논문

공업용 순알루미늄의 전기전도도에 미치는 스크랩비율 및 GBF 처리조건의 영향

황남규 · 김영찬 * · 최세원 * · 강창석 * · 홍성길 †

전남대학교 신소재공학부, *한국생산기술연구원 호남권기술지원본부

Effects of GBF Treatment Conditions and Scrap Ratio on the Electric Conductivity of Commercial Pure Aluminum

Nam-Gyu Hwang, Young-Chan Kim*, Se-Won Choi*, Chang-Seok Kang*, and Sung-Kil Hong†

School of Materials Science & Engineering, Chonnam National Univ. Gwangju 500-857, Korea

*Korea Institute of Industrial Technology, Gwangju, Korea

Abstract

Effects of GBF (gas bubbling filtration) treatment conditions and scrap ratio on the electric conductivity of a commercial pure aluminum for diecasting were investigated using by specific gravity and electrical conductivity measurement system, hydrogen gas analyzer, XRD, and EDS. Electrical conductivities of specimen mixed Al scrap ratio until 60% from 0% were decreased with increasing the precipitates amount and size of AlFeSi ternary intermetallic compound on the grain boundary as well as amount of porosity in the grain. On the other hand, electrical conductivities was reincreased gradually in spite of scrap ratio increase from 80% to 100%. Size of AlFeSi compound formed on the grain boundary were coarsened with the increament of scrap ratios untill 80% and GBF treatment time simultaneously.

Key words : Diecasting, Electrical conductivity, GBF (gas bubbling filtration) treatment, Scrap ratio, AlFeSi intermetallic compound.

(Received January 3, 2011 ; Accepted June 14, 2011)

1. 서 론

국내외적으로 석유자원의 고갈 및 지구환경보존에 대한 적극적인 대응방안으로 새로운 에너지원(태양광, 풍력, 지력 등)의 개발과 동시에 기존제품의 효율 향상을 위한 에너지절약기술 개발에 대한 중요성이 급속히 증대되고 있다. 에너지 절약기술에 대한 국내외적 연구 동향을 보면 모든 제품의 소형화, 경량화, 고출력화, 고효율화, 환경친화도와 더불어 자원의 재활용에 초점을 맞추고 있다. 이런 관점에서 가전, 휴대용 통신기기, 전자, 자동차, 항공기 등 다양한 산업분야에서 각종 부품 제조시 발생하는 소재의 스크랩 재활용방안의 모색은 물론 기계적, 물리적 특성을 최대한으로 발휘할 수 있도록 제조과정에서 그 영향인자들을 제어할 필요가 있다.

공업용 순알루미늄의 경우 값이 Cu에 비해 싸고 가벼우면서 높은 전기전도도를 가지고 있어서 다양한 전동기모터의 회전자(rotor)재료로 사용된다. 현재 각종 교류모터의 핵심부품인 회전자(rotor)의 주 제조방법은 공업용 순알루미늄 용탕을 Fe-Si 규소강 철심에 고속고압으로 충전시키는 다이캐스팅방법을 사용하고 있다[1-5]. 다이캐스팅시 발생하는 스크랩은 크게 두가지로 분류된다. 첫째는 용해과정에서 용탕의 표면에 생성되는 알루미늄

산화물로 현장에서 즉시 재활용은 하지 않는다. 둘째는 용탕 주입 시 압탕, 게이트, 런너, 오버플로우 등에서 발생하는 것으로 그 양은 부품에 소요되는 알루미늄량의 약 40% 정도로 많은 양을 차지하고 있다. 이런 스크랩은 대부분 현장에서 재활용 한다. 원재료 대비 스크랩함량비에 따라서 전기전도도와 같은 특성이 변화할 수 있을 것으로 예상되는데 이와 같은 연구에는 거의 찾아보기 힘들다.

