

고품질 소재 제조를 위한 제조공정 알루미늄 스크랩의 재활용

경익현¹, 김목순², 임성철³, 권혁천⁴

^{1,2}인하대학교 재료공학부, ^{3,4}한국생산기술연구원

Recycling of Aluminum process scraps for application of novel materials

I.H.Kyeong¹, M.S.Kim², S.C.Lim³, H.C.Kwon⁴

^{1,2}School of Materials Science and Engineering, Inha University, 253 Yonghyun-dong, Nam-gu, Incheon 402-751, Korea

^{3,4}Korea Institute of Industrial Technology, 472 Kajwa-dong, Seo-gu, Incheon 404-254, Korea

1. 서론

현재 전세계적으로 자원고갈 및 환경오염의 문제가 심각해지면서 산업발전의 측면과 환경보존의 측면이 모두 중요시되고 있는 실정이다. 알루미늄은 미국, 일본, 캐나다 등에서 전량 수입에 의존하는 자원으로서 에너지절감을 위한 자동차의 고성능화와 경량화 추세로 자동차·수송기계산업, 건축산업에 사용량이 급증하고 있어 그 재활용의 가능성에 귀추가 주목되고 있다. 알루미늄 완제품의 가공공정 중에 발생하는 상당한 양의 국내 알루미늄 스크랩 및 알루미늄 산업폐기물의 재활용 및 적극적인 활용기술의 개발이 절실하게 요구되어지고 있다. 본 연구에서는 가공공정 중에 발생하는 다량의 알루미늄 스크랩의 재활용을 위해 전처리 조건 및 고성형체 제조 공정조건과 그에 따른 알루미늄 스크랩의 청정 용해 기술개발과 고청정 알루미늄 제조 및 합금화를 통해 재생지금 및 고부가가치 소재의 특성을 검토하고자 했다. 제조공정에서 발생되어진 알루미늄 스크랩의 재활용을 위한 전처리공정, 고성형체 제조공정, 용해 및 청정공정 기술개발에 의해 재활용 청정알루미늄 합금을 제조할 수 있었으며, 재활용 지금을 이용하여 Die casting 용 및 전신재용의 알루미늄 합금 등 고부가가치소재로의 활용이 가능함을 알 수 있었다.

2. 이론적 배경

알루미늄은 21세기의 재료라고 불려지고 있으며 이후 세계의 수요는 약 5,000만톤을 훨씬 넘을 것으로 예상하고 있다. 선진기술국 중에서는 일본의 경우 현재는 연간 약 400만톤

의 지금이 사용되어지고 있으며, 그 중에서 3분의 2는 수입, 3분의 1은 재생지금을 사용하고 있으나 이후에는 약 500만톤의 지금을 사용할 것으로 예측되어지며 그 중에서 재생 지금이 약 1/2이상을 차지 할 것으로 예측되어지고 있는 실정이다. 이와 같은 알루미늄 합금은 항공기, 철도차량, 자동차등의 수송기기용 재료, 건축 및 토목 구조재, 음료캔재, 전해콘덴서박이나 열교환기용 판재 등 새로운 용도로 사용될 것으로 기대 되어 지고 있다. 알루미늄 스크랩은 저밀도 이면서 비표면적이 높은 재료로 용탕에 장입시 용탕내 가라앉지 못하고 용탕 상부에 부유하여 급속도로 산화되고 이로 인한 용해손실이 저하되는 요인이 된다. 제조공정 중에 발생하는 다량의 알루미늄 스크랩을 전처리 공정으로 스크랩에 혼입되어 있는 기계가공오일 및 수분을 제거하여 전처리 공정 조건을 확립 하고자 하며, 전처리 공정을 거친 스크랩을 고성형체의 밀도변화를 관찰하고 제조된 고성형체를 전기로에 장입하여 용해 회수율을 향상하고자 Ar 및 N₂ 가스를 주입하여 용해 회수율을 향상하고 이런 고청정 분위기에서 용해된 용금의 성분분석을 통해 고부가가치 소재로의 활용이 가능함을 알아 보고자 하였다.

