

# 쌍롤 박판주조법에 의한 AA4343 합금의 제조 및 특성

어광준, 김민균, 백은지, 김형욱  
 재료연구소 경량재료연구그룹  
 e-mail: keuh@kims.re.kr

## Fabrication of AA4343 Alloys by Twin Roll Casting and their Properties

Kwangjun Euh, Min Gyun Kim, Eunji Baek, Hyoung-Wook Kim  
 Light Metals Group, Korea Institute of Materials Science

### 요 약

본 논문에서는 쌍롤 박판주조(Twin Roll Casting, TRC)법을 이용하여 AA4343 합금을 제작하였다. 주조시 롤 간격을 조절하여 냉각속도를 달리하였으며 인고트 주조(Ingot Casting, IC)법을 이용하여 제조된 합금과의 미세조직학적 차이와 이에 따른 물성 변화를 고찰하였다. TRC 및 IC로 제조된 합금을 냉간압연하였으며 압연 건전성을 평가하였다. 한편, 냉각속도별로 상이한 미세조직을 구현할 수 있는 스텝몰드(Step Mold Casting, SMC)법을 이용하여 제조된 합금의 냉각속도에 따른 미세조직 및 경도 차이를 조사하여 상대 비교하였다. 냉각속도가 빠를수록 주조 셀조직의 크기 및 공정 Si 입자의 크기가 감소하였으며 이로 인하여 경도가 증가되는 효과를 나타내었다. 주조시 생성된 공정 Si 입자의 크기는 압연에 의하여 그 크기의 변화가 거의 없었으며 열분석 결과 액상선 온도의 변화가 일부 발생하나 큰 차이가 없었다.

### 1. 서론

AA4343 합금은 열교환기 등의 핀 및 튜브로 사용되는 알루미늄 합금을 브레이징 접합시킬 때 브레이즈 메탈로 주로 사용되는 Al-Si 합금으로 Si의 함량이 약 6.8-8.2wt.%이다. 이 합금은 579°C의 공정반응이 있으며 고액 공존 영역 온도 구간이 약 30~40°C 정도로 비교적 넓은 편으로 박판주조법으로 제조하는데 어려움이 있어 주로 인고트 주조(IC)법을 이용하여 제조되고 있다. 또한, 공정 Si 입자의 존재로 인하여 후속 냉간압연시에도 양호한 압연을 위하여 중간 열처리 등이 필요하므로 IC 주조로 제조된 경우 후속 공정에 의한 제조단가 상승이 불가피하다.

박판주조법은 기존의 IC법이 가지는 단점을 보완할 수 있는 공정으로 알려져 있다[1-3]. 이 방법은 용탕으로부터 직접 얇은 판재를 제조하기 때문에 후속 압연 공정 등의 비용을 낮출 수 있는 경제적인 제조방법이다. 또한 주조시 10<sup>3</sup>°C/s 정도의 큰 냉각속도로 인하여 기존의 IC법에서는 얻기 힘든 미세한 주조 조직을 얻을 수 있는 장점을 갖는다[1,3].

한편, 국내에는 박판주조법으로 상기 합금을 제조하는 업체가 전무하여 제조 공정에 대한 기초적인 연구결과가

필요한 상황이다. 본 연구에서는 IC 주조법에 비하여 경제적이고 후속 가공공정이 간략해질 수 있는 쌍롤 박판주조(TRC)법을 이용하여 AA4343 합금 판재를 제조하였으며 IC법으로 제조된 합금과 물성을 비교하였다.

### 2. 실험 방법

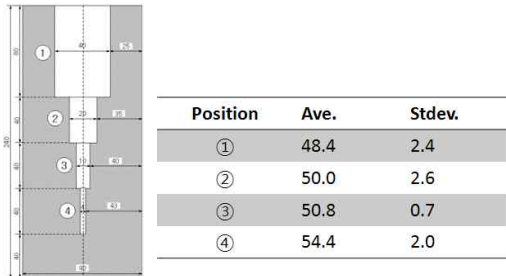
표 1에 각 시편의 주조법 및 후속 압연 공정 조건을 나타내었다. 롤 간격을 3, 4mm로 달리하여 쌍롤 박판주조(TRC)법으로 시편을 제조하였으며 각각 최종 두께 1mm까지 냉간압연하였다. 이때 냉간압연 후 모서리에 발생한 균열의 길이를 측정하여 압연 건전성을 평가하였다.

