

## 알루미늄의 용해 및 주조 시리즈 II

홍성길<sup>†</sup>

전남대학교 신소재공학부

### Series II : Melting and Casting of Aluminum Alloys

Sung-Kil Hong<sup>†</sup>

Dept. of Materials Science and Engineering, Chonnam National University, Gwangju, 500-757 Korea

#### 3. 주조용 알루미늄합금의 용해

##### 3.1 용해재료

알루미늄합금 주물제조에 필요한 합금용탕은 회사에서 직접 배합하는 경우와 상업용 합금지금(地金)을 사용하는 경우의 두 가지가 있다. 용해용 원료로서는 일반적으로는 위와 같은 원료 지금과 탕구, 탕도, 압탕 및 불량품 등과 같이 생산공정에서 발생하는 제품외의 재용해용 회수(return)제도 다량 사용하고 있다. 또한 합금성분의 조절용으로서는 중간지금(母合金)이 아닌 순금속을 첨가하는 경우도 있다. 이런 원재료를 목적에 맞게 배합 용해하여 합금 용탕을 만든다. 자사에서 합금배합에서는 알루미늄지금과 순금속 혹은 중간합금을 배합하여 성분조정을 하는데 설비, 관리, 성분, 품질상의 안정성 등에 문제가 있을 수 있으므로 대규모적인 공장에서만 자사에서 합금을 배합한다.

주물공장에서는 작업의 간단성, 품질의 안정성 등으로부터 일반적으로는 합금지금을 사용하며, 이 경우에 ①1차지금 ②2차지금 ③회수재를 일정한 비율로 배합하여 사용하고, 필요에 따라서 알루미늄지금, 중간합금, 순금속으로 미세한 성분조정을 실시한다. 1차지금은 전해로부터 얻은 순알루미늄 또는 이것과 동등한 순도를 갖는 지금을 기본으로 Si, Cu, Mg 등의 금속원소를 순금속 혹은 중간합금의 형태로 첨가하기 때문에 순도가 높고 비금속개재물이 적다. 한편, 2차지금은 알루미늄 혹은 여러 가지 알루미늄합금 스크랩을 원료로 하므로 불순물의 규제도 엄격하지 않아서 불순물의 변동이 심한 경우도 있고 비금속개재물도 다량으로 포함되는 경우도 있다.

#### 3.2 용해설비

##### 3.2.1 용해로 및 유지로의 종류와 특징

용해로 및 유지로는 여러 종류가 있으며, 각각 장단점이 있다. 알루미늄합금의 용점은 비교적 낮기 때문에 간단히 용해할 수 있으나 건전한 주물을 얻기 위해서는 품질이 좋은 용탕이 필요하다. 실제 생산에 있어서는 주조양에 대응할 수 있는 용해량, 생산단가에 맞는 용해비 등 여러 가지 점을 고려하여 결정하여야 한다. 실제 생산에 있어서는 사용하는 방식에 따라서 용해로를 용해 겸 유지로로 동시에 사용하는 경우도 있고, 유지로를 용해 겸 유지로로 사용하는 경우도 있다.

용해로의 종류를 Table 1에, 각종 용해로의 특징을 Table 2에 나타낸다.

각종 로의 형식 및 용해 부대설비에 대해서는 참고문헌(輕合

Table 1. 알루미늄합금 주물용 용해로의 종류

형식		연료		
도가니로	정치식	밀폐형	전기	저항열
		개방형		유도열
	경동식	밀폐형	가스	
		개방형	중유	경유
반사로	정치식		중유	
	경동식		가스	
	회전식		전기저항열	

Table 2. 용해로의 특징

로의 형식		대량용해	용탕품질	온도제어	용해속도	용해비
도가니로	연소형	△	◎	○	△	△
	전기저항형	△	◎	◎	△	△
반사로	연소형	◎	△	△	◎	◎
	전기저항형	△	◎	◎	△	△
유도로		◎	△	◎	◎	×

◎: 좋음 ○: 보통 △: 나쁨 ×: 아주 나쁨

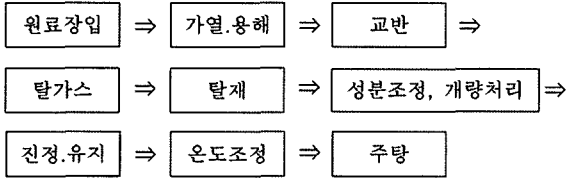
<sup>†</sup>E-mail : skhong@chonnam.ac.kr

鑄物の生産技術: 素形材センタ-)을 참조하기 바라며 여기에서는 생략함.

3.3 용해 및 용탕처리과정

3.3.1 용해과정

알루미늄합금주물용탕의 용해공정은 원료의 용해, 성분조정, 탈가스, 탈재, 미세화를 포함하는 용탕처리 및 온도조절 등의 요소로 구성되어 있다. 구체적인 작업은 설비의 관계 때문에 약간 달라질 수 있다. 일반적인 용해공정은 다음과 같다.



