

알루미늄 새로운 연속주조기술

전북대학교 신소재공학부 우기도

1. 서 론

일반적으로 알루미늄의 주괴의 제조법으로는 수냉주형에 의한 壓型반연속주조법(DC : Direct Chill 주조법) 이 사용되어 왔다. 그러나 이 방법은 아래와 같은 문제점이 있다.

- 1) 분배통 (Launder)으로부터 float를 거쳐 주조시까지 산화피막이 형성될 수 있다.
- 2) 주형과 용탕의 접촉에 의한 표피부의 품질이 저하된다.
- 3) 응고 수축시에 주형과 응고 표피층간의 이격에 의하여 air gap이 형성되어 주괴 표피부의 품질이 저하된다.
- 4) 반연속주조이므로 주조 종료로부터 다음 주조까지 시간이 필요하다.
- 5) Blower의 着脫, 보수, 주조 중의 작동 관리 등을 위한 많은 작업 인원이 필요하다.
- 6) 용탕면 조정을 위한 blower가 있으므로 직경이 작은 빌렛의 주조가 어렵다.

따라서 고품질 저가격의 연속주조법이 필요하게 되었으며 종래의 DC 주조법을 개량한 Hop top 주조법, 전자장 주조법, 수평연속 주조법, 직접 주조압연법 등이 개발되었다. 이들 주조법에 대하여 개략적으로 소개한다.

2. 새로운 연속주조법[1]

2.1. Hot top 주조법

Hot top 주조법은 아래 Fig. 1에 나타내었다. 수냉주형이 아주 짧고 그 위에 refractory header box를 설치하였다. 용탕은 爐로부터 분배통, header와의 용탕면 level을 일정하게 유지되면서 급탕이 되어, 주형 내에서는 일정 조건하에서 응고가 진행된다. 이 방법의 장점은 아래와 같다.

- 1) 종래의 DC 주조법의 용탕면 높이에 해당하는 것이 주형 높이가 되고, 별도의 용탕면의 조정이 필요하지 않다. 그 이유로 주형 높이를 낮게 하므로 평활한 주형 표면을 얻을 수 있고 아울러 주형의 표면편석이 감소하며 내부조직도 양호하게 된다.

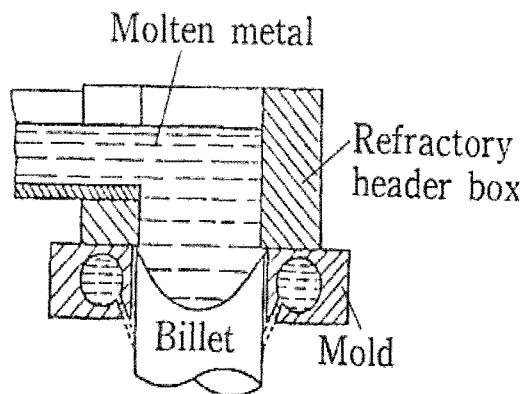


Fig. 1. Hop-top 몰드의 개략도.

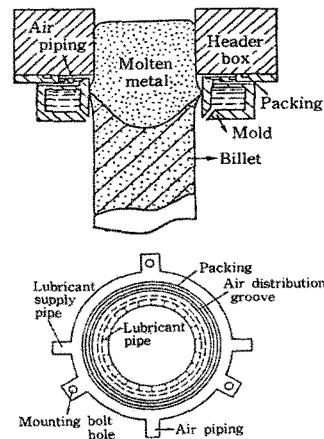


Fig. 2. 기체가압법 장치의 개략도.

- 2) 수평주탕이 가능하므로 용탕면의 교란이 없고 따라서 용탕 내에 수소가스나 산화물의 혼입이 감소된다.
- 3) Metal pool에서의 용탕의 움직임이 균일하고 아울러 float가 없으므로 잉고트 전체에 균일한 조직의 주괴를 얻을 수 있다.
- 4) 용탕면 조정을 위한 float를 사용하지 않아 조업작업이 간단하다.

