

고급 주물용 알루미늄 합금제조 기술 현황



김 창 주

(내식재료실장)

- '71.2 성균관대학 금속과 졸업(학사)
- '73.6-'79.7 포항제철 연구소 등
- '78.2 연세대학 산업대학원 재료과 졸업
(석사)
- '86.8 부산대학 대학원 금속과 졸업(박사)
- '79.8-현재 한국기계연구소 책임연구원



박 수 현

(대신금속(주) 대표이사)

- '78.2 한양대학교 금속공학과 졸업(학사)
- '80.2 한양대학교 대학원 금속공학과 졸업
(석사)
- '81.2 대신금속 설립
- '89.1 대신금속(주) 제2공장 설립
- '90.6 방산물자 국산화 기술개발 우수업체 지정

1. 서 론

알루미늄 주조합금의 주류를 이루는 Al-Si-Mg계 합금은 주조성이 양호하고 기계적 성질이 우수하여 자동차, 산업기계 분야 뿐만 아니라 항공기 산업 분야에서도 구조용 주물로서 널리 이용되고 있다[1]. 일반적으로 Al-Si-Mg계 합금에서 기계적 성질에 영향을 미치는 금속학적 조직인자로는 (a) 결정립의 크기, (b) dendrite arm 간격, (c) 제2상 정출물의 크기, (d) 수축공 및 기공의 양등이 있다 [2][3]. 기계적 성질을 결정짓는 이들 조직 인자를 제어하고자 응고속도 제어 및 입자미세화, 개량 처리등의 용탕처리를 실시하게 된다.

알루미늄 주조합금은 사형으로부터 고온 및 상온 금형에 이르기 까지 매우 넓은 범위의 응고속도에 걸쳐 사용되며 이에 따른 조직인자의 변화가 심하므로 적절한 응고속도 제어가 필요하다. 입자미세화 처리를 이용한 결정립 미세화는 주조시의 균열발생을 감소시키고, 응고말기에 생기는 수축공에 대한 용탕공급이 원활하게 하고 결정립계에 생성되는 기공이나 제2상 입자들이 미세하게 균일분산시킴으로써 건전한 주조조직을 얻을 수 있게 한다[4][5]. 또한, Al-Si-Mg계 합금은 응고중 조대한 침상의 제2상 정출물인 공정 Si상이 석출하여 인성과 질삭성을 저하시키는 단점이 있어 조대한 침상의 공정 Si상을 구상으로 미세화시키는 개량처리를 통해 기계적 성질의 향상을 도모한다[6][7].

특히, 항공기용 알루미늄 합금주물의 경우는 이상의 모든 특성을 극대화시키는 방향으로 나

아갈 것으로 보며, 이는 신기술로서 부단히 개선될 전망이다.

2. 알루미늄 주조합금의 종류와 용도

Al 주조합금은 합금의 강화원소 뿐만이 아니라, Al 주조에서 통상 발생하는 수축공에 대한 용탕 공급을 원활하게 하기 위해 용탕에 유동성을 부여하는 Si등의 공정형성원소를 적당량 함유하고 있어야 한다. 이와 같은 공정형성원소의 필요량은 주조법에 따라 달라지는데, 사형보다 냉각속도가 빠르고 열간균열이 발생하기 쉬운 금형주조에는 공정형성 원소가 많이 함유된 합금을 사용해야 한다[8].

용탕의 응고속도는 합금원소 및 불순물원소의 분포에 큰 영향을 주게 된다. 응고속도가 빠른 금형주조나 다이캐스팅에서는 합금원소 및 공정조질이 미세하게 분포하여, 사형이나 석고형주물에서 허용할 수 없을 정도의 불순물은 함유하고 있음에도 불구하고 우수한 주조품을 얻을 수 있다. 주조용으로 많은 Al합금이 개발되어 있지만 대부분이 다음의 6가지 기본적인 조성에 기초하고 있다.

Al-Cu합금

4-5%의 Cu에 Fe나 Si등의 불순물 원소와 소량의 Mg을 함유하고 있는 Al-Cu 합금은 열처리가 가능한 합금으로 비교적 높은 강도와 연성을 나타낸다. 이 합금은 주조성이 나빠 건전한 주조품을 얻으려면 탕도와 압탕에 대한 주조방안에 주의를 기울여야 한다. Al-Cu합금은 주로 사형주조에 많이 사용되나 금형주조에 사용하고자 하면 용탕에 유동성을 부여하고 열간균열을 감소시킬 수 있는 Si을 첨가하여야 하는데, Al-Cu합금에 Si을 첨가하면 연성의 하락을 초래한다. Al-Cu합금에서 Fe나 Si에 의한 연성의 하락을 방지하기 위해 소량의 Mg을 함유시키며, 여기서 Mg은 Fe나 Si과 결합하므로 취성을 감소시킨다. 또한 Ni과 Mg을 첨가하면 고온강도가 매우 우수한 Al-Cu 합금을 얻을 수 있다.

Al-Cu-Si 합금

Al-Cu-Si 합금에서 Cu는 강도를 향상시키는 역할을, Si은 주조성을 개선시키고 열간균열을 감소시키는 역할을 한다. 따라서 강도가 중요시되는 주조품에서는 Cu함량이 높으며, 형상이 복잡하거나 열간균열이 발생하기 쉬운 금형 또는 다이캐스팅 주조품에는 Si의 함량이 높은 합금이 사용된다.

3-4% 이상의 Cu를 함유한 합금은 강도향상을 위한 열처리가 가능하나 열처리에 대한 반응이 너무 느려 비경제적이므로, 열처리용 Al-Cu-Si 합금에는 열처리에 의한 효과가 큰 Mg을 첨가시킨다. 10% 이상의 많은 Si을 함유한 합금은 열팽창계수가 매우 낮아 고온용 합금으로 적합하다. Si이 12-13% 이상을 초과하게 되면 응고시에 초정 Si이 생성되므로 적당한 분포만 유도한다면 우수한 내마모 특성을 나타낸다. 이 합금은 주로 뛰어난 내마모성을 요구하는 자동차 엔진블럭이나 피스톤등에 많이 사용되고 있다.