한편, 모터의 효율과 직접적으로 관계되는 전기전도도를 향상 시킬과 동시에 회전시 발생하는 소음진동을 저하시키기 위해서는 전기전도도를 저하시키는 Fe, Si와 같은 불순물의 함유량을 낮추고 동시에 다이캐스팅시 로터의 내부 및 엔드링부분에 생성되는 수축공(shrinkage)과 미세한 기공(porosity)의 양은 물론 불균일한 분포를 개선할 필요가 있다. 기공의 발생량을 최대한 감소시키기 위해서는 용탕처리시 가스함유량을 가능한 낮춰야 하는데 그 방법의 일환으로 Ar 가스를 이용한 용탕에서의 gas bubbling filtration(이하 GBF로 표기)처리를 실시하기도 한다.

본 연구에서는 생산원가의 절감측면에서 다이캐스팅법으로 로터를 제조할 때 다량으로 발생하는 공업용 순알루미늄 스크랩의 재활용가능성을 타진하고자 GBF처리조건과 스크랩함량비가 전기전도도에 미치는 영향에 대해 연구하였다.

†E-mail : skhong@chonnam.ac.kr

2. 실험 방법

2.1 용탕처리 조건

실험용 시편은 99.8% 공업용 순알루미늄 잉곳과 로터의 다 이캐스팅시 발생된 압탕, 게이트, 런너부위의 스크랩을 절단한 시편을 칭량하여 순알루미늄 잉곳 대비 스크랩량을 0, 20, 40, 60, 80, 100%(이하 0S, 20S, 40S, 60S, 80S, 100S로 표기)로 배분하여 총 3 kg을 2 l 크기의 흑연도가니 속에 넣고 Ar 분위기의 780°C에서 용해하였다. GBF 처리는 완전히 용해된 용탕을 700°C에서 유지한 뒤 Fig. 1에 나타낸바와 같이 랜스를 직접 도가니하부의 용탕에 주입하여 임펠러를 200rpm으로 고정하여 회전시키면서 Ar 가스를 5 l/min로 공급하면서 실시하였다. GBF 처리시간은 0min, 20min, 30min의 3종류로 하였으며, GBF 처리한 각각의 용탕을 20분간 Ar 분위기하에서 진정시킨 후 상온의 원통형 금형($\phi 5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$)에 주탕하여 대기중에서 응고시켰다. Table 1에 시편제작을 위한 용탕처리 조건을 나타내었다.

한편 각 시편의 성분분석은 응고시킨 원통형 시편의 밑면으로부터 3 cm 위쪽을 절단하고 채취된 시편의 표면을 연마하여 분광분석기로 분석하였다. Fig. 1에 GBF 처리장치도 및 응고시킨 원통형 잉곳의 외관을 나타내었다.

2.2 수소함유량 측정

GBF처리 전/후의 수소함유량에 대하여 각각의 온도에서 유지 시간에 따른 수소농도의 변화를 Hydrogen gas analyzer를 이용하여 실시간으로 용탕의 잔류 수소량을 측정 하였다. 수소가

Table 1. Casting conditions for specimen.

Item	Parameters
Material	Commercial pure Aluminum (99.88wt% Al, scrap 20,40,60,80,100%)
Total material weight	3 kg
Ar gas flow rate	5 l/min
Melt temperature	700°C
GBF time	0 min, 20 min, 30 min
Holding time	20 min
Impeller speed	200 rpm

Fig. 1. Schematic diagram of GBF treatment method and as-solidified cylindrical aluminum sample.

스의 측정목적은 대기중에서의 용해시 용탕 내로 고용되는 수소가스가 응고시 제품내에 기공(porosity)을 형성하여 제품의 결함을 유발하는 원인이 되기 때문에 수소량 측정을 통해 제어 방안을 찾기 위함이다. 용탕유지온도 및 유지시간과 용해수소량과의 관계를 측정하였다.

2.3 비중측정

용해조건(GBF 처리)과 스크랩함량에 따른 기공률을 검토하기 위하여 비중을 측정하였다. 각각의 조건에서 용해 응고시킨 시편으로부터 $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$ 크기로 절단한 후 전면을 버프 연마한 시편에 대해 아르키메데스법을 이용하여 상온에서 각 시편의 비중을 측정하였다.

