

자동차 부품용 2700계열 Al소결체 제작에 관한 연구

임태환^{1*}, 장태석¹

¹선문대학교 하이브리드공학과

A Study on the Fabrication of 2700 Series Al-alloy Sintered for Automobile Application

Tae-Whan Lim^{1*} and Tae-Suk Jang¹

¹Department of Hybrid Engineering, Sunmoon University

요 약 자동차용 경량소결부품으로 사용하기 위하여 2712 Al 합금 및 2712에 세라믹스를 각각 10, 20, 33% 첨가한 소결체의 기계적 특성에 대하여 조사하였다. 그 결과, (1)모든 소결체에서 4~7%의 기공이 잔류하는 것을 발견하였다. (2)시효처리한 2712 소결체 및 10, 20, 33% 세라믹스 함유 소결체의 인장강도 값은, 12분 소결에서는 각각 165, 260, 256, 166 N/mm², 30분 소결에서는 각각 186, 229, 219, 202 N/mm²로 나타나, 세라믹스를 10% 첨가하여 12분 소결한 경우가 가장 우수한 인장강도 값을 나타내었다. 또한, 소결체의 최대 연신율값 3.6%는 세라믹스를 10% 첨가하여 30분 소결 후 시효처리한 소결체에서 나타났다. (3)시효처리 후의 소결체 표면의 최대 겔보기 경도값 (H_RF) 97은 세라믹스를 10% 첨가하고 30분 소결한 경우에 나타났다. (4)가장 낮은 내마모량 값 174x10⁻³mm³은 10% 세라믹스를 첨가하여 시효처리한 소결체에서 나타났다. 이러한 결과들로부터 세라믹스를 10% 첨가한 2712 소결체가 Al 엔진부품 제조에 가장 적합한 것으로 판단되었다.

Abstract In order to use as weight-reduced sintered parts for automobiles, mechanical properties of sintered compacts of 2712 Al-alloys containing 0, 10, 20, and 33% ceramics, respectively, were investigated in this study. (1)Regardless of ceramic contents, all sintered compacts possessed 4~7% pores. (2)After aging the compacts sintered for 12 minutes, tensile strength of the 2712 Al-alloys containing 0, 10, 20, and 33% ceramics was 165, 260, 256, and 166 N/mm², respectively, whereas those aged after sintering for 30 minutes exhibited the tensile strength of 186, 229, 219, and 202 N/mm², respectively. In addition, the 2712 sintered compact containing 10% ceramics showed the maximum elongation of about 3.6%, (3)After aging the 10% ceramic-containing sintered compacts reached a maximum apparent hardness (H_RF) of 97. (4)The minimum wear volume (174×10⁻³mm³) was shown in the 10% ceramic-containing 2712 sintered compact after aging. From these results, the 2712 sintered compact containing 10% ceramics thought to be the most suitable one for the fabrication of aluminum engine part.

Key Words : Automobile, Sintered compact, Aging, Tensile strength, Wear

1. 서론

최근 환경문제가 대두되어 국민적 관심이 점점 높아지고 있는 시점에서 기계 구조용 부품의 경량화를 통하여 환경의 green화를 실시하려는 연구가 현재 국외에서는 급속히 진행되고 있다. 그 일례로 자동차를 보면, 2016년까지 미국에서 팔리는 모든 자동차는 L당 평균 15.1km

(35.5mile)의 연비 기준을 맞추어야 한다. 차종별로는 승용차가 L당 16.6km, 소형트럭은 12.8km이다[1]. 현재 가솔린 차종으로 미국으로 수출하는 차 가운데 새 연비 기준을 만족하는 차종은 쏘나타 하이브리드 및 베르나, 아반떼 등 일부 차종이다[2]. 이 기준을 만족하는 국산 소형 디젤 차량은 있지만 미국의 대기 환경에 기준에 걸려 수출을 못하고 있다. 따라서 국내 자동차 산업은 특허를 선점

