	B	B	C	B
AZ92A	B	B	B	C	B
EK30A	A	A	A	A	A
EK41A	A	A	A	A	A
EZ33A	A	A	B	A	A
HK31A	A	A	A	—	A
HZ32A	A	A	B	—	A
ZE41A	A	A	B	—	B
ZH62A	A	A	B	—	B
ZK51A	B	B	A	B	C
AM100A	A	A	B	A	A
AZ92A	B	B	B	C	B
AZ91A Diecasting	A	A	A	B	NO
AZ91B Diecasting	A	A	A	B	NO

A.B.C는 상대적이며 "A"가 가장 우수하다.

물의 소기의 치수정도를 얻기 어려우나 CO₂ 형사를 증자나 주형에 적용하면 비교적 치수정도가 향상될 수 있다. 주물에 적용하는 마무리 정도를 표 2에 표시하였다.

표 2. 鑄物의 表面粗度區分값

鑄物의 크기	150 mm 以下			150 ~ 600 mm			600 mm 以上		
表面粗度程度	▽	▽▽	▽▽▽	▽	▽▽	▽▽▽	▽	▽▽	▽▽▽
表面粗度區分값	2.0	2.5 ~ 3.5		2.5 ~ 3.5	3.0 ~ 4.0		3.0 ~ 4.0	5.0 以上	

또한 주물에서 고려하여야 할 공차를 표 3에 표시하였다. 그러나 공차는 요구되는 주조방법을 검토하여 향상할 수 있다.

표 3. Mg 合金砂型鑄物의 치수公差

단위 : mm

치 수 구 간	분할면에 평행	분할면에 직각
50 以下	± 0.8	± 1.3
50 ~ 100	± 1.0	± 1.8
100 ~ 200	± 1.5	± 2.5
200 ~ 300	± 2.0	± 3.3
300 ~ 500	± 2.5	± 4.0
500 以上	± 3.5	—
두 개의 치수 차		
5 以下	± 0.5	
5 ~ 10	± 1.0	
10 ~ 20	± 1.5	
기 울 기	2°	

1-3. 외관의 양호

전술한바에 따르면, 주물사가 거칠고, 주물사의 강도가 Al 용주물사에 비해 낮기 때문에 주물의 표면은 주방상태에서 반드시 양호하지 않다. 또한 칠을 사용하기도 하고 게다가 압탕을 직접 제품위에 세우는 경

우가 많기 때문에, 주물표면은 요구하는 정도에 따라 마무리 작업을 하는 경우가 많다. 마무리 후에 sand blast, short blast 로 표면을 조사하기 때문에, 일반적으로 50-30S의 표면 거칠기는 얻을 수 있다.

1-4. 건전성

주물의 건전성 검토에는 표면검사로서 염색침투탐상시험 또는 형광침투탐상시험을 하며, 내부결함 검출에는 X선투과시험을 하여 촬영된 필름으로 판정하고 있다.

Mg 합금주물 특유의 결함은 부분적으로 존재하는 다공질영역으로 보통 “괴상의 정출물”이라고 불리어지고 있다. 이것은 눈으로 볼 수 없는 미세한 porosity의 집단으로, 파면을 보면 보통 변색되어 있다. 이결함은 형광침투탐상시험으로 분명히 나타나는데, 경미한 경우는 X선 투과시험으로 검출곤란한 것도 있다.

Al 합금주물은, 형광침투탐상시험에서 주물표면 전면에 단독의 porosity가 나타나기 쉬운데 중요한 결함의 판단은 투과 X선 필름에 의하는데 Mg 합금의 경우에는 형광침투탐상시험으로 “괴상의 정출물”이 분명히 나타나며 Al 합금과 같이 단독의 porosity가 점으로 존재하는 것이 작기 때문에 판정이 용이하다.