2.4 전기비저항 측정

전기전도도의 측정은 상온에서 시편의 DC 전기전도도를 측정하기 위해 접촉 저항을 최소화 시켜주는 4-probe 방법을 사용하였다. 전기전도도는 비저항과 역수 관계에 있으므로 비저항을 알 수 있으면 전기전도도를 구할 수 있다. 비저항 측정을 위한 시편은 $1.5 \times 1.5 \times 0.5 \text{ cm}^3$ 크기로 제작하였으며 측정면에 대해서 버프연마한 후 Fig. 2에 나타낸 것처럼 CMT-SR2000N 측정장비를 이용하여 각 시편의 전기비저항을 측정하였다.

2.5 조직관찰 및 화합물 분석

각각의 용해조건에서 생성되는 화합물에 대해 XRD 및 EDS분석을 실시하였다. XRD는 PANalytical사의 X'Pert PRO Multi Purpose X-Ray Diffractometer 장비를 사용하여 $20^\circ \sim 90^\circ$ 범위에서 Cu 타겟을 이용하여 XRD 분석을 실시하였다. 한편 각종 결정내부와 결정립계에 분포한 화합물에 대한 원소분석은 HITACHI사의 Cold Field Emission scanning electron microscope 장비를 사용하여 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 GBF 처리조건과 수소함유량과의 관계

용탕처리 조건(용탕유지온도, GBF처리 유무)에 따른 용탕내의 수소함유량 변화를 실시간으로 측정한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. GBF 처리를 하지 않은 경우, 용탕의 유지온도가

Fig. 2. Schematic diagram of specific resistance measurement system.

Fig. 3. Graphs of H₂ contents in Al melt with GBF time.

700, 720, 740°C로 증가할수록 용탕 내 수소 함유량이 증가하며, 각각의 온도에 있어서 유지시간이 100sec까지 급격히 증가한 후 그 이후에는 거의 일정한 수소농도를 유지함을 알 수 있다. 한편, GBF 처리를 한 경우에 있어서는 모든 유지온도에서 GBF처리 초기 150 sec까지는 급격히 수소농도가 증가하고 그 후에도 완만하게 계속적으로 수소농도가 증가하고 있음을 알 수 있다.

용탕온도에 따른 수소농도의 차는 GBF처리 경우와는 다르게 뚜렷하게 나타나지는 않는다. 이처럼 그동안 학계에 보고된 [6,7] GBF처리의 긍정적인 효과와는 전혀 다르게 본 연구에서는 GBF처리를 하지 않은 시편에 비하여 GBF처리를 한 시편에서 오히려 수소농도가 높게 나타나고, 용탕온도에 따른 수소농도의 차도 뚜렷하지 않게 나타나는 결과는 GBF처리방식의 문제로 추측된다. 즉, GBF처리 시 임펠러의 빠른 회전에 의해 형성된 와류로 인해 로내의 Ar 가스분위기가 파괴되어 대기중의 공기가 용탕속으로 침투해 들어가는 것이 주된 원인이 될 수 있다고 판단된다. 그러므로 GBF처리를 할 경우에는 임펠러의 위치를 최대한 도가니로의 하부에 위치시키면서 대기중의 공기가 용탕내로 침투되지 않도록 회전수를 적절히 조절할 필요가 있다고 사료된다.

3.2 GBF 처리조건 및 스크랩 함량에 따른 비중변화

아르키메데스법을 이용하여 각각의 시편에 대한 비중측정 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 전체적으로 모든 시편에 있어서 GBF 처리를 한 시편의 비중이 GBF처리를 하지 않은 시편에 비해서 낮은 값을 나타내고 있다. 특히 GBF 20분 처리시편의 경우는 GBF처리를 하지 않은 시편에 비해 비중 값이 모든 시편에 걸쳐서 낮다는 것을 확인할 수 있다. 이는 본 실험에서 실시한 GBF 처리로 인해서 시편 내부에 기공이 많이 발생하였다는 것을 의미한다. 다시 말해서 용탕내의 가스함유량을 낮추기 위해서 실시하는 GBF처리가 오히려 역효과를 나타내고 있음을 의미한다. 그 원인으로서 GBF처리로 인해 용탕내에 수소가스가 다량으로 함유된 결과와 일치한다.