*교신저자 : 임태환(ltw@sunmoon.ac.kr)

접수일 11년 09월 27일

수정일 (1차 11년 11월 08일, 2차 11년 12월 12일)

게재확정일 11년 12월 13일

하고 있는 토요타의 하이브리드 기술을 피해 고연비의 자동차를 만들 수 있는지와 차량의 경량화에 운명이 걸려 있다. 일반적으로 차량의 중량을 10% 경량화 시키면 6~7%의 연비가 향상된다[3]. 이와 같은 상황에서 대표적인 경량화 재료로는 비강도가 높은 Al계 합금, Mg계 합금, 섬유 강화 플라스틱이 대두되고 있으나, 분말야금 공정에 의한 가공법에는 Al합금이 가장 적합하다. 현재 국외의 경우 Al계 소결 기계 부품은 주로 스포츠 자동차, 가전 제품[4]에 적용하고 있으나, 국내의 경우는 자동차 및 가전제품을 경량화시키기 위하여 소결 기계 부품으로서 Al계 합금을 적용한 예는 찾아볼 수 없다.

따라서 본 연구에서는 기업체의 요구에 의해 2000계 Al분말을 사용하여 자동차용 고성능 경량 부품(예를 들어, 오일 펌프 로터, 캠캡 등)의 양산체제 구축에 있어서 꼭 필요한 소결 및 기계적 특성을 평가하는 것을 연구 목적으로 하였다.

2. 실험방법

분말야금법으로 경량 Al소결 부품을 양산할 수 있게 하기 위하여 A기업체에서 선정해 준 2712 분말 및 2712분말에 세라믹스(10%, 20%, 33%)첨가한 4종류의 Al계 분말을 표 1에 나타내었다. 4종류의 분말은 2ton/cm²의 성형 압력으로 소결 인장 시험편 형상으로 성형한 후(성형체의 상대 밀도: 약92%), 양산용 mesh belt를 사용하여 질소 보호 분위기 중 610℃에서 12분, 30분 소결하였다. 용체화 처리는 518℃에서 30분 가열 후 실시하였다.

시효 처리는 180℃에서 18시간 실시하였다. 얻어진 소

결체에 대하여는 조직관찰, 인장강도, 신율, 로크웰 경도, 불순물량 등의 측정을 실시하였다.

[표 1] 2700계 Al합금 분말의 화학적 조성

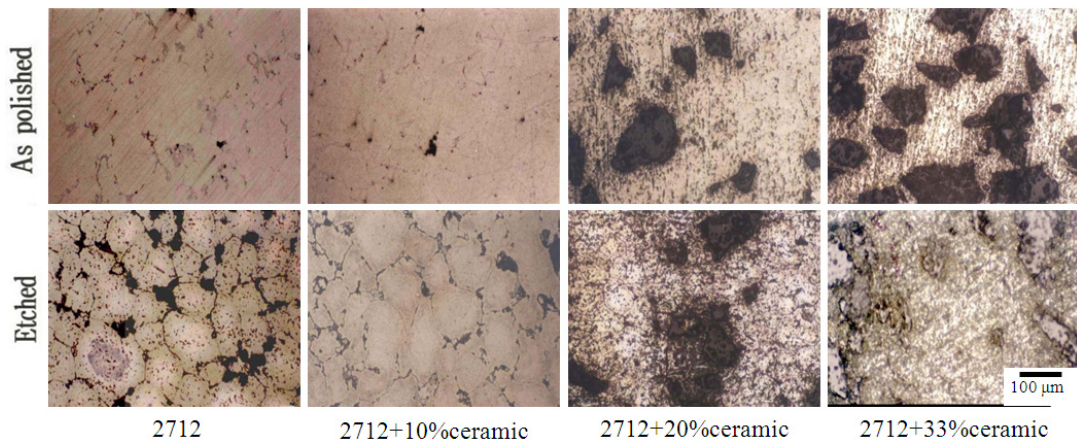
[Table 1] Chemical composition(mass%) of 2700 series Al-alloy powder