3.3.2 탈가스처리

대기중의 수분, 연소가스중의 수분, 내화물중의 수분, 기타 알루미늄합금 용탕부근에 존재하는 수분은 다음과 같이 알루미늄과 반응하여 수소가스가 용탕중에 용해된다.



수소가스의 알루미늄용탕 속에서의 용해도는

$$\log S = 1/2 \log p_{H_2} - A/T + B \quad (2)$$

S: 수소의 평형용해도, p: 분위기중의 수소분압, T: 절대온도, A, B: 정수

Fig. 1(a)에 알루미늄중에 고용되는 수소가스의 용해도를 나타낸다. 온도가 높아지면 수소용해도는 급격히 상승하지만 응고 후 고상이 되면서부터 용해도가 극히 낮아져서 고용한을 넘어선 수소가스가 응고중에 기포로 방출되어 일부가 제품속에 잔류하여 가스기포나 기공(porosity)을 형성한다. 그러므로 건전한 제품을 제조하기 위해서는 충분한 탈가스처리가 필요하다. Fig. 1(b)에 순알루미늄 용탕분위기에서의 수증기분압과 용탕내의 수소량의 관계를 나타낸다. 용탕주위의 수증기분압이 높으면 용탕중에 고용되는 수소량이 현저히 증가함을 알 수 있다. 한편 순알루미늄 용탕의 평형가스농도는 계절에 따라 변하며 습도가 높은 여름철이 겨울철에 비하여 2배가량 높다는 것에 주의 할 필요가 있다.

Fig. 2에 가스흡수에 미치는 용탕유지온도의 영향을 나타낸다. 용탕의 유지온도가 높을수록, 동일온도에서는 유지시간이 길어질수록 수소가스흡수량이 증가함을 알 수 있다. 그러므로 탈가스처리는 필수적으로 실시하여야 한다.

탈가스처리 방법에는 몇 가지가 있으나 알루미늄합금 주물제조에 있어서 일반적인 방법은 다음과 같다.

- ① Ar, N2등과 같은 불활성가스를 파이프를 통해 용탕중에 취입하여 기포에 수소 가스를 확산시켜 제거하는 방법
- ② Ar, N2등과 같은 불활성가스를 회전자(impeller)를 통해 미세한 기포를 용탕중에 취입하여 기포에 수소가스를 확산시켜 제거하는 방법

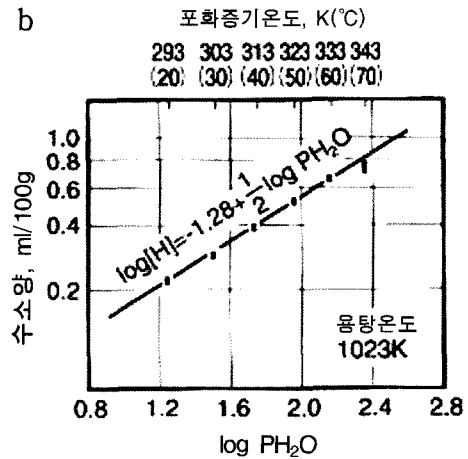
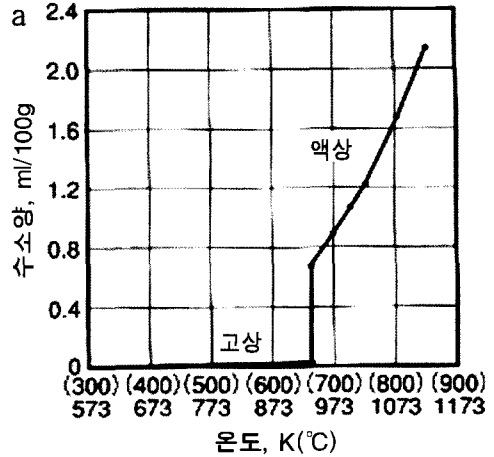


Fig. 1. Pure Al에 고용되는 수소가스의 용해도(a) 및 용탕분위기에서의 수증기 분압과 용탕내의 수소량의 관계(b)

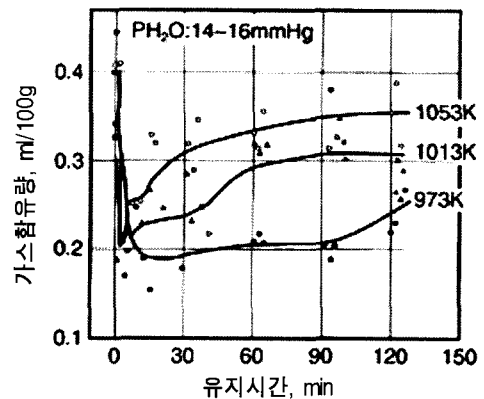


Fig. 2. 가스흡수에 미치는 용탕의 온도 및 유지시간의 영향

- ③ 할로겐화물질(주로 6염화에탄) 등 용탕속에서 염소가스를 방출하는 탈가스용 플럭스(flux)를 사용하여 플럭스와의 화학반응 및 기포에의 수소확산에 의해 제거하는 방법
- ④ ①과 ③의 방법을 병행하여 불활성가스를 운반자(carrier)

로써 플럭스를 용탕중에 취입하는 방법

위 방법 중에서 ②의 회전자를 사용하는 방법은 관(pipe, lance)를 이용하는 ①방법에 비하여 가스기포의 크기가 현저히 작고, 용탕의 움직임이 커서 기액 접촉의 효율이 좋다. 또한 탈가스 처리 시간이 10배정도 짧고 가스함유량을 0.15 ppm 정도까지 낮게 할 수 있는 등 탈가스 효과가 아주 우수하여 1980년대 중반 이후 급속히 보급되고 있다. 한편, 취입하는 가스 속에 포함된 수분은 탈가스 효과를 저해하므로 가능하면 로점이 낮은 고순도, 초고순도의 가스를 사용할 필요가 있다.

