 논문

Al-Zn-Mg-Cu 합금의 주조성 및 인장특성에 미치는 Mg 및 Cu 첨가량의 영향

김기태[†] · 임영석 · 김정민 *

한국생산기술연구원 주조기술센터, *한밭대학교 신소재공학부

Effects of Mg and Cu Amounts on the Casting Characteristics and Tensile Property of Al-Zn-Mg-Cu Alloys

Ki-Tae Kim[†], Young-Suk Lim, and Jeong-Min Kim*

Foundry Technology Center, Korea Institute of Industrial Technology, Incheon 406-800, Korea

*Dept. of Applied Materials Eng., Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

Abstract

The effects of Mg and Cu amounts on the casting characteristics and tensile property of Al-Zn-Mg-Cu alloys were investigated for the development of high strength aluminium alloys for gravity mold casting. Increase of copper amounts in Al-6%Zn-3%Mg-y%Cu alloys resulted in reduction of the fluidity of these alloys and had little effects on the tensile property of these alloys. Increase of magnesium amounts from 1.0wt% to 3.3wt% in Al-6%Zn-x%Mg-0.5%Cu alloys resulted in reduction of the elongation of these alloys from 12% to 3% and increase of the tensile strength of these alloys from 340MPa to 450MPa, but had little effects on the fluidity of these alloys.

Key words : Aluminum alloy, Mold casting, Mold filling, Fluidity, High strength.

(Received January 13, 2012 ; Accepted February 22, 2012)

1. 서 론

세계적으로 환경오염 문제가 대두되면서 자동차 산업분야에서는 자동차의 평균연비 및 자동차 배기가스 규제 강화에 대비한 연비개선이 절실히 요구되고 있어, 이에 대한 대책으로 자동차 경량화를 위한 알루미늄 등의 경량소재를 이용한 자동차 부품 적용이 크게 늘어나고 있다. 이에 따라서 경량소재의 한계를 극복할 수 있는 고강도, 고연성, 고열전도도 등의 고기능 알루미늄 소재 및 부품제조기술이 요구되고 있다. 주조, 단조 및 압연 등의 공정에 의하여 제조되는 알루미늄 부품 중에서 다이캐스팅 및 금형주조 등의 주조공정에 의하여 제조되는 알루미늄 주조 부품 생산량은 전체 알루미늄 부품 생산량의 약 80%에 이르고 있다. 주조용 알루미늄 합금으로는 Al-Cu, Al-Si, Al-Mg 및 Al-Zn 합금계 등이 있으나 Al-Cu 합금계를 제외하고는 인장강도가 300MPa 수준이기 때문에 300MPa 이상

의 고강도를 요구하는 알루미늄 자동차 부품설계 및 적용에 한계를 갖고 있다. 최근 고강도 다이캐스팅 및 주조용 알루미늄 합금 소재에 대한 관심이 높아지면서 세계 유수의 알루미늄 제조업체에서는 인장강도 300MPa 이상의 다이캐스팅 및 주조용 Al-Zn 합금에 대한 연구개발이 이루어지고 있다[1-3]. Al-Zn 합금계는 대부분 압출, 압연 등의 소성가공용 합금소재로서 사용되고 있으며, 석출강화 열처리 후 600MPa 수준의 높은 인장강도를 나타내고 있다. 그러나 주조용 Al-Zn 합금계는 300MPa 정도의 인장강도를 나타내지만 주조성이 열악하여 주조용 합금소재로 사용하는 데에 한계성을 갖고 있기 때문에 주조 크랙 방지 및 유동성 향상 등 주조성 향상을 위한 합금 조성 개량, 주조속도 조절, 냉각속도 조절 및 결정립 미세화 등과 같은 여러 연구결과가 보고되었다[4-9]. 그러나 Al-Zn-Mg-Cu 합금을 주조하였을 때에 Mg 및 Cu 첨가에 따른 주조성이나 인장 특성의 영향과 관련된 보고는 거의 없다. 따라

[†]Corresponding author: Ki-Tae Kim

[Tel: +82-32-850-0422, E-mail : kitae@kitech.re.kr]

서, 본 연구에서는 500MPa급 주조용 고강도 Al-Zn-Mg-Cu 합금개발을 목적으로 Al-Zn-Mg-Cu 합금을 중력 금형주조하여 Mg 및 Cu 첨가량이 유동성 및 금형 충전성 등의 주조성에 미치는 영향을 조사하였으며, 또한 Mg 및 Cu 첨가량이 Al-Zn-Mg-Cu 합금의 인장강도 및 연신율 등의 인장특성에 미치는 영향도 조사하였다.