chemical composition	unit	grade			
		2712	2712 + 10% ceramic	2712 + 20% ceramic	2712 + 33% ceramic
Al	%	Balance	95.0	Difference	93.6
Cu	%	3.6~4.0	3.5	2.61	3.3
Fe	%	—	0.5	0.07	—
Sn	%	—	—	0.39	0.5
Mg	%	0.8~1.2	1.0	2.03	2.5
Si	%	0.6~0.9	—	0.15	0.1

3. 실험 결과 및 고찰

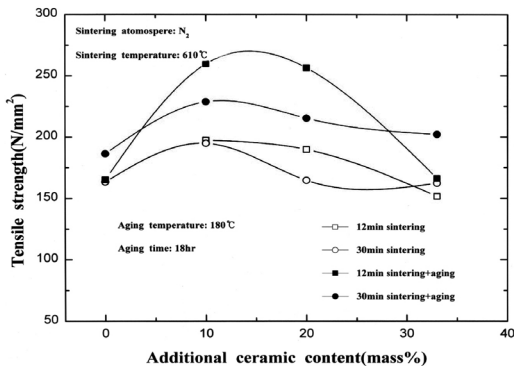
그림 1에는 610℃에서 30분 소결한 2712소결체, 2712+(10, 20, 33)%세라믹스 첨가 소결체의 연마면 및 부식면 광학 현미경 조직 사진 예를 나타내었다. 그 결과, 소결체에는 4~7%의 기공이 잔류하고 있는 것을 알 수 있고, 세라믹스 첨가량의 증대와 더불어 소결체에는 다량의 세라믹스 상이 관찰되었다. 조직적으로는 12분 소결체의 경우도 큰 차이가 없는 것을 확인하였다.

다음은 소결체에 대하여 기계적 특성을 평가하였다. 먼저 그림 2에는 12분, 30분간 소결한 소결체 및 12분, 30분 소결 후 시효처리를 실시한 소결체의 인장강도 값을 나타내었다. 그 결과, 소결체의 인장강도 값은 어느 경우



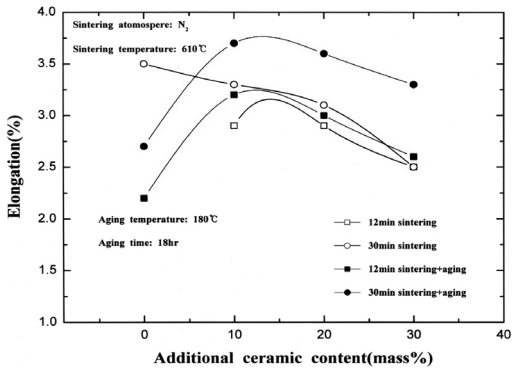
[그림 1] 610℃에서 30분 소결한 소결체의 광학 현미경 조직 사진 예
[Fig. 1] Examples of optical microstructures of various compacts sintered at 610℃ for 30min.

에 있어서나 시효처리 전에 비하여 시효처리 후가 높게 나타났다. 특히 주목할 것은 어느 경우에 있어서나 10%세라믹스 첨가에서 최고의 인장강도 값을 나타낸 후 그 이상의 첨가에서는 저하하는 경향을 나타내고 있다. 예를 들어 0%, 10%, 20%, 33%세라믹스 첨가에서 시효처리 후 인장강도 값을 보면, 12분 소결에서는 각각 165, 260, 256, 166N/mm², 30분 소결에서는 각각 186, 229, 219, 202N/mm²로 나타나, 10%세라믹스 첨가에서 12분 소결체의 경우가 가장 높은 값을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 이 값은 국외에서 시판되고 있는 실용 2700계열 Al소결 부품(cam caps)의 인장강도 값 240N/mm²[5]보다 높게 나타났다.