1-5. 내압성

Mg 합금에서는 높은 압력의 내압을 필증하는 것은 상당히 어렵다. 이것은 Al 합금주물에서는 단독의 결함이 많고 결함이 존재하여도 새지않으나 Mg 합금의 경우에는 porosity가 연속하는 경향이 있어 형광침투탐상시험으로 결함이 발견되지 않는 품질의 주물에서도 새는 일이 많다. 내압성을 개선하기 위하여 칠을 얹거나 압탕을 크게 하는 대책이 있는데 역효과가 나타나는 경우도 있다. 따라서 내압성을 요구하는 물건에는 기계가공후 충분한 처리에 의해 구제하는 것이 좋다.

충진제로서 보통 사용하고 있는 것을, 규산소오다에 철분 및 동분을 현탁시킨 함침제와 스틸렌과 아미닌유의 혼합액을 침투시켜 열중합하여 경화시키는 DMI 법이 있다. 충진방법에는 진공침투법과 압입법이 있고, 수량과 형상에 따라 이 방법을 미리 검토해 볼 필요가 있다.

1-6. 기계적 성질

주물의 주입과 동시에 사형별로 취한 시험편을 주입하여, 주물과 동시에 열처리하여 인장시험을 하였다. 사형별로 취한 시험편과 주물실체의 강도관계가 문제가 되는데, JIS H5203 Mg 합금주물과 미국 Federal 규격 QQ-M-56Mg 합금 사형주물에 규정하고 있는 기계적 성질은 사형별로 취한 시험편의 값이며, 주물실체의 강도는 평균하여 별취시험편의 75%, 신장률은 25%이라는 것이 규정되어 상식적으로 고찰될 수 있다.

예를 들어 ZK61A-T6 재료의 rod wheel의 실체시험 결과를 기록한다.

사진 1에 제품을 표시하였다. 외경 826 mm, 폭 212 mm, 두께 13~15 mm, 중량 35 kg의 주물로 열처리하는 T6 (500 °C × 2h 공랭소입 130 °C × 48h 시효)의 조건으로 처리하였다. 분석 시험의 결과를 표 4에, 실체로부터 절취한 시험편의 위치를 그림 1에 표시하고 있다.

표 4. 분석시험결과

단위 : wt %

Zn	Zr	Al	Mn	Si	Fe	Ni	Cu	Mg
5.52	0.73	0.01	0.01	0.01	0.007	—	—	殘

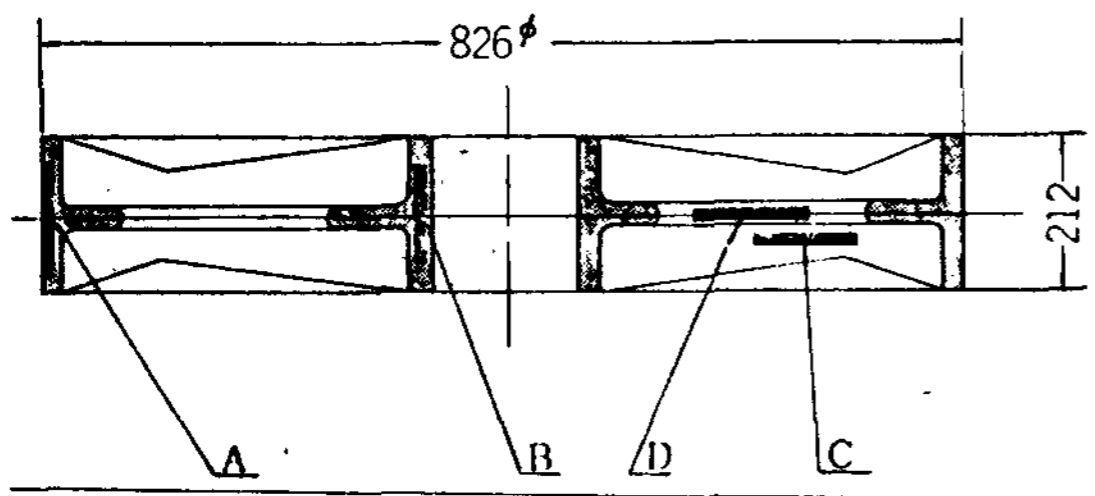


그림 1. Rod Wheel 實體 試驗片 彩取位置 (mm)

인장시험의 결과를 표 5에 표시하였다.