Al-Si 합금

Cu를 함유하고 있지 않은 Al-Si 합금은 우수한 주조성과 내식성이 요구될 때 사용되며 높은 강도가 필요하면 Mg을 첨가하여 열처리를 하게 된다. Si이 2% 정도로 낮은 합금도 있지만 5-13% 사이의 Si을 함유한 합금이 주류를 이루고 있다. Al-Si 합금은 대개 개량처리를 하게 되는데, Si 함유량이 높은 합금일수록 Na, Sr, Sb, P등의 첨가에 의한 공정 또는 초정 Si의 개량처리 효과가 뛰어나 강도와 연성의 증가가 크게 나타난다. 개량처리는 응고속도가 느릴수록 효과적이어서 금형주조 보다는 사형주조에서 더욱 중요시 된다.

Al-Mg 합금

Al-Mg합금은 내부식성이 뛰어나 해수나 해양기후등 높은 내부식성을 요구하는 용도에 매우 적합하다. 우수한 내부식성을 위해서는 불순물의 함량이 낮아야 하며, 따라서 순도가 높은 원재료를 사용해야 하고 주조시에 불순물이 혼입되지 않도록 주의를 기울여야 한다. Al-Mg합금은 다소 주조성이 떨어지고 Mg의 산화손실이 커 제조상에

표 1) Chemical composition and uses of common aluminum alloys for castings[8].

| Alloy | Composition and characteristics | Uses |
|------------------|--|--|
| 201 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 4.6Cu-0.7Mg-0.3Mn-0.35Mg-0.25Ti ○ high strength and high energy absorption | Aerospace housings, electrical transmission line fittings, insulator caps, truck and trailer castings, gasoline engine cylinder heads and pistons, turbine and supercharger impellers, rocket arms connecting rods, missile fins, aircraft landing gear housings |
| 206.0 A 206.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 4.5Cu-0.3Mn-0.25Mg-0.22Ti ○ high strength and moderate elongation, high fracture toughness. | Structural castings in heat treated temper for automotive and aerospace. Gear housings, truck spring hanger castings, gasoline and diesel engine cylinder head, turbine and supercharger impeller |
| 208.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 4Cu-3Si ○ good castability and weldability, pressure tightness. | Manifolds, valve bodies, and similar castings requiring pressure tightness |
| 242.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 4Cu-2Ni-2.5Mg ○ excellent high temp. strength | Motocycle, diesel and aircraft pistons, air-cooled cylinder heads, aircraft generating housings. |
| 295.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 4.5Cu-1.1Si ○ high tensile properties and good machinability | Flywheel housings, rear axle housings, bus wheels, aircraft wheels, fittings, crankcases. |
| 296.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 4.5Cu-2.5Si ○ high tensile properties and good machinability | Aircraft fittings, air craft gun control parts, aircraft wheels, railroad car seat frames, compressor connecting rods, full pump bodies. |
| 308.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 5.5Si-4.5Cu ○ good castability and weldability | Ornamental grills, reflectors, general-purpose castings. |
| 319.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 6Si-3.5Cu ○ good castability and weldability, pressure tightness | Automotive cylinder heads, internal combustion engine crankcase, typewriter frames, piano plates. |
| 336.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 12Si-2.5Ni-1Mg-1Cu ○ good high temp, strength and low coefficient, good resistance to wear | Automotive and diesel pistons, pulleys, sheaves. |
| 354.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 9Si-1.8Cu-0.5Mg ○ high strength | Permanent mold castings used in applications requiring high strength and heat treatability. |
| 355.0 C 355.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 5Si-1.3Cu-0.5Mg ○ good castability and weldability pressure tightness | Aircraft supercharger covers, fuel pump bodies, air-compressor pistons, liquid-cooled cylinder heads, liquid-cooled aircraft engine crank cases, water jackets, and blow housings. |
| 356.0 A 356.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 7Si-0.3Mg ○ excellent castability, good weldability, and good resistance to corrosion. | Aircraft pump parts, automotive transmission cases, air craft fittings and control parts, water-cooled cylinder blocks, aircraft structures and engine controls, nuclear energy installations. |

| Alloy | Composition and characteristics | Uses |
|--|---|--|
| 357.0 A 357.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 7Si-0.5Mg ○ high strength, good weldability and toughness. | Critical aerospace applications and other uses requiring with high strength and good toughness. |
| 359.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 9Si-0.6Mg ○ superior castability | A moderately high strength permanent mold casting alloy having superior casting characteristics. |
| 360.0 A 360.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 9.5Si-0.5Mg ○ excellent castability, pressure tightness and good resistance to hot cracking. | Die castings requiring improved corrosion resistance. Other applications where excellent castability, pressure tightness, resistance to hot cracking, strength at elevated temperatures are required |
| 380.0 A 380.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 8.5Si-3.5Cu ○ fair elevated strength | Vacuum cleaners, floor polishers, parts for automotive and most widely used die casting alloy. |
| 383.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 10.5Si-2.5Cu ○ good die filling capacity, fair pressure tightness, and good elevated temp. strength. | Applications requiring good die filling capacity, fair pressure tightness, electroplating and machining characteristics and strength at elevated temperature. |
| 390.0 A 390.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 17.0Si-4.5Cu-0.6Mg ○ high wear resistance, low coefficient of thermal expansion, good elevated temp. strength and good fluidity. | Automotive cylinder block, four cycle air-cooled engines, air compressors, freon compressors, pumps requiring abrasive resistance, pulleys and brake shoes. |
| 413.0 A 413.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 12Si ○ excellent castability, resistance to corrosion and pressure tightness. | Miscellaneous thin walled and intricately designed castings. |
| 443.0 A 443.0 B 443.0 C 443.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 5.2Si ○ good castability and resistance to corrosion | Cooking utensils, food handling equipment, marine fittings miscellaneous thin-section castings. |
| 514.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 4Mg ○ excellent resistance to corrosion and tarnish. | Dairy and food-handling applications, cooking utensils, fittings, miscellaneous thin-section castings. |
| 520.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 10Mg ○ excellent machinability and resistance to corrosion with highest strength and elongation. | Aircraft fittings, rail-road passenger-car frames, miscellaneous castings requiring strength and shock resistance. |
| 712.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 5.8Zn-0.6Mg-0.5Cr-0.2Ti ○ good shock and corrosion resistance, machinability | Applications where a good combination of mechanical properties is required without heat treatment |
| 771.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 7Zn-0.9Mg-0.13Cr ○ good corrosion resistance and clean appearance | Applications where free machine and dimension stability are important. |
| 850.0 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 6.2Sn-1Cu-1Ni | Applications where excellent bearing quantities are required. |