탈가스 처리 방법의 기구(탈 개재물 기구를 포함)모식도와 회전자를 이용한 탈가스 처리 장치를 Fig. 3에 나타낸다.

Table3에 취입하는 기포의 크기와 반응면적과의 관계를 나타낸다.

3.3.3 탈재처리

용탕중에 산화물, 질화물 등의 개재물이 존재하면 주조성 악화, 기계적 성질의 저하, 표면처리결함의 증가 등 여러 가지 문제가 발생한다. 그러므로 용탕처리에 의해 청정한 용탕을 만들어 주조공정에 투입할 필요가 있다. 개재물 제거에는 다음과 같은 방법을 사용한다.

- ① 불활성가스 또는 할로젠가스를 취입하여 부상분리 시키는 방법
- ② flux처리에 의한 방법
- ③ filter등에 용탕을 통과하여 제거하는 용탕여과법
- ④ 위 방법을 조합하는 방법

부상분리에 의한 방법은 일반적으로는 용탕처리에 있어서 탈가스처리를 실시하므로 탈가스와 탈재처리를 겸한다. flux에 의한 개재물 제거는 NaCl, KCl, NaF 등을 주성분으로 한 소량의

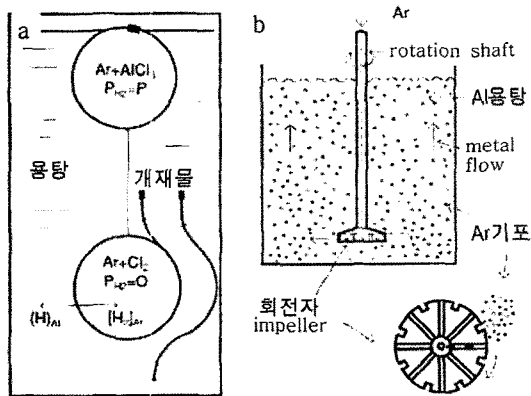


Fig. 3. 탈가스처리방법의 기구(탈개재물기구를 포함)모식도(a) 및 회전자를 이용한 탈가스처리 장치 모식도(b)

Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 등이 첨가된 탈재용 플럭스를 많이 사용한다. 이런 플럭스는 산화물과의 젖음성이 좋고, 부상분리된 산화물을 연소시켜 dry dross를 형성시키는 것이 중요하다.

가스, 플럭스를 혼합하여 취입하는 방법은 불활성가스를 운반자로 플럭스를 용탕중에 취입하므로 용탕과의 반응이 균일하고, 반응효율이 향상되어 플럭스사용량의 절감, 발생하는 유해가스의 감소 등의 효과도 있다. 용탕여과법은 망상이나 스폰지상의 필터를 사용하여 용탕의 유동상태에서 개재물을 필터로 걸러내 제거하는 방법이 일반적이다. 개재물의 제거기구로서는 필터표면에서의 개재물집적과 집적물에 의한 표면여과 및 필터 내공벽에의 흡착 또는 착상에 의한 내부여과방법이 있다.

3.3.4 조직의 개량

조직개량에는 합금의 종류와 목적에 따라서 다음과 같은 3가지로 분류할 수 있다

1) 결정립미세화

Al-Cu, Al-Mg계 합금 등의 고용체형 합금에서는 주조균열방지나 기계적 성질의 향상을 목적으로 한 결정립미세화처리를 실시한다. Al-Si계 합금의 경우에도 공정Si의 개량처리와 병행하여 결정립미세화처리가 실시되는 경우가 많다. 이 처리는 배합합금 성분내의 Ti첨가, 또는 용탕에의 Al-Ti, Al-Ti-B, Al-Zr 모합금이나 플럭스의 첨가 형태로 실시되며, 덴드라이트(dendrite)상으로 성장하는 초정알파(α)의 발달을 억제한다. Ti의 첨가는 비평형상의 Al<sub>3</sub>Ti, Ti-B의 첨가는 TiB<sub>2</sub>, Zr의 첨가는 L1<sub>2</sub> 구조를 갖는 준안정상의 Al<sub>3</sub>Zr의 정출이 먼저 일어나고 이러한 상들이 덴드라이트인 초정α의 응고핵이 되어 결정립을 미세화 시킨다. 한편 평형상(안정상)의 Al<sub>3</sub>Ti이나 Al<sub>3</sub>Zr상은 결정립미세화에 크게 기여하지 않는다는 것이 밝혀졌다.