한편, 스크랩함유량에 따른 비중의 변화를 보면 비중 값에 조그만 오차는 있어도 전체적으로 볼 때 스크랩함유량에 따른 비

Fig. 4. Result of specific gravity measurement as a function of Al scrap ratio and GBF treatment conditions.

중 차이는 거의 발생하지 않음을 알 수 있다. 이는 시편의 성분이 일정하다고 가정했을 때 비중의 변화가 없다는 것은 시편 내에 존재하는 기공들의 부피합이 일정하다는 것을 의미한다.

3.3 스크랩 함유량에 따른 불순물원소의 변화

다이캐스팅에 의해 공업용 순알루미늄용탕을 금형에 충전시키는 과정에서 압탕, 게이트, 런너, 벤트부 등을 수거한 스크랩은 일반적으로 현장에서 다시 재용해하여 사용하고 있다. 이런 스크랩은 표면에 알루미늄산화물(Al_2O_3)이 형성되어 스크랩 사용량이 많아질수록 알루미늄의 양도 상대적으로 증가한다. 알루미늄은 재용해 과정에서 쉽게 용해되지 않으나 용탕위로 부상하므로 대부분 슬래그로 제거된다. 한편 최초 용해 시 공업용 순알루미늄에 불순물로 포함되어 있는 Fe, Si는 Al-Fe, Al-Fe-Si의 2원계 혹은 3원계 금속간 화합물을 생성하는데 이런 금속간 화합물은 고온에서 안정하여 스크랩 재사용 시 쉽게 용해되지 않고 용탕내에 미세한 결정체로서 잔존하게 될 가능성이 많다. 이런 미소결정체는 응고 시 불균질 핵생성사이트로 작용하여 응고진행에 영향을 미칠 수도 있다[8]. 그런 점에서 스크랩 함량이 많아질수록 2원계, 3원계 화합물의 양이 증가할 가능성이 있으며, 이러한 금속간화합물의 분포와 양의 차이에 따라서 로터의 전기전도도에 영향을 미칠 것으로 예측된다.

Fig. 5에 스크랩 함유량에 따른 Fe 및 Si 함유량의 변화를 GBF 처리 조건별로 나타내었다. 전체적으로 모든 시료에서 불순물로 분석된 원소는 주로 Fe, Si이었으며, Fe의 양은 약 0.1~0.17wt%이며, Si는 0.02~0.08% 정도로 아주 적은 양이 포함되어있으며 그 외 원소인 Cu, Mn, Ni, Zn, Ti 등의 불순물은 ppm 정도의 극소량 포함되어 있는 99.8%의 공업용 순알루미늄임을 확인하였다.

먼저, 스크랩양에 따른 Fe의 함유량을 살펴보면 GBF처리 조건과 관계없이 극히 미세한 양이지만 스크랩을 포함하지 않은 시편(이하 0S로 표기)에서는 Fe가 약 0.09wt% 정도이며, 스크랩 20%시편(이하 20S로 표기)에서는 0.18wt%로 0S의 시편에 비해 약 2배정도 증가하며, 40S, 60S에서는 0.17wt%, 80S에

Fig. 5. Change of Fe and Si contents as a function of Al scrap ratio(mass%).

Fig. 6. XRD data regarding GBF condition and Al scrap ratio.

서는 0.19wt%, 100S에서는 0.16wt%로 약간 감소하지만 여전히 0S시편에 비해 많다. Fe는 Al에의 최대용도가 0.05wt% 정도로 아주 극소량이므로 Fe 함유량이 조금만 차이가 있어도 기계적 특성이나 전기전도도특성에 미치는 영향이 상대적으로 클 수도 있음을 예상할 수 있다[9].