표 2) Characteristics of common aluminum alloys in sand and permanent mold casting(a)[8].

| Alloy | Type of mold(b) | Fluidity | Resistance to hot cracking | Pressure tightness | Heat treatment | Strength at elevated temperatures | General corrosion resistance | Machining | Polishing | Anodizing Appearance | Weldability |
|-----------|-----------------|----------|----------------------------|--------------------|----------------|-----------------------------------|------------------------------|-----------|-----------|----------------------|-------------|
| 208.0... | S | 2 | 2 | 2 | Optional | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 213.0... | P | 2 | 3 | 3 | No | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 222.0... | S or P | 3 | 3 | 3 | Yes | 1 | 4 | 1 | 2 | 3 | 3 |
| 242.0... | S or P | 3 | 4 | 4 | Yes | 1 | 4 | 2 | 2 | 3 | 4 |
| 295.0... | S | 3 | 4 | 4 | Yes | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 296.0... | P | 3 | 4 | 3 | Yes | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| 308.0... | P | 2 | 2 | 2 | No | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 2 |
| 319.0... | S or P | 2 | 2 | 2 | Optional | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 2 |
| 328.0... | S | 1 | 1 | 2 | Optional | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 1 |
| 332.0... | P | 1 | 2 | 2 | Yes | 1 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| 333.0... | P | 1 | 2 | 2 | Yes | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 |
| 336.0... | P | 1 | 2 | 2 | Yes | 1 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| 354.0... | P | 1 | 1 | 1 | Yes | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| 355.0... | S or P | 1 | 1 | 1 | Yes | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 1 |
| C355.0... | S or P | 1 | 1 | 1 | Yes | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 1 |
| 356.0... | S or P | 1 | 1 | 1 | Yes | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 | 1 |
| A356.0... | S or P | 1 | 1 | 1 | Yes | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 | 1 |
| 357.0... | S or P | 1 | 1 | 1 | Yes | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 | 1 |
| A357.0... | S or P | 1 | 1 | 1 | Yes | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 1 |
| 359.0... | S or P | 1 | 2 | 2 | Yes | 2 | 2 | 4 | 4 | 4 | 1 |
| B443.0... | S or P | 1 | 1 | 1 | No | 4 | 2 | 5 | 4 | 4 | 1 |
| 512.0... | S | 3 | 3 | 4 | No | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 513.0... | P | 4 | 4 | 4 | No | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| 514.0... | S | 4 | 4 | 4 | No | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| 520.0... | S | 4 | 4 | 5 | Yes | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| 535.0... | S | 5 | 4 | 5 | Optional | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| 705.0... | S or P | 4 | 4 | 4 | No | 4 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 707.0... | S or P | 4 | 4 | 4 | No | 4 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 710.0... | S | 4 | 5 | 4 | No | 4 | 4 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 711.0... | S | 3 | 5 | 4 | No | 4 | 3 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 713.0... | S or P | 3 | 4 | 4 | No | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| 771.0... | S | 3 | 4 | 4 | Yes | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| 850.0... | S or P | 4 | 5 | 5 | Yes | 5 | 4 | 1 | 3 | ... | 5 |
| 851.0... | S or P | 4 | 5 | 5 | Yes | 5 | 4 | 1 | 3 | ... | 5 |
| 852.0... | S or P | 4 | 5 | 5 | Yes | 5 | 4 | 1 | 3 | ... | 5 |

(a) Characteristics are comparatively rated from 1 to 5; 1 is the highest or best possible rating.

(b) S=sand ; P=permanent.

어려움이 많을 뿐더러 제조단가 또한 높다.

Al-Zn-Mg합금

Al-Zn-Mg합금은 주조 후 상온에서 20-30일 정도의 자연시효나 노내에서의 인공시효에 의해 충분한 강도를 나타낸다. Al-Cu, Al-Si-Mg합금 등에서 요구되는 고온 용체화처리나 그후의 빠른 냉각속도가 대부분의 Al-Zn-Mg 합금에서는 필수적이지 않다. 이 합금에서는 Mg-Zn상의 미시적인 편석이 생기는 경우가 있으며 이로 인해 응고속도가 빠를수록 물성이 우수하다는 통상의 법칙이 반대로 나타나는 수가 있다. Al-Zn-Mg 합금에서 두께가 얇거나 응고속도가 빠른 냉금부위의 강도가 두껍거나 느리게 응고한 부위보다 높을 때는 용체화처리와 시효처리에 의해 강도가 낮은 부위를 충분히 강화시킬 수 있다. Al-Zn-Mg 합금은 주조성이 나쁘고 응력부식에 취약함에도 불구하고 대개 우수한 내식성을 나타낸다.

Al-Sn 합금

약 6% 정도의 Sn을 함유하는 Al-Sn합금(주로 강화원소로 소량의 Cu와 Ni을 함유)은 Sn의 뛰어난 윤활성으로 인해 대개 주물 베어링으로 많이 사용된다. Sn은 95.5%에서 Al과 공정조직을 형성하므로 Sn의 조성이 6%인 합금에서 응고속도가 느릴 경우 공정조직이 매우 불균일하게 분포하게 된다. 우수한 베어링 특성을 얻기 위해서는 공정 Sn의 분포가 미세, 균일하도록 빠른 응고속도가 요구된다.

표1은 위에서 언급한 6가지 종류의 Al주조용 합금에 대한 조성과 용도를 나타낸 것이다.

정해진 용도에 맞는 최적의 합금을 선택하기 위해서는 그 용도가 요구하는 특정한 특성 뿐만이 아니라 사용하고자 하는 주조법과 주조방안에 따른 합금의 유동도, 열간균열 저항성등과 기계적 성질 및 제조상의 경제성 등에 대한 종합적인 검토가 요구된다. 최적의 합금 선정에서 고려해야 할 주요인자들을 간략히 나타내면 다음과 같다.

