

PM법에 의한 고규소Al합금 제조기술 동향

(한국기계연구원 박원욱, 편집위원)

1. 서 론

초정 Si의 미세화와 준안정 석출물 등의 조직제어를 이용하여, 내마모성이 우수하고 열팽창계수가 작을 뿐 아니라 기계적 특성이 우수한 고규소 Al합금을 개발하려는 연구가 최근 관심의 대상이 되고 있다. 여기에 쓰이는 합금은 Al-Si합금의 공정점(12.5 wt% Si)을 훨씬 상회하는 과공정(Hypereutectic) Al-Si합금으로서, 목표특성을 달성하기 위해서는 Si양을 가능한 한 많이 과포화 고용시키고, 초정 Si의 크기도 10 μm 이하의 미세한 상태로 조절해야 하며, 입자의 형상도 알맞게 제어해 줄 수 있어야 한다. 입자의 크기 및 형상제어에 쓰이는 방법은 주로 ① 급냉응고, ② Na, Sr 등의 첨가에 의한 개량처리 ③ 초정 Si 입자 미세화를 위한 P, As, Sb 등의 첨가로 나뉘게 되는데, 급냉응고의 방법은 초정 Si 미세화와 공정조직의 개량처리에 모두 효과가 있는 것에 비해, 첨가제에 의한 Si입자의 미세화와 개량처리 만으로는 특성향상에 한계가 있고 내마모성 증가에 크게 기여하지 못하는 경향이 있다. 그러므로, 과공정 Al-Si합금 제조에 있어서는 급냉응고와 함께 대량생산이 가능한 가스분무법(Gas Atomization)과 분무적층법(Spray Deposition)의 분말야금공정이 주된 생산공정으로 채택되고 있으며, 이 외에 제조공정의 단순화와 생산성 향상을 위하여 비교적 빠른 냉각속도에 의해 선재 및 판재의 제조가 가능한 수평연속주조공정도 선진국에서 이미 개발되어 실용화되어 있다.

따라서, 본고에서는 과공정 Al-Si합금의 제조를 위하여 새로이 도입되어 양산기술로 채택된 가스분무법, 분무적층법과 아울러 경쟁기술로 부각되고 있는 수평연속주조기술 등을 비교 분석함으로써, 분말야금 기술에 의한 내마모 Al-Si합금개발의 세계적인 추세와 함께 앞으로의 연구방향을 정립해 보고자 하였다.

2. 국내외 기술동향 및 특성

2.1. 국내외 기술동향

고규소 Al합금은 주로 자동차산업 및 가전제품에 활용되고 있는 추세로 일본에서 주로 기업화되어 소재 및 부품으로 생산되고 있다. 그림 1에 예시한 바와 같이 주 생산품은 자동차용 Cylinder Sleeve, Piston, Spring Retainer, Swash Plate와 동력 전달부품들이며, 이외 Compressor의 Vane 및 Rotor, VCR Cylinder, Heat Sinks 등도 제조되어 기존제품을 대체하고 있다. 일본 Sumitomo 경금속에서는 가스분무법(Gas Atomization)으로 분말을 제조한 후 압출하여 단조성과 고온강도가 우수한 합금을 기업화하였으며, Sumitomo electric에서는 Al-20Si-5Fe합금을 가스분무법으로 제조하여 약 3 wt% SiC 분말을 섞어 이를 CIP로 성형한 다음 다시 고온에서 압출한 후 자동차 및 가전용 내마모부품제조에 활용하였다. 한편, 이러한 가스분무법이 대부분 CIP 또는 canning-degassing 등의 복잡한 공정을 거치게 되므로 이를 분무적층법(Spray Deposition)으로 직접 성형체를 제조하여 압출 또는 단조공정으로 최종 성형하는 방법이 실용화되었는데 이 역시 Sumitomo 계열인 Sumitomo 중공업에서 개발에 성공하였다. 이외에는 대부분 연속주조방법을 이용하여 Al-Si합금을 제조하게 되는데, 최근에는 Showa Denko K.K. 계열의 Shotic Co.에서 수평연속주조 등으로 직경 20~107 mm ϕ 의 고규소 Al합금을 산업화하여, Shotic process가 분말야금법의 새로운 경쟁기술로 부각되고 있다. 이외에 미국과 유럽, 러시아 등에서도 일부제품을 항공기 및 자동차 부품으로 사용하려는 개발 연구가 활발히 진행되고 있는 상태이다. 한편, 국내의 경우는 서울대, 충남대, 포항대 등의 대학과 KIMM을 비롯한 출연연구소에서 기초 및 응용 연구를 수행하고 있으나, 아직