Rib이 교차하는 십자형의 두께부분은 다른 부분에 비해 강도가 낮다.

일반적으로 주물의 형상에 따라, 또는 구조방안에 따라 강도의 분포가 같지 않게 되는 것도 있다.

결함이 없고, 강도가 높고, 균일한 품질의 주물을 만들기 위해 형상에 따른 구조방안을 고려하고, 탕구

표 5. Rod wheel 實體 試驗片 引張結果

試驗片位置	引張強度 kg · f / mm ²	降伏強度 kg · f / mm ²	延 伸 率 %	BRINELL HARDNESS
別取試片 1	30.0	18.7	7.4	71.5
2	29.4	17.6	4.2	—
A 1	28.5	14.7	9.8	64
2	27.4	15.2	8.3	68
3	25.5	15.2	5.7	69
B 1	22.4	15.8	3.0	65
2	22.4	13.5	2.0	64
3	20.9	14.2	5.8	64
C 1	25.0	15.7	3.0	69
2	24.1	14.5	4.4	65
3	20.0	15.0	3.0	69
D* 1	18.0	13.2	3.0	57
2	18.0	12.0	3.0	59
3	16.0	11.0	2.0	57

* 이 부분의 強度改善策으로 chill 및 押湯을 사용한 結果 이 부분의 強度는 20~25kg f / mm²으로 향상되었다.

탕도계의 기본원리에 기준하여 압탕, 칠을 조합하는 용탕에 결정미세화, 탈가스처리 등을 완전히 처리하는 등 종합된 기술이 필요하며 주물공장의 이상적인 품질관리에 영향을 받는다. 신뢰할 수 있는 주물을 만드는 것은 이것이 설계부분에 반영되어 부품의 중량경감을 가능하게 하는 것이고, 더우기 규격치의 향상에도 영향을 미치게 된다.

최근 외국에서는 고력 Mg 주물의 규격이 제정되어 있고, 주물의 실체강도의 고력보증을 처리할 수 있게 되었고, 세계적으로 주물의 고력화에 대하여 끊임없는 노력이 기울여지고 있다.

1-7. 내식성

일반적으로 Mg 합금은 부식되기 쉽다. 특히 해수에 대한 내식성이 약하다. 실용할때 부식되기 쉬운 분위기에 사용될 경우에 필히 표면처리를 하여야 한다.

보통 크롬피클 처리시 (JIS·MXI) 그위에 도장함으로써 장기간 사용할 수 있다. 실내용 또는 자동차 내부 특히 기름투성이 인 곳은 표면처리를 하지 않아

도 사용할 수 있다.

Mg 합금의 산화피막은 알칼리성이므로 도장에는 내 알칼리성의 에폭시계, 우레탄계, 비닐계의 도료를 사용할 수 있다. 그렇지 않은 경우에 전도장에 제크로메타플라이마를 사용하며 후도장은 시판하는 일반도료를 사용하여도 좋다.

방식처리는 부품의 사용환경에 따라 선택하는데, 각각의 방식처리를 표 6에 표시하였다.

1-8. 용 접

주물에 발생했던 sand mark, pit, 두께 부족 등 작은 결함 부분의 보수 및 core 지지를 위한 주방공을 메우기 위해 용접이 사용되고 있다.

Mg 합금주물에 대한 용접은 일반적으로 불활성가스 아이크용접(TIG)이 사용되며, flux를 사용하는 가스용접은 거의 사용되고 있지 않다.

용접을 할 경우 사용되는 용접봉은 각합금에 대해 표 7의 재료를 선택하는 것이 좋다. 용접후 변형처리를 위해서 재열처리 한다. 용접한 주물은 용접시 또는 용접후 열처리의 영향으로 치수가 변화하기 쉽기 때문에 마무리 기계가공을 실시한 제품에 적용하는 것은 상당히 어렵다.