① 주조법 및 주조방안에 따른 합금특성

- 유동도
- 열간균열 저항성

- 응고구간
- ② 합금의 기계적 성질
 - 강도와 연성
 - 열처리성
 - 경도
- ③ 용도에 의한 요구특성
 - 내압성
 - 내부식성
 - 표면처리성
 - 칫수안정성
 - 열안정성
- ④ 경제성
 - 기계가공성
 - 용접성
 - 원재료 및 용해비용
 - 열처리

표2는 위에서 언급한 합금선정에서 고려해야 할 여러가지 특성들을 각 합금에 대해 나타낸 것이다.

3. 알루미늄 합금의 주조법

Al은 거의 모든 주조법에 의해 제조가 가능한 몇 안되는 금속 중의 하나로 Al합금의 주조에는 사형주조, 금형주조, 다이캐스팅, 석고형주조, investment 주조 및 기타 주조법등이 사용되고 있다[9].

사형주조

성형된 사형에 용탕을 주입하여 주조품을 제조하는 사형주조법은 생산량은 작지만 사용범위가 매우 넓다. 사형주조의 주된 장점은 광범위한 제품형태와 크기, 합금조성에 대한 제조가 용이하고 소량생산이나 대형 주조품의 경우에도 장비와 제조단가를 최소화시킬 수 있다는 것이다. 또한 용탕이 응고할 때 생기는 수축이 주형에 의해 방해받을 수축응력으로 주조품에 균열이 생길 수 있는데 사형은 금형에 비해 구속력이 작아 균열발생 가능성이 낮다. 사형주조품은 정밀도가 떨어지고 주조품의 표면이 거칠며 느린 응고속도로 조직이 조대해지고 많은 기공이 발생하여 강도가 떨어진다는 단점이 있다. 사형주조품은

대개 사용전에 기계가공을 거치므로 칫수정밀도나 표면상태보다는 낮은 강도가 문제점으로 제기된다. 따라서 강도가 우수한 고품질의 건전한 주조품을 제조하기 위해서는 불순물이 적은 원재료를 사용하여야 하며 탈가스 및 개재물 제거, 입자미세화, 개량처리 등의 충분한 용탕처리를 거쳐 적절한 주조방안의 주형에 주입하도록 하여야 한다. 물론 다른 주조법에서도 이와같은 배려 및 주의가 요구되지만 응고속도가 느린 사형주조법에서는 특히 중요한 과제이다. 사형주조의 또 다른 문제점으로는 양산을 위한 자동화가 어렵다는 것이다. 부분적으로나마 사형주조에서도 주조라인을 자동화하여 생산성 향상을 꾀하고 있는 경우도 있으나 사형주조로 제조되는 공작기계, 식품기계, 각종 산업기계 및 항공기 등의 카바, 케이싱류등 각종 부품이 대개 소량생산에 그치고 있는 경우가 많아 자동화가 지연되고 있는 실정이다.

다음의 그림1은 사형주조의 원리도이며 실제로 적용되고 있는 예는 사진1의 항공기 엔진용 트랜스미션 하우징(10.7kg)과 사진2의 V10 디젤엔진용 크랭크 케이싱(193kg) 같은 대형 주물 등이다.

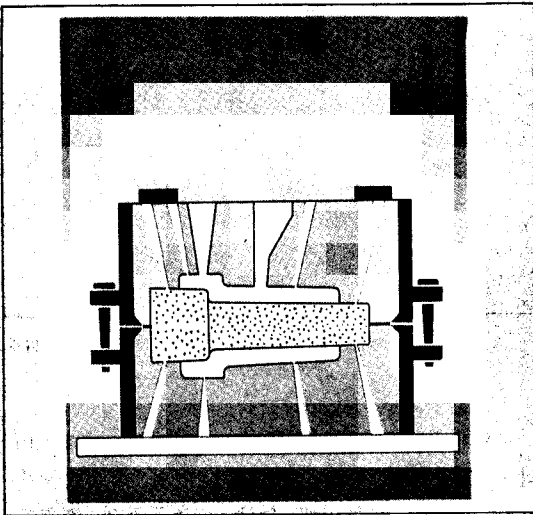


그림 1) Sand casting

Shell형 주조

Phenol계 수지등의 열경화형 수지를 배합한 주물사를 가열시킨 금형에 성형고화시켜 이를 주형으로 사용하는 주조법이다. Shell형 주조는

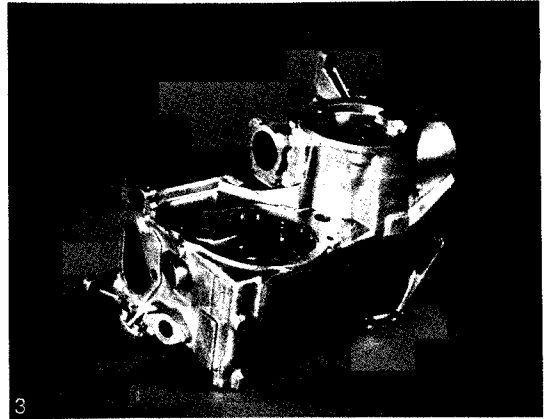


사진 1) Sand-cast transmission housing for aero.(weight : 10.7kg)

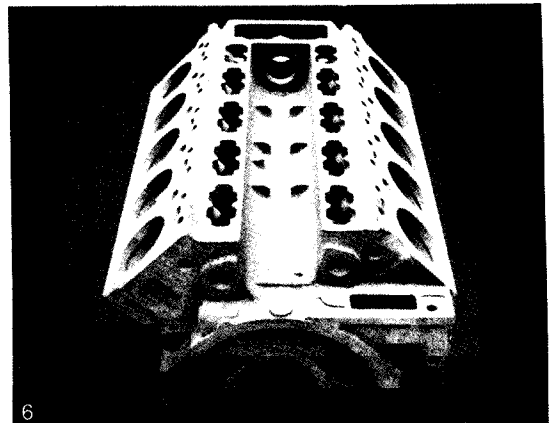


사진 2) Sand-cast crank casing for V10 dissel engine.(weight : 193kg)

사형주조에 비해 응고속도가 빠르고, 표면상태 및 치수안정성이 우수하며 두꺼운 주조품의 제조도 가능할 뿐더러 양산성도 양호하다. 그러나 장비와 제조단가가 높고 제품의 크기 및 형상에서 사형주조보다 많은 제약을 받는다. Al 주조에서 shell형만을 사용하는 경우는 드물고, 금형주조나 압력주조용 증자(core)로 shell형을 사용하는 경우가 많다.