[표 1] 시편 제조 이력

No.	Name	Casting		Rolling	
		Method	Condition	Method	Final thickness
1	TRC1	TRC	4t (RG 3mm)	-	-
2	TRC1-CR	TRC	4t (RG 3mm)	CR	1t
3	TRC2	TRC	5t (RG 4mm)	-	-
4	TRC2-CR	TRC	5t (RG 4mm)	CR	1t
5	IC	IC	Block	-	-
6	IC-HR	IC	Block	HR	4t
7	IC-HR-CR	IC	Block	HR, CR	4t → 1t
8	SMC	IC	Step mold	-	-

■ TRC: Twin roll casting                      ■ RG: Roll gap  
 ■ IC: Ingot casting (block mold)            ■ CR: Cold rolling  
 ■ SMC: Step mold casting                    ■ HR: Hot rolling

Si 함량을 7.4wt%으로 한 Al-Si 합금을 720°C에서 용해한 후 쌍롤 박판주조기를 이용하여 분당 3m의 속도로 주조하였다. 이 때 비대칭 노즐을 이용하여 공급된 용탕이 직접 접촉하는 상부 롤과 하부 롤의 접촉길이를 각각 40 및 35mm가 되도록 유지하였다. 제조된 판재를 무운환 조건에서 냉간 압연하여 최종 1mm의 판재를 얻었다. 주조, 압연된 판재의 미세조직을 광학현미경으로 관찰하였으며 비커스 미세경도기를 이용하여 경도를 측정하였다. 상대 비교를 위한 IC 시편은 금형을 이용하여 200x150x30mm 크기의 블록 형태로 제조하였다. 한편 냉각속도에 따른 미세조직 및 경도를 평가하기 위한 step mold의 경우 그림 1에서와 같이 부위별로 25, 35, 40, 43mm의 다른 wall 두께를 갖도록 금형을 설계하여 인고트를 제조하였다. 이때 각 두께에서의 냉각속도는 1.5, 6.6, 12.7, 46.3°C 등으로 측정되었다.

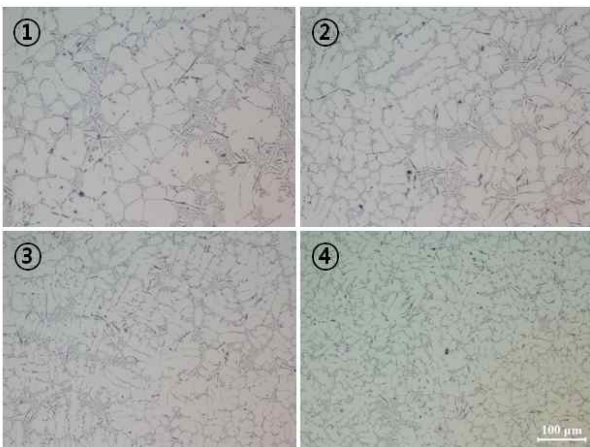


[그림 1] SMC 몰드 도면 및 주조된 AA4343 합금의 각 부위별 경도(Hv)

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1. Step mold Casting (SMC)

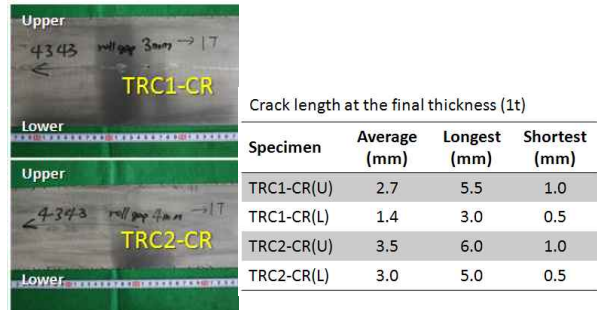
그림 2는 SMC로 제조된 AA4343 합금의 각 부위별 미세조직으로 냉각속도가 빠를수록 주조립 크기가 감소하고 조대한 Si 입자의 생성이 발생하지 않는 것을 알 수 있다. 한편, 냉각속도가 느린 ① 영역에서의 경도가 가장 낮게 나타났으며 냉각속도가 증가할수록 경도가 증가하였다(그림 1).