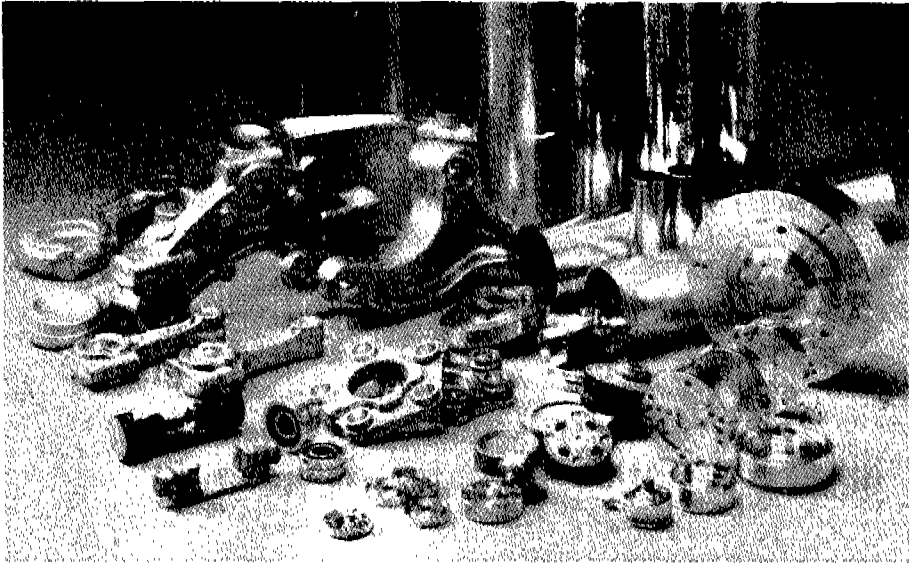


Fig. 1. Commercialized products of hypereutectic Al-Si alloys.

양산화공정과는 거리가 멀기 때문에 앞으로 실용화를 위한 연구노력과 지원이 한층 요구되는 실정이다.

2.2. Hypereutectic Al-Si합금의 특성

급냉응고법으로 제조된 고규소 Al-Si합금은 낮은 열팽창계수를 가지며, 내마모특성과 고온강도면에서 우수할 뿐 아니라, 탄성계수가 높고, 뛰어난 절삭성을 가지는 등 많은 장점을 보유하고 있다.

2.2.1. 열팽창계수

Si이 소량(0.1 wt% 이하) 첨가된 Al합금은 일반적으로 약 $25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 의 열팽창계수를 가지나, Si첨가량이 증가함에 따라 직선적으로 계수가 감소하여 Si가 약 35 wt% 첨가되면 주철(cast iron)의 열팽창계수인 약 $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 의 값과 비슷하게 된다. 따라서, Si양이 많이 첨가될수록 고규소 Al-Si합금은 주철부품과 부착된 상태에서 사용이 용이하게 된다.

2.2.2. 내마모특성

고규소 Al-Si합금에서 Si양이 증가할수록 내마모특성이 일반적으로 증가한다. 그러나, 이 경우 초정 Si입자의 크기와 타첨가 원소의 석출상의 특성에 따라 내마모성이 크게 변화하므로 초정 Si입자와 석출상의 입자를 작게 조정해주는 것이 바람직하다.

2.2.3. 고온인장강도

Al-Si 이원계합금은 150°C 이상의 온도에서는 인

장강도 및 경도의 값이 급격히 감소한다. 따라서, 고온에서 사용하기 위해서는 Fe, Ni, Mn 등의 천이금속원소를 약 10 wt% 범위까지 첨가하여 고온특성을 증가시켜야 한다.

2.2.4. 기타

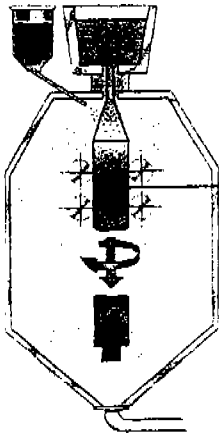
Si의 첨가량이 증가함에 따라 합금의 탄성계수는 증가하나, 냉각속도가 낮아져서 Si입자가 조대화되면 탄성계수가 감소하게 된다. 또한, 성형후 기체가 공에 있어 중요인자로 평가되는 절삭성에 있어서는 주조된 Al-Si합금에 비해 급냉응고 및 조직 미세화처리된 합금이 더 우수한 절삭성을 나타내는 것으로 알려져 있다.