한편 Si의 경우는 GBF 처리조건에 따라 약간 다른 양상을 보이지만 전체적으로는 스크랩양이 많아질수록 약간 증가하는 경향을 나타낸다. 그러나 전체 시편에서 최저 0.02%에서부터 최대 0.08wt% 정도로 아주 극소량이 포함되어 있는데, Si의 Al에의 최대용도가 577°C에서 1.65wt%임을 감안하면 전기전도도에 미치는 영향은 없을 것으로 판단된다.

3.4 XRD 및 EDS 분석

GBF 처리조건과 스크랩함유량에 따른 시편의 XRD분석 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 참고로 XRD 분석결과의 신뢰성 확보를 위하여 99.999% Al(이하 5N으로 표기) 시편을 동시에 분석하였다. 5N시편을 포함한 모든 시편에서 주원소인 Al의 (111), (200), (220), (311), (222)피크가 검출되었다. 그러나 GBF 처리조건과는 관계없이 5N 및 100S의 시편에서는 전혀 검출되지 않는 피크가 20S, 40S, 60S, 80S 시편에서 강도가

비록 약하지만 회절각 28°, 36°, 55° 부근에서 뚜렷히 관찰된다. 아마도 이런 피크는 Al, Fe, Si 과 관계되는 화합물(예: Al-Fe-Si, Al-Fe 등)과 관계가 있을 것으로 추측되는데 더 구체적으로 조사하기 위해 각 시편에 대해서 EDS 분석을 실시하였다. 그 결과를 Fig. 7, 8에 나타내었다.

Fig. 7에는 0S와 100S에 대한 결과로 GBF처리를 하지 않은 시편에서는 가는 띠 모양의 Al-Fe 2원계화합물이, GBF처리를 30min한 시편에서는 괴상의 Al-Fe-Si 3원계 화합물이 결정립계를 따라서 정출되어 있으며, GBF처리 20min 시편에서는 Si이 포함되는 경우와 포함되지 않은 경우로 나뉘었다. 즉, GBF처리 시간이 20min에서 30min으로 길어짐에 따라서 Al-Fe 2원계 화합물이 Al-Fe-Si 3원계 화합물로 변화하는 경향이 있다.

Fig. 8은 Fig. 6의 XRD결과에서 Al의 주 피크 이외의 피크가 검출된 시편과 동일한 20S, 40S, 60S, 80S 시편에 대한 EDS 분석 결과이다. Al-Fe 2원계화합물과 Al-Fe-Si 3원계 화합물이 역시 결정립계에 정출되어 있음을 알 수 있다[7]. 40S, 60S에서는 0S나 20S보다는 조금 더 조대한 화합물이 정출하다가 80S인 경우에는 오히려 약간 작아지는 경향이 있음을 알 수 있다. GBF 처리 시간에 따른 결과를 보면, 무처리의 경우에 40S, 60S에서는 Si이 포함되지 않는 Al-Fe 2원계 화합물도

Pure Al +Scrap 0%		Element	Weight%	Atomic%
		Al K	83.57	91.33
		Si K	0	0
		Fe K	16.43	8.67
		Totals	100.00	
Pure Al +Scrap 0%, G. B.F 20min		Element	Weight%	Atomic%
		Al K	87.95	93.79
		Si K	0	0
		Fe K	12.05	6.21
		Totals	100.00	
Pure Al +Scrap 0%, G. B.F 30min		Element	Weight%	Atomic%
		Al K	84.70	91.40
		Si K	1.22	1.25
		Fe K	14.08	7.35
		Totals	100.00	
Pure Al +Scrap 100%		Element	Weight%	Atomic%
		Al K	89.49	94.64
		Si K	0	0
		Fe K	10.51	5.36
		Totals	100.00	
Pure Al +Scrap 100%, G.B.F 20min		Element	Weight%	Atomic%
		Al K	76.95	85.92
		Si K	3.08	3.30
		Fe K	19.98	10.78
		Totals	100.00	
Pure Al +Scrap 100%, G.B.F 30min		Element	Weight%	Atomic%
		Al K	88.07	93.28
		Si K	1.23	1.25
		Fe K	10.70	5.48
		Totals	100.00	

Fig. 7. EDS analysis results of 0S(scrap 0%) and 100S(scrap 100%) samples.

