 논문

A356 합금의 중력 주조 / 단조와 Rheo-diecasting/ 단조의 미세 조직 및 기계적 특성 비교

이준영 · 임재용 * · 이승용 * · 문성원 * · 홍준표 †

연세대학교 금속재료공정, *세명테크

Comparison of the Microstructure and Mechanical Property between Gravity Casting Forging and Rheo-diecasting Forging using A356 Alloy

Jun-Young Lee, Jae-Yong Lim*, Seung-Yong Lee*, Seoung-Won Moon and Chun-Pyo Hong†

Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University, SEOUL 120-749, KOREA

*R&D Ceter, Semyungtech Industrial Co. Ltd

Abstract

Recently, the automotive industry has replaced cast iron to lightweight materials like aluminum for engine efficiency of automobiles and an emission control by government. In this paper we studied two auto parts manufacturing methods using an alloy of A356. That is gravity casting and H-NCM Rheo-diecasting forging. We analyzed the microstructure and mechanical properties for this method. In Microstructure analysis results, H-NCM Rheo-diecasting forging has more finer microstructure and better forging effect. Resulting in better mechanical properties than gravity forging.

Key words: Gravity casting, Rheo-diecasting, H-NCM, Forging, Forging effect, Mechanical properties.

1. 서 론

자동차산업에서 환경문제에 대한 대책으로 리사이클링, 연비 향상 주행저항감소, 엔진효율향상, 경량화 등이 주요 개발목표로 대두되고 있으며, 주요 선진자동차 생산국에서 모듈화, 연비 향상, 배기가스 규제, 승차감향상, 안전 및 중량감소등에 연구 역량을 집중하고 있다. 이러한 환경적 관점에서, 자동차의 중량 절감은 에너지 절약과 CO2가스 절감의 중요한 방법이다. 가벼운 알루미늄은 구조재료로서 우수한 내식성을 가지며, 이 합금은 열처리로 적당한 강도를 가질 수 있어, 국내 외에서 자동차 부품 생산에 있어서 알루미늄 사용량이 증가되고 있다.

지난 40년간 지속적으로 알루미늄의 사용량이 증대되었고 향후 10년간 더 증가 예정임을 알 수 있다. 이러한 자동차 부품 내에 알루미늄 적용에 있어서 80%이상이 주조공법에 의해 이

루어 지고[1], 주조공법의 좋은 점은 자유롭게 형상을 만들 수 있고, 대량생산 할 수 있다는 점이다. 하지만 어떠한 형태라도 자유롭게 만들 수 있는 방법을 말하는 것은 아니다. 주형의 재질이나 용해한 알루미늄의 주입방법 등에 따라 방법이 선택된다. 반면 고객의 안전을 위하여 고강도와 고인성이 요구되는 샤시 부품에 있어서는 공법상의 제한으로 인해 단일 주조공정이 아닌 여러 가지 공정이 추가된 복합의 제조공법이 알루미늄 재질을 이용한 경량화에 적용 되어져 왔다. 특히 이러한 공법 중 (주조+단조)공법을 이용한 샤시 부품 개발이 완료되어 현재 상용화 되어 적용되고 있다.

위의 공법은 주조시 중력주조(용탕에 압력을 가하지 않고 주형에 용탕을 유입하여 주조)법을 적용하여 응고시간 과다로 인한 제조원가적 상승 및 기계적 물성특성의 제한, 응고 수축을 보완하기 위한 압탕 증가에 따른 회수율 저하 등의 공법상 한

Received: Aug. 23, 2013 ; Revised: Sep. 3, 2013 ; Accepted: Oct. 21, 2013

†Corresponding author: Chun-Pyo Hong (Yonsei Univ.)

Tel: +82-2-2123-2045, Fax: +82-2-313-7119

E-mail: hong@yonsei.ac.kr

Journal of Korea Foundry Society

2013. Vol. 33 No. 5, pp. 210~214

<http://dx.doi.org/10.7777/jkfs.2013.33.5.210>

ISSN 1598-706X

© Korea Foundry Society, All rights reserved.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

계에 따른 새로운 공법이 요구 되어져 왔다.