[그림 2] SMC로 주조된 AA4343 합금의 각 부위별 미세조직

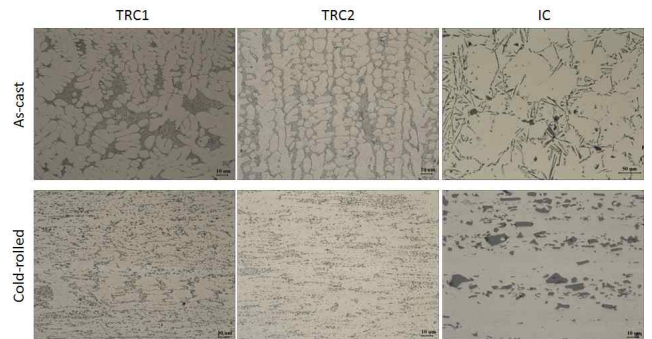
#### 3.2. TRC법 및 IC법으로 제조된 AA4343 판재

그림 3에 TRC로 제조된 AA4343 합금의 냉간압연 후 시편의 형상 및 각 모서리에 발생한 균열의 길이를 나타내었다. 냉간압연은 TRC1 및 TRC2의 초기 두께(각각 4 및 5mm)에서 1mm까지 중간열처리 없이 실시하였다. 균열의 평균 길이는 압하율이 상대적으로 높은 TRC2-CR의 경우 길게 나타났으며 최대 균열 길이는 각각 5.5와 6.0mm로 생성되었다. 이는 모서리 trimming 등으로 제거하면 추가 압연이 가능한 수준으로 여겨진다. IC법으로 제조한 판재의 경우 초기 두께가 두꺼워서 열간압연을 먼저 수행하였으며 이후 두께 4mm에서 1mm까지 냉간압연을 실시한 결과 평균 모서리 균열의 길이는 2.5~2.7mm로 TRC1-CR과 비슷한 수준이었으나 최대 균열길이가 7mm로 다소 높은 값을 나타내었다.



[그림 3] 냉간압연 후 시편의 형상 및 모서리 균열 길이

그림 4는 TRC 및 IC법으로 제조된 주조상태 및 냉간압연 후의 미세조직을 나타내는 광학현미경 사진이다. 냉각속도가 상대적으로 느린 TRC1의 경우 주조상태에서 주조립의 크기가 TRC2보다 크게 형성되었으며 주조립 경계에 공정조직도 편석화되어 있는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 주조 조직은 후속 냉간압연에 의하여 대부분 분해되나 편석되어 있는 공정조직에 의하여 균일한 조직을 얻기가 어려워진다. 따라서 TRC2-CR 시편에서 TRC1-CR 시편보다 더 고른 미세조직이 형성되는 것을 확인할 수 있다. 한편, 공정 Si 입자의 크기는 두 합금에서 큰 차이가 발생하지 않았다.



[그림 4] 각 공정별 미세조직

그림 4에서 IC법으로 제조된 합금의 경우는 주조립의 크기가 TRC법으로 제조된 경우에 비하여 크게 형성되었으며 주조립 경계에 Si 입자 들이 침상으로 형성되거나 조대한 Si 입자로 존재하는 것을 확인할 수 있다. IC법으로 제조된 합금은 주조상태에서 직접적인 냉간압연이 어려워 열간압연공정을 거친 후 냉간압연을 실시하였는데 이에 따라 Si 입자등이 매우 조대해진 것을 알 수 있으며 압연방향으로 밴드 형태로 분포하였다.