용접부의 강도는 작업방법에 따라서 표 8과 같이 80~100%의 효율이 있다. 그러나 주물용접은 상당히 곤란한데, 예를 들어 발상(拔狀)주물의 중앙부의 구멍을 메우는 등의 작업은 용접한 후 조각이 발생하기 쉬워, 세심한 작업주의와 고도의 용접기술이 필요하다.

2. Mg 합금 금형주물

주형을 전부 금형화한 전금형주물과 일부를 사형을 사용한 준금형주물이 있다.

금형주물은 사형주물보다 주입시 냉각속도가 빠르므로 결정입도가 미세하고 금속간 화합물도 미세하게 되기 때문에 기계적 성질이 뛰어나며, 또한 정도가 양호한 금형을 조합하면 치수정도, 주물표면 등도 양호하게 된다.

또한 조형을 함에 있어서 사형주물과 같이 주형을 만드는데 작업공정수를 그다지 필요로 하지 않기 때문에

표 6. 防食處理의 種類와 性質(JISH 8651)

種 類	記 號	性 質(用途, 適用)	相當處理
1 種 A	MX1-A	<ul style="list-style-type: none"> 未完成部品の 輸送, 格 등에 대한 假防食이다. 各種合金의 鑄物, 鍛造品 展伸料 및 板金部品에 적용된다. 	MIL-Spec Type 1
1 種 B	MX1-B	<ul style="list-style-type: none"> 이 處理에 의한 치수變化는 크다. 	I.G法
2 種	MX2	<ul style="list-style-type: none"> 完成部品에 대한 防食方法으로 양호한 塗裝이 밀바탕이다. 各種合金의 鑄造品 鍛造品・展伸料 및 板金部品에 적용된다. 이 處理에 의한 치수變化는 크다. 	MIL-Spec Type 2
3 種	MX3	<ul style="list-style-type: none"> 長期間의 防食性を 준다. 各種合金(Mg, Mn 및 Mg RE合金을 첨가)의 鑄物・鍛造品・展伸材 및 板部品에 적용한다. 이 處理에 의한 치수變化는 작다. 	MIL-Spec Type 3
4 種	MX4	<ul style="list-style-type: none"> 完成品에 대한 강한 防食方法으로, 양호한 塗裝밀바탕이다. 各種合金의 鑄物・鍛造品・展伸材 및 板金部品에 적용된다. 이 處理에 의한 치수變化는 작다. 	亞 Se 酸 法
5 種	MX5	<ul style="list-style-type: none"> 長期의 防食性を 부여하는 陽極處理法이다. 塗裝밀바탕으로도 좋다. 이 處理에 의한 치수變化는 작다. 	MIL-Spec Type 4
6 種	MX6-A	<ul style="list-style-type: none"> 長期의 防食性を 부여하는 陽極處理法이다. 塗裝밀바탕으로도 좋다. 이 處理에 의한 치수變化는 크다. 	MIL-Spec Type 5

생산성이 양호하고 수량이 많은 경우에 유리하다. 그

표 7. 용접母材와 용접棒材의 良好한 組合 (TIG 용접法의 一列)