3. 실험방법

3-1. 알루미늄 스크랩의 전처리 및 고성형체 제조 실험

본 실험에서는 가공공정 중에 발생된 Die casting 주조용 및 전신재용 스크랩의 전처리 실험으로 기계가공 오일 및 수분제거를 위하여 기계가공오일을 함유한 스크랩 상태에서 가열 처리에 의한 분해 및 증발을 시켜 가열조건을 도출하기 위하여 스크랩에 묻어 있는 기계가공 오일을 채취하고 TGA(Thermogravimetric analyer)를 이용하여 20mg의 오일을 10℃/min 승온속도로 600℃까지 상승시켜 무게의 변화를 관찰하였다. 본 실험에서 Die casting 주조용 스크랩과 전신재용 스크랩을 각각 사용하여 실험을 행하였으며, 알루미늄 스크랩을 일정한 크기의 형태로 고성형체 밀도를 높이는 실험을 행하였다.

3-2. 알루미늄 스크랩의 용해 및 청정 용해실험

알루미늄 스크랩의 여러 가지 조건으로 제조된 고성형체를 이용하여 용해실험을 실시하였다. 최적의 밀도를 갖는 고성형체를 이용하여 용해실험을 행하고, 용해시에 산화방지를 위해 N₂ 와 Ar 가스로 용해분위기를 제어하고, 또한 제조된 고성형체의 용해 회수율을 관찰하고자 하며, 주조된 시편을 이용하여 재활용 합금의 성분분석을 행하고 고부가가치로 소재로의 가능성을 알아 보고자 했다.

3-3. 고청정 알루미늄제조 및 고부가가치소재의 특성 평가

전처리 공정, 고성형체 제조공정 그리고 청정용해공정을 거친 알루미늄 스크랩 재활용 합금을 Die casting 용 합금용으로 사용하기 위해 고청정 용해 주조하고, N₂ 및 Ar 가스 분위기하에서 용탕 온도 740℃에서 탈가스제 (Degessa 190) 처리 후 주조하여

주조시험편의 성분분석 및 고부가가치 소재로의 합금화를 행하고, 용해공정에 얻어진 재생지금을 이용하여 인장강도를 측정하였다. Die casting 용 합금은 금형몰드에 주입하여 인장시험편을 채취하였고, 전신재용 인장 시험편은 70mmΦ 빌렛을 제조 후, 빌렛을 본 실험에서 제작한 열처리로를 이용하여 450℃에서 4 시간 동안 균질화 처리하였다. 균질화 처리된 빌렛은 400ton 급 압출기로 20mmΦ 압출재를 제조하였으며, 이렇게 압출된 압출재의 인장시험 및 조직관찰을 행하였다.

4. 실험결과

알루미늄 스크랩의 전처리 조건을 확립하고자 그림 1의 TGA(Thermogravimetric analyzer)분석결과 약 137℃에서 기계가공 오일에 함유되어 있는 수분 및 오일이 약 80% 증발함을 알 수 있었고 이후 계속적으로 600℃까지 승온함에 따라 약 4% 정도의 수분 및 오일이 증발하고 나머지 약 16%는 분해되지 않고 남아 있음을 알 수 있었다. 이것은 오일내의 불순물이라고 생각된다. 전처리 조건을 알루미늄의 산화 가능성이 거의 없는 200℃에서 30 분간으로 하였으며, 그림 2는 전처리 공정에 의해 발생하는 무게감소량은 약 50g으로 알루미늄의 스크랩에 묻어있는 오일의 무게로 생각하면 알루미늄 스크랩에 함유되어 있는 오일은 약 5wt%임을 알 수 있었다.