이와 같은 장점이 있는 반면 header와 주형의 내경의 차이에 의하여 발생하는 rippled surface나 發汗등이 생기는 문제점이 있다. Rippled surface의 생성기구는 header와 주형의 경계부에서 형성된 응고 shell이 침강함에 따라 주형과 air gap이 생성된다. Air gap발생에 의해 열전달이 저하되어 응고shell이 재용해하고, 이때 용탕이 다시 주형면에 공급되어 ripple이 형성되는 cycle에 의한 것이다. 따라서 ripple의 감소를 위하여 여러 가지 방법이 제시되고 있다. Header와 주형의 경계에 가압공기를 넣어 header 내의 용탕정수압과 용탕의 표면장력의 balance에 의하여 적당한 기체가압 공간을 형성하고, 경계영역이 용탕과 접촉 않도록 하여 주괴의 표면의 특성을 개선한 방법인 기체가압법 장치를 Fig. 2에 나타내고 있다.

2.2. 전자기 주조법 (Electro Magnetic Cast)

종래 DC 주조법에 있어서 사용하고 있는 수냉주형 대신에 전자기장 주조 (EMC)에 의하여 용탕을 유지하면서 그 하부를 직접 수냉하는 주조법이다. 이 방법에서는 용탕이 주형과 직접 접촉하지 않기 때문에 응고 후 주괴의 표면이 양호하고 용탕의 강력한 전자장 교반에 의하여 결정립 미세화, 편석억제, 등축정 조직의 확대, 초정의 구상화 등에 의하여 건전한 주괴 조직을 만든다. 따라서 전자교반 연속주

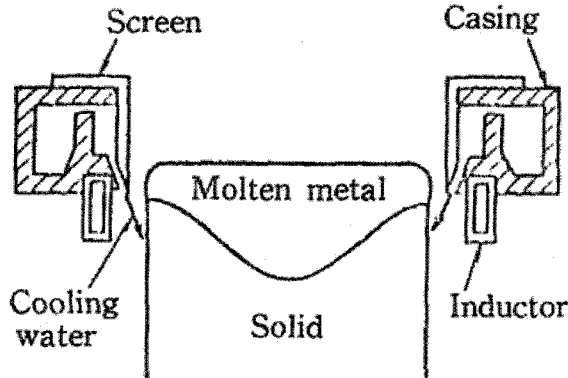


Fig. 3. 전자기장 주조장치 개략도.

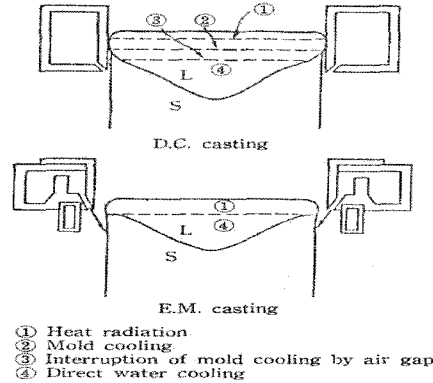


Fig. 4. DC 주조와 EMC 주조장치 개략도.

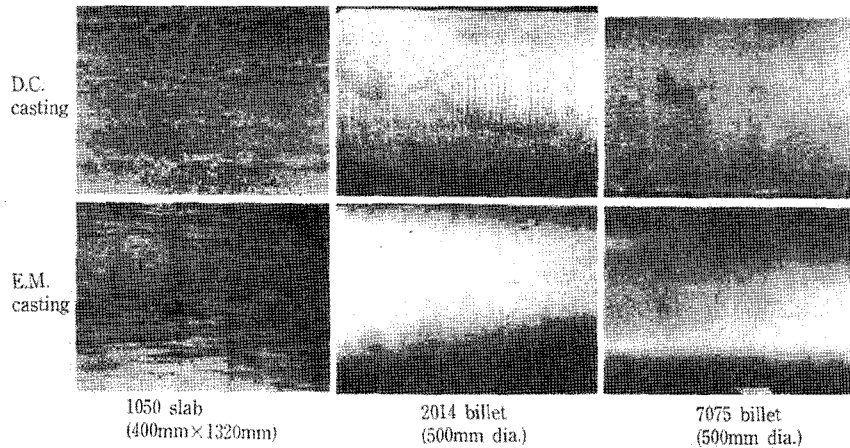


사진 1. DC 주조재와 EMC 주조재의 잉고트 표면의 모양

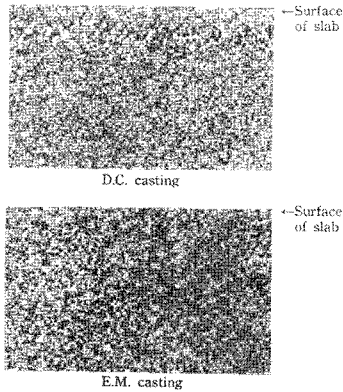


사진 2. DC 주조 및 EMC 주조한 1050 알루미늄 합금 잉고트의 미세조직.