본 연구에서는 (중력주조/단조)공법의 제한요소인 중력주조공법을 Rheo-diecasting공법으로 대체하여 개발대상부품이 요구하는 기본적인 물성 및 부품의 원가절감과 경량화를 실현 시킬 수 있는 제조 방법을 개발하고자 한다.

반응고 기술은 1971년에 MIT에서 연구되어 오늘날 반응고 성형법[Rheocasting]과 반응용 성형법[Thixo-forming]의 두 가지로 분류할 수 있다[2]. Rheocasting은 반응고 상태에서 제조된 슬러리(slurry)를 직접 사출 성형하여 제품을 제조하며, Thixoforming은 반응고 상태에서 주조된 빌렛을 적당한 길이로 절단한 후 반응용 상태로 재 가열하여 단조 혹은 다이캐스팅을 실시하여 제품을 제조하는 것이다.

본 연구에 적용한 반응고 공법은 연세대학교 홍준표 교수팀에서 개발한 H-NCM (Hong-Nano Casting Method) 이라는 반응고 슬러리 주조 기술을 이용한 Rheo-diecasting(이하 Rheo-diecasting이라 칭함)방법으로 주탕 직후부터 전자교반 및 초음파를 통해, 비정상적으로 빠른 시간에 초정을 확산시키는 방법이다. 이것은 기존의 수지상 절단을 활용한 입자 미세화 방법과는 달리, 응고 초기 초정 α 상의 핵생성을 촉진시켜 근본적으로 수지상의 성장을 억제하는 반응고 주조방법을 적용하였다

Fig. 1 H-NCM 반응고 슬러리 장치의 개략도이다. 초기 핵생성을 유도하는 핵 생성 장치와 특수 설계된 슬러리 전용 컵을 활용하여 반응고 슬러리를 제작하였다[3,4].

위와 같이 사시 부품 적용공법에 있어서 복합공법에 대한 연구 및 기술개발이 활발히 이루어지고 있음에도 기존의 중력 주조/단조와 Rheo-diecasting/단조를 체계적으로 비교한 연구 결과는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 A356 합금을 대상으로 동일한 형상의 부품을 제조하였을 때 중력주조/단조 공법과 Rheo-diecasting/단조 공법에 있어서의 미세조직 및 기계적 특성을 비교 함으로

Fig. 1. The schematic drawing of H-NCM slurry maker.

Table 1. Casting parameters for each process.

Method	Feeder	Vital Pressure [MPa]	Pouring Temp [°C]	Initial Velocity [m/s]	Velocity In the cavity [m/s]	Cycle Time [s]
Gravity	Liquid metal	Gravity	590	0.1~0.3	0.1~0.3	360
Rheo-diecasting	Slurry	85Mpa	710	1	0.2	120

서 각각의 장단점을 파악 하여 연구 개발 공법의 유효성을 검증하기 위한 기초연구를 수행하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 주조공정

본 실험에 사용된 합금은 A356합금이며, 각 주조 공법에 따른 차이점을 분석하기 위하여 동일 제품인 RR CARRIER를 중력주조와 Rheo-diecasting공법을 적용하였고, 기본적인 각 주조공법의 개요는 Table 1에 나타내었다.

2.2 단조공정 및 열처리

각 주조 공법 별로 제조한 제품을 예열 후 알루미늄 열간단조 방법을 통해 제품을 동일조건하에 단조 후 T6[용체화+인공시효] 열처리를 시행하였다.

2.3 조직 분석 및 인장시험

열처리 이후 Dix-keller 에칭액에 수초간 부식시킨 후 저 배율 현경을 이용하여 마크로 조직을 관찰하고, 광학 현미경과 주사전자현미경[SEM]을 이용하여 주조공법에 따른 각각의 미세조직을 관찰하였고, 관찰된 미세조직을 화상해석을 이용하여 결정립 크기 및 형상인자를 다음 식으로 측정하였다.

$$G.S = \left(\frac{4A}{\pi} \right)^{1/2} \quad [5]$$

$$S.F = \left(\frac{4\pi A}{P^2} \right) \quad [6]$$

여기서 A와 P는 각각 결정립의 면적과 둘레를 나타낸다.