2. 실험 방법

Al, Zn 및 Mg 등의 순금속(99.9%)과 Al-50%Fe, Al-20%Cu 및 Al-10%Ti 등의 모합금을 흑연 도가니를 사용하여 전기로에서 용해하였으며, 용탕의 유동성 확보와 과열에 따른 산화를 최소화하기 위하여 용탕온도를 730°C~750°C로 유지하였다. 다음에 환원성 플럭스(flux)를 용탕 표면에 산포하고 교반하여 용탕 내 산화물을 제거하였으며, Ar 가스를 사용하여 용탕의 탈수소처리를 수행하였다. 용해가 완료된 용탕으로부터 채취한 시험편들의 화학조성을 분광 분석기를 이용하여 분석한 결과를 Table 1에 나타내었다. Mg 및 Cu 첨가량이 Al-Zn-Mg-Cu 합금의 주조성 및 인장특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 Zn은 약 6wt%로 고정하였고, Mg은 1~3wt% 범위, Cu는 0~2wt% 범위로 합금조성을 조절하였다. 그리고 Al-Zn-Mg-Cu

Fig. 1. Spiral mold specimen for evaluation of the fluidity of Al-6%Zn-x%Mg-y%Cu alloys.

Fig. 2. Step mold specimen for evaluation of the mold filling and tensile properties of Al-6%Zn-x%Mg-y%Cu alloys.

합금의 유동성 및 금형 충전성 등의 주조성과 인장특성을 조사하기 위하여 나선형 금형 및 계단형 금형에 합금을 주조하여 Fig. 1 및 Fig. 2와 같은 나선형 시험편과 계단형 시험편을 얻었다. 나선형 시험편의 크기는 폭 12 mm, 두께 5 mm, 최대 길이 780 mm이며, 계단형 시험편의 크기는 폭 100 mm, 높이 25 mm, 각각의 계단 두께는 3, 6, 9 및 12 mm이며 일정한 주조조건에 따라서 주조하였다. 주조조건은 용탕 온도 730°C, 금형 온도 200°C로 하여 시험편을 주조하였다. 주조된 계단형 시험편은 480°C에서 30분 용체화 처리한 후에 120°C에서 24 시간 시효 처리하였다. 합금의 유동성은 나선형 시험편의 최대 유동거리로 평가하였으며, 합금의 금형 충전성은 계단형 시험편의 3, 6, 9 및 12 mm 각각의 두께별 충전율로 평가하였다. 또한 시험편의 인장시험은 3, 6, 9 및 12 mm 각각의 두께별 계단형 시험편을 주조 및 가공하여 ASTM B 557M 규격에 따라 수행하였고, 시험편의 미세조직은 SEM, EDX 및 XRD 등을 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 금형 충전성

Fig. 3은 Al-6%Zn-x%Mg-y%Cu 합금에서의 Mg 및 Cu

Table 1. Chemical compositions of Al-6%Zn-x%Mg-y%Cu alloys (wt%)

alloys		Cu	Mg	Zn	Zr	Ti	Fe	Al
Al-6%Zn-3%Mg-y%Cu	alloy 1	0.001	3.45	6.49	0.08	0.06	0.33	bal.
	alloy 2	0.50	3.31	6.28	0.08	0.07	0.38	bal.
	alloy 3	1.07	3.34	6.32	0.11	0.06	0.43	bal.
	alloy 4	1.97	2.93	6.04	0.10	0.05	0.33	bal.
Al-6%Zn-x%Mg-0.5%Cu	alloy 5	0.38	1.03	5.82	0.11	0.22	0.28	bal.
	alloy 6	0.44	2.08	5.96	0.04	0.22	0.37	bal.
	alloy 7	0.50	3.31	6.28	0.08	0.07	0.38	bal.