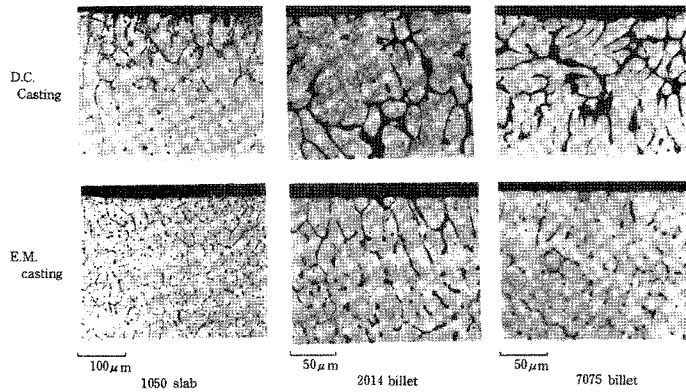


사진 3. 여러 알루미늄 합금의 EMC 및 DC 주조한 잉곳의 표면층의 미세조직.

조재는 고품질, 고성형성, 반응용시 thixotropy 특성을 보유하고 있다. 이 소재는 국방, 우주항공 및 자동차 산업의 고 신뢰성을 요하는 부품의 반응고 성형 원소재로 사용될 수 있다. Fig. 3에 전자기장을 이용한 연속주조의 장치의 개략도를 나타내고 있다. Fig. 4에서는 전자주조법(EMC)과 종래의 DC주조법의 냉각상태의 차이점을 보여주고 있다. 전자주조법에서는 주형벽면과 주괴표면의 접촉각이 없기 때문에 air gap이 생기지 않는다. 따라서 주괴품질에서 주형과의 접촉, air gap의 영향이 큰 發汗, 역편석이나 수지상의 조직이 나타나지 않아 조대 shell 영역이 없고 미세한 균일한 조직으로 된다.

사진 1에 400 mm×1,320 mm의 슬라브와 500 mm직경의 2014 및 7075 빌렛의 DC주조품과 전자주조품의 외관상태를 나타내었다. DC주조한 1050, 2014재에서 發汗이 주기적으로 생기고 7075재에서는 줄무늬와 같은 외부결함이 보인다. 반면 전자주조재는 외관이 미려하고 발한이나 기타 결함이 보이지 않는다. 이와같은 현상은 고용질농도의 합금계일 수록 현저하다. 사진 2에서는 EMC한 조조재와 DC한 주조재의 미세 조직을 나타낸 것이다. 표면층의 1050 슬라브의 조직이 EMC 주조재가 등축정으로 미세한 반면 DC 주조재는 조대하였다. 내부의 조직은 두 시편 모두 미세한 조직을 가지고 있다.

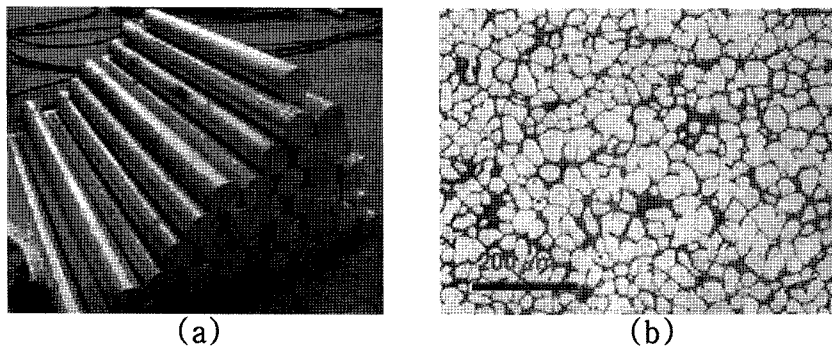


Fig. 4. EMC 로 제조한 빌렛 (a) 과 미세조직 (b) (최고 주조속도 500 mm/min).