BASE ALLOY	FILLER ALLOY	A3A	AM100A	AZ31B-C	AZ61A	AZ63A	AZ80A	AZ81A	AZ91C	AZ92A	EK30A	EK41A	EZ33A	HK31A	HM21A	HM31A	HM21A	K1A
A3A	1. AZ92A 2. AZ61A																	
AM100A	1. AZ92A 2. AZ61A																	
AZ31B-C	1. AZ92A 2. AZ61A			1. AZ92A 2. AZ61A														
AZ61A	1. AZ92A 2. AZ61A			1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92A 2. AZ61A													
AZ63A	×	×	×	×	×	1. AZ63A 2. AZ92A												
AZ80A	1. AZ92A 2. AZ61A			1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92A 2. AZ61A	×	1. AZ92A 2. AZ61A											
AZ81A	1. AZ92A 2. AZ61A			1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92A 2. AZ61A	×	1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92 2. AZ61										
AZ91C	1. AZ92A 2. AZ61A			1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92A 2. AZ61A	×	1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92 2. AZ61	1. AZ92A 2. AZ61A									
AZ92A	×			×	×	×	×	×	AZ92A	AZ92A								
EK30A	1. AZ92A 2. AZ61A			1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92A 2. AZ61A	×	1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92 2. AZ61	1. AZ92A 2. AZ61A	×	EZ33A							
EK41A	1. AZ92A 2. AZ61A			1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92A 2. AZ61A	×	1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92 2. AZ61	1. AZ92A 2. AZ61A	×	EZ33A	EZ33A						
EZ33A	1. AZ92A 2. AZ61A			1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92A 2. AZ61A	×	1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92 2. AZ61	1. AZ92A 2. AZ61A	×	EZ33A	EZ33A	EZ33A					
HK31A	1. AZ92A 2. AZ61A			1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92A 2. AZ61A	×	1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92 2. AZ61	1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92A 2. AZ61A	EZ33A	EZ33A	EZ33A	EZ33A				
HM21A	1. AZ92A 2. AZ61A			1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92A 2. AZ61A	×	1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92 2. AZ61	1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92A 2. AZ61A	EZ33A	EZ33A	EZ33A	EZ33A	EZ33A	HM31A		
HM31A	1. AZ92A 2. AZ61A			1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92A 2. AZ61A	×	1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92 2. AZ61	1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92A 2. AZ61A	EZ33A	EZ33A	EZ33A	EZ33A	EZ33A	HM31A	HM31A	
HZ32A	1. AZ92A 2. AZ61A			1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92A 2. AZ61A	×	1. AZ92A 2. AZ61A	1. AZ92 2. AZ61	1. AZ92A 2. AZ61A	×	EZ33A	EZ33A	EZ33A	EZ33A	EZ33A	EZ33A	EZ33A	
K1A	..			..	..	×	..	..	..	×	EZ33A	EZ33A	EZ33A	EZ33A	EZ33A	EZ33A	EZ33A	EZ33A

표 8. 용접부의 強度

合金質別	용접棒材質	용접前 強度			용접後 強度			効率 %
		引張強度 kg·f/mm ²	降伏強度 kg·f/mm ²	延伸率 %	引張強度 kg·f/mm ²	降伏強度 kg·f/mm ²	延伸率 %	
AZ63A-T6	AZ63A	28	13.3	5	21.7	-	2	77
AZ81A-T4	AZ92A	28	8.4	15	23.8	-	8	85
AZ91A-T6	AZ92A	28	13.3	5	21.0	-	2	75
AZ92A-T6	AZ92A	28	14.7	2	23.5	14.7	2	87
EZ33A-T5	EZ33A	14.7	11.2	2	14.7	10.2	2	100
HK31A-T6	HK31A	21.7	11.2	6	20.3	10.2	9	94
HZ32A-T5	HZ32A	21.0	13.3	4	20.3	11.9	5	97
K1A-F	EZ33A	16.1	5.6	14	16.1	5.6	10	100

러나 금형의 제작비가 목형에 비해 비싸고, 금형을 작동하는 주조기 및 그것에 부착된 설비 등이 고가이기 때문에 소량의 생산에는 사형주물보다 고가가 된다.

적용할 수 있는 금속도 다이캐스팅 등에는 없어도, 사형주물보다는 제한을 받는다.

사진 2에 자동차용 wheel 을 나타냈다. Mg 합금 AM100AT4 의 금형주물이다. 이와 같이 wheel 을 사

형에 주조하는 경우 탕구계가 상당히 크게 되며 게다가 냉각속도가 느리므로 결함이 발생하기 쉽고 내압성을 보증하기 어려우나, 금형주물에서는 내압성이 유지되고 실체의 강도도 주물에서는 18~26kgf/mm² 정도이나 금형주물에서는 22~24kgf/mm² 으로 우수한 값을 나타내고 있다.

3. Mg 합금 다이캐스팅

서독의 폭스바겐사가 Mg 합금 부품을 사용하여 차의 우수함을 세계에 자랑하고 있다. Mg 합금 주물로써 세계 제 1의 생산량과 사용실적을 가지고 있는데 주물 생산방법은 다이캐스팅법에 의하고 있다.