Fig. 4는 응고속도가 빠른 3 × 10<sup>3</sup>°C/s로 응고시킨 Al-1.6%Ti 합금의 광학현미경(a) 및 SEM(b) 조직이다. 각 결정립의 중앙에 꽃잎모양의 준안정상인 Al<sub>3</sub>Ti상이 존재하고 있으며, SEM조직에서는 중앙의 꽃잎모양의 Al<sub>3</sub>Ti상이 있으며 그 주위에 덴드라이트셀이 형성되어 있음을 알 수 있다.

용탕에의 결정립미세화 원소첨가는 시간이 지나면 그 효과가 감소하기 쉬우므로 주탕 직전의 보온로에 첨가하는 것이 일반적이고 집중용해방식의 경우에는 보온로에서 주탕하기 전 탈가스 전후 첨가하는 것이 좋다.

2) 공정Si의 개량

주물용 알루미늄합금의 대부분은 Al-Si계를 기본으로 한 아공정형 합금이다. 그러므로 Al-Si계 합금에서는 초정알파(α) 덴드라이트와 공정Si의 혼합조직이며 공정Si의 형상이 기계적성질이나 주조성 등에 미치는 영향은 지대하다. 공정Si은 특히 개량처리를 하지 않은 경우 침상(3차원적으로는 평판형 결정)으로 발

Table 3. 기포크기와 반응면적, 확산면적과의 관계

기포직경 (mm)	기포체적 (mm <sup>3</sup> )	기포표면적 (mm <sup>2</sup> )	1 리터당 기포수	1리터당 기포의 전표면적	
				(mm <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
1	0.52	3.14	1,908,000	6,000,000	6.0
5	64.45	78.54	15,280	1,200,000	1.2
10	523.60	314.16	1,908	600,000	0.6

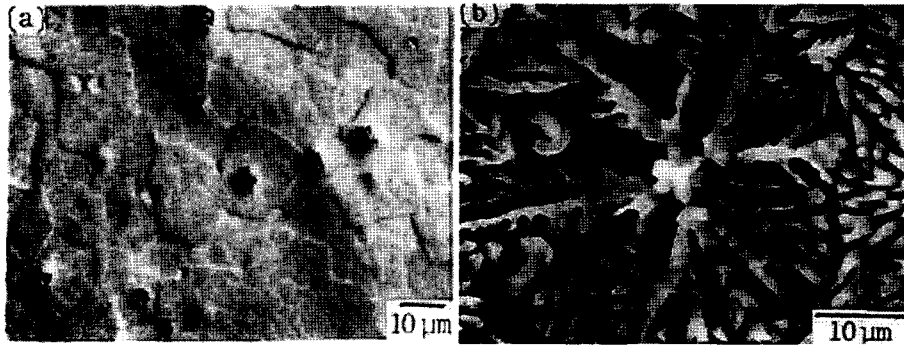


Fig. 4. 급냉한 Al-1.6%Ti 합금의 (a) 광학현미경 조직 (b) SEM 조직

달한 결정인데 반하여 개량처리를 한 경우에는 미세한 입상이 되어 기계적 성질 특히 연성이나 충격강도가 향상된다. 공정Si의 개량에는 나트륨(Na), 스트론튬(Sr), 칼슘(Ca), 안티몬(Sb) 등의 성분이 사용된다. 이중에서 Na첨가가 가장 일반적이지만 최근에는 Sr첨가에 의한 방법이 많이 보급되고 있다.

Na은 금속Na 혹은 NaF를 함유하는 플럭스를 용탕에 첨가하는 방식으로 사용되고 있다. Na에 의한 개량처리 효과는 합금종류나 응고속도에 따라 다르며 특히 응고속도에 민감하다. 일반적으로 Si의 양이 많고 냉각속도가 느린 경우에는 Na 첨가량을 많이 한다. 양호한 개량효과를 얻기 위해서 냉각속도가 늦은 사형주조의 경우에는 50~150 ppm, 금형주조에서는 30~100 ppm 정도 첨가한다. 그러나 Na은 화학적으로 활성이어서 산화소모가 심하므로 시간이 경과함에 따라서 개량효과가 없어진다. 특히, 단위중량당 표면적이 큰 형상일 경우 산화소모가 크다. 반면 Na의 과잉첨가는 조직을 악화시키므로 첨가직후의 Na양은 100~150 ppm을 초과하지 않도록 주의하여야 하며, 충분한 개량효과를 기대할 수 있는 시간도 1시간 정도임에 유의하여야 한다. Fig. 5에 각종 합금용탕의 유지시간과 Na양과의 관계를 나타낸다. 합금의 종류에 따라 Na의 유지시간이 다르지만 빠른 시간 내에 Na이 소모되는 것을 알 수 있다.

이러한 조건을 만족시켜서 산화소모에 의한 변동이 적고 개량효과를 지속시키기 위해서 타블렛형(tablet type)의 플럭스가 개발되어 사용되고 있다. Na의 첨가는 공정Si의 개량효과에 의한 기계적 특성의 개선뿐 아니라 수축공분산에 의한 내압성 향상 효과도 있어서 내압성을 중요시하는 주물제조에 있어서 중요한 역할을 하고 있다.