(a) Al-6%Zn-3%Mg-y%Cu alloys

(b) Al-6%Zn-x%Mg-0.5%Cu alloys

Fig. 3. Variation of the mold filling of Al-6%Zn-x%Mg-y%Cu alloys with Mg and Cu contents.

첨가량이 3, 6, 9 및 12 mm 두께의 계단형 시험편 금형 충전성에 미치는 영향을 나타낸 것이다. Al-6%Zn-x%Mg-y%Cu 합금에서 Zn은 약 6wt%로 고정하였고, Mg은 1~3wt% 범위, Cu는 0~2wt% 범위로 합금조성을 조절하였다. Mg 및 Cu 첨가량에 관계없이 Al-6%Zn-x%Mg-y%Cu 합금은 3, 6, 9 및 12 mm 두께의 계단형 시험편에서 모두 충전되어 금형 충전율은 100%가 되었다. 즉, Al-6%Zn-x%Mg-y%Cu 합금의 3, 6, 9 및 12 mm 두께의 계단형 시험편 금형 충전성은 Mg 및 Cu 첨가량에 따라서 차이가 없는 것을 알 수 있다.

3.2 유동성

Fig. 4 및 Fig. 5는 각각 Al-6%Zn-x%Mg-y%Cu 합금에서 Mg 및 Cu 첨가량이 유동성에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 먼저 Fig. 4에서 Zn 첨가량이 약 6%이고 Cu 첨가량은 약 0.5%이며 Mg 첨가량을 1~3%로 변화시킨 Al-6%Zn-x%Mg-0.5%Cu 합금은 Mg 첨가량에 따라서 유동성의 변화 없이 780 mm의 최대 유동장을 나타내고 있다.

Fig. 5에서 Zn 첨가량이 약 6%이고 Mg 첨가량은 약 3.0%이며 Cu 첨가량을 0~2.0%로 변화시킨 Al-6%Zn-3%Mg-y%Cu 합금의 유동성은 Cu 첨가량 증가에 따라서 저하된 것

(a) spiral test specimens

(b) spiral length

Fig. 4. Variation of the spiral length of Al-6%Zn-x%Mg-0.5%Cu alloys with Mg contents.

(a) spiral test specimens

(b) spiral length

Fig. 5. Variation of the spiral length of Al-6%Zn-3%Mg-y%Cu alloys with Cu contents.

을 알 수 있다. 즉, Al-6%Zn-x%Mg-y%Cu 합금에서 Mg은 유동성에 영향을 미치지 않았으나 Cu는 첨가량 증가에 따라서 유동성을 저하시킨 것으로 요약할 수 있다. 알루미늄의 유동성

(a) tensile strength

(b) yield strength

(c) elongation

Fig. 6. Variation of the tensile properties of Al-6%Zn-3%Mg-y%Cu alloys with Cu contents.

은 합금원소의 종류 및 첨가량에 따라서 변화하는 것으로 알려져 있는데, Cu, Ti, Fe 등은 첨가량 증가에 따라서 알루미늄의 유동성을 저하시키지만 Si, Mg 등은 첨가량 증가에 따라서 알루미늄의 유동성을 향상시키는 것으로 보고되어 있다[10]. 따라서 본 연구에서의 Al-6%Zn-3%Mg-y%Cu 합금의 유동성도 Cu 첨가량 증가에 따라서 저하된 것으로 판단된다.

3.3 인장 특성

Fig. 6은 Zn 첨가량이 약 6%이고 Mg 첨가량은 약 3.0%이

(a) tensile strength

(b) yield strength

(c) elongation

Fig. 7. Variation of the tensile properties of Al-6%Zn-x%Mg-0.5%Cu alloys with Mg contents.

