

냉·온간포징법을 이용한 차세대 콤프레샤 실린더 블록 개발에 관한 연구

김순호*

A Study on the Development for the Future Compressor Cylinder Block Using of Cold & Hot Forging Method

Soon-ho Kim*

요 약

알루미늄 합금은 자동차부품 및 전자부품산업 개발에 크게 기여하고 있는 소재로서, 제조방법 중 냉·온간 단조 공법에 의해 제조하는 것이 대량생산되어지는 자동차 및 전자산업부품 개발에 있어서 매우 효율적이다. 따라서, 본 연구에서는 차세대 콤프레샤 실린더 블록 개발을 위하여, Al소재(Al-Mg-Si계합금)를 활용, 냉·온간 단조법을 이용하여 개발하고자 한다. 이를 위해, 제조 시편의 미세조직 및 기계적 성질을 조사하였는데, 미세조직은 공정형으로 구성되었으며, Mg₂Si의 중간상이 석출되었다. 그리고 인장강도는 291.7MPa로 나타났으며, 그러한 결과를 바탕으로 차세대 콤프레샤 실린더 블록시제품을 제작하였다.

ABSTRACT

Aluminum alloys are gaining increased acceptance in the automotive and electronic industries and cold & hot forging is the most efficient method of manufacturing such mass produced parts. This study has been investigated the microstructures and mechanical properties of A6061(Al-1.2Mg-0.8Si) alloy fabricated by cold & hot forging process for development of the future compressor block. The microstructure of cold & hot forged specimen were composed of eutectic structure aluminum solid solution and Mg₂Si precipitates. The tensile strength of as-solid solution treatment A6061 alloy revealed 291.7MPa. It was fabricated that a trial future compressor cylinder block using cold & hot forging.

키워드

cold & hot forging(냉·온간단조), future compressor cylinder block(차세대 콤프레샤 실린더 블록), tensile strength(인장강도), Mg₂Si precipitates(중간상)

I. 서 론

국내 및 세계적인 자동차 부품산업은 커다란 변혁기를 맞이하고 있는 바, 특히 자동차 기계부품 산업의 경우 세계적인 글로벌 소싱, 모듈화 추진 등으로 기술개발의 중요성이 그 어느 때보다도 중요한 시점이라 하겠다. 따라

서 우리나라 자동차 산업도 이러한 기준을 만족시키기 위해 다양한 방법으로 기술개발에 박차를 가하고 있다. 그러한 개발 기술 중에서도 자동차 전체 중량의 경량화는, 자동차 엔진효율 향상, 연비증가로 인한 에너지 문제 접근, 배출가스 저감 등으로 인한 환경오염 감소, 그리고 차량구조 대책 및 충돌 완화가 목적인 안정성 문제 등에 크