Sr에 의한 개량효과는 Na에 비하여 산화소모가 적고 개량지속시간이 길며 도가니로의 수명을 향상시킬 수 있는 점과 취급에 있어서 Na보다 안전하다는 장점이 있어서 최근 Na 대용으로 많이 사용되고 있다. 그러나 Sr은 수분을 흡수하기 쉬운 점이 있으므로 습도가 높은 지역에서는 주의하여야 한다. Sr첨가량이 적으면 충분한 개량효과를 얻을 수 없고 너무 많은 경우에는 Sr을 포함한 화합물의 정출에 의해 오히려 기계적 특성이 저하되기도 한다. 그래서 Sr 첨가는 일반적으로 Al-Sr 모 합금을 사용하는데 첨가량은 50~150 ppm정도가 좋으며, Sr의 첨가효과는 Na과는 다르게 수축공분산 효과가 거의 없다.

Fig. 6에 AA413.0 합금의 용체화처리 전후의 기계적 성질과 Sr 첨가량과의 관계를 나타낸다. Sr첨가는 내력과는 무관하

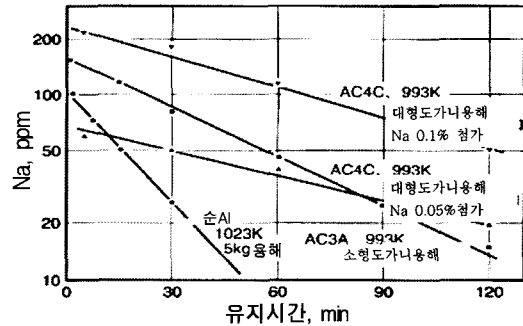


Fig. 5. 각종 합금용탕의 유지시간과 Na양과의 관계

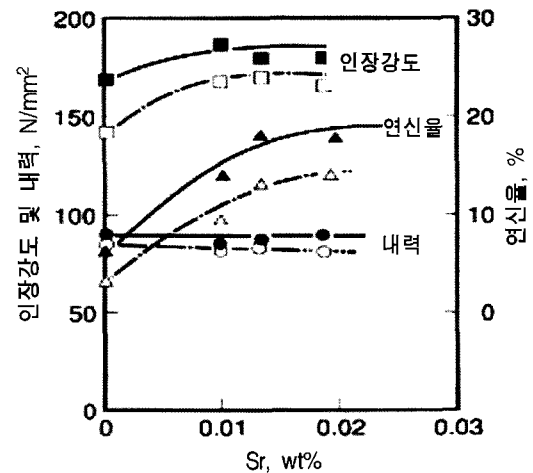


Fig. 6. AA413.0 합금의 용체화처리 전후의 기계적 성질과 Sr 첨가량과의 관계

지만 연신율이 크게 증가하며 그에 따라서 강도도 약간 증가함을 알 수 있다.

Fig. 7에 AC4C합금 F재에 나트륨(Na), 스트론튬(Sr) 및 안티몬(Sb) 첨가에 의한 개량효과를 나타낸 광학현미경 미세조직을 나타낸다. 무처리재에서는 평면적으로 침상, Na처리재는 아주 미세한 입상, Sr처리재에서는 미세한 입상 그리고 Sb처리재는 층상을 나타내며, Na과 Sr의 첨가에 의한 공정Si의 개량효과가 우수함을 알 수 있다.