며 Cu 첨가량을 0~2.0%로 변화시킨 Al-6%Zn-3%Mg-y%Cu 합금에서 Cu 첨가량이 인장 특성에 미치는 영향을 나타낸 것이다. Al-6%Zn-3%Mg-y%Cu 합금의 인장강도, 항복강도 및 연신율 등의 인장특성은 Cu 첨가량에 따라서 큰 변화가 없으며, 단지 계단형 시험편의 두께에 따라서 인장강도는 380~500 MPa, 항복강도는 300~400MPa, 연신율은 1~3% 범위를 나타내었다. Cu는 Al-Zn-Mg 합금에 첨가되어 석출상의 석출속도를 증가시키고 일부 $MgZn_2$ 석출상을 $CuMgAl_2$ 석출상으로 변화시키며, 또한 응력부식을 감소시키는 효과가 있는 것으로

Fig. 8. XRD analysis results of Al-6%Zn-x%Mg-0.5%Cu alloys.

Table 2. EDX analysis result of grain boundary precipitates on Al-6%Zn-x%Mg-0.5%Cu alloys

elements	Fe	Si	Cu	Al
at%	5.9~10.9	1.4~2.0	1.6~2.8	bal.

알려져 있다[11]. 본 연구에서의 Al-6%Zn-3%Mg-y%Cu 합금에 첨가된 Cu는 인장특성에 미치는 영향이 적은 것으로 판단된다.

Fig. 7은 Zn 첨가량이 약 6%이고 Cu 첨가량은 약 0.5%이며 Mg 첨가량을 1~3%로 변화시킨 Al-6%Zn-x%Mg-0.5%Cu 합금에서 Mg 첨가량이 인장 특성에 미치는 영향을 나타낸 것이다. Mg 첨가량에 따라서 Al-6%Zn-x%Mg-0.5%Cu 합금의 인장강도 및 항복강도는 점차 증가하였다. Mg 첨가량이 약 1%인 합금의 연신율은 계단형 시험편의 두께에 따라서 8~15%의 범위를 나타내었으나, Mg 첨가량이 약 2% 및 3%인 합금은 약 3%의 연신율을 나타내었다. Mg은 Al-Zn 합금에 첨가

되어 $MgZn_2$ 석출상의 석출에 따라서 인장강도를 증가시키지만 $MgZn_2$ 석출상의 결정립계 편석으로 인하여 연신을 저하 및 응력부식성을 증가시키는 것으로 알려져 있다[12]. Fig. 8은 Al-6%Zn-x%Mg-0.5%Cu 합금의 미세조직을 XRD를 이용하여 분석한 결과를 나타낸 것으로서 α -Al 및 Al_6Fe 상이 나타났다. 또한 Fig. 9는 Al-6%Zn-x%Mg-0.5%Cu 합금의 미세조직을 SEM으로 관찰한 것으로서 합금의 결정립계에 화합물이 정출되어 있는 것을 볼 수 있다. Table 2는 이 결정립계 화합물을 EDX를 이용하여 분석한 결과를 나타낸 것으로서, Cu와 Si이 미량 함유된 Al_6Fe (Fe: 5.9~10.9at%, Si: 1.4~2.0at%, Cu: 1.6~2.8at%, Al: balance)인 것으로 분석되었으며 합금 응고시의 정출상인 것으로 판단된다. Al-6%Zn-x%Mg-0.5%Cu 합금에서 Mg 첨가량 증가에 따라서 연신율이 감소된 것은 XRD 및 EDX 분석에서 나타나지는 않았으나 Mg 첨가량 증가에 따라서 $MgZn_2$ 석출상의 양이 증가하였기 때문인 것으로 추정되며, 또한 XRD 및 EDX 분석에서 나타난 기지내 Mg 고용량 증가에 따른 Fe 고용량 감소로 결정립계에 정출된 Al_6Fe 의 양이 증가하였기 때문인 것으로 판단된다. 이상의 결과로 부터 Al-6%Zn-x%Mg-0.5%Cu 합금에서 Mg 첨가량 증가에 따라서 합금의 인장강도는 증가하였으나, 연신율은 감소하였다.