금형주조

금형주조는 주철 또는 내열강으로 제작한 금형을 사용하는 주조법으로, 사형주조와 다이캐스팅

중간 정도의 냉각속도를 나타내어 비교적 양호한 기계적 성질을 얻을 수 있다. 또한 칫수정밀도 및 표면상태가 우수하고 사형증자를 사용할 수 있어 복잡한 형상의 제품주조도 가능하다. 금형주조는 대개 제조단가가 높으나 최근들어 주형의 개폐, 주탕, 제품의 추출등을 자동화하여 생산성 향상을 꾀하는 경우가 증가하고 있다. 금형주조는 응고 속도가 빠르고 강도향상을 위한 열처리가 가능하여 우수한 품질을 요구하는 파스톤, 휠, 기어 housing, 브레이크등의 중요부품 제조에 아주 적합한 방법으로 각광을 받고 있다.

그림2는 금형주조의 원리도이며 사진3은 적용된 제품의 예로서 승용차용 실린더 헤드(6.6kg)이다.

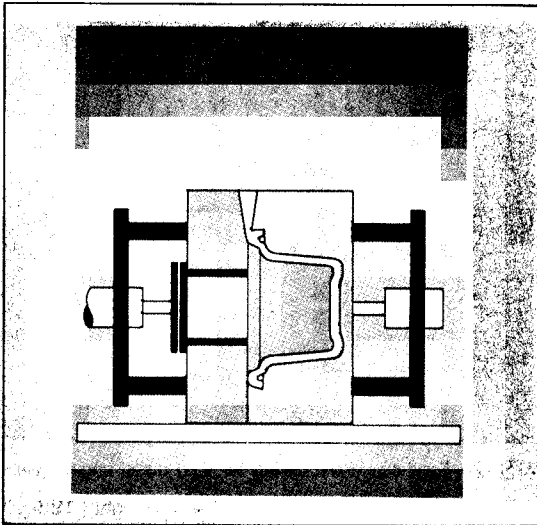


그림 2) Metallic mold casting

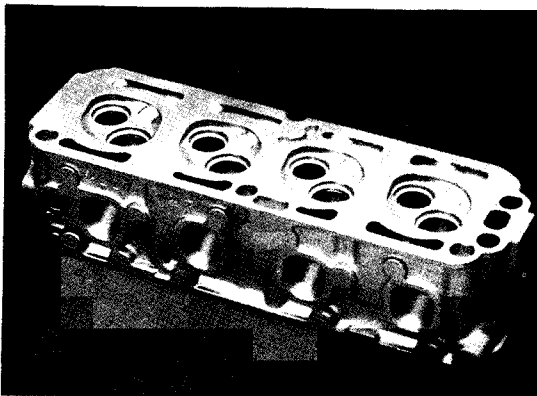


사진 3) Metallic mold-cast cylinder head for private car. (weight : 6.6kg)

저압주조

밀폐된 도가니내의 용탕과 상부에 설치한 금형을 파이프로 연결시켜, 0.3~1.0 kg/cm² 정도의 공기압을 가해 파이프를 통하여 용탕을 상승시키므로 금형내로 주입하는 방법이다. 응고속도가 금형주조보다 약간 느리거나 비슷하여 양호한 품질의 주조품을 얻을 수 있다. 이 방법의 최대 특징은 압탕이 거의 불필요하여 주조에 따른 소재의 회수율이 매우 높다는 것이다. 저압주조로 제조가 가능한 제품은 금형주조의 경우와 거의 동일하다. 외국의 경우에는 설비의 자동화를 통해 저압주조에 의한 양산화가 상당히 진전되어 있는 실정이다.

그림3은 저압주조의 원리도이며 사진 4는 적용된 제품의 예로서 승용차용 휠(7kg)이다.

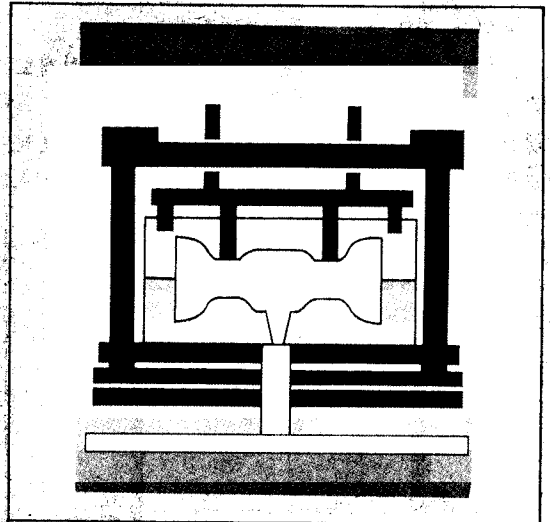


그림 3) Low-pressure gravity die-casting

고압주조(용탕단조)

주형내의 용탕이 응고하는 단계에서 프레스에 의한 고압력을 가해 성형하는 방법으로, 응고속도가 빠르고 고압력에 의해 수축공동의 결함도 제거되기 때문에 극히 우수한 품질의 주조품을 얻을 수 있다. 이 방법에서는 금형주조나 저압주조에서와는 달리 사형증자를 사용할 수 없어 제품형상에 제약이 따르고 설비와 금형비가 비싼 단점이 있다. 따라서 오토바이, 자전거등에 사용되는 형상이 간단한 일부의 고품질 주조품 제조에 이



사진 4) Low-pressure gravity die-cast wheel rim for private car.(weight : 7kg)

용되고 있는 실정이다.