AC4C합금의 공정Si을 주사전자현미경으로 관찰한 조직을 나

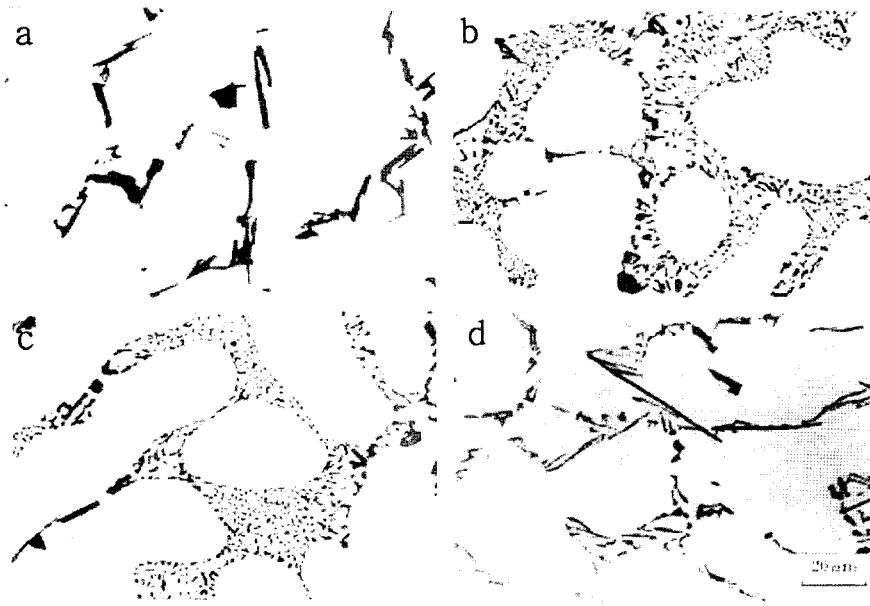


Fig. 7. AC4C합금 F재의 미세조직, (a) 무처리, (b) Na처리, (c) Sr처리, (d) Sb처리

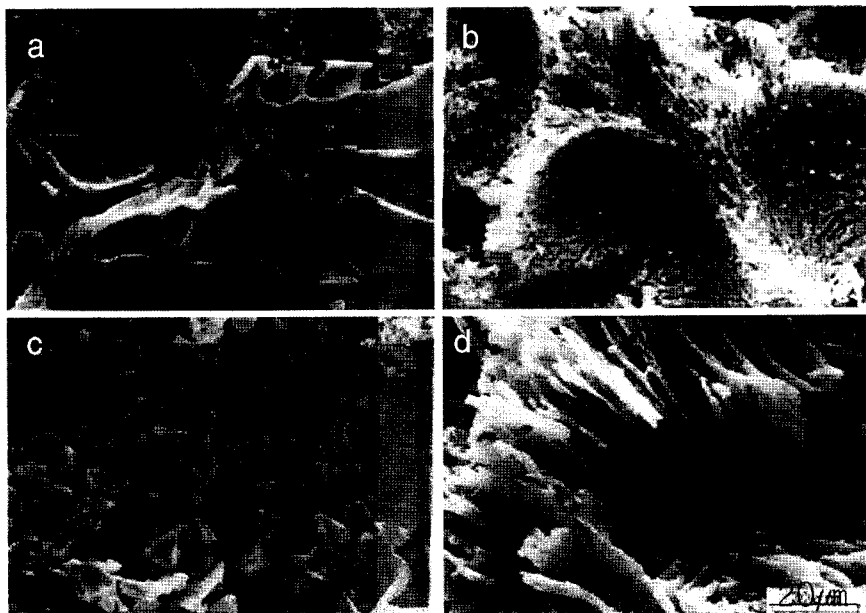


Fig. 8. AC4C합금의 공정Si를 주사전자현미경으로 관찰한 조직, (a) 무처리, (b) Na처리, (c) Sr처리, (d) Sb처리

타낸 Fig.8에서 알 수 있는 바와 같이 3차원적인 입체적인 조직을 보면 무처리재는 판상, Na처리재는 아주 미세한 입자형태의 상, Sr첨가재는 입상이며 Sb처리재는 미세한 판상을 나타낸다. 조직에서 보는바와 같이 개량효과는 Na첨가효과가 가장 우수하고 그 다음이 Sr이며 Sb는 큰 효과가 없음을 알 수 있다. 한편 Ca첨가도 약간의 개량효과가 있다.

3) 초정Si의 개량

과공정 Al-Si계 합금에서는 초정 Si의 결정립도는 기계적성질, 주조성, 내마모성 등 다방면에 영향을 미친다. Fig. 9에 Al-23%Si (AC9A합금)의 초정Si의 크기와 인장강도와의 관계

및 AC9B-T6재에 대한 인(P) 첨가에 따른 초정Si의 미세화 효과를 나타낸다. 첨가방식에 따라서 다소 차이가 있지만 인(P) 첨가에 의해 초정Si의 크기가 감소하고 그에 따라서 인장강도가 향상됨을 알 수 있다. 그러므로 과공정 Al-Si계 합금에서는 기계적특성을 향상시키기 위해 초정 Si의 미세화처리가 필수적이다.

초정Si의 미세화에는 AIP의 결정격자정수가 Si의 결정격자정수와 비슷하여 초정Si의 결정핵이 되므로 인(P)을 첨가하는 것이 일반적이다. 인 첨가방법으로는 Cu-7%P 등 인을 포함하는 모합금을 사용하는 방법, 적인이나 인을 포함한 화합물을 주성