Table 1. 수평식과 수직식 연속주조의 특징 [2]

연속주조 형태	장 점	단 점
수평식	<ul style="list-style-type: none"> · 경제적임 · 연속 주조가능 · 투자비가 저렴 	<ul style="list-style-type: none"> · Gravitation에 영향 받음
수직식	<ul style="list-style-type: none"> · Symmetrical solidification · 직경에 무관한 크기의 잉고트 주조 	<ul style="list-style-type: none"> · 잉고트 제조공정 불연속 · 장치설치비 고가 · 높은 생산가

사진 3에서 1050재 슬라브 및 2014, 7075 합금 빌렛 등의 표면의 조직을 DC 주조재와 전자주조재를 비교하여 나타내었다. DC 주조재의 입계에서는 조대한 정출상이 발견되지만 전자주조재에서는 보이지 않는다. DC 주조재와는 달리 전자주조재는 표면의 조직이 아주 미세한 특징이 있다. 그러나 내부의 조직은 DC주조재와 거의 동일하다.

Fig. 4는 KIST의 이호인 연구팀이 설계 제작한 전자교반 연속주조 장치를 사용하여 외관상 결함이 없고, 구상화 조직이 잘 발달한 미세조직의 빌렛을 최고 주조속도 500 mm/min으로 제조한 잉고트와 미세조직을 나타낸 것이다[2].

2.3 수평연속주조법

주조된 빌렛, slab등의 주괴를 주형으로부터 수평방향으로 제조하므로 그 길이의 제한이 없다. 따라서 원리적으로는 절단기구나 압출기구등이 병설하므로써 완전 연속주조가 가능하게 된다.

1) 주조시스템

Fig. 5에 수평연속주조형의 개략도를 나타내었다. 용탕은 내화물을 라이닝한 탕로부터 내화물재 구멍난 판을 통하여 짧은 길이의 주형으로 흐른다. 주형재료는 주로 흑연 또는 알루미늄재로서 때로는 동

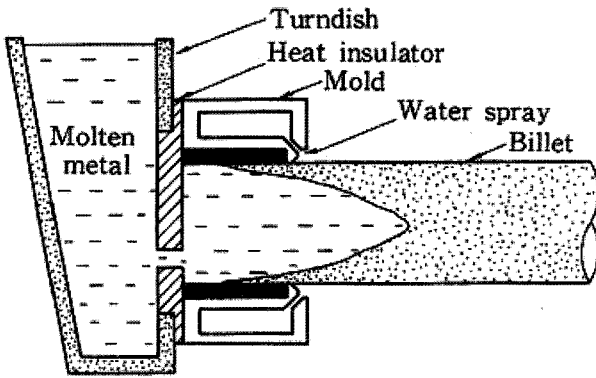


Fig. 5. 수평연속주조로의 개략도.

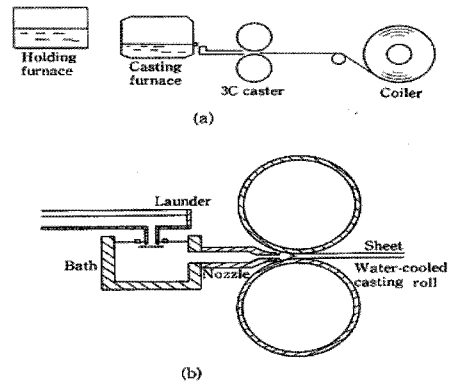


Fig. 6. 3C 공정의 개략도 (a), 금속용탕 feed system (b)

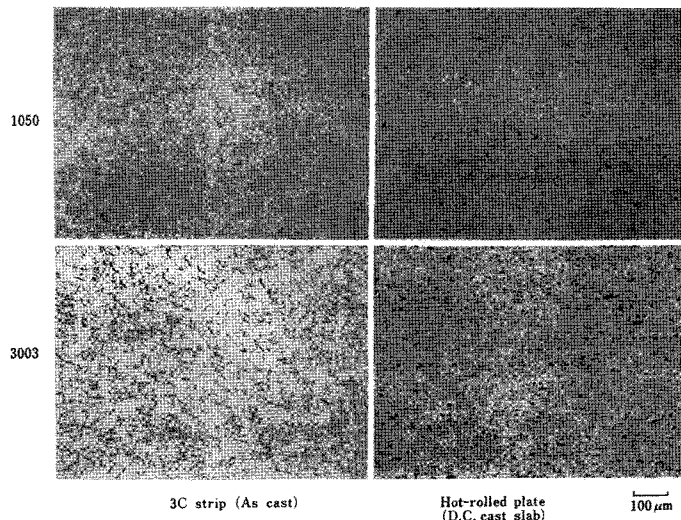


사진 4. 1050 및 3003 합금의 3C 연속주조판과 DC 주괴조직을 열간 압연한 판재의 조직사진.