다이캐스팅

Al합금은 다른 어떤 합금보다도 다이캐스팅에 많이 사용되고 있으며 또한 Al합금 주조품의 절반 정도가 다이캐스팅에 의해 제조되고 있다. Al합금의 다이캐스팅은 5kg 미만의 소형 제품의 대량생산에 아주 적합한 주조법으로 정밀한 치수와 우수한 표면처리성을 나타낸다. 다이캐스팅에서는 용융금속이 높은 압력에 의해 금형내로 빠르게 주입되며 응고속도 또한 매우 빨라 표면조직이

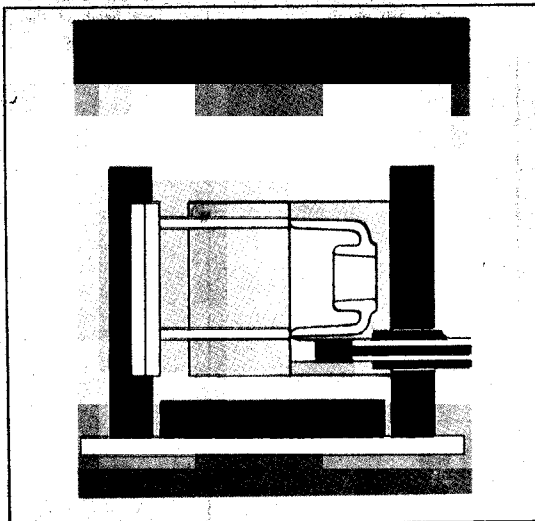


그림 4) Die-casting

미세, 치밀해지므로 내마모성과 피로특성이 뛰어나다. 그러나 가압에 의한 공기의 유입 때문에 기공이 발생하기도 하여 열처리나 용접이 쉽지가 않으므로 내압성이 요구되는 제품생산에는 특별한 주의와 기술이 필요하다.

그림4는 다이캐스팅의 원리도이며 사진5와 사진6은 다이캐스팅에 의해 생산된 중형 및 대형의 제품들의 예로서 각각 컴프레서 하우징(4.2kg)과 트랜스미션 하우징(10.8kg)이다.



사진 5) Die-cast compressor housing.(weight : 4.2 kg)

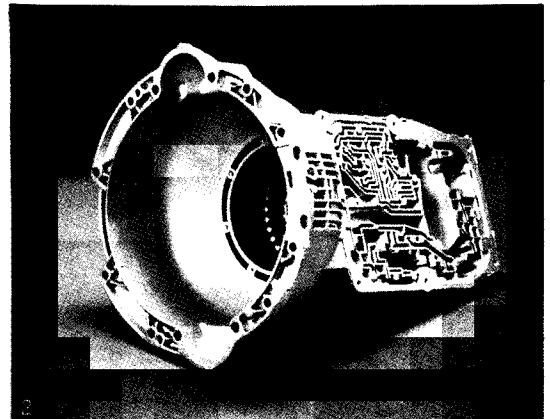


사진 6) Die-cast transmission housing.(weight : 10.8kg)

석고형주조

슬러리 상태의 석고를 패턴에 주입하고 패턴을 제거한 후 석고형을 소성시켜 석고주형을 만든다. 석고의 높은 단열성으로 두께가 얇은 제품도 제조가 가능하며 제품의 재현성 및 표면상태, 치수 정밀도가 뛰어나 임펠라, 전자부품등 정밀한 제

丑 3) Factors affecting selection of casting process for aluminum alloys[8].

| Factor | Sand casting | Casting process Permanent mold casting | Die casting |
|----------------------------------|--|---|--|
| Cost of equipment..... | Lowest cost if only a few items required | Less than die casting | Highest |
| Casting rate..... | Lowest rate | 11kg/h(25 lb/h) common; higher rates possible | 4.5 kg/h(10 lb/h) common; 45kg/h (100 lb/h) possible |
| Size of casting..... | Largest of any casting method | Limited by size of machine | Limited by size of machine |
| External and internal shape..... | Best suited for complex shapes where coring required | Simple sand cores can be used, but more difficult to insert than in sand castings | Cores must be able to be pulled because they are metal; undercuts can be formed only by collapsing cores or loose pieces |
| Minimum wall thickness..... | 3.0-5.0 mm (0.125-0.200 in.) required; 4.0 mm (0.150 in.) normal | 3.0-5.0 mm (0.125-0.200 in.) required; 3.5 mm (0.140 in.) normal | 1.0-2.5 mm (0.100-0.040 in.); depends on casting size |
| Type of cores..... | Complex baked sand cores can be used | Reusable cores can be made of steel, or nonreusable baked cores can be used | Steel cores; must be simple and straight so they can be pulled |
| Tolerance obtainable..... | Poorest; best linear tolerance is 300 mm/m (300 mils/in.) | Best linear tolerance is 10mm/m (10mils/in) | Best linear tolerance is 4mm/m (4mils/in) |
| Surface finish..... | 6.5-12.5 μm (250-500 μin.) | 4.0-10 μm (150-400 μin.) | 15 μm(50 μin.); best finish of the three casting process |
| Gas porosity..... | Lowest porosity possible with good technique | Best pressure tightness; low porosity possible with good technique | Porosity may be present |
| Cooling rate..... | 0.1-0.5°C/s (0.2-0.9°F/s) | 0.3-1.0°C/s (0.5-1.8°F/s) | 50-500°C/s (90-900°F/s) |
| Grain size..... | Coarse | Fine | Very fine on surface |
| Strength..... | Lowest | Excellent | Highest, usually used in the "as cast" condition |
| Fatigue properties..... | Good | Good | Excellent |
| Wear resistance..... | Good | Good | Excellent |
| Over-all quality..... | Depends on foundry technique | Highest quality | Tolerance and repeatability very good |
| Remarks..... | Very versatile as to size, shape, internal configurations | ... | Excellent for fast production rates |

품의 제조에 적합하다. 석고형은 때로 다이캐스팅 생산을 위한 전단계의 시제품 제작에 사용되기도 한다. 석고형 주조의 기본적인 장비는 간단하지만 사형보다 주형제조가 느려 제조단가가 높다.

Investment 주조

Al합금의 investment 주조에는 왁스패턴과 석고형이 사용된다. 여러개의 동일한 주조품 형상을 갖고 있는 왁스패턴에 석고 슬러리를 입혀 석고형을 소성시킴과 동시에 왁스패턴을 태워버린다. Investment 주조법은 두께가 매우 얇거나 칫수 정밀도가 엄격한 정밀제품의 제조에 적합하지만 대개 내부에 기공이 생기기 쉬우며 제품의 크기가 작기 때문에 탕도설계기술에 많은 제약이 따른다.