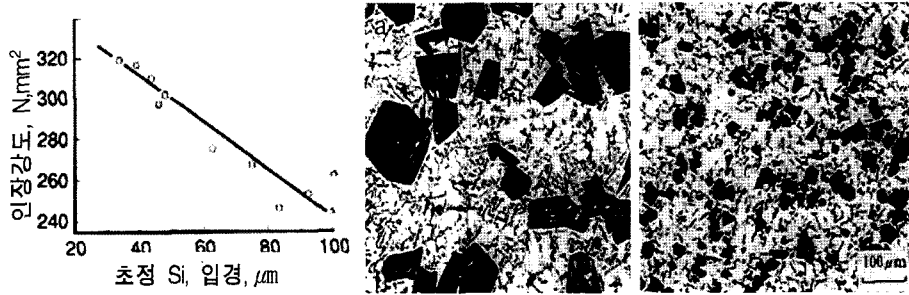


Fig. 9. 초정Si의 크기와 인장강도와의 관계 및 AC9B-T6재에 대한 인(P) 첨가에 따른 초정Si의 미세화 효과

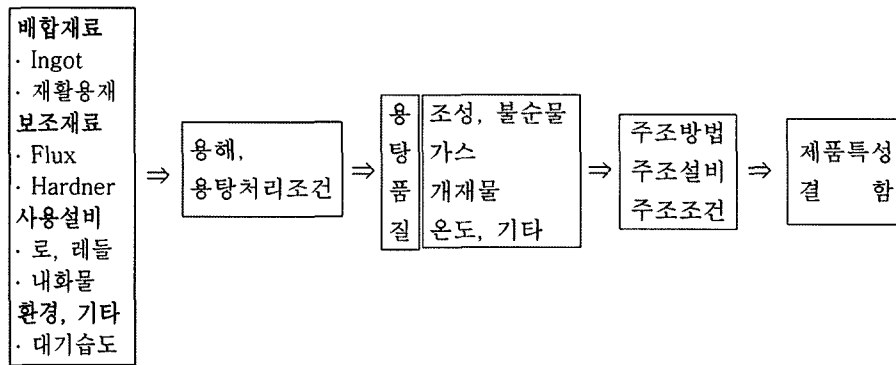


Fig. 10. 알루미늄합금 주조제품의 특성과 결함에 미치는 제인자

분으로 하는 플럭스를 사용하는 방법이 있다. 인 첨가량은 보통 100 ppm 전후로 하는 경우가 많다.

### 3.4 용탕품질

#### 3.4.1 용탕품질의 구성요인

알루미늄합금 주물의 제품특성, 결함과 각종 요인과의 관계를 Fig.10에 나타낸다. 용탕품질에 대해서는 엄밀한 규정은 없지만 알루미늄합금주물을 대상으로 한 경우에는

- 1) 불순물을 포함하는 조성과 관련된 요인,
- 2) 용탕중의 가스와 관련한 요인,
- 3) 용탕중의 개재물과 관련한 요인,
- 4) 용탕온도와 관련한 요인 및 기타

등등으로 구성된 총체적인 상태로 생각할 수 있다. 이러한 요인은 배합원료나 보조재료, 사용설비, 사용환경 등의 영향을 받거나 또한 용해나 용탕처리 등의 조건에 따라서 변화한다. 최종적으로는 주조방법이나 주조설비, 주조조건 등에 의해 용탕 품질이 주물제품의 양/불량에 반영된다. 여기에서는 수소가스, 개재물, 불순물 및 온도요인에 대해서 자세히 기술한다.

#### 3.4.2 수소가스의 거동과 영향

용탕중에 흡수된 가스가 문제가 되는 수준인지 아닌지를 파악하고 필요에 따라서 조치를 하여야 한다. 순알루미늄의 용탕 온도와 수소용해도와의 관계는 Fig. 1(a)에서 알 수 있듯이 응고점 이상에서는 상당한 양의 수소용해도가 있으나 응고점 이하에서는 수소용해도가 급격히 감소하여 응고시에 수소를 기체로 방출한다.

Fig. 11에 용탕온도에 따른 Al-Cu, Al-Si 및 Al-Mg 합금의 수소용해도와 용질원소의 농도와의 관계를 나타낸다. 용탕의 수소용해도는 온도 및 합금조성에 따라 변화한다. 용탕에의 수소용해도는 식2에서도 알 수 있듯이 증기압의 제곱근에 비례하여 증가하며, 온도가 높을수록 지수함수적으로 증가함을 알 수 있다. 알루미늄합금에 있어서 용질원소인 Cu, Si의 농도가 증가할 수록 수소용해도가 낮아지는데 반하여 Mg의 경우는 반대로 용해도가 직선적으로 증가한다.

이는 Al이 Cu나 Si에 비하여 활성원소인데 반하여 Mg은 Al보다 더 활성원소이기 때문이다.

방출된 기포는 응고중에 주물의 용탕면으로부터 일부는 방출되지만 대부분은 주물중에 그대로 존존한다. 응고가 아주 빠른 경우에는 기포의 핵생성, 성장이 뒤따라주지 못해서 기포를 발생하지 않고 수소가스는 고용된 상태 또는 그와 비슷한 상태로 존존한다. 한편, 응고가 느린 경우에는 기포의 성장도 충분하여 다량의 기포를 형성한다. 그래서 용탕에 흡수된 가스가 기공(porosity)이 되는지 안되는지는 합금조성과 냉각속도에 의존한다. Fig. 12에 순알루미늄 금형주물에 있어서의 가스함유량과 기공과의 관계를 나타낸다. 가스량이 어느 수준 이상이 되면 가스량이 증가함에 따라서 기공이 직선적으로 증가하고, 응고시간이 빠르면 기공수가 적어짐을 알 수 있다. 즉, 응고속도가 느린 경우에 가스의 영향을 받기 쉽다. 한편 가스량의 허용도는 응고시간과 직선적인 관계를 가지고 있으며 순알루미늄의 경우 응고시간이 비교적 빠른 경우에 있어서는 0.2 ppm정도가 된다.