Pure Al +Scrap 20%		Element	Weight%	Atomic%
		Al K	96.17	98.12
		Si K	3.83	1.88
		Fe K		
		Totals	100.00	
Pure Al +Scrap 20%, G.B.F 20min		Element	Weight%	Atomic%
		Al K	71.45	83.81
		Si K	0	0
		Fe K	28.55	16.19
		Totals	100.00	
Pure Al +Scrap 20%, G.B.F 30min		Element	Weight%	Atomic%
		Al K	73.79	84.71
		Si K	1.40	1.53
		Fe K	24.81	13.76
		Totals	100.00	
Pure Al +Scrap 40%		Element	Weight%	Atomic%
		Al K	89.50	94.64
		Si K	0	0
		Fe K	10.50	5.35
		Totals	100.00	
Pure Al +Scrap 40%, G.B.F 20min		Element	Weight%	Atomic%
		Al K	75.69	85.93
		Si K	1.36	1.48
		Fe K	22.95	12.59
		Totals	100.00	
Pure Al +Scrap 40%, G.B.F 30min		Element	Weight%	Atomic%
		Al K	76.65	86.70
		Si K	1.01	1.09
		Fe K	22.34	12.21
		Totals	100.00	
Pure Al +Scrap 60%		Element	Weight%	Atomic%
		Al K	82.63	96.30
		Si K	0	0
		Fe K	7.37	3.70
		Totals	100.00	
Pure Al +Scrap 60%, G.B.F 20min		Element	Weight%	Atomic%
		Al K	72.33	84.20
		Si K	0.43	0.48
		Fe K	27.24	15.32
		Totals	100.00	
Pure Al +Scrap 60%, G.B.F 30min		Element	Weight%	Atomic%
		Al K	89.74	94.58
		Si K	0.38	0.39
		Fe K	9.88	5.03
		Totals	100.00	
Pure Al +Scrap 80%		Element	Weight%	Atomic%
		Al K	88.36	93.60
		Si K	0.88	0.89
		Fe K	10.76	5.51
		Totals	100.00	
Pure Al +Scrap 80%, G.B.F 20min		Element	Weight%	Atomic%
		Al K	86.01	92.72
		Si K	0	0
		Fe K	13.99	7.28
		Totals	100.00	
Pure Al +Scrap 80%, G.B.F 30min		Element	Weight%	Atomic%
		Al K	75.95	85.59
		Si K	2.47	2.67
		Fe K	21.58	11.74
		Totals	100.00	

Fig. 8. EDS analysis results of 20S, 40S, 60S and 80S samples with GBF conditions.

확인되며, 처리시간이 20min과 30min으로 길어짐에 따라서 Al-Fe 2원계보다는 Si이 포함된 Al-Fe-Si 3원계 화합물이 결정립계에 주로 정출되는 경향을 나타내고 있다.

이처럼 GBF처리 유무와 처리시간의 증가에 따라서 Al-Fe 2원계에서 Al-Fe-Si 3원계화합물로 변화하는 원인이 무엇인지는 아직 명확히 알 수 없으나 수소가스가 3원계 화합물 형성을 용이하도록 하는 경향이 있을 것으로 추측된다. 한편, Si은 Al

과 공정반응을 형성하는 원소로 응고가 진행되면서 점차적으로 Si농도가 증가하여 최종응고부위가 되는 결정립계에 최대 12.6%까지 농축된다. 그러므로 Al합금에서 Si은 주로 결정립계에 존재하며, 본 연구에서와 같이 Si이 미량인 경우에는 주로 Al-Fe-Si 3원계 화합물을 만들어서 결정립계에 정출할 것으로 생각된다.