2.3. 대표적 제조공정 기술

2.3.1. 가스분무법(Gas Atomization)

급냉응고의 일종인 가스분무법으로 용융합금을 미세한 분말상태로 제조한 후 혼합공정을 통하여 hardening phase(SiC 등)와 윤활제 등을 섞어, 이를 성형함으로써 최종 bulk상태의 소재를 얻는 방법이다. 성형법은 주로 canning-degassing-welding후 압출하는 공정을 활용하고 있는데, 분말을 냉간등압성형(CIPping)하여 압출하기도 한다. 성형온도는 요구특성에 따라 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ 구간에서 선택되며, 분말입자의 완전한 결합을 위하여 압출비를 20:1 이상으로 설

(a) Vertical Type



(b) Horizontal Type

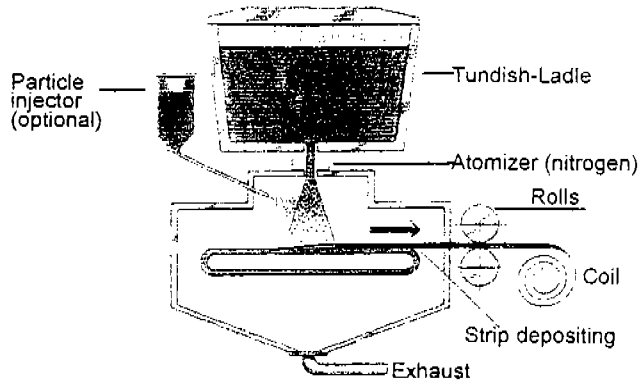


Fig. 2. Schematic views of (a)vertical-type, and (b) horizontal-type in spray deposition processes.

정하게 된다. 분말제조시 사용되는 가스는 실험실에서 쓰이는 Ar, N₂ 등이 매우 고가이므로 실 조업에서는 공기를 사용하는 것이 일반적이는데, 냉각속도와 특성면에서 큰 차이가 없이 약 40 wt% Si까지 첨가할 수 있으므로 고기능 내마모부품제조에 앞으로 주로 Air Atomization공정이 활용될 것으로 예상된다.

2.3.2 분무적층법(Spray Deposition)

이 방법은 가스분무된 용융입자를 냉각 substrate에 적층시킴으로써 직접 bulk상태의 합금을 얻을 수 있기 때문에, 가스분무법에서와 같이 canning공정 등이 불필요하게 되어 성형공정이 간소화되며 대량생산에 적합하다. 또한, 반응융상태의 분말입자가 적층될 때 dendrite입자가 과쇄되면서 응고핵으로 작용하므로, 응고후 계면부근의 용점이 가장 낮게되어 반응고단조(thixoforging)가 가능한 특징을 갖게된다.

그러나, 냉각속도는 103 °C/sec이하로 가스분무법보다 떨어져 적절한 Si의 첨가가 약 20 wt% 내외로 제한된다. 그림 2는 분무적층법에 의한 합금제조공정 중 (a) 수직식에 의한 봉재제조와 (b) 수평식에 의한 판재제조를 나타낸 개략도로서, 냉간 및 열간단조, 열간압출, 압연 공정 등을 통하여 내마모부품의 대량생산이 머지않아 실현될 것으로 전망되나, 아직까지는 생산설비 설치비가 크고 제조공정제어의 어려움으로 인하여 기업화를 위한 집중투자가 지연되고 있는 실정이다.

2.3.3. 기타 제조공정

분말법에 경쟁상태에 있는 제조공정으로서 최근 관심의 대상이 되고 있는 기술 중 대표적인 것은 수평연속주조(Horizontal Continuous Casting)이다. 대부분의 경우 연속주조기술은 대량생산에 적합하나, 냉각속도가 금형주조보다도 훨씬 낮으므로 고규소 Al합금제조에 적용하기 어렵다. 그러나, Shotic Co.에서는 소단면적 선재의 냉각속도를 최대로 높이는 방안을 발명하여 Si이 약 17 wt% 첨가된 A390 합금선재를 대량 생산하고 있다. 이 연속주조합금은 생산성과 제조원가에서 분말법보다 유리한 반면, 내마모특성이 떨어지고, 합금성분의 선택범위가 제한되는 단점을 갖고 있다. 그렇지만, 새로운 소재의 채택에 있어 앞으로 기존의 분말성형재의 수요를 상당량 잠식할 가능성을 내포하고 있으므로, 분말야금법의 활용은 점차 특수 고기능 소재 중심으로 첨단화할 가능성이 많은 것으로 보인다.

3. 결 론

분말야금 및 금냉응고법에 의해 제조되는 고규소 Al합금은 자동차 및 가전제품의 성능향상수요와 경량화추세에 힘입어 그 수요가 증증할 것으로 분석되며, 이에따라 합금설계, 초정 Si의 미세화, 제조공정의 최적화 등 뿐만 아니라 복합적인 특성향상방안 및 상관관계 규명에도 많은 개발투자가 지속될 것으로 예상된다. 또한, 지금까지 활용된 분말야금법의 공정

이 복잡하고 까다로운 특징이 있으므로 이를 단순화하여 생산공정에 응용하려는 노력이 배가될 것으로 분석되며, 이와 아울러 연속주조, 반응고주조 및 단조, 용탕단조 등 응고제어를 중심으로한 신기술과의

경쟁, 또는 기술접목에 의한 제조기술의 실용화 등의 새로운 시도가 향후 기술동향을 주도하게 될 것으로 전망된다.