게 기여할 수 있는데, 이러한 자동차 기계부품의 경량화에는 주철 및 철강소재 부품을 알루미늄(Al) 및 마그네슘(Mg)으로 대체 또는 금속소재의 플라스틱 대체가 활발히 이루어지고 있는 실정이다. 이와 같이 자동차 경량화와 관련된 연구방향은 소재의 경량화에 집중되어 있다 해도 과언이 아니다. 그 이유는 자동차 소재의 경량화는 엔진 효율을 높일 수 있는 최적의 방법이며, 궁극적으로 자동차의 연비 향상을 도모할 수 있기 때문이다. 최근 소재 경량화의 주 연구대상으로는 Al 및 Mg 등 경량 주물 합금소재들을 들 수 있는데, 그 중에서도 Al합금은 강도 및 주조성이 우수하며, 기계가공성, 용접성 및 용력 부식균열 저항성도 우수하여 많은 자동차 부품 제조에 적용되고 있다. 특히, 전신재의 경우 6000계열인 Al-Mg-Si계 합금은 압출성, 단조성 등의 성형성이 특히 우수하여 봉재, 판재, 선재, 각재 및 관재 등으로 가공되어 자동차 등의 수송기계 부품에 많이 사용되고 있다.[1-3] 또한 2000계열(Al-Cu계 합금)이나 7000계열(Al-Zn-Mg계 합금)에 비해 강도는 낮지만 T6열처리(용체화처리+시효열처리)에 의해 강화되는 것으로 알려져 있다.[4,5] 그리고 Al주물 합금재의 경우, Al-Si-Mg계 합금(AC4C, AC4A, AC4CH 등)은 주조성이 좋은 Al-6~10%Si계 합금에 소량의 Mg를 가해 Mg₂Si 중간상의 석출에 의한 열처리 효과를 부여해 기계적 성질과 피삭성을 개선한 합금이다. 그 중에서도 AC4C 합금은 알루미늄(Al)에 Si (6.5~7.5%), Mg (0.2~0.4%), Mn(0.35%) 등이 합금된 Al-Si-Mg합금계로서, Si는 시효 석출상 뿐 아니라 주조성 개선 및 내마모성 증대효과가 있으며, Mg는 연성을 저하시키지 않고 내식성 및 용접성의 향상에 기여하고 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 Si의 입계편석으로 인하여 재결정시 입계 취성파괴의 원인이 되는 것으로 알려져 결정립 구조를 조절하는 Mn을 미량원소로 첨가하고 있다. 또한, AC4C 합금은 용체화 열처리에 의해 면심입방정 구조의 금속간 화합물 Mg₂Si를 형성하여 석출강화 되는데 석출과정에 관한 연구는 상당수 보고되어 있다.[6,7] 이와 같은 AC4C Al소재는 자동차 휠(Wheel)을 비롯한 유압부품, 미션케이스(Mission case), 플라이 휠 하우스(Flywheel housing), 브라켓(Bracket), 수냉 실린더 블록(Water cylinder block), 펌프 본체와 부품(Pump body and accessory) 및 핸들(Handle) 등 대단히 많이 적용되고 있는 자동차 부품소재이다. 한편, 경량화 자동차 부품에 대한 제조기술도 다양화 및 급격한 진보를 거듭하고 있다. 이러한 제조 기술들은 경량화에 의한 연비

향상 필요성이 대두되면서 기존 저압주조외의 주조기술을 보완한 방법들을 적용하고 있는 바, 특수 다이캐스팅인 PF 다이캐스팅, 용탕단조법(Squeeze casting) 및 반응용가압성형법(SSF)등을 들 수 있으며, 특히, 신 주조 기술들로서는, 주물재료의 개량 및 개발에 의한 고강도화를 통한 두께의 저감, 주물전체의 구조 최적화에 의한 박육화, 경량합금 주물재료 및 신 재료의 적용을 통한 제조공법 개선 등을 들 수 있다. 아울러 이러한 주조방법으로 제작된 주조품은 자동차의 경우, 전체 중량의 약 15% 이상을 점유하고 있으며, 특히, 주행성능에 관련된 엔진, 미션, 사시계 등의 부품은 약 80% 이상이 주물로 제조되고 있는 실정이다. 여기서, 본 연구에 적용할 냉·온간포징 제조법은 기존의 주물주조시보다 20%정도의 경량화 효과를 얻을 수 있는데, 이유로는 냉·온간포징시, 소둔 및 표면처리 등으로 인한 치밀한 내부조직 및 기공의 제거 등으로 우수한 제품품질을 확보할 수 있기 때문이다. 이와 같이 경량화 및 제조공법이 개선된 콤프레샤실린더 블록에 관한 연구·개발은 상당히 관심이 가는 부분이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 A6061 (Al-1.2Mg-0.8Si)계 합금의 미세조직 및 기계적 성질을 조사하고, 시효경화 특성조사 등의 특성을 조사한 후, 냉·온간 포징법을 이용하여 경량화 콤프레샤 실린더 블록을 개발하고자 한다.

II. 실험장치 및 방법

2.1 소재선정 및 시편제조

Al 합금계 중 A6061 합금계는 Mg을 0.8~1.2% 함유하고 있고, Si을 0.4~0.8% 함유하고 있는 합금소재로서, 자동차 부품 제작용 소재로 많이 사용되고 있는 것 중 하나이며, 냉·온간상태, 소둔 및 T6 열처리하여 사용되고 있다. 따라서, 본 연구의 소재는 이러한 A6061 합금계 중, Al-1.2Mg-0.8Si합금을 선정하였다. 아울러 사용된 용해로는 모합금의 용해 중 발생하는 산화를 최대한 억제하기 위하여 금속 용해로를 사용하였으며, 용해로 및 보온로를 Fig. 1에 나타내었다. 그리고 용해시 사용된 도가니는 연강제 도가니를 이용하여 미리 예열된 A6061 Ingot를 용해하였으며, 냉·온간포징으로 제조된 시편의 화학적 조성은 Table 1에 나타낸 것과 같으며, 인장강도, 연신률 및 충격치 등에 큰 영향을 미치는 Fe의 함량을 최대한 억제하였다.