한편 스크랩함유량이 20%에서 40%, 60%로 증가한 시편에

Fig. 9. Electrical specific resistance (a) and conductivity (b) as a function of Al scrap mass percent and GBF condition.

서는 화합물의 크기가 조대해지고 그 조대한 화합물은 대부분 Al-Fe-Si 3원계 화합물이며, 80% 100%로 증가하면 Si이 포함되지 않는 화합물이 관찰된다.

3.5 전기전도도 변화

순알루미늄의 전기전도도에 미치는 각 원소들의 영향을 보면, 극소량이지만 Fe, Cr, Mo, V, Mn, Zr과 같은 불순물의 함유가 큰 영향을 미친다는 것이 알려져 있다. 순알루미늄의 전기비저항(전기전도도의 역수) 값은 $2.82 \times 10^{-8} \Omega m$ 인데 위와 같은 불순물이 알루미늄에 포함될 경우 ppm당 Fe, Mo, Mn, V, W, Zr은 $7.5 \times 10^{-12} \Omega m$, Cr은 $8 \times 10^{-12} \Omega m$, Si, Zn, Mg, Be, As와 같은 원소는 ppm당 $0.7 \times 10^{-12} \Omega m$ 로 함유량이 증가할수록 비저항 값이 증가한다[8].

GBF 처리조건별로 스크랩함량에 따른 시편의 전기전도도를 측정한 결과를 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9(a)는 전기비저항 측정 결과를 나타내었고, Fig. 9(b)에 전기전도도로 환산한 결과를 나타내었다. Fig. 9(b)에 나타난 전기전도도 측정결과를 보면 GBF처리를 하지 않은 시편(■)의 경우가 GBF처리를 한 시편(20min: ●, 30min: ▲)에 비해 전체적으로 약간 높은 전기전도도 값을 나타낸다. 이 결과는 2가지 원인으로 분석된다. 첫째는 Fig. 4에 나타난 비중측정 결과에서도 알 수 있듯이 GBF처리를 한 시편의 비중이 처리하지 않은 시편에 비하여 낮은 비중 값을 나타낸 것은 시편 내에 기공이 많이 포함되어 있으며, 이러한 기공들이 전기전도도를 낮추는 원인이 되고 있음을 알 수 있다. 둘째는 GBF 처리시간이 길어질수록 즉, 용탕의 교환시간이 길어질수록 주로 결정립계에 정출되는 Al-Fe 2원계 화합물로부터 Si이 포함된 Al-Fe-Si 3원계 화합물로의 생성을 용이하게 하고, 화합물의 크기도 조대해져 전기전도도가 저하한다고 판단된다.

Al속에서의 Fe가 미치는 전기전도도에의 영향을 연구한 W.A.Dean에 의하면 알루미늄의 전기비저항 값의 증가율(전기전도도의 감소율)이 고용 Fe 1wt%당 $2.56 \times 10^{-8} \Omega m$ 이며, Fe가 화합물을 형성하는 경우 전기비저항 값의 증가율(전기전도도의 감소율)은 Fe 1wt%당 $5.8 \times 10^{-10} \Omega m$ 로 저하한다. 즉, Al 내에서의 Fe는 고용되는 것보다는 Al-Fe 2원계 혹은 Al-Fe-Si과 같은 3원계의 화합물로 존재하는 경우가 전기전도도를 향상시킬 수 있음을 의미한다. 본 연구의 결과는 W.A.Dean이 보고한 결과와 상충되지만 W.A.Dean의 결과는 Fe의 함유량이 1wt% 이

상 다량으로 포함되어 있는 경우에 해당하고 본 연구에서처럼 Fe가 0.17wt% 정도의 소량이 함유되었을 때는 적용하기 곤란하다고 판단된다.