Al합금의 주조에서 높은 품질의 저렴한 주조품을 손쉽게 제조하기 위해서는 최적의 주조법을 선정하도록 하여야 한다. 특정한 Al합금에 대한 최적 주조법 결정에 영향을 미치는 주요인자로는 합금의 주조용이성과 제조원가, 그리고 주조품의 품질을 들 수 있다. Al합금 주조품의 상당수가 여러가지 주조법으로 생산이 가능하기도 하나 많은 경우 제품의 크기가 형상에 의해 최적의 주조법이 자동적으로 결정되기도 한다. 대형 주조품의 대부분은 사형주조로 제조되며 소형의 주조품은 정확한 칫수정밀도 및 우수한 표면상태를 위해 대개 금형주조법을 채택한다. 또한 형상이 매우 복잡한 제품에는 금형이나 다이캐스팅보다 사형, 석고형 또는 investment 주조법이 유리하다. 특정한 크기 및 형상의 주조품에 대해 들 내지 세종류의 주조법의 주조법이 채택 가능한 경우 최적의 주조법을 결정짓는 것은 제조단가이다. 주조에서는 대개 설비비가 낮으면 주조품 개당 제조단가가 높은 것이 일반적이다. 따라서 설비비가 낮은 사형주조나 석고형주조는 소량생산에, 설비비가 높은 금형주조나 다이캐스팅은 대량생산에 사용된다.

최적 주조법을 결정하는 두번째 인자인 주조품의 품질이란 기공, 수축공, 균열 및 표면결함 등에 관한 건전성과 강도, 연신율등의 기계적 특성이다.

표3은 Al 주조합금에서 주조법의 선택에 미치는

각 인자를 여러가지 주조법에 대해 나타낸 것이다.

4. 고품위 Al합금 주조기술

Al 주조합금의 기계적 성질을 결정짓는 주요 인자로는 (a) 합금조성과 열처리 (b) 주조품의 건전성과 미세조직(결정립의 크기, dendrite arm 간격(이하 DAS라 한다), 제2상 입자의 크기와 분포)을 들 수 있다[8].

선택된 합금의 조성은 물론이고 그 합금에서 정해진 범위내의 조성 변화와 응고중 발생하는 미시, 거시적인 편석도 기계적 성질에 영향을 미친다. Al 주조합금은 열처리에 의한 강도 및 경도의 상승정도에 따라 열처리용 합금과 비열처리용 합금으로 나뉜다. 열처리용 합금의 기계적 성질을 향상시키기 위한 열처리법으로는 거의 대부분 고온용체화처리와 인공시효처리가 시행되고 있다. 열처리 변수로는 용체화처리 온도와 시간, 급냉 속도, 시효온도 및 시간을 들 수 있다. 온도가 높을수록 석출물의 고용화와 확산속도가 증가하므로 고용가능한 모든 석출물들을 최대한 고용시키기 위해 재용해가 일어나지 않는 범위내에서 가장 높은 용체화처리 온도를 선택해야 하며, 열처리시간은 주조품의 두께나 노내의 장입량을 고려하여 균일한 고체고용체를 얻을 수 있도록 충분히 길어야 한다. 또한 냉각 도중 기계적 성질이나 내부식성에 유해한 석출물의 생성을 피할 수 있도록 빠른 속도로 냉각을 시켜야 한다. 시효온도 및 시간에 따라 석출물의 형태, 크기, 분포와 양이 결정되므로 요구되는 강도와 연성에 따라 적절한 온도와 시간을 선택하여야 한다.

주조품의 건정성을 나타내는 수축공과 기공은 어떤 다른 인자보다도 기계적 성질에 가장 심각한 영향을 미친다. 응고 말기의 수축부위에 대한 용탕공급이 원활하지 못할 때 발생하는 수축공은 적절한 일방향응고에 의해 제거가 가능하다. 특정부위로부터 시작된 응고가 압탕쪽으로 진행되어 수축공이 발생하지 않도록 냉금과 단열재, 압탕, 탕도등의 설계가 적합하게 이루어져야 한다. 이 오같은 주조방안은 응고속도가 빠른 금형주조나 다이캐스팅보다 느린 응고속도로 기계적 성질이

낮은 사형이나 석고형주조에서 더욱 중요하다. AI주조합금에서의 기공은 용융금속내에 고용되어 있던 수소나 CH₄, N₂등이 응고 도중 석출하여 밖으로 빠져 나가지 못하고 내부에 잔류하거나 온도상승으로 인한 주형의 가스방출로 발생한다. 따라서 주조에 앞서 용탕의 충분한 탈가스와 주형의 건조가 필수적이다.

종래에는 알루미늄 용탕의 탈가스 처리재로서 염소가스, 또는 염소계 플럭스가 많이 사용되었으나, 인체에 유해한 염소가스의 환경오염 문제로 최근들어 질소가스와 아르곤 가스에 의해 상당 부분이 대체되고 있다[10][11]. 질소가스는 수분 함유율이 높고 용탕과의 반응성이 있어 탈가스 성능면에서 우수하지 못해 고품질의 알루미늄합금 제조에는 불활성 가스인 아르곤이 많이 사용되며 그림5의 GBF(Gas Bubbling Filtration) 장치에 의해 효과적으로 수행되고 있다.

AI 주조합금에서 기계적 성질에 영향에 미치는 금속학적 조직인자로서는 DAS와 결정립크기, 제2상 입자의 크기와 분포등이 있다. 기계적 성질을 결정짓는 이들 조직인자를 제어하고자 응고속도 조절 및 입자미세화, 개량처리 등의 용탕처리를 실시하게 된다. AI합금의 응고속도를 증가시키면 DAS 및 결정립이 미세해지며, 용질원자의 고용률이 확대되고 편석이 감소할 뿐만 아니라 제2상 입자의 정출량이 감소하고 크기도 작아진다. 또한 수축공 및 기공이 감소하며 균일, 미세하게 분산된다.