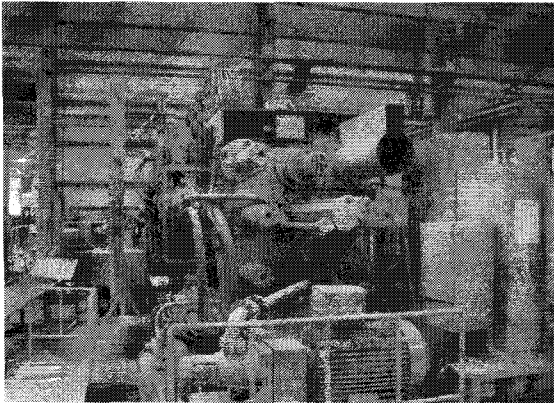


그림 1. 용해로(HVSC)
Fig. 1. Schematic of HVSC for melting

표 1. A6061합금의 화학적 조성
Table 1. Chemical composition of A6061 alloy

specimen \ elements	Mg (%)	Si (%)	Cu (%) (max)	Cr (%) (max)	Fe (%) (max)	Mn (%) (max)	Other (%)	Al (%)
ASTM ⁸ specimen	0.8 -1.2	0.4 -0.8	0.15 -0.4	0.04 -0.35	0.05	0.15	0.45	bal.
Test specimen	1.2	0.8	0.18	0.35	0.04	0.15	0.30	bal.

2.2 미세조직 관찰

냉·온간포징 조직 및 T6 처리에 따른 미세조직 변화를 조사하기 위하여, 시편의 중간 평면 부위를 채취한 후, Keller용액(2ml-48%HF, 3mlHCl, 20mlHNO₃, 175mlH₂O)으로 부식시켜 광학현미경 및 주사전자현미경으로 관찰하였다.

2.3 기계적 특성조사

인장시험(시험편 규격: ASTM B557-94)은, 시편의 포징상태에서 단면적 28±0.5mm², 표점거리 6±0.1mm의 봉상형태의 인장시험편을 사용하였으며, 게이지 레인지는 50mm, 크로스 헤드 스피드를 0.5mm/min으로 하여 인장시험을 행하였다. 인장시험에 사용된 인장시험의 갯수는 3개 또는 4개를 사용하여 이를 산술평균하였다.

2.4 시효경화 특성조사

시효경화 특성을 조사하기 위하여, Al-1.2Mg-0.8Si합금의 편석이나 계재물 등 화학적 불균일부의 효과적인 제

거를 위해 540℃에서 30분 동안 용체화처리 한 후, 20℃의 물에 급냉하여 과포화시켰다. 그리고, ±1℃의 오차를 가지는 실리콘 오일 베스를 사용하여 160, 170, 180℃에서 각각 0~28시간동안 시효열처리하여 경도변화를 마이크로비커스(Microvickers)경도기로 하중 500g, 부하시간 10초로 하여 10~15회 측정, 산술평균하였다.

III. 연구결과 및 고찰

3.1 미세조직 관찰

Fig. 2는 A6061(Al-1.2Mg-0.8Si) 합금의 광학 현미경 조직을 나타낸 것으로서, (a)는 포징조직이며, (b)는 용체화처리 후의 조직이다. 포징조직 (a)에서 입계를 따라 나타나 있는 침상입자들은 포징과정에서 형성되는 2상입