한편 스크랩함유량이 증가함에 따라서 전기전도도 값은 저하하여 40S, 60S에서 가장 낮은 값을 나타내고 80S, 100S로 높아지면 오히려 전기전도도 값이 재차 상승한다. 이와 같은 원인은 XRD 및 EDS 분석에서 알 수 있었듯이 20S, 40S, 60S까지 스크랩함유량이 증가할수록 과량의 Al-Fe-Si 3원계 화합물이 결정립계에 조대하게 정출하고, 80S, 100S로 스크랩량이 더욱 많아질 경우에는 조대한 정출물이 덜 발견되는 경향과 밀접한 관계가 있을 것으로 판단된다.

이와 같은 결과를 정리하면, Fe 및 Si 원소가 0.2wt%이하 함유된 99.8wt% 공업용 순알루미늄에 있어서의 전기전도도는 수소함유량과 Al-Fe-Si 3원계 화합물의 결정립계에의 정출량과 그 크기에 의존한다. 즉, 기공량이 많을수록, 결정립계에 정출하는 금속간화합물의 크기가 클수록, 전기전도도가 저하한다. 전기전도도의 향상을 위해서는 GBF처리시 공기중의 수소가스가 혼입되지 않도록 주의해야 하며, GBF 처리를 할 경우에는 용탕에 와류가 형성되지 않도록 임펠러의 회전속도를 조절할 필요가 있다. 또한 생산원가의 절감을 위해 스크랩을 재용해하여 사용해도 전기전도도에는 거의 나쁜 영향을 미치지 않는다는 것을 확인 할 수 있었다.

4. 결 론

공업용 순알루미늄으로 다이캐스팅방법에 의해 전동기모터의 로터를 제조할 시 용탕처리방안의 하나인 GBF처리조건과 Al 스크랩함유량이 전기전도도에 미치는 영향을 금속조직학적인 관점에서 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

Fe 및 Si 원소가 0.2wt%이하 함유된 99.8wt% 공업용 순알루미늄에 있어서의 전기전도도는 GBF처리 조건에 따른 수소함유량과 Al-Fe-Si 3원계 화합물의 결정립계에의 정출량과 그 크기에 의존한다. 즉, 금속간화합물의 크기가 클수록, 기공량이 많을수록 전기전도도가 저하한다. 그런 의미에서 공업용 순알루미늄으로 전동기모터의 로터를 제조할 경우 용탕처리시 공기중의 수소가스가 혼입되지 않도록 주의해야 하며, GBF 처리를 할 경우에는 효과적으로 탈가스처리가 될 수 있도록 적정량의 Ar가스 투입과 동시에 용탕량에 따른 임펠러 회전속도를 조절하여 용탕에 와류가 형성되지 않도록 할 필요가 있다. 또한 생산원가의 절감을 위해 스크랩을 재용해하여 사용해도 전기전도도에는 거의 악영향을 미치지 않는다.

감사의 글

본 연구는 전남대학교의 지원에 의해 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] H. H. Doehler : Die casting, McGraw-Hill, (1951)

- [2] E. A. Herman : Die Casting Dies, Design, Society of Die Casting Engineers, (1985)
- [3] D. F. Allsop and D. F. Kennedy : Pressur Die Casting, Part 1-2, Pergamon Press, (1983)
- [4] Bill Andersen: Die Casting Engineering, Marcel Dekker, (2005)
- [5] Peter Beeley: Foundry Technology, 2nd edition, "Diecasting" (2001) 591
- [6] S.A.Kulyuhin, V.V.Kulemin, N.B.Mikheev, I.V.Melikhov, I.A.Rumer: Radiochemistry, 50(3), (2008) 302
- [7] J.K.Lee, D.I.Yoon: J. of the Korea Foundry Society, "Gas bubbling filtration process", 8, (1988) 266
- [8] Structures and Properties of Al alloys, Institute of light metals JAPAN, (1991) 342
- [9] ASM Specialty handbook, "Aluminum and Aluminum Alloys" (1996) 547