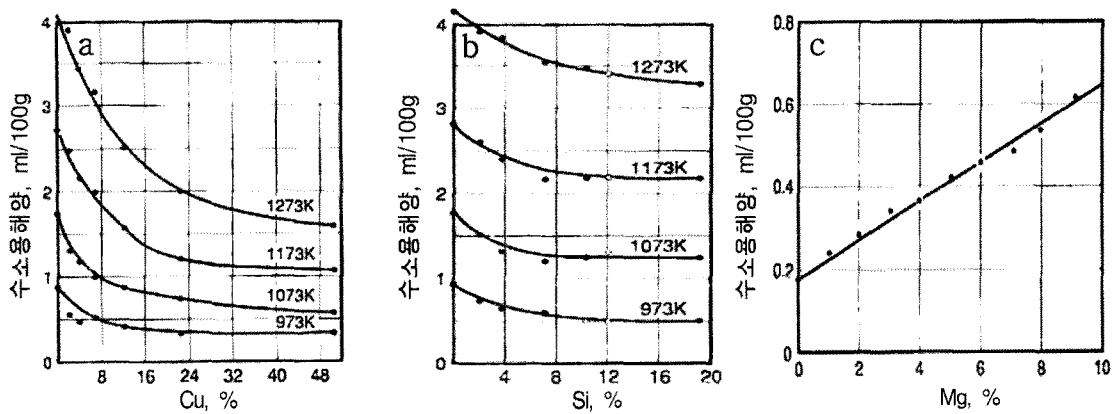


Fig. 11. 용탕온도에 따른 Al-Cu(a), Al-Si(b) 및 Al-Mg(c) 합금의 수소용해도와 용질농도와의 관계

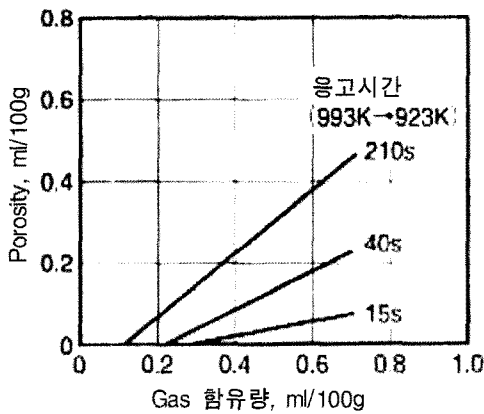


Fig. 12. 순알루미늄 금형주물에 있어서의 가스함유량과 기공과의 관계

그러므로 일반적으로는 위와 같은 값(0.2 ppm)을 탈가스시의 목표치로 하고, 응고속도가 느린 경우에는 더욱 낮은 값을 목표치로 할 필요가 있다. 이처럼 가스에 의해 발생한 기공은 주물의 기계적성질을 현저히 저하시키고 특히 연신율, 충격강도, 피로강도에의 영향은 지대하다.

3.4.3 개재물의 거동과 영향

알루미늄 용탕에 포함되는 개재물로서 용탕이 대기중의 산소와 반응하여  $MgAl_2O_4$ ,  $Al_2O_3$ ,  $MgO$  등과 같은 산화피막이나 산화물을 형성하여 용탕중에 혼입된다. 또한 원재료의 표면도 용해과정에서 두꺼운 산화피막을 형성하여 용탕중에 잔존하기

쉽다.  $TiB_2$ 나 그 외의 금속간화합물이 성장한 것이 혼입되기도 하고 용탕중에서 형성되기도 하며, 용해주조설비에 사용하고 있는 내화물 등이 생산공정 중에 혼입되기도 한다. 용탕을 주탕하는 과정에서 발생하는 개재물도 있다. 이러한 개재물의 크기나 형상은 다양하며, 수  $\mu m$  전후의 크기에서부터 수 mm 혹은 수 cm의 크기를 갖는 것도 있다. 산화피막도 두껍게 성장하여 절삭 가공시 hard spot으로 문제를 발생시키는 경우도 있다. 개재물의 비중은 용탕보다 작은 경우도 있으나 더 큰 경우도 있다.

용해공정에 있어서의 개재물량의 변화를 보면 용탕중에 혼입된 개재물은 아주 많은 경우에는 용탕을 보온유지 중에 감소하지만 탈가스나 탈재 등의 용탕처리에 의해 대부분 제거할 수 있다.

3.4.4 불순물의 거동과 영향

주요합금 성분이 같아도 불순물의 내용이 다르면 주조성이 달라질 수 있다. Fe, Si이나 주요 불순물 외에 Na, Sr, Ca 등 개량성분 혹은 P 등의 존재도 수축성에 큰 영향을 미친다. 주석(Sn)과 같은 저융점 성분의 경우에는 주조균열을 발생시키기도 한다.

3.4.5 온도의 영향

용탕을 주조의 대상으로 간주하는 경우에는 위에서 언급한 성분, 가스, 개재물 이외에 온도에 대해서도 용탕품질을 지배하는 요인의 하나로 충분히 의식할 필요가 있다. 온도조절의 정확성, 온도변동의 정도, 온도분포 등도 직간접적으로 제품의 양/질량에 영향을 미친다는 사실을 간과해서는 안된다.