주조조직의 결정립크기 제어는 고품질 알루미늄 합금 제조시의 가장 중요한 고려사항중 하나이다. 결정립이 미세해지면 주조중의 균열발생 경향이 감소하며 응고말기에 생기는 수축공에 대한 용탕공급이 원활해지고 결정립계에 생성되는 기공이나 제2상 입자들의 불순물이 미세하게 균일분산

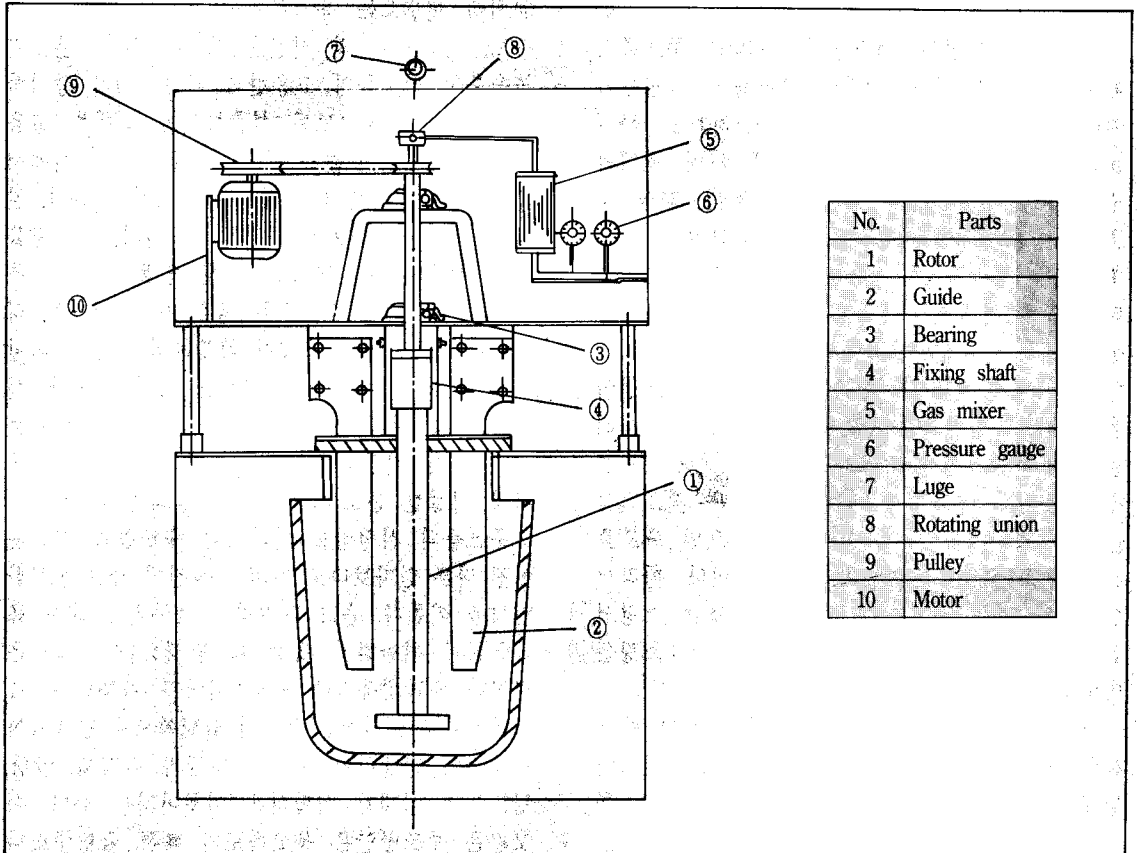


그림 5) Schematic drawing of GBF degassing machine.

되므로써 건전한 주조조직을 얻을 수 있게 된다. 또한 압연이나 압출등의 소성가공 공정을 거치는 경우 미세결정립 조직은 균일하게 소성변형되어 균열발생을 억제시킬 뿐만 아니라 최종제품의 기계적 특성을 향상시킨다[4][12]. 알루미늄 합금의 결정립미세화 방법에는 용탕에의 진동발생법 및 염(salt), Al-Ti-B 합금 첨가법등 여러가지가 있으나 취급이 간편하고 효율이 우수한 Al-Ti-B계 합금 첨가법이 압도적으로 많이 사용되고 있다.

Al-Si계 합금은 주조성이 우수하고 내마모성이 뛰어나며 열팽창계수가 작은 장점이 있는 반면 응고중 조대한 침상의 초정 또는 공정 Si상이 석출하여 인성 및 절삭성을 나쁘게 하는 단점이 있다[13]. 따라서 Al-Si계 합금에 인성과 절삭성 등을 부여하기 위하여 조대한 침상의 공정 Si상을 구상으로 미세화 시키는 개량처리를 실시하게 된다. 개량처리제로써 아공정, 공정 Al-Si계 합금에서는 Na이, 과공정 Al-Si계 합금에서는 P가 널리 사용되어 왔다. 그러나 Na은 용탕중에서의 산화 소모가 쉬우므로 개량 지속시간이 짧게 되어 최근에는 지속성이 긴 Sr이나 영구적인 Sb가 공업적으로 많이 쓰이고 있다[1][6]. 한편 과공정 Al-Si계 합금의 개량처리에 대해서도 P 이외에 S, Se, As 등의 원소가 고려된 적이 있으나 아직은

뚜렷한 결과가 나와 있지 않다.

참고문헌

- [1] 安達允: 輕金屬, 34 (1984) 361
- [2] 尹義博, 西成基: 輕金屬, 29 (1979) 157
- [3] 原田雅行, 鈴木敏夫, 福井泉: 鑄物, 59 (1983) 742
- [4] G. K. Sigworth, M. M. Guzowski: AFS Transaction, (1985) 907
- [5] 茂木徹一, 大野篤美: 輕金屬, 31 (1981) 325
- [6] B. Closset, J. E. Cruzleski: AFS Transaction, (1982) 453
- [7] 河野紀雄, 佐久間孝, 渡邊久藤, 室町繁雄: 輕金屬, 37 (1987) 146
- [8] Metal Handbook: 9th ed., vol. 2, p. 140, ASM
- [9] 磯部俊夫, 北岡山治: 輕金屬, 31 (1982) 107
- [10] F. R. Mollard, N. Davidson: AFS Transaction, (1978) 501
- [11] 谷山久法, 富田耕平: 輕金屬, 34 (1984) 278
- [12] 佃誠, 鈴木敏夫, 福井泉, 原田雅行: 輕金屬, 29 (1979) 437
- [13] 清水保雄, 加藤良雄, 橋人燈人, 土屋直己: 輕金屬, 34 (1984) 682