4. 결 론

500MPa급 주조용 고강도 Al-Zn-Mg-Cu 합금개발을 목적으로 Al-Zn-Mg-Cu 합금을 중력 금형주조하여 Mg 및 Cu 첨가량이 유동성 및 금형 충전성 등의 주조성에 미치는 영향을 조사하였으며, 또한 Mg 및 Cu 첨가량이 Al-Zn-Mg-Cu 합금의 인장강도 및 연신율 등의 인장특성에 미치는 영향도 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Al-6%Zn-3%Mg-y%Cu 합금에서 Cu를 0~2wt% 범

Fig. 9. SEM microstructure of Al-6%Zn-x%Mg-0.5%Cu alloys and : (a) 1%Mg (b) 2%Mg (c) 3%Mg.

위로 하여 첨가량을 증가시킨 결과, 합금의 유동성은 약간 저하되었으나 합금의 인장강도, 항복강도 및 연신율 등의 인장특성에는 큰 영향을 미치지 않았다.

2) Al-6%Zn-x%Mg-0.5%Cu 합금에서 Mg을 1~3wt% 범위로 하여 첨가량을 증가시킨 결과, 합금의 유동성에는 별 영향을 미치지 않았으나 합금의 인장강도는 약 340MPa에서 약 450MPa로 증가하였으나 연신율은 약 12%에서 약 3%로 감소하였다.

3) Mg 및 Cu의 합금원소 첨가량 조절에 따라서 중력금형주조에 의한 인장강도 500MPa급 Al-6%Zn-x%Mg-y%Cu 합금을 얻을 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 국가플랫폼기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] L. Jen, Y. Xinyan and Z. Wenping : PCT Patent, "High strength, high stress corrosion cracking resistant and castable Al-Zn-Mg-Cu-Zr alloy for shape cast products" WO 2008/036760 (2008)
- [2] J. Dong, J. Z. Cui, F. X. Yu, Z. H. Zhao and Y. B. Zhuo : J. Mater. Proc. Tech., "A new way to cast high-alloyed Al-Zn-Mg-Cu-Zr for super-high strength and toughness" 171 (2007) 399-404
- [3] K. T. Kim, J. H. Yang and Y. S. Lim : J. KFS, "Effects of Zn Amounts on the Castability and Tensile Properties of Al-Zn-Mg-Cu Alloys for Die Casting" 30 (2010) 137-141
- [4] D. Jie, C. Jianzhong, D. Wenjiang : J. Crystal Growth, "Theoretical discussion of the effect of a low-frequency electromagnetic vibrating field on the as-cast microstructures of DC Al-Zn-Mg-Cu-Zr ingots" 295 (2006) 179-187
- [5] J. Dong, J. Cui, X. Zeng and W. Ding : Mater. Letters, "Effect of low-frequency electromagnetic field on microstructures and macrosegregation of ϕ 270 mm DC ingots of Al-Zn-Mg-Cu-Zr alloy" 59 (2005) 1502-1506
- [6] S. Geoffrey K : US Patent, "Method for grain refinement of high strength aluminum casting alloys" 6,645,321 (2003)
- [7] Z. Yubo, C. Jianzhong, Z. Zhihao, Z. Haitao, and Q. Ke : Mater. Sci. Eng. A, "Effect of low frequency electromagnetic field on casting crack during DC casting superhigh strength aluminum alloys ingots" 406 (2005) 286-292
- [8] B. Zhang, J. Cui and G. Lu : Mater. Sci. Eng. A, "Effect of low-frequency electromagnetic field on microstructures and macrosegregation of continuous casting 7075 aluminum alloy" 355 (2003) 325-330
- [9] R. K. Paramatmuni, K. M. Chang, B. S. Kang and X. Liu : Mater. Sci. Eng. A, "Evaluation of cracking resistance of DC casting high strength aluminum ingots" 379 (2004) 293-301
- [10] E. Gebhardt, M. Becker and S. Dorner : Aluminium, "Effect of alloying additions on the viscosity of aluminum" 31 (1955) 315-321
- [11] G. T. Hahn and A. R. Rosenfield : Met. Trans. A, "Metallurgical factors affecting fracture toughness of aluminum alloys" 6A (1975) 653-670
- [12] M. O. Speidel : Trans. AIME, "Stress corrosion cracking of aluminum alloys" 6A (1975) 631-651