이나 크롬-동합금 등을 사용하기도 한다. 연속주조에서는 연속윤활이 보통이고 반연속주조에서는 연속윤활 없이 자기윤활성을 가진 흑연주형이 사용된다. 수평주조의 윤활은 품질, 조업면에서의 그 영향이 크다. 이 때문에 윤활제는 내화물로의 침투가 없고 과도한 기화가 안 일어나고 殘渣가 남지 않는 것이 요구된다. 주형부근에서의 냉각은 주형의 shell 및 주형표면의 형상에 영향을 크게 미친다. 냉각능과 중력의 unbalance에 의하여 빌렛의 주괴 표면에 주름이나 크랙이 발생하기 쉽고 표면의 상태가 불안정하게 된다. 특히, 대형주괴의 경우 냉각수의 온도와 유량의 균일화와 주괴표면에서의 냉각수의 충돌각의 제어가 매우 중요하다.

2) 주괴품질

주괴의 외관을 조사한 결과 수평주조 빌렛은 hot top과 같은 rippled surface로 된다. Ripple이 거칠고, 빌렛 내부에 피막이 거의 들어가지 않아 건전한 주괴를 얻을 수 있다. 이 방법으로 주조시 152~254 mm 직경의 빌렛에서는 DC 주조 보다도 빠르게 주조하여도 주괴에 크랙이 발생하지 않는다. 그러나 대형 스톱에서는 주괴크랙이 발견되고 있다. 표면 절삭량이 DC주조보다도 약간 크게 된다.

3) 수평주조법의 특징

수평주조법은 용탕을 계속 공급하는 한 주조를 할 수 있다. 아울러 다음 공정도 연속화가 가능하므로 종래의 堅型 반연속주조법 (DC 주조법)에 비하여 많은 장점이 있다.

- (1) 완전연속 주조법으로서 주조 시작 횟수가 적고 가동률의 향상을 가져올 수 있다.
- (2) 주괴를 절단하는 횟수가 감소하고 주조의 회수율과 재료의 회수율이 증가한다.
- (3) 깊은 pit, 주괴를 끌어 내리는 장치가 불필요하므로 시설 설치비가 경감된다.
- (4) 주괴 품질은 堅型 반연속주조법과 같은 품질을 얻을 수 있다.

2.4 직접 주조압연법

직접 주조압연법에 의한 제품은 다양한 우수한 특성을 갖기 때문에 경제적인 면에서 주목을 받고 있다. 여기서는 연수에 의하여 3-10 mm의 두께를 갖는 판을 coil 상태로 卷取하는 3C법에 대하여 설명한다. 3C 주조법의 제조공정은 Fig. 6에 나타내었다. 3C 주조법은 용탕으로부터 직접 주조압연만으로서 판을 만들 수 있다. 판의 두께가 얇기 때문에 주조시에 균일하고 빠른 냉각속도를 유지해야한다. 따라서 주조 roll 내부에 냉각수를 흘려주며 냉각수의 량과 온도를 정밀하게 조절하여야 한다. 아울러 재질에 따라 조직, 기계적 성질, 연화특성 등은 종래 DC 판과 상이하다. 일반적으로 주조조직은 macro-structure 및 micro-structure가 거의 균일하나 용질원자의 농도가 높은 합금의 경우 중앙부에 편석이 일어날 수가 있다. 사진 4에 1050 및 3003합금 6 mm 두께의 3C 연속주조판과 DC 주괴조직을 열간 압연한 판재와의 조직을 비교하여 나타낸 것이다. 조직이 매우 유사한 것을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] 알루미늄의 연속주조기술과 그 주괴조직에 대하여, 일본금속학회(주조.응고부), 1981
- [2] 이호인, 한국과학기술연구원, <http://mpl.kist.re.kr>