표 2에 제조조건에 따른 경도를 나타내었다. 주조 상태에서는 TRC1 및 TRC2의 경도 차이가 거의 발생하지 않았으며 상대적으로 편차가 크게 발생하였다. IC법으로 주조된 시편에 비하여 약 20% 이상 경도가 높은 것을 알 수 있는데 이는 박판주조시 주조립이 상대적으로 미세하게 형성되며 압연 효과가 일부 가해졌기 때문으로 여겨진다. 압연된 상태에서의 경도는 상대적으로 압하율이 높은 TRC2-CR 시편에서 가장 높게 나타났으며 압하율이 같은 TRC1-CR 및 IC-HR-CR의 경우 초기 경도에 비하여 차이가 감소하였으나 여전히 박판주조된 TRC1-CR의 시편이 더 높은 경도를 나타내었다. 한편, 모든 시편에서 냉간압연에 의하여 경도가 증가하였는데 이는 압연에 의한 가공경화로 경도가 증가한 것으로 판단된다.

[표 2] 제조공정에 따른 비커스 경도 (Hv)

Specimen	Ave.	Stdev.
TRC1	58.7	3.9
TRC1-CR	67.7	0.7
TRC2	58.1	2.3
TRC2-CR	75.5	1.4
IC	47.3	0.5
IC-HR-CR	61.8	1.0

브레이즈 메탈로 사용되는 AA4343 합금의 경우 용융점 및 잠열 정보가 중요한 물성으로 여겨진다. 표 3은 시차주사열분석기(DSC)를 이용하여 용융점 및 잠열을 측정된 결과이다. 이때 평균 시료량은 25mg으로 하여 질소 분위기에서 알루미늄나 펜을 이용하여 10°C/min의 승온 속도로 가열하면서 열유량을 측정하였다. 고상선(공정 반응) 온도는 모든 시편에서 일반적으로 알려져 있는 공정 반응 온도보다 높게 나타났으며 액상선 온도도 다소 높게 측정되었다. 동일 압하율에서 IC법으로 제조된 시편의 공정온도가 TRC법으로 제조된 시편(TRC1-CR)보다 다소 높게 나타났다. 액상선의 경우 TRC2-CR, IC-HR-CR, TRC1-CR 시편 순으로 온도가 높았다. 한편, 잠열의 경우 압하율이 높은 TRC2-CR 시편이 TRC1-CR 시편보다 낮게 나타났으며

IC-HR-CR 시편의 경우는 TRC2-CR 시편과 비슷한 잠열을 나타내었다. 하지만 전체적인 열물성 편차는 시편 제조 공정에 의하여 크게 발생하지 않았다. 본 연구에서는 상용 순 알루미늄 및 Si를 이용하여 Al-7.4wt%Si 합금을 제조하였으나 상용 AA4343 합금의 경우는 Fe, Cu, Mn, Zn 등 미량의 불순물을 포함하게 된다. 이러한 경우 용융온도에 변화를 가져올 수 있기 때문에 본 연구에서 상용재와 상이한 용융 온도를 나타낸 것으로 여겨진다. 따라서 향후 이러한 미량 원소들의 영향을 고찰할 필요가 있다.

[표 3] 냉간압연된 AA4343 판재의 DSC 열분석 결과

Specimen	Liquidus (°C)	Solidus (°C)	ΔH (J/g)
TRC1-CR	629.1	583.9	419
TRC2-CR	635.9	586.2	397
IC-HR-CR	631.4	587.1	398

#### 4. 결론

본 연구에서는 쌍롤 박판주조법을 이용하여 AA4343 합금 판재를 제조하였으며 냉간압연을 실시하여 두께 1mm의 판재를 제조할 수 있었다. 냉각속도가 빠를수록 주조립 및 Si 입자가 미세화되었으며 이러한 주조립 및 Si 입자 미세화에 의하여 경도가 증가하였다. 하지만 열물성의 변화는 크게 발생하지 않았다.

#### 참고문헌

- [1] H.W. Kim, C.Y. Lim, and S.B. Kang, Adv. Mater. Res., vol. 29-30 p. 83 (2007).
- [2] M.A. Garcia-bernal, R.S. Mishra, R. Verma, and D. Hernandez-Silva, Scr. Mater., vol. 60, p. 850 (2009).
- [3] Y.S. Park, M.H. Lee, S.B. Lee, and N.J. Kim, J. Kor. Inst. Met. & Mater., vol. 40, p. 141 (2002).