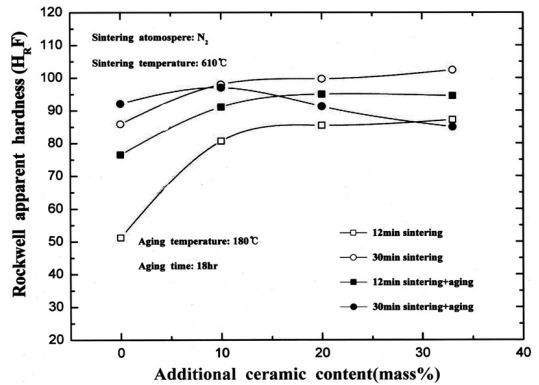
[그림 2] 각 소결체의 인장 강도 값(시효처리 전과 후)
[Fig. 2] Tensile strength(N/mm²) of various sintered compacts(before and after aging treatment)

그림 3에는 각 소결체의 연신율 값을 나타내었다. 연신율 값은 일반적으로 12분 소결에 비하여 30분 소결의 경우가, 시효처리 전에 비하여 시효처리 후가 높게 나타났다. 최대 연신율값 3.7%는 10%세라믹스를 첨가하여 시효처리한 소결체에서 나타났다.

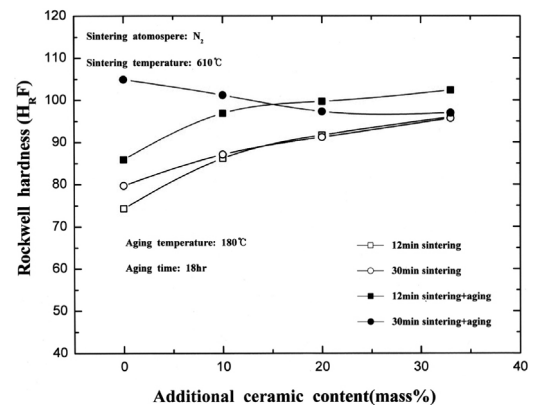


[그림 3] 각 소결체의 연신율 값(시효처리 전과 후)
[Fig. 3] Elongation(%) of various sintered compacts(before and after aging treatment)

그림 4에는 제품 제조에 있어 중요한 소결 및 시효처리 한 소결체 표면의 겔보기 로크웰 경도(H_RF)값을 나타내었다. 그 결과, 경도 값은 30분 소결 후 시효처리를 실시한 소결체를 제외하고는 어느 경우에 있어서나 세라믹스 첨가량의 증대와 더불어 상승하는 경향을 나타내고 있다. 또한 동일 세라믹스 첨가에서는 어느 경우에 있어서나, 30분 소결체의 경우가 가장 높은 경도 값을 나타내었다. 예를 들어, 최대 경도 값 102는 33%세라믹스를 첨가하여 30분 소결한 소결체에서 나타났다. 30분 소결 후 시효처리를 실시한 소결체 경우의 경도 값을 보면, 10%세라믹스 첨가에서 최대 97를 나타낸 후 그 이상 첨가에서는 저하하였다.



[그림 4] 각 소결체의 겔보기 경도 값(시효처리 전과 후)
[Fig. 4] Rockwell apparent hardness(H_RF) of various sintered compacts(before and after aging treatment)



[그림 5] 각 소결체의 경도 값(시효처리 전과 후)
[Fig. 5] Rockwell hardness(H_RF) of various sintered compacts(before and after aging treatment)