인장시험은 ASTM B557M규정에 의해 일정변형속도로 시험하였으며, 인장시편은 KSB 080114A호 SUB SIZE게이지길이 15 mm, 게이지부 지름 5 mm인 봉상으로 본시험에서 비교하고자 하는 주조공법 별로 제품 내 동일부를 채취하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 마크로 조직 관찰

Fig. 2 중력 주조 제품과 Rheo-diecasting제품의 마크로 조직을 저 배율 USB현미경으로 관찰한 것이다. 조직사진에서 볼 수 있듯이 결정립 크기는 제조 공법에 따라 큰 차이가 남을 확인할 수 있었고, 이것은 각 공법 특성에 따른 응고속도 차

이로 긴 응고 시간이 필요한 중력주조 대비 Rheo-diecasting 공법은 H-NCM기술을 적용하여 반응고 상의 Slurry가 응고 시간을 단축시켜 중력주조 제품(a) 대비 미세한 결정립이 형성됨을 알 수 있었다(b). 될 수 있었다.

3.1 미세조직 분석

Fig. 3는 제품 후육부의 미세조직을 광학현미경으로 관찰한 것이다.

중력주조 제품의 경우(a) 조대한 dendrite 조직과 공정조직의 편석이 관찰되나, Rheo-diecasting 제품은 (b) dendrite 조직이 나타나지 않고, 구상이나 장미상 조직으로 균일하고 우수한 입자 특성이 관찰되었다.

Table 2 중력주조와 Rheo-diecasting 미세조직의 조정 α 결정립 크기와 형상인자를 분석한 내용으로 Rheo-diecasting 주조 시 H-NCM 반응고 Slurry 장치를 이용하여 조정상의 핵생성을 촉진시켜 근본적으로 중력주조보다 미세한 구형 형상의 건전한 조직이 형성됨을 알 수 있었다[7].

Fig. 4 제품의 Gate부분에서 X-RAY 및 미세조직을 각각 관찰한 그림이다 Rheo-diecasting 공법의 X-RAY 관찰(c)이나 미세조직(d) 분석시에는 특이사항이 없었으나, 중력주조 제품의 Gate부에서는 내부결함이 관찰되었고(a) 미세조직 분석 결과 해

Table 2. Characteristics of Gravity casting and Rheo-diecasting.

Method	Size of Al- α , μm	Shape factor
Gravity casting	62 ± 7	0.5
Rheo-diecasting	50 ± 5	0.75

당부 수지상 입계간에 주조 불량에 관찰되었다.

Fig. 5는 중력 주조 및 반응고 주조 제품의 SEM분석을 통해 공법 특성을 분석하고자 하였다.

각 각 중력주조(a), 반응고 주조(b) 제품의 SEM분석한 결과, 광학 현미경 분석 관찰 조직과 마찬가지로 반응고 제품의 조직이 미세하고 균일함을 재 확인할 수 있었고, 같은 방법으로 중력주조(c), 반응고 주조(d) 제품의 단조 영향부 SEM분석한 결과 주조상태에서 양질의 구상 조직을 형성했던 반응고 조직이 단조 후 일정하고 균일하게 변형되었음을 관찰할 수 있었다.

또한 제품의 동일 심부 SEM분석에 있어서도 중력주조(e)보다 반응고 주조(f)제품의 관찰부가 단조영향을 많이 받았음을 확인할 수 있었다.

3.4 인장시험

알루미늄 주조품에서 기계적 성질에 영향을 미치는 금속학적 인자로는 조정 α 결정립 크기, 제2상 입자의 크기 및 분포

Fig. 2. Photographs of macrostructure using gravity casting (a) using Rheo-diecasting (b).

Fig. 3. Photographs of microstructure at the thickness region (a) gravity casting (b) Rheo-diecasting.