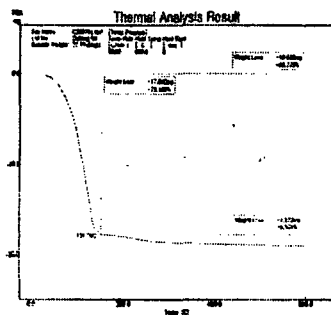


Fig. 1 기계가공 오일의 TGA 분석

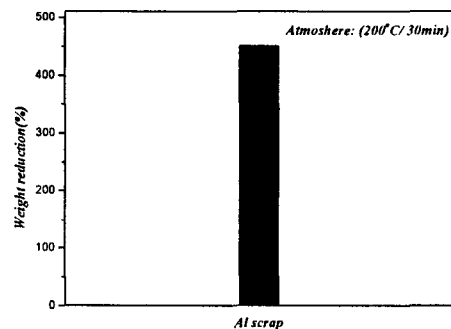


Fig. 2 전처리 공정에 따른 오일 및 수분제거

그림 3은 전처리 공정을 거친 알루미늄 스크랩을 고성형체로 제조하여 표면 관찰시 스크랩들이 서로 밀착되어 있고, 이론밀도가 90% 이상을 나타내었다.

그림 4는 재활용 공정에 따른 알루미늄 스크랩의 용해 회수율은 전처리 공정을 통하여 고성형체를 제조함으로써 청정의 용해분위기에서 실시한 알루미늄 스크랩의 회수율은 96%를 얻을 수 있었다. 그림 5에서 알루미늄 스크랩의 점도특성으로부터 용탕온도 및 분위기 제어에 의하여 점성은 감소되고, 대기용해 시 용탕내에 산화물의 혼입으로 점도가 증가됨을 알 수 있었다. 분위기 제어 용해시 산화물의 혼입이 감소되는 것을 예측할 수 있었다. 이런 청정의 용해로부터 고품위 소재의 제조가 가능할 수 있었다.

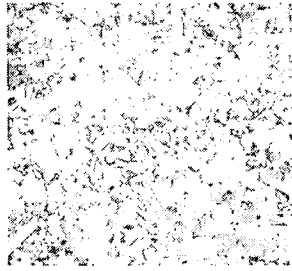


Fig. 3 고성형체의 표면(밀도: 90%)

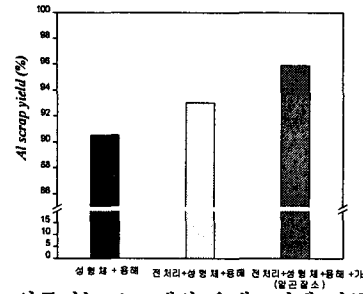


Fig. 4 알루미늄 스크랩의 용해조건에 따른 회수율

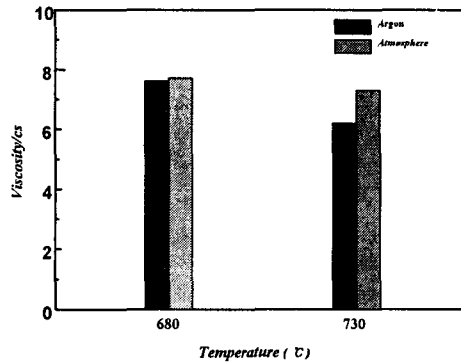


Fig. 5 알루미늄 스크랩의 분위기 제어에 의한 점도특성

표 1 에서 재활용공정에 의해 제조된 청정 알루미늄의 합금조성의 분석 결과 알루미늄 스크랩 재생지금의 화학성분은 Die casting 용 ALDCS₇이나 ALDCS₈ 및 전신재 알루미늄 합금의 표준성분에 95%를 나타내고 있었다. Cu, Si, Mg 등 미소 첨가량의 제어에 의해 알루미늄 스크랩의 재활용을 최대화 할 수 있었다.