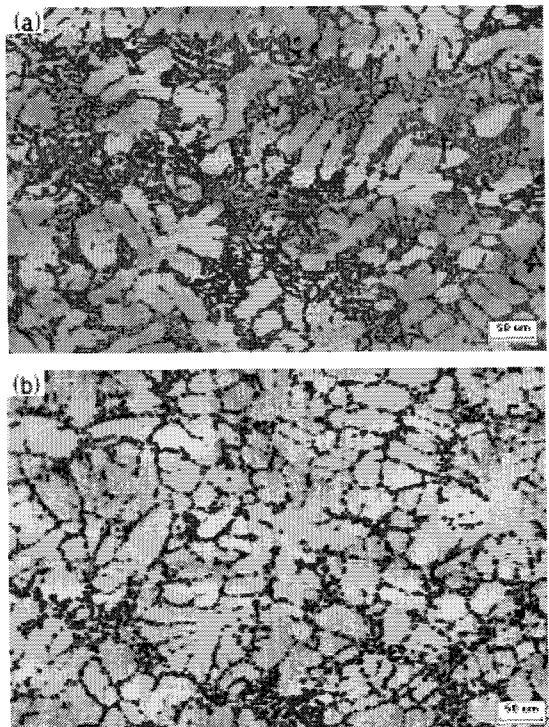


그림 2. 포징(a) 및 용체화처리(b)후의 Al-1.2Mg-0.8Si합금의 광학현미경 조직

Fig. 2 Optical microstructures as fabricated (a) and solid solution treatment (b) of Al-1.2Mg-0.8Si alloy

자 또는 화학적 불균질물질((Fe,Mn)Al₆, FeAl₃, α-Al(Fe, Mn, Si), Al₇Cr₂Fe))이다. (b)는 540℃에서 30분 동안 용체화처리하여 수냉한 조직으로 포징과정에서 형성된 화학적 불균일부는 제거되었으나, 고용점을 가지는 2상 입자 또는 금속간 화합물들은 용체화처리 이후에도 여전히 잔존하고 있음을 알 수 있다. 그러나 대체적으로 두 조직사진 모두에서 포징결함이 효과적으로 제거되어 있으며, 특히, (a)의 포징조직보다 (b)의 용체화처리 조직에서 더욱 미세화 및 건전화되어 있음을 알 수 있는데, 이는 용체화 과정에서 포징결함의 원인이 되는 불순물 및 미소기공(Microporosity)[8,9] 등의 화학적 불균일부가 효과적으로 제거되었기 때문으로 판단된다. 또한 Fig. 3은 Al-1.2Mg-0.8Si합금의 용체화처리 후의 주사식 전자현미경 사진과 EDS분석결과를 나타낸 것이다.

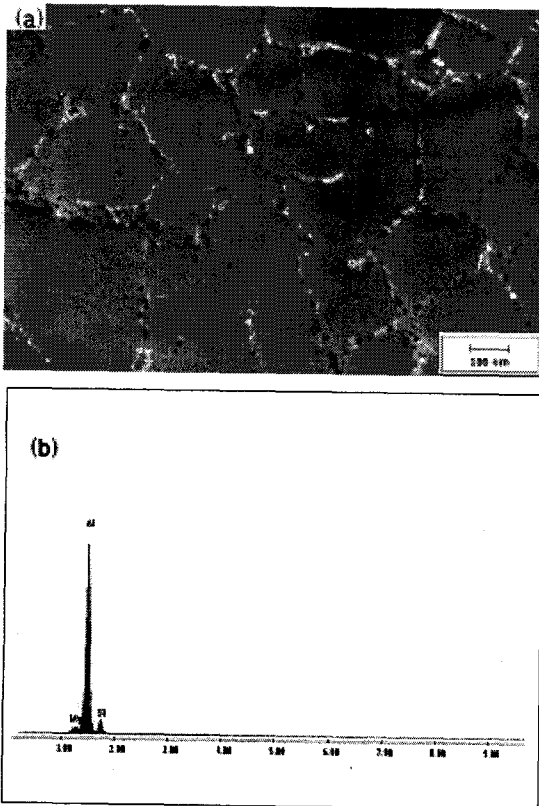


그림 3. Al-1.2Mg-0.8Si합금의 용체화처리 후의 주사식 전자현미경 사진(a)과 EDS분석결과(b)
Fig. 3 SEM micrographs (a) and EDS analyses (b) of Al-1.2Mg-0.8Si alloy as solid solution treatment