Fig. 4. Photographs of the x-ray gravity casting (a) ; Rheo-diecasting (c) microstructure of gravity casting (b); Rheo-diecasting (d) at the gate of the parts.

Fig. 5. Photographs of scanning electron microscope (a) as gravity casting (b) as Rheo-diecasting (c) gravity casting after forging at initial forging effected region (d) Rheo-diecasting after forging at initial forging effected region (e) gravity casting after forging at the center of the parts (f) Rheo-diecasting after forging at the center of the parts.

Table 3. Results of tensile test.

Class	Gravity casting			Rheocasting		
	Tensile strength [Mpa]	Yield strength [Mpa]	Elong. [%]	Tensile strength [Mpa]	Yield strength [Mpa]	Elong. [%]
Sample 1	319	229	7.4	327	243	12.2
Sample 2	314	230	7.3	329	239	14.7
Sample 3	319	228	8.8	332	241	15.1
Sample 4	316	226	7.2	327	241	14.5
Average	317	228	7.7	329	241	14.1

Fig. 6. Stress-strain curve resulted by gravity casting forging and Rheo-diecasting forging.

등이 있다.

Table 3는 중력주조품과 Rheo-diecasting 제품의 단조, T6열처리 후에 인장 특성을 분석한 결과이다. 인장 특성 모두가 Rheo-diecasting 제품이 우수하였다. 이것은 H-NCM의 Slurry를 이용하여 입자의 크기가 작고, 균일하며 단조시 metalflow 효과가 증대되어 제품의 물성치 또한 안정적이고, 높게 나타난 것으로 판단된다[8].

Fig. 6는 각 시험편의 응력 변형률 곡선 그래프로, Rheo-diecasting 제품의 신율 및 항복강도가 개선됨을 확인할 수 있었고, 세부적으로 중력주조 대비하여 강도: 3~5%, 신율: 40~45% 증대되었다.

3. 결 론

A356합금을 대상으로 동일한 형상의 부품을 제조하였을 때 단조 후 중력주조 공법과 Rheo-diecasting 공법에 있어서의 미세조직 및 기계적 특성을 비교 함으로서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 마크로 조직관찰결과 Rheo-diecasting 제품의 결정립 크기는 용고 시간을 단축을 통해 중력주조 제품의 대비하여 미세한 조직이 형성됨을 알 수 있었다.

2) 광학 현미경을 이용한 미세조직 관찰결과 중력 주조품에 경우 조대한 수지상과 공정조직의 편석이 관찰되나 Rheo-diecasting 제품의 경우 조직적 우수한 특성을 보였고, 제품의 Gate부근에 성형 및 미세조직이 현저하게 개선됨을 확인할 수 있었다.

3) SEM분석결과 반응고 제품의 경우 제품 심부에도 단조영향으로 인한 조직이 관찰되어 기존 중력주조 대비 단조 효과가 증대됨을 재확인 할 수 있었다.

4) 반응고 주조제품은 단조, T6 이후 인장강도: 329 Mpa, 항복강도: 241 Mpa, 신율: 14.1%을 나타내었고, 중력주조제품 대비하여 강도: 3~5%, 연신율: 40~45% 증대되었다.

참고문헌

- [1] Korea Automobile Manufacturers Association, vol. 23, 2011.
- [2] Meron C. Flemings: Metallurgical Transactions B, **22B** (1991) 269.
- [3] C. P. Hong, J. M. Kim, M. S. Kim: KP Patent no. 03-03250 (2003).
- [4] C. P. Hong, J. M. Kim, M. S. Kim: JP Patent no. 3496833 (2003).
- [5] ASM International : ASM International, "Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials (10th Ed.)", **2** (1990) 142-143.
- [6] M. C. Flemings: Metall. Trans., "Behavior of Metal Alloys in the Semisolid State", **22** (1991) 957-981.
- [7] J. G. Sim, B. H. Choi, Y. S. Jang, J. M. Kim, C. P. Hong: ISIJ Int. **50** (2010) 1165-1174.
- [8] M. Iamura, C. P. Hong, and J. M. KIM: J. JFS. **77** (2005) 537-541.