Table 1. 재활용 공정에 의해 제조된 청정 알루미늄의 합금 조성

재활용 Die casting 재 (KS D 6006)	Composition(%)								
	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Al
ALDCS ₇	2.0-4.0	7.5-9.5	<0.3	<1.0	<0.9	<0.5	<0.5	<0.3	Bal
ALDCS ₈	1.5-3.5	9.6-12.0	<0.3	<1.0	<0.9	<0.5	<0.5	<0.3	Bal
재활용 Die casting alloy	0.57	12.5	0.37	0.01	0.36	0.01	0.54	<0.01	Bal
재활용전신재	Composition(%)								
	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Al
JIS 2N 01	1.5-2.5	0.5-1.3	1.2-1.8	0.2	0.6-1.5	0.2	1.7-2.3	0.2	Bal
재활용 전신재용 합금	1.7	1.2	1.0	0.1	1.8	0.4	0.9	0.4	Bal

알루미늄 스크랩을 이용하여 전처리 공정, 고성형체 제조 및 청정용해를 통하여 얻어진 재활용 알루미늄 합금의 고부가가치 소재로의 활용을 위하여 그림 6 은 전신재용 알루미늄 스크랩을 압출용 빌렛으로 압출한 압출재는 직경이 20mm 로 압출온도 400℃에서 12:1 의

압출비의 조건으로 압출재 표면은 우수하였고 표면결함이 없는 압출재를 얻을 수 있었다. 또한 조직도 미세하고 치밀하였으며, 내부결함이 없는 압출조직을 제조하였음을 관찰 할 수 있었다

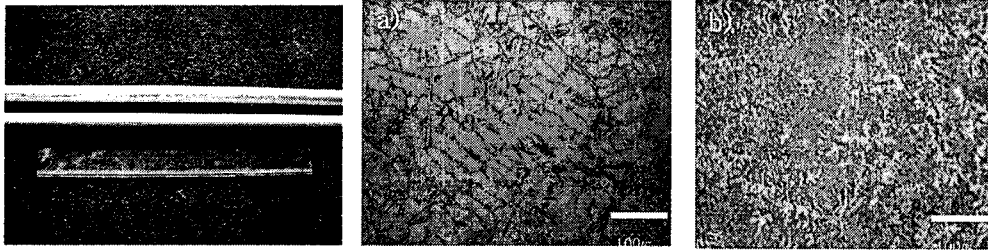


Fig. 6 재활용 전신재용의 압출재 및 미세조직 사진 (a) Die casting 재 (b)전신재

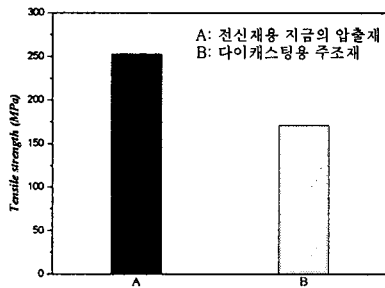


그림 7은 Die casting 용 합금으로 재활용 된 합금의 경우 약 171MPa의 인장강도를 나타내었으며 전신재용으로 재활용된 합금을 이용하여 400ton의 압출기로 압출된 압출재의 경우는 약 253MPa의 인장강도를 나타내었다

Fig. 7 재생지금의 인장특성

5. 결론

1. 알루미늄 스크랩에 함유되어 있는 수분 및 오일은 고성형체 제조 이전에 200℃에서 30분간 예열함으로써 80%이상 제거 가능함
2. 알루미늄 스크랩을 90%이상의 고성형체로 제조하였으며, 전처리 공정을 행함으로써 수분 및 오일의 제거가 용이함
3. 전처리 공정 및 분위기 제어에 따른 알루미늄 스크랩의 회수율은 전처리 공정을 행한 고성형체를 분위기제어 내에서 청정용해를 할 경우 96%의 회수율을 얻을 수 있었음
4. 고청정 용해 공정과 소량의 성분제어를 통해 인장강도는 전신재용의 경우 253MPa, Die casting 용 합금은 170MPa의 인장강도를 갖는 고부가가치 소재로의 활용이 가능함을 알 수 있었다.
5. 이상의 결과에서 제조공정 알루미늄 스크랩을 이용한 고품위·고부가가치 소재로의 재활용이 가능한 기술을 확립하였음