(a)의 조직사진에서 화합물로 관찰되는 상들은 대부분 결정립 경계부분에 존재하였으나, 일부는 결정립내에서도 관찰되었다. (b)의 EDS분석 결과에서 Mg과 Si의 피크가 같이 나타난 것으로 보아, 결정립계 영역들은 β상(용체화처리과정에서 석출된 중간상 : Mg₂Si)석출영역이며, 결정립내 영역은 α상(Al 고용체)석출영역으로 판단된다. 그리고 이러한 α상과 Mg₂Si의 공정상 형성은 비평형 응고의 결과로 볼 수 있는데, 즉, 응고시 계면전방에 축적된 용질에 의하여 응고전면의 액상은 평형응고 온도 아래서도 액상으로 존재하는 조성적 과냉상태가 되며, 이에 의해 고/액 계면이 불안정하게 되어 수지상이 생기게 되는데, 이러한 수지상들이 성장함에 따라 용질을 액상쪽으로 내놓음으로써, 서로 만나 고립된 액상을 형성하게 되는 최종 응고부에서의 과포화된 공정조직으로 볼 수 있다.

3.2 기계적 특성

본 연구에 사용된 A6061(Al-1.2Mg-0.8Si) 합금의 기계적 특성을 ASTM 기준의 A6061 합금과 비교[10]하여 Table 2에 나타내었다. 용체화처리를 실시한 시편의 기계적 특성 시험결과, 표에서와 같이 최대 인장강도와 항복강도는 각각 291.7MPa, 234.5MPa를 나타내어 ASTM 기준치인 290.0 MPa, 228.0MPa보다 높은 값을 나타내었다. 그리고 연신율의 경우, 규정값보다 다소 낮은 6.2% 정도로 나타났는데, 이는 용체화 처리 후에, 조밀육방정으로서 슬립시스템이 작은 중간상인 β(Mg₂Si)상의 석출분율이 높기 때문으로 해석할 수 있다.

표2. A6061의 기계적 특성 시험결과
Table 2 Mechanical Properties of Al-1.2Mg-0.8 Si alloy as solid solution treatment

Alloy	UTS (Mpa)	YS (MPa)	Elongation(%)	Heating treatment
ASTM ¹⁰	290.0	228.0	7.3	T6
Test specimen	291.7	234.5	6.2	T6

3.3 시효경화 특성

Fig. 4는 Al-1.2Mg-0.8Si 합금을 용체화 처리한 후 160, 170, 180℃에서 시효 열처리하였을 때 시효시간에 따른 미소경도변화를 나타낸 것이다.

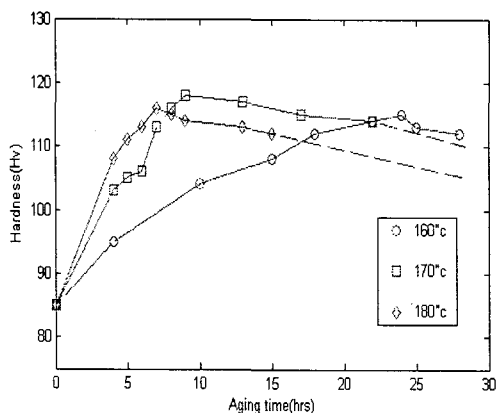


그림 4. 시효시간에 따른 미소경도변화
Fig. 4. Aging curves of Al-1.2Mg-0.8Si alloy aged at 160, 170 and 180°C.

그림에서와 같이 모든 온도에서 초기 시효시간의 증가에 따라 급격한 경도값의 상승을 보이고 있으며, 160°C에서는 24시간, 170°C에서는 9시간, 180°C에서는 7시간 시효처리시 최고경도값을 나타내었다. 최대경도값은 170°C에서 9시간 시효처리한 경우로서 그때의 경도값은 118.3HV이었으며, 이는 ASTM 규정에서의 170°C, 12시간 시효조건시의 값인 118.1HV에 적절한 값이며, 세 시효온도 모두에서 최고경도 이후의 경도값은 완만하게 감소하였다. 아울러 이러한 시효열처리에 따른 경도변화는 석출물의 석출거동과 밀접한 관련을 가지는 것으로서, 시효 초기에 경도가 급격히 상승하는 것은 Al기지에 석출한 침상 석출물에 의한 내부에너지의 증가에 기인한 것으로 생각되며, 각 시효온도에서 최고 경도값은 침상 석출물과 정합 석출물(β 상)의 석출에 의한 것으로 생각된다. 또한 최고 경도 이후의 경도값이 완만하게 감소하는 이유는 정합 석출물이 평형상으로서의 변태속도가 느리거나 평형 석출상의 조대화속도가 느리기 때문이라고 생각되며, 시효 온도가 증가할수록 최고경도값에 이르는 시간은 단시간 측으로 이동하였는데, 이는 핵생성속도가 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