그림 5에는 소결체 단면 중심부의 로크웰 경도(H_RF)값을 나타내었다. 중심부의 로크웰 경도 값도 겔보기 경도

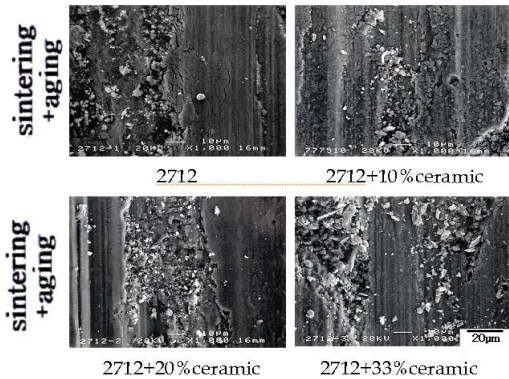
값과 같이 30분 소결 후 시효 처리를 실시한 소결체를 제외하고는 어느 경우에 있어서나 세라믹스 첨가량의 증대와 더불어 상승하는 경향을 나타내고 있다. 세라믹스 첨가에서 최대 정도값 100은 10%첨가하여 30분 소결 후 시효 처리한 소결체에서 나타났다.

이상 종합하여 보면, 전반적으로 시효처리 전에 비하여 시효처리 후가 소결체의 기계적 특성이 양호한 것을 알 수 있다. 따라서 시효처리 후의 2712소결체 및 2712+10, 20, 33%세라믹스 첨가 소결체에 대하여 기계적 특성에 가장 큰 영향을 미치는 마찰계수 및 내마모량을 측정하여 표 2에 나타내었다. 그 결과, 가장 낮은 마찰계수 값 0.63은 2712에 33%세라믹스를 첨가한 소결체에서 나타났고, 가장 낮은 내마모량 값 $174 \times 10^{-3} \text{mm}^3$ 은 10%세라믹스 첨가 소결체에서 나타난 것을 알 수 있다.

[표 2] 610℃에서 30분 소결 후 시효 처리 실시한 소결체의 마찰계수 및 내마모량

[Table 2] Frictional coefficient and wear volume of various compacts sintered at 610℃ for 30min after aging treatment.

		2712	2712+10% ceramic	2712+20% ceramic	2712+33% ceramic
frictional coefficient	sintering +aging	0.71	0.72	0.77	0.63
wear volume (10^{-3}mm^3)	sintering +aging	415	174	235	263



[그림 6] 610℃에서 30분 소결 후 시효처리 실시한 소결체 표면의 마모면 SEM 조직사진 예

[Fig. 6] Scanning electron micrographs showing surface wear track of various compacts sintered at 610℃ for 30min after aging treatment.

그림 6에는 시효처리 후의 2712 및 세라믹스 첨가 AI 소결체에 대하여 마모시험 후의 표면을 SEM으로 관찰한

조직 사진 예를 나타내었다. 그 결과, 어느 경우에 있어서나, 돌출면 입자가 다량으로 떨어져 나간 것을 알 수 있다. 또한, 금속간 응착 마모 형태[6,7]도 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 조직적으로도 내마모량 결과와 대응하여 10%세라믹스 첨가 소결체에서 가장 우수한 마모면 형태를 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

표 3에는 30분 소결 후 시효처리를 실시한 4종류[2712 및 2712+(10, 20, 33)%세라믹스]의 소결체에 대하여 산소, 질소량을 분석하여 나타내었다. 그 결과, 산소량은 일반적으로 세라믹스 첨가량의 증가와 더불어 증가하는 경향을 나타내었다. 예를 들어 33%세라믹스 첨가에서 최대 0.398%를 나타내었다. 소결체의 질소량은 어느 경우에 있어서나, 0.00421~0.00627%범위를 나타내어, 질소를 사용한 소결 분위기의 영향은 거의 없는 것을 알 수 있다.

[표 3] 610℃에서 30분 소결 후 시효처리 실시한 소결체의 산소 및 질소량

[Table 3] Oxygen and nitrogen content of various compacts sintered at 610℃ for 30min after aging treatment.