자동차의 경량화를 말할 때 항상 Mg 합금을 이야기 하는데 그 합금에 경쟁상대가 되는 것은 Al 합금이다. Mg 합금주물은 Al 합금주물보다 사형이나 금형구조에서 가격이 비싸다. 그러나 다이캐스팅의 경우에는 Al 합금 다이캐스팅으로 제품을 만든 경우에 필적할 수 있다. 첫째로 Mg 합금의 열용량이 Al 합금보다 작기 때문에 다이캐스팅의 shot cycle 을 빨리 할 수가 있다. 둘째로 die의 손모가 Al 합금 등에는 없다. 셋째로 기계가공이 상당히 용이할 수 있다는 잇점이 있다. 사형, 금형주물에서는 문제가 되는 중량보유 라든가 용해감실 등이 다이캐스팅으로 단일제품을 자동급탕장치로 대량으로 양산한 경우, Al 합금과의 차이가 작게 되었다.

이것을 폭스바겐은 실증하고 있다. Mg 합금 다이캐스팅으로 crank case(20.5 lbs), transmission case(13.5 lbs), transmission support bracket(1.4 lbs), oil pump housing(0.24 lbs), crank shaft timing gear(0.53 lbs) 등이 있다.

불행하게도 우리나라에서는 Mg 합금 다이캐스팅이 Al 합금 다이캐스팅에 필적할 정도로 생산을 하고 있지 않다. 그러나 Mg 합금 구조재의 응용확대를 고려하면 그 가능성이 제일 높은 것이 다이캐스팅이다. 정밀하고 주물벽이 미려한 주물을 대량 생산할 수 있는 다이캐스팅이 자동차산업 및 그 이외의 대량생산방식의 부품에 채용되면 경량화에 공헌할 수 있는 주물생산방식이 될 것이다.

4. 적용례

사진 1~사진 8에 사형, 금형주물 및 다이캐스팅의 적용례를 보여준다. 각각은 Mg 합금주물의 구조성을 고려하여 주의깊은 설계가 되어 있다. 또한 이것들은 Mg 합금주물의 특색을 보다 잘 살렸던 적용례이다.

끝으로 Mg 합금은 전술한 바와 같이 우수한 특징을 가지고 있음에도 불구하고 현재 많이 사용되고 있지 않다. 이것은 적용되는 분야가 한정되기 때문이라고 생각된다. 그러나 경량화가 요망되는 현대에 적합한 재료로 사용될려면 필히 그 특징이 이해되어 사용되어야 하며, 또한 수요의 확대에 따른 제조원가의 절감을 도모하고, 제조기술개발에 노력함으로써 자동차 소재로서 그 적용이 확대될 것이다.

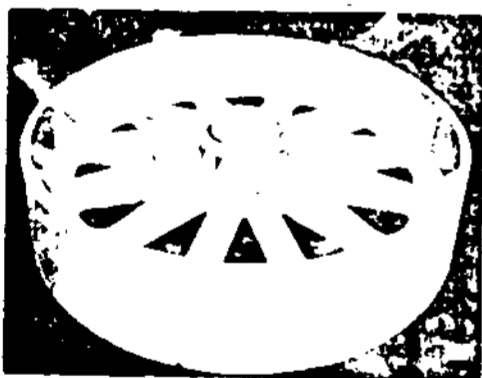


사진 1. Rod Wheel (ZK61-T6 · 砂型鑄物)

사진 2. Sports 自動車 Wheel (AM100-T4 · 金型鑄物)

사진 3. 航空機 Engine 部品 (AZ91C-T6 · 砂型鑄物)

사진 4. Crank Case (AZ91C · 金型鑄物)



사진 5. 計器 Panel (AZ91B · Diecasting)

사진 6. Housing (AZ91B · Diecasting)

사진 7. Fan (AZ91B · Diecasting)

사진 8. 폭스바겐 엔진의 Mg Diecasting