IV. 결 론

자동차 소재 경량화의 일환으로 Al-1.2Mg-0.8Si 합금에 대하여 미세조직 관찰, 기계적 특성 및 시효경화특성

등을 수행한 후, 다음의 결론을 얻었으며, 이 합금소재를 이용하여, 냉·온간포징 방법으로 차세대 콤프레샤 실린더 블록 시제품을 제작하였다.

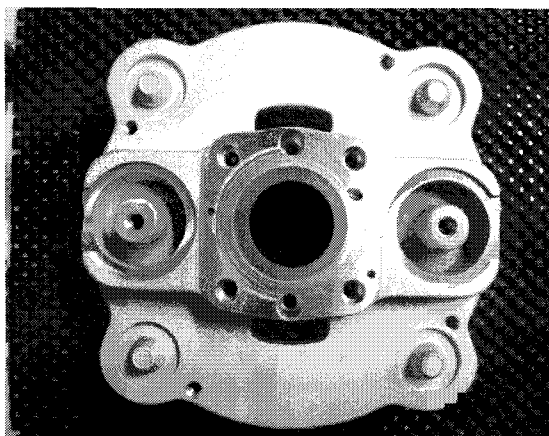


그림 7. 콤프레샤 실린더 블록 시제품
Fig. 7. Photo of compressor cylinder block trial manufacture

- 1) 미세조직은 Al 고용체인 α 상 및 β (Mg_2Si)상의 공정조직 (Eutectic structure)으로 구성되어 있었다.
- 2) 인장시험 결과 최대 인장강도와 항복강도는 각각 291.7MPa, 234.5MPa을 나타내어, ASTM 기준치인 290.0MPa, 228.05MPa보다 높은 값을 나타내었다.
- 3) Al-1.2Mg-0.8Si합금을 이용하여 냉·온간포징 방법으로 두께 17mm, 중량 135.5g의 차세대 실린더블록 시제품 제작이 가능하였다.

후 기

본 연구는 2004학년도 신라대학교 교내연구비 지원에 의한 것이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] King, F., 1980 "Aluminium and Its Alloy", Cambridge University Press, p.112
- [2] Polmear, I. J., Light alloy, 2nd ed., Edward Anold, p.144 (1987)
- [3] Charlie R. Brooks, 1982 "Heat Treatment, Structure &

Properties of Nonferrous Alloys”, American Society for Metals, pp.153-154

- [4] Metals Handbook 10th ed., 2, ASM, p.152, (1990)
- [5] Pharr, G. M., Courington, S. V., Wadsworth, J. and Nieh, T. G., 1991 “ Deformation of an extruded Nickel Beryllide between Room Temperature and 820,” J. Mater. Res., 6, p. 2653
- [6] Bryant, A. J., Aluminio E. Nuova, 1977 “Crystallography of Mg₂Si Precipitates in Al-7.0Si-0.4Mg Alloy,” Metallurgia, 42, p.228
- [7] A. K. Gupta and D. J. Lloyd, 1992 “Micro structural Study of Continuous Precipitation in Al Alloys”, ICCA3, p.21
- [8] Metals Handbook 9th ed.,2, ASM, p.45 (1990)
- [9] Flemings, M. C. 1974 “Solidification Process- ing”, McGraw-Hill Book Company, p.207
- [10] Metals Handbook 9th ed.,2, ASM, p. 61, (1990)

저자소개

김 순 호(Soon-Ho Kim)



동아대학교 금속공학과 공학사
부산대학교 재료공학과 공학석사
부산대학교 재료공학과 공학박사
1998년~현재 신라대학교 부교수

※관심분야: 기계재료역학, 차량제어, 최적설계