	2712	2712+10% ceramic	2712+20% ceramic	2712+33% ceramic
Oxygen (mass%)	0.0588	0.1458	0.3527	0.398
Nitrogen (mass%)	0.00443	0.00455	0.00627	0.00421

다음으로 시효처리 후의 2712소결체 및 10, 20, 33%세라믹스 첨가 소결체의 탄소량을 분석한 결과, 각각 1.92, 1.93, 2.32, 2.30%를 나타내었다. 따라서 소결체에 첨가한 세라믹스 분말은 탄화물 종류라고 생각되어진다.

이상의 결과로부터 2712+10%세라믹스 첨가 소결체가 자동차용 고성능 경량 부품 재질로서 가장 적합하다고 판단되나, 추후 보다 상세한 연구를 실시할 예정이다.

4. 결론

자동차용 고성능 경량부품으로 사용하기 위하여 2712, 2712+10~33%세라믹스 첨가 AI소결체에 대하여 기계적 특성을 기초적으로 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 조직 관찰한 결과, 어느 경우의 소결체에 있어서나, 4~7%의 기공이 잔류하였다.
2. 소결체의 인장강도 값을 보면, 어느 경우에 있어서나 시효처리 전에 비하여 시효처리 후가 높게 나타

났다. 0%, 10%, 20%, 33%세라믹스 첨가에서 시효처리 후의 인장강도 값을 보면, 12분 소결에서는 각각 165, 260, 256, 166N/mm², 30분 소결에서는 각각 186, 229, 219, 202N/mm²로 나타나, 10%세라믹스 첨가에서 12분 소결한 소결체의 경우가 가장 높은 값을 나타내었다. 또한, 최대 연신율 값 3.7%는 10%세라믹스를 첨가하여 30분 소결하고, 시효 처리한 소결체에서 나타났다.

3. 소결체 표면의 최대 결보기 로크웰 경도(HrF)값 102는 33%세라믹스를 첨가하여 30분 소결한 소결체에서 나타났고, 시효처리 후의 최대 경도값 97은 10%세라믹스 첨가 30분 소결한 소결체에서 나타났다. 또한, 소결체의 중심부 경도 값 105는 세라믹스 무첨가로 30분 소결 후 시효처리 한 소결체에서 나타났다.
4. 소결체의 기계적 특성을 결정하는 가장 낮은 내마모량 값 $174 \times 10^{-3} \text{mm}^3$ 은 10%세라믹스를 첨가하여 시효처리한 소결체에서 나타났다. 이상의 결과를 종합하여 보면 2712+10%세라믹스 첨가 소결체가 자동차용 고성능 경량 부품 제조에 있어 가장 적합한 재질이라고 판단하였다.

References

- [1] May 20 Articles, The Korea Economic Daily, 2009.
- [2] KAMA, Premium service, Car Type Information.
- [3] Masami Suzuki : J. JPh. Soc. Powder Metallurgy, vol.49, PP. 426, 2003.
- [4] The Japan Institute of Light Metals, Aluminum Microstructures and property, 1990.
- [5] GKN Sinter Metals: PM Aluminium Materials, Catalog, 2011.
- [6] Namio Odani: Metal Surface Engineering, Nikkan Business Line, PP253, 1984.
- [7] F. P. Bowden, D. Tabor: The Friction and Lubrication of Solids, Clarendon Press, Oxford, 1993.

임 태 환(Tae-Whan Lim)

[정회원]



- 1986년 2월 : 한양대학교 금속재료과(공학사)
- 1989년 3월 : 일본, 동경대학교 금속재료과(공학석사)
- 1992년 2월 : 일본, 동경대학교 재료학과 (공학박사)
- 1992년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 하이브리드공학과 교수

<관심분야>

고성능 자동차 부품 제조 및 가공.

장 태 석(Tae-Suk Jang)

[정회원]



- 1981년 2월 : 한양대학교 금속공학과(공학사)
- 1983년 2월 : 한양대학교 금속공학과(공학석사)
- 1991년 12월 : North Carolina State Univ. 재료공학과(공학박사)
- 1992년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 하이브리드공학과 교수

